Ricardo Feltre

Engenheiro Químico pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
Doutor em Engenharia (área: Engenharia Química) pela
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
Professor de Química em escolas de ensino médio e cursos pré-vestibulares por 20 anos.
Professor de Química da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (1956-1986).

QUÍMICA

Volume 3

Química Orgânica

Componente curricular: QUÍMICA

7ª edição

São Paulo, 2008

Moderna

Título original: *Química*
© Ricardo Feltre, 2008

Coordenação editorial: Rita Helena Bröckelmann

Edição de texto: Lídia Toshie Tamazato, Luis Fernando Furtado, Mauro Faro, Valquiria Baddini Tronolone, Manuel Carlos Garcez Kopezynski, André Haruo Kanamura, Renata Rosenthal, Rebeca Yatsuzuka

Assistência editorial: Josy Malone Simões Gomes, Maria Angélica Moreira Fernandes

Colaboradores: Ricardo Arissa Feltre, Ricardo Eidi Honda, Soraya Saadeh, Verônica Priscila Assis Santos

Leitura técnica: Alessandro Bolis Costa Simas

Preparação de texto: Lídia Toshie Tamazato

Coordenação de *design* e projetos visuais: Sandra Botelho de Carvalho Homma

Projeto gráfico: Chico Max

Capa: Mariza Porto, Everson de Paula

Foto da capa: Jogador de tênis. © Masterfile/Other Images

As raquetes de tênis mais modernas possuem estruturas feitas de grafite leve ou de material composto de grafite leve que inclui titânio, fibra de aramida ou fibra de vidro. Em algumas raquetes, utiliza-se *hyper carbon* (o mesmo material que a Nasa usa na fabricação de satélites e aeronaves), tornando-as ainda mais leves. O ingrediente básico das bolas de tênis é a borracha. Em uma primeira etapa, a borracha é prensada em moldes de ferro e ganha o formato de uma concha, contendo uma pastilha de nitrogênio. Com o calor da etapa de vulcanização, a pastilha de nitrogênio explode, liberando gás, que enche a bola. Com a bola cheia, sua parte externa é revestida com feltro, tecido formado por náilon e lã amarela.

Coordenação de produção gráfica: André Monteiro, Maria de Lourdes Rodrigues

Coordenação de arte: Wilson Gazzoni Agostinho

Edição de arte: Fernanda Fencz, Wilson Gazzoni Agostinho

Edição de páginas especiais: William Hiroshi Taciro (coordenação), A+ Comunicação, Fernanda Fencz, Paula Pereira Paschoalick, Ricardo Arissa Feltre, Alexandre Albuquerque da Silva

Editoração eletrônica: Setup Bureau Editoração Eletrônica

Coordenação de revisão: Elaine Cristina del Nero

Revisão: Nancy H. Dias, Renato Tresolavy, Viviane T. Mendes

Coordenação de pesquisa iconográfica: Ana Lucia Soares

Pesquisa iconográfica: Camila D'Angelo, Monica de Souza, Vera Lucia da Silva Barrionuevo

Coordenação de *bureau*: Américo Jesus

Tratamento de imagens: Evaldo de Almeida, Fabio N. Precendo, Luiz C. Costa, Rubens M. Rodrigues

Pré-impressão: Helio P. de Souza Filho, Marcio Hideyuki Kamoto

Coordenação de produção industrial: Wilson Aparecido Troque

Impressão e acabamento:

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Feltre, Ricardo, 1928–
Química / Ricardo Feltre. — 7. ed. —
São Paulo : Moderna, 2008.

Obra em 3 v.
Conteúdo : v. 1 Química geral — v. 2.
Físico-química — v. 3 Química orgânica
Bibliografia.

1. Química (Ensino médio) 2. Físico-química (Ensino médio) – Problemas, exercícios etc.
I. Título.

08-07729 CDD-540.7

Índices para catálogo sistemático:
1. Química : Ensino médio 540.7

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.
Todos os direitos reservados

EDITORA MODERNA LTDA.
Rua Padre Adelino, 758 - Belenzinho
São Paulo - SP - Brasil - CEP 03303-904
Vendas e Atendimento: Tel. (0_ _11) 2602-5510
Fax (0_ _11) 2790-1501
www.moderna.com.br
2010
Impresso no Brasil

1 3 5 7 9 10 8 6 4 2

APRESENTAÇÃO

Em seus três volumes, esta obra apresenta os conhecimentos básicos da Química e suas aplicações mais importantes no mundo atual. Novo enfoque foi dado ao problema da poluição, decorrente da crescente utilização da matéria e da energia pela sociedade moderna. A articulação da Química com outras Ciências foi ampliada com a introdução de boxes intitulados **Um pouco de Matemática**, **Um pouco de Física**, **Um pouco de Biologia** e outros semelhantes.

Todos os capítulos iniciam-se por um infográfico (acompanhado de questões na seção **Refletindo**) que visa explorar conexões entre fatos do cotidiano, tecnologias e outras situações próximas aos alunos e os conceitos a serem trabalhados. Cada capítulo da obra é dividido em tópicos, visando tornar a exposição teórica gradual e didática. Em muitas oportunidades, foram inseridos boxes com fatos históricos, fatos do cotidiano e biografias de cientistas. No final dos tópicos, encontramos as seções **Questões**, **Exercícios básicos**, **Exercícios complementares** e, frequentemente, **atividades de pesquisa** (com enfoque na internet) e **Atividades práticas**. Ao ampliarmos essas seções, nossa intenção foi estimular a maior participação do estudante e, assim, levá-lo a melhorar seu aprendizado do assunto exposto.

No final dos capítulos colocamos **leituras** sobre temas relacionados com a Química e de grande importância para a sociedade atual. Ao final do texto, apresentamos **questões sobre a leitura**.

Agradecemos aos professores e aos alunos que prestigiam nossa obra e reiteramos que críticas e sugestões serão sempre bem recebidas.

O AUTOR

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 Introdução à Química orgânica, 16

EDUARDO SANTALLIESTRA/CID

1. A presença da Química orgânica em nossa vida, 18
2. O nascimento da Química orgânica, 20
3. A evolução da Química orgânica, 21
3.1. Histórico, 21
3.2. Síntese e análise na Química orgânica, 22
4. A Química orgânica nos dias atuais, 23
5. Algumas ideias sobre a análise orgânica, 23
Questões, 24 **Pesquisa**, 24
Atividade prática, 25
Exercícios básicos, 25 **Exercícios complementares**, 28
6. Características do átomo de carbono, 29
6.1. O carbono é tetravalente, 29
6.2. O carbono forma ligações múltiplas, 29
6.3. O carbono liga-se a várias classes de elementos químicos, 30
6.4. O carbono forma cadeias, 30
Questões, 31 **Exercícios básicos**, 32
7. Classificação dos átomos de carbono em uma cadeia, 32
Questões, 33 **Exercícios básicos**, 33
8. Tipos de cadeia orgânica, 34
8.1. Quanto ao fechamento da cadeia, 34
8.2. Quanto à disposição dos átomos, 34
8.3. Quanto aos tipos de ligação, 34
8.4. Quanto à natureza dos átomos, 35
8.5. Um resumo das cadeias carbônicas, 36
Questões, 36 **Exercícios básicos**, 37
9. Fórmula estrutural, 38
Questões, 40 **Exercícios básicos**, 40
Leitura – Produtos orgânicos?, 41 **Questões sobre a leitura**, 41

CAPÍTULO 2 Hidrocarbonetos, 42

RICARDO AZOURY/OLHAR IMAGEM

1. Introdução, 44
2. Alcanos, 44
2.1. Definição e fórmula geral, 44
2.2. Nomenclatura dos alcanos, 45
Questões, 49 **Exercícios básicos**, 49
2.3. A presença dos alcanos em nossa vida, 50
2.4. Combustão dos alcanos, 60
Questões, 61
Pesquisa, 61 **Atividade prática**, 62
Exercícios básicos, 62 **Exercícios complementares**, 64
3. Alcenos, 65
3.1. Definição e fórmula geral, 65
3.2. Nomenclatura dos alcenos, 65
3.3. A presença dos alcenos em nossa vida, 67
Questões, 68 **Exercícios básicos**, 68

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

4. Alcadienos (dienos), 69
4.1. Definição e fórmula geral, 69
4.2. Nomenclatura dos dienos, 69
4.3. A presença dos dienos (e polienos) em nossa vida, 69
Questão, 71 **Exercícios básicos**, 71
5. Alcinos, 71
5.1. Definição e fórmula geral, 71
5.2. Nomenclatura dos alcinos, 71
5.3. A presença dos alcinos em nossa vida, 72
Questões, 73 **Exercícios básicos**, 73
6. Ciclanos, 74
6.1. Definição e fórmula geral, 74
6.2. Nomenclatura dos ciclanos, 74
6.3. A presença dos ciclanos em nossa vida, 75
Questões, 75 **Exercícios básicos**, 75
7. Hidrocarbonetos aromáticos, 76
7.1. Definição, 76
7.2. A estrutura do anel benzênico, 76
7.3. Nomenclatura dos hidrocarbonetos aromáticos, 77
7.4. Classificação dos hidrocarbonetos aromáticos, 78
7.5. A presença dos aromáticos em nossa vida, 79
Questões, 80 **Exercícios básicos**, 80
Leitura – A carboquímica, 81 **Questões sobre a leitura**, 83

CAPÍTULO 3 Funções orgânicas oxigenadas, 84

DELFIM MARTINS/PULSAR IMAGENS

1. Introdução, 86
2. Álcoois, 86
2.1. Definição, 86
2.2. Nomenclatura dos álcoois, 87
2.3. Classificações dos álcoois, 88
Questões, 88 **Exercícios básicos**, 89
2.4. A presença dos álcoois em nossa vida, 90
Questões, 97
Pesquisa, 97 **Atividade prática**, 97
Exercícios básicos, 97 **Exercícios complementares**, 100
3. Fenóis, 101
3.1. Definição, 101
3.2. Nomenclatura dos fenóis, 101
3.3. A presença dos fenóis em nossa vida, 102
Questões, 104 **Exercícios básicos**, 104
4. Éteres, 104
4.1. Definição, 104
4.2. Nomenclatura dos éteres, 105
4.3. A presença dos éteres em nossa vida, 105
Questões, 106 **Exercícios básicos**, 106
5. Aldeídos e cetonas, 107
5.1. Definição, 107
5.2. Nomenclaturas de aldeídos e cetonas, 108
5.3. A presença dos aldeídos e das cetonas em nossa vida, 109
Questões, 110
Exercícios básicos, 111 **Exercícios complementares**, 111

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

6. Ácidos carboxílicos, 112
6.1. Definição, 112
6.2. Nomenclatura dos ácidos carboxílicos, 113
6.3. Dois ácidos carboxílicos importantes, 114
6.4. A presença dos ácidos carboxílicos em nossa vida, 115
Questões, 116
Exercícios básicos, 116 **Exercícios complementares**, 117

7. Derivados dos ácidos carboxílicos, 118
7.1. Sais orgânicos, 119
7.2. Ésteres, 119
7.3. Anidridos orgânicos, 120
7.4. Cloretos dos ácidos carboxílicos, 121
Questões, 121
Exercícios básicos, 122 **Exercícios complementares**, 123

8. Resumo das funções oxigenadas, 124
Leitura – Perfumes e flavorizantes, 125 **Questões sobre a leitura**, 127

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO 4 Funções orgânicas nitrogenadas, 128

DELFIM MARTINS/PULSAR IMAGENS

1. Introdução, 130

2. Aminas, 130
2.1. Definição, 130
2.2. Nomenclatura das aminas, 131
2.3. A presença das aminas em nossa vida, 132
Questões, 135 **Pesquisa**, 135
Exercícios básicos, 135 **Exercícios complementares**, 136

3. Amidas, 137
3.1. Definição, 137
3.2. Nomenclatura das amidas, 137
3.3. A presença das amidas em nossa vida, 138
Questões, 140
Exercícios básicos, 140 **Exercícios complementares**, 141

4. Nitrilas, 142
4.1. Definição, 142

5. Nitrocompostos, 142
5.1. Definição, 142

6. Resumo das funções nitrogenadas, 143
Questões, 143
Exercícios básicos, 143
Leitura – Explosivos, 144 **Questões sobre a leitura**, 147

CAPÍTULO 5 Outras funções orgânicas, 148

ADEMIR ALMEIDA/DIÁRIO MS/ AGÊNCIA ESTADO

1. Introdução, 150

2. Compostos sulfurados, 150
2.1. Os compostos sulfurados em nossa vida, 152
2.2. Resumo das funções orgânicas sulfuradas, 153
Questões, 153 **Exercícios básicos**, 153

3. Haletos orgânicos, 154
3.1. Introdução, 154
3.2. Nomenclatura dos haletos, 155
3.3. A presença de haletos em nossa vida, 156
Questões, 156 **Pesquisa**, 157
Exercícios básicos, 157 **Exercícios complementares**, 158
4. Compostos heterocíclicos, 159
5. Compostos organometálicos, 159
6. Compostos com funções múltiplas, 160
Questões, 161 **Exercícios básicos**, 161
7. Compostos com funções mistas, 162
8. Esquema geral da nomenclatura orgânica, 163
Questões, 164 **Exercícios básicos**, 164
9. Séries orgânicas, 164
9.1. Série homóloga, 164
9.2. Série isóloga, 165
9.3. Série heteróloga, 166
Questões, 166 **Exercícios básicos**, 166
Leitura – DDT – herói ou vilão?, 167 **Questões sobre a leitura**, 169

CAPÍTULO 6

Estrutura e propriedades físicas dos compostos orgânicos, 170

FERNANDO FAVORETTO/CRIAR IMAGEM

1. Estrutura das moléculas orgânicas, 172
1.1. Introdução, 172
1.2. A geometria molecular, 173
Questões, 174 **Pesquisa**, 174
Exercícios básicos, 175
1.3. Polaridade das ligações covalentes, 175
1.4. Polaridade das moléculas, 176
1.5. Forças ou ligações intermoleculares, 177
Questões, 178 **Exercícios básicos**, 178
2. Estrutura da ligação simples C — C, 179
Questões, 179
3. Estrutura da ligação dupla C ═ C, 180
4. Estrutura dos dienos, 181
Questões, 181 **Exercícios básicos**, 182
5. Estrutura da ligação tripla C ≡ C, 182
Questões, 182
Exercícios básicos, 183
6. Estrutura dos compostos cíclicos saturados, 183
7. Estrutura do anel benzênico, 184
Questões, 186
Exercícios básicos, 186
8. Ponto de fusão, ponto de ebulição e estado físico dos compostos orgânicos, 187
8.1. Os pontos de fusão e de ebulição dos compostos apolares, 187
8.2. Os pontos de fusão e de ebulição dos compostos polares, 188
8.3. Os pontos de fusão e de ebulição dos compostos com ligações de hidrogênio, 189
Questões, 190
Exercícios básicos, 190 **Exercícios complementares**, 191

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

9. Solubilidade dos compostos orgânicos, 192
10. Densidade dos compostos orgânicos, 194
Questões, 196 **Atividade prática**, 196
Exercícios básicos, 197 **Exercícios complementares**, 198
Leitura – A arquitetura da natureza e a arquitetura das moléculas, 199
Questões sobre a leitura, 201

CAPÍTULO 7 Isomeria em Química orgânica, 202

EDUARDO SANTALIESTRA/CID

Introdução, 204
1ª parte: Isomeria plana (ou constitucional), 205
1. Isomeria de cadeia (ou de núcleo), 205
2. Isomeria de posição, 206
3. Isomeria de compensação (ou metameria), 206
4. Isomeria de função (ou funcional), 207
4.1. Tautomeria, 207
Questões, 208
Exercícios básicos, 208 **Exercícios complementares**, 210
2ª parte: Isomeria espacial (estereoquímica), 211
1. Isomeria cis-trans (ou geométrica), 211
1.1. Isomeria cis-trans em compostos com duplas ligações, 212
1.2. Isomeria cis-trans em compostos cíclicos, 213
Questões, 214
Exercícios básicos, 214 **Exercícios complementares**, 215
2. Isomeria óptica, 216
2.1. Introdução, 216
2.2. Isomeria óptica com carbono assimétrico (ou carbono quiral), 220
2.3. Isomeria óptica sem carbono assimétrico, 222
2.4. A preparação e a separação de compostos opticamente ativos, 224
Questões, 225 **Pesquisa**, 226
Atividade prática, 226
Exercícios básicos, 227 **Exercícios complementares**, 228
Leitura – A natureza é quiral, 230 **Questões sobre a leitura**, 231

CAPÍTULO 8 Reações de substituição, 232

JOHN HESELTINE/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

1. Introdução, 234
2. A reatividade dos compostos orgânicos, 234
3. Conceito geral de reações de substituição, 236
4. Reações de substituição nos alcanos, 236
Questões, 237 **Pesquisa**, 238
Exercícios básicos, 238
5. Reações de substituição nos hidrocarbonetos aromáticos, 238
5.1. As substituições aromáticas mais importantes, 238
5.2. Influência de um grupo dirigente (*G*) já presente no anel, 240

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

5.3. Reações em cadeias laterais, 241
5.4. Reações em outros hidrocarbonetos aromáticos, 241
Questões, 242
Exercícios básicos, 242 **Exercícios complementares**, 245
6. Reações de substituição nos haletos orgânicos, 246
Questão, 247 **Exercícios básicos**, 247
Leitura – Uma síntese de sucesso – o ácido acetilsalicílico, 248
Questões sobre a leitura, 249

CAPÍTULO 9 Reações de adição, 250

CC STUDIO/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

1. Introdução, 252
2. Adições à ligação dupla C = C, 252
2.1. Adições mais comuns, 252
2.2. A adição em alcenos superiores, 253
2.3. As adições ao núcleo benzênico, 254
Questões, 255 **Pesquisa**, 255
Exercícios básicos, 256 **Exercícios complementares**, 257
3. Adições a ligações duplas conjugadas, 257
4. Adições à ligação tripla C ≡ C, 258
4.1. Adições mais comuns, 258
5. Reações dos ciclanos – adição ou substituição?, 260
Questões, 261
Exercícios básicos, 262 **Exercícios complementares**, 263
6. Adições à carbonila C = O , 263
Questões, 266 **Exercícios básicos**, 266
Leitura – O uso prático das reações de adição, 267
Questões sobre a leitura, 267

CAPÍTULO 10 Reações de eliminação, 268

CARLOS LUVIZARI/CID

1. Introdução, 270
2. Eliminação de átomos ou grupos vizinhos, 270
3. Eliminações múltiplas, 273
4. Eliminação de átomos ou grupos afastados, 274
Questões, 274
Exercícios básicos, 274 **Exercícios complementares**, 276
Leitura – A tragédia de Minamata, 277 **Questões sobre a leitura**, 277

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO 11 O caráter ácido-básico na Química orgânica, 278

EDUARDO SANTALIESTRA/CID

1. Introdução, 280

2. Ácidos e bases de Arrhenius, 280

3. Ácidos e bases de Brönsted-Lowry, 281
Questões, 283 **Exercícios básicos**, 283

4. O caráter ácido na Química orgânica, 284
4.1. Ácidos carboxílicos, 284
4.2. O caráter ácido dos fenóis, 287
4.3. O caráter ácido dos álcoois, 288
4.4. O caráter ácido dos alcinos, 288
4.5 Reatividade dos "sais" orgânicos, 290
Questões, 290 **Pesquisa**, 291
Atividade prática, 291
Exercícios básicos, 292 **Exercícios complementares**, 294

5. O caráter básico na Química orgânica, 296
5.1. O caráter básico das aminas, 296
5.2. Reações de substituição do grupo OH, 297
Questões, 299
Exercícios básicos, 299 **Exercícios complementares**, 300

6. Ácidos e bases de Lewis, 301
Questões, 304 **Exercícios básicos**, 304
Leitura – Os doze princípios da Química Verde, 305
Questões sobre a leitura, 305

CAPÍTULO 12 A oxirredução na Química orgânica, 306

IAN PILBEAM/ALAMY/OTHER IMAGES

1. Introdução, 308
Questões, 311 **Pesquisa**, 311
Exercícios básicos, 311 **Exercícios complementares**, 312

2. Oxirredução em ligações duplas, 312
2.1. Oxidação branda, 312
2.2. Oxidação enérgica, 313
2.3. Oxidação pelo ozônio seguida de redução (ozonólise), 313
Questões, 314
Exercícios básicos, 314 **Exercícios complementares**, 315

3. Oxirredução em ligações triplas, 316
3.1. Oxidação branda, 316
3.2. Oxidação enérgica, 316

4. Oxidação dos ciclanos, 316

5. Oxidação dos hidrocarbonetos aromáticos, 317
Questões, 317 **Exercícios básicos,** 317

6. Oxirredução dos álcoois, 318

7. Oxirredução dos fenóis, 319

8. Oxidação dos éteres, 320
Questões, 320 **Atividade prática**, 320
Exercícios básicos, 321 **Exercícios complementares**, 322

9. Oxirredução dos aldeídos e das cetonas, 323
9.1. Reações de oxidação, 323
9.2. Reações de redução, 324

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

10. Oxirredução dos ácidos carboxílicos, 324
Questões, 325 **Atividade prática**, 325
Exercícios básicos, 326 **Exercícios complementares**, 326
11. Oxirredução dos compostos nitrogenados, 327
12. Oxidação extrema – combustão, 328
Questões, 329
Exercícios básicos, 329 **Exercícios complementares**, 330
Leitura – Oxigênio: amigo ou inimigo?, 331
Questões sobre a leitura, 331

CAPÍTULO 13 Outras reações na Química orgânica, 332

VIKTOR TOLOCHKO/ITAR-TASSS/NEWSCOM/LATINSTOCK

1. Introdução, 334
2. Esterificação e hidrólise de ésteres, 334
2.1. As reações de esterificação, 334
2.2. As reações de hidrólise dos ésteres, 335
2.3. Outras reações dos ésteres, 335
Questões, 336
Pesquisa, 336 **Atividade prática**, 336
Exercícios básicos, 337 **Exercícios complementares**, 339
3. Diminuição e aumento da cadeia carbônica, 340
Questões, 343
Exercícios básicos, 343 **Exercícios complementares**, 343
4. Reações dos compostos de Grignard, 344
5. Alquilação da amônia, 345
Questões, 346
Exercícios básicos, 346
Leitura – Esses auxiliares milagrosos – os catalisadores, 347
Questões sobre a leitura, 347

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO 14 Glicídios (açúcares – carboidratos), 348

MIGUEL TRES LÓPEZ/AGE-AGB

1. Introdução, 350
2. Conceitos gerais, 350
3. Definição de glicídios, 351
4. Classificação dos glicídios, 351
5. Estrutura das oses, 352
6. Reações dos glicídios, 353
Questões, 354
Pesquisa, 354 **Atividade prática**, 354
Exercícios básicos, 355 **Exercícios complementares**, 355
7. Monossacarídios, 356
7.1. Glicose, glucose, dextrose ou açúcar de uva, 356
7.2. Frutose ou levulose, 357
8. Dissacarídios, 357
8.1. Sacarose, açúcar de cana ou açúcar comum, 357
8.2. Lactose ou açúcar do leite, 358

9. Polissacarídios, 359
9.1. Celulose, 359
9.2. Amido, 360
9.3. Glicogênio, 360
10. Ácidos nucleicos, 361
Questões, 362 **Atividade prática**, 363
Exercícios básicos, 363 **Exercícios complementares**, 365
Leitura – Engenharia Genética, 366 **Questões sobre a leitura**, 367

CAPÍTULO 15 Lipídios (óleos – gorduras), 368

MAXIMILIAN STOCK LTD/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

1. Introdução, 370
2. Glicerídios, 371
Questões, 374
Exercícios básicos, 374 **Exercícios complementares**, 375
3. Reações dos glicerídios, 376
3.1. Hidrogenação (fabricação das margarinas), 376
3.2. Hidrólise/Saponificação, 377
3.3. Oxidação/Rancificação, 377
3.4. Aquecimento, 377
4. Cerídios, 379
Questões, 379 **Pesquisa**, 380
Exercícios básicos, 380 **Exercícios complementares**, 381
5. Química da limpeza: sabões e detergentes, 382
5.1. Fabricação dos sabões, 382
5.2. Como o sabão limpa?, 383
5.3. Quando o sabão falha?, 384
5.4. A vez dos detergentes, 384
5.5. Os problemas ambientais, 386
Questões, 387 **Atividade prática**, 387
Exercícios básicos, 388 **Exercícios complementares**, 390
Leitura – A Química da beleza, 391 **Questões sobre a leitura**, 391

CAPÍTULO 16 Aminoácidos e proteínas, 392

ALFRED PASIEKA/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

1. Introdução, 394
2. Conceito de aminoácido, 394
3. Classificações dos aminoácidos, 395
3.1. De acordo com o número de grupos — NH_2 e — COOH, 395
3.2. De acordo com a cadeia carbônica, 395
3.3. De acordo com a síntese pelo organismo/aminoácidos essenciais, 395
4. Reações dos aminoácidos, 396
4.1. Caráter ácido-básico, 396
4.2. Reações gerais, 397
4.3. Ligação peptídica, 397
Questões, 397 **Pesquisa**, 397
Exercícios básicos, 398 **Exercícios complementares**, 399
5. Conceito de proteína, 400
6. Classificações das proteínas, 401
6.1. De acordo com a composição da proteína, 401
6.2. De acordo com a função da proteína no organismo, 402

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

7. Estrutura das proteínas, 402
7.1. Estrutura primária, 402
7.2. Estrutura secundária, 403
7.3. Estrutura terciária, 403
7.4. Estrutura quaternária, 403
7.5. Desnaturação de proteínas, 404
8. Hidrólise das proteínas, 405
9. Enzimas, 405
10. Alimentação humana, 406
Questões, 407 **Atividade prática**, 407
Exercícios básicos, 408 **Exercícios complementares**, 409
Leitura – A fome e o desperdício de alimentos, 411
Questões sobre a leitura, 411

CAPÍTULO 17 Polímeros sintéticos, 412

FERNANDO FAVORETTO/CRIAR IMAGEM

1. Introdução, 414
2. Polímeros de adição, 416
2.1. Polímeros vinílicos, 416
2.2. Polímeros acrílicos, 417
2.3. Polímeros diênicos, 418
3. Copolímeros, 419
4. Polímeros de condensação, 420
5. Estrutura dos polímeros, 423
5.1. Polímeros lineares, 423
5.2. Polímeros tridimensionais, 424
Questões, 426 **Atividade prática**, 426
Exercícios básicos, 427 **Exercícios complementares**, 429
6. Os polímeros sintéticos e o cotidiano, 431
6.1. Plásticos, 431
6.2. Tecidos, 432
6.3. Elastômeros, 433
6.4. Silicones, 435
6.5. Compósitos, 437
6.6. Plásticos condutores, 438
Questões, 439
Exercícios básicos, 439 **Exercícios complementares**, 440
Leitura – Plásticos – reciclagem trabalhosa, 442
Questões sobre a leitura, 444

Respostas, 445
Lista de siglas, 459
Índice remissivo, 463
Referências dos infográficos, 469
Sugestões de leitura para os alunos, 473
Museus brasileiros ligados à Ciência, 476
Elementos químicos, 477
Bibliografia, 479

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ÍNDICE DAS ATIVIDADES PRÁTICAS

Demonstrando a presença de carbono em compostos orgânicos (capítulo 1), 25

O funcionamento de um bico de Bunsen (capítulo 2), 62

Teor de álcool na gasolina (capítulo 3), 97

Ação da água sobre embalagens (capítulo 6), 196

A isomeria óptica (capítulo 7), 226

A cor dos vegetais (capítulo 11), 291

Preparação de vinagre (capítulo 12), 320

Produção de acetona (capítulo 12), 325

Esterificação de Fischer (capítulo 13), 336

Análise de açúcares (capítulo 14), 354

Identificação do amido (capítulo 14), 363

Fabricando sabão (capítulo 15), 387

Ação enzimática (capítulo 16), 407

Preparação da cola de caseína (capítulo 17), 426

ÍNDICE DAS BIOGRAFIAS

Jöns Jakob Berzelius (capítulo 1), 20

Friedrich Wöhler (capítulo 1), 20

Friedrich August Kekulé von Stradonitz (capítulo 2), 77

Svante August Arrhenius (capítulo 11), 280

Johannes Nicolaus Brönsted (capítulo 11), 281

Thomas Martin Lowry (capítulo 11), 281

Gilbert Newton Lewis (capítulo 11), 303

Emil Hermann Fischer (capítulo 14), 353

Frederick Sanger (capítulo 16), 404

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO

1 Introdução à Química orgânica

A Química orgânica é a Química do carbono. A Química do carbono é a Química da vida. O carbono, o hidrogênio e o oxigênio são os elementos mais presentes nos compostos orgânicos.

TÓPICOS DO CAPÍTULO

1 A PRESENÇA DA QUÍMICA ORGÂNICA EM NOSSA VIDA

2 O NASCIMENTO DA QUÍMICA ORGÂNICA

3 A EVOLUÇÃO DA QUÍMICA ORGÂNICA

4 A QUÍMICA ORGÂNICA NOS DIAS ATUAIS

5 ALGUMAS IDEIAS SOBRE A ANÁLISE ORGÂNICA

6 CARACTERÍSTICAS DO ÁTOMO DE CARBONO

7 CLASSIFICAÇÃO DOS ÁTOMOS DE CARBONO EM UMA CADEIA

8 TIPOS DE CADEIA ORGÂNICA

9 FÓRMULA ESTRUTURAL

LEITURA: *PRODUTOS ORGÂNICOS?*

ILUSTRAÇÕES: ALEXANDRE JUBRAN

Poeira das estrelas

A curiosidade humana não tem limites. Até o momento, todos os estudos, observações e análises comprovam que o Universo é composto pelos mesmos elementos químicos já conhecidos, organizados na Tabela Periódica.

Fonte de carbono
Telescópios, radiotelescópios e sofisticados aparelhos de análise demonstram que os corpos estelares contêm os elementos encontrados na Terra, entre eles o **carbono**.

Origem da vida?
Vários compostos orgânicos já foram encontrados em meteoritos. Muitos cientistas acreditam que compostos trazidos por meteoros e cometas tenham sido matéria-prima essencial para o surgimento da vida.

Evidências meteóricas
Meteoros contendo ferro, níquel, oxigênio, carbono etc. são evidências claras da existência desses elementos fora da Terra.

Berçário cósmico

A poeira cósmica se aglutina por gravidade, formando nuvens estelares. Daí nascem novas estrelas e novos sistemas solares.

Stardust

Analisando poeira recolhida da cauda do cometa Wild 2 pela nave Stardust, cientistas encontraram compostos de carbono contendo hidrogênio.

De olho no espaço

Com equipamentos como o telescópio espacial Hubble, o Laboratório de Astroquímica da NASA evidenciou haver no espaço moléculas de água e compostos de carbono.

A Química do carbono

Com o **carbono** e outros dois elementos, o hidrogênio e o oxigênio, podemos formar diversas substâncias já conhecidas, como C (carvão, grafite ou diamante), H_2, O_2, O_3, H_2O, H_2O_2, CO, CO_2 ou H_2CO_3, vistas na Química inorgânica.

Na **Química orgânica**, tendo o **carbono** como elemento central e combinado **somente** com os mesmos H e O, podemos formar **milhares de substâncias** diferentes, entre elas:

- do petróleo: o gás de cozinha, a gasolina, o *diesel*, o querosene, o éter, a acetona, a glicerina;
- da cana-de-açúcar: o álcool combustível (etanol);
- na Química dos seres vivos: o açúcar e os carboidratos (presentes no pão, mel, frutas e batatas, entre outros), o vinagre e o colesterol, dentre outras milhares de substâncias orgânicas.

Tudo isso apenas com o C, o H e o O. Imagine se somarmos outros elementos a este grupo de átomos.

ILUSTRAÇÕES: ALEXANDRE JUBRAN

REFLETINDO

Pense nas ligações químicas do carbono e explique como é possível formar milhares de substâncias orgânicas somente com carbono, hidrogênio e oxigênio.

(As imagens do infográfico não estão em proporção real.)

1 A presença da Química orgânica em nossa vida

Neste primeiro capítulo, vamos apresentar a **Química orgânica**, que é a Química dos compostos do carbono. Os **compostos do carbono**, ou compostos orgânicos, representam cerca de 90% de todos os compostos atualmente conhecidos. Eles não são apenas componentes fundamentais dos seres vivos como também participam ativamente do cotidiano da vida humana. De fato, estão presentes em nossos alimentos, vestuários, residências, combustíveis, plásticos etc.

Neste capítulo, daremos uma ideia da evolução histórica da Química orgânica e veremos as características especiais do átomo de carbono, que o tornam versátil a ponto de conseguir formar **milhões de compostos orgânicos** que conhecemos hoje. Trataremos, também, de forma breve, da complexidade das moléculas orgânicas, mesmo as mais comuns em nosso dia a dia.

Boa parte dos compostos químicos que hoje são estudados pela Química orgânica sempre estiveram presentes na história da humanidade: a queima da madeira (combustão orgânica) já era feita pelo homem pré-histórico; na Antiguidade, a humanidade já produzia bebidas alcoólicas, vinagre, corantes etc.; os alquimistas do século XVI, procurando o "elixir da longa vida", obtiveram muitos extratos vegetais – a partir dessa época, as técnicas de "extrair", isto é, "retirar compostos já prontos" de vegetais e de animais, foram sendo aperfeiçoadas.

Nos dias atuais, esses compostos continuam sendo muito comuns e importantes em nossas vidas. Por exemplo, o **álcool comum** (C_2H_6O) existe em bebidas e é muito usado na indústria e como combustível para automóveis; o **vinagre** (que contém ácido acético, $C_2H_4O_2$) é um tempero habitual em nossas refeições; o **éter** ($C_4H_{10}O$) é muito usado em farmácias e hospitais; o **açúcar comum** ($C_{12}H_{22}O_{11}$) é um alimento importante; a **gasolina** (que é uma mistura de substâncias formadas por carbono e hidrogênio) é um dos combustíveis de maior uso no mundo atual; e assim por diante. Com fórmulas mais complexas, poderíamos citar as **proteínas**, as **vitaminas**, os **hormônios**, os **medicamentos** etc.

RICARDO AZOURY/PULSAR IMAGENS

O álcool comum é muito usado em bebidas, como solvente industrial e combustível para automóveis.

SUBIROS/PHOTOCUISINE/OTHER IMAGES

O vinagre, utilizado no tempero dos alimentos, é uma solução que contém ácido acético.

PROFIMEDIA INTERNACIONAL/ALAMY/OTHER IMAGES

O açúcar comum é de grande importância na alimentação humana.

Além dos que já citamos, novos compostos têm sido criados, quase que diariamente, por meio do intenso trabalho de pesquisa que hoje se desenvolve na área da Química orgânica. Tais compostos estão presentes em plásticos, tecidos, medicamentos, detergentes, corantes etc., proporcionando a todos nós mais conforto, mais saúde e diversos outros benefícios.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A origem da vida

Na verdade, as substâncias ditas orgânicas são muito anteriores à presença do ser humano na Terra. Acredita-se que as moléculas orgânicas primitivas, formadas há cerca de 3,5 bilhões de anos, deram origem aos primeiros seres unicelulares na Terra. Uma das teorias que se baseiam nessa ideia é a de Stanley Miller (1930-2007), cientista que efetuou o experimento relatado abaixo:

Stanley Miller, fotografado em 1994 ao lado do aparelho em que foram simuladas as condições atmosféricas supostamente predominantes na Terra primitiva.

Depois de manter o aparelho em funcionamento por alguns dias, Miller verificou que a água acumulada na base do aparelho continha moléculas orgânicas semelhantes às das proteínas dos seres vivos atuais.

Além de sua importância na origem da vida, os compostos orgânicos constituem, até hoje, a parte fundamental de todo o **ciclo da vida** existente na Terra. De um modo bastante resumido, podemos dizer que:

nos vegetais $\left\{ CO_2 \text{ (do ar)} + H_2O \text{ (do solo)} + \left[\begin{array}{c}\textbf{Energia}\\ \textbf{solar}\end{array}\right] \longrightarrow \left[\begin{array}{c}\textbf{Compostos}\\ \textbf{orgânicos}\end{array}\right] + O_2 \left[\begin{array}{c}\text{que volta}\\ \text{ao ar}\end{array}\right] \right.$

nos animais $\left\{ \left[\begin{array}{c}\textbf{Compostos}\\ \textbf{orgânicos}\end{array}\right] + O_2 \left[\begin{array}{c}\text{do ar}\\ \text{inspirado}\end{array}\right] \longrightarrow CO_2 + H_2O \left[\begin{array}{c}\text{ambos}\\ \text{eliminados}\end{array}\right] + \left[\begin{array}{c}\textbf{Energia que}\\ \textbf{mantém a vida}\end{array}\right] \right.$

Por fim, é muito importante notar que, nas equações acima, aparecem **matéria** e **energia** – que, como sabemos, representam o objeto fundamental de estudo da Química.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

2 O nascimento da Química orgânica

No século XVIII, Carl Wilhelm Scheele (1742-1786) conseguiu isolar ácido tartárico ($C_4H_6O_6$) da uva, ácido cítrico ($C_6H_8O_7$) do limão, ácido lático ($C_3H_6O_3$) do leite, glicerina ($C_3H_8O_3$) da gordura, ureia (CH_4N_2O) da urina etc.

Foi por esse motivo que Torbern Olof Bergman (1735-1784) definiu, em 1777, a **Química orgânica** como a Química dos compostos existentes nos **organismos vivos**, vegetais e animais, enquanto a **Química inorgânica** seria a Química dos compostos existentes no **reino mineral**.

Nessa mesma época, Antoine Laurent de Lavoisier (1743-1794) conseguiu analisar vários compostos orgânicos e constatou que **todos continham o elemento químico carbono**.

Em 1807, Jöns Jakob Berzelius lançou a ideia de que somente os seres vivos possuiriam uma **"força vital"** capaz de produzir os compostos orgânicos; em outras palavras, criava-se a ideia de que as substâncias orgânicas jamais poderiam ser **sintetizadas**, isto é, preparadas artificialmente – quer em um laboratório, quer em uma indústria.

Em 1828, porém, Friedrich Wöhler efetuou a seguinte reação:

$$\underbrace{NH_4OCN}_{\text{Cianato de amônio}} \xrightarrow{\text{Calor}} \underbrace{O{=}C\begin{matrix}NH_2\\NH_2\end{matrix}}_{\text{Ureia}}$$

Desse modo, a partir de um composto mineral (cianato de amônio), Wöhler chegou a um composto orgânico (a ureia, que existe na urina dos animais); começava assim a **queda da Teoria da Força Vital**.

Nos anos que se seguiram à síntese de Wöhler, muitas outras substâncias orgânicas foram sintetizadas (acetileno, metanol etc.). Em 1845, Adolphe Wilhelm Hermann Kolbe (1818-1884) conseguiu realizar a primeira síntese de um composto orgânico (o ácido acético) a partir de seus elementos. Desse modo, desde a metade do século XIX, os químicos passaram a acreditar na possibilidade de síntese de qualquer substância química. Abandonou-se, definitivamente, a ideia de que os compostos orgânicos deveriam sempre se originar do reino das plantas ou do reino animal. Em consequência, Friedrich August Kekulé (1829-1896) propôs, em 1858, o conceito, que hoje usamos, segundo o qual **Química orgânica é a Química dos compostos do carbono**.

> **Química orgânica** é a parte da Química que estuda os compostos do carbono.

A **Química inorgânica** (ou **mineral**), por sua vez, é a parte da Química que estuda os **compostos que não têm carbono**, isto é, os **compostos de todos os demais elementos químicos**. Apesar disso, o número de compostos "inorgânicos" conhecidos é muito menor que o de compostos "orgânicos".

> **Uma só Química:** essa divisão da Química em orgânica e inorgânica é apenas **didática**, pois as leis que explicam o comportamento dos compostos orgânicos são as mesmas que explicam o dos inorgânicos.

Jöns Jakob Berzelius

Químico sueco, nasceu em 1779 e faleceu em 1848. Berzelius é considerado um dos fundadores da Química moderna, pois, como experimentador hábil, teórico perspicaz e pedagogo dedicado, foi bastante influente em sua época. Entre 1830 e 1840, trabalhou na criação dos símbolos dos elementos químicos, que são usados até hoje. Defendeu a Teoria da Força Vital, derrubada mais tarde por comprovação experimental.

Berzelius. (Gravura de F. Bolt, século XIX. Coleção Archiv F. Kunst & Geschichte, Berlim, Alemanha.)

Friedrich Wöhler

Químico alemão, nasceu em 1800 e faleceu em 1882. Estudou com Berzelius, de quem se tornou grande amigo. A síntese da ureia, a partir do cianato de amônio, imortalizou Wöhler e foi o ponto de partida para a derrubada da Teoria da Força Vital, defendida por Berzelius.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Além disso, existem substâncias, como, por exemplo, CO, CO_2, H_2CO_3 e carbonatos, HCN e cianetos etc., que são consideradas **compostos de transição**, pois **possuem carbono**, mas têm propriedades mais próximas às dos **compostos inorgânicos**.

É relevante notar que o século XIX foi muito importante para o desenvolvimento da Química. De fato, a união dos trabalhos de laboratório com as ideias teóricas a respeito da constituição da matéria conseguiu tirar a Química de uma situação de empirismo (isto é, sem princípios racionais) e levá-la para uma posição mais racional, com metodologias bem definidas de trabalho.

3 A evolução da Química orgânica

3.1. Histórico

Devemos lembrar que, no século XVIII, começou na Inglaterra a **Revolução Industrial**. Como decorrência, apareceram, no século XIX, novos tipos de atividade humana, que passaram a exigir conhecimentos químicos. O uso crescente de máquinas exigiu a produção de mais ferro e aço, para a qual os fornos siderúrgicos exigiam quantidades crescentes de carvão. Apelou-se, então, para o carvão mineral, que era transformado em carvão coque. Dessa transformação, surgiram novos compostos químicos, como os corantes necessários à produção sempre crescente das fábricas de tecidos.

WALKER ART GALLERY/THE BRIDGEMAN ART LIBRARY/GETTY IMAGES

A pit head. Primeira máquina a vapor utilizada em mina de carvão. (Óleo sobre tela, de cerca de 1775-1825. Museu Nacional de Liverpool, Inglaterra.)

As sínteses orgânicas também aumentaram vertiginosamente na segunda metade do século XIX. Em 1856, o químico inglês William Perkin (1838-1907) preparou o **primeiro corante sintético** – a mauveína. Com os corantes e perfumes que criou, Perkin enriqueceu e serviu como exemplo para o desenvolvimento da indústria química na Inglaterra. Na Alemanha, August Wilhelm von Hofmann (1818-1892), que havia sido professor de Perkin, também descobriu vários corantes: a magenta (1858), a alizarina (1869) e o índigo (1880). Esses corantes não só serviram para a indústria têxtil e para o desenvolvimento da Biologia (com a coloração e o estudo dos micro-organismos ao microscópio), como também possibilitaram o grande desenvolvimento da indústria química alemã no final do século XIX.

A Revolução Industrial então em curso incluiu a construção de estradas de ferro, que, com seus aterros e túneis, provocaram um rápido desenvolvimento das indústrias de **explosivos**. É importante notar que, na segunda metade do século XIX, além do grande desenvolvimento da **Química de laboratório**, consolidou-se também uma **Química aplicada**, dirigida para os processos industriais.

PETER NEWARK AMERICAN PICTURES/ THE BRIDGEMAN ART LIBRARY/KEYSTONE

Operários na construção de estrada de ferro nos Estados Unidos, em 1886. (Coleção particular.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A partir dessa época, começou a aprofundar-se o casamento entre a **ciência** e a **tecnologia**. Tornava-se cada vez mais claro que, para as **atividades práticas** da Química, eram necessários **conhecimentos teóricos** e vice-versa. Em 1897, já havia na Alemanha 4.000 químicos trabalhando nas indústrias.

Na primeira metade do século XX, assistiu-se ao grande desenvolvimento da indústria química orgânica nos Estados Unidos, com a descoberta, por exemplo, de diversos plásticos, como o raiom, o náilon, o teflão, o poliéster etc. O século XX marcou também a substituição do **carvão** pelo **petróleo** como principal fonte de matéria-prima para a indústria química orgânica. Com isso, surgiu uma gigantesca **indústria petroquímica**, tendo os materiais plásticos como produto principal.

3.2. Síntese e análise na Química orgânica

Na evolução da Química orgânica, é essencial destacar a presença do binômio **síntese-análise**. O que são, porém, **sínteses** e **análises** orgânicas? Vejamos, como exemplo, o caso do álcool comum:

- **sínteses** do álcool comum são os processos e as reações que permitem produzi-lo (evidentemente, são preferidos os processos de execução mais simples, que produzam o álcool de forma econômica, com bom rendimento e bom grau de pureza);
- **análises** do álcool comum são os processos e as reações que permitem concluir que essa substância é formada por **C**, **H** e **O**, ligados na proporção C_2H_6O e com a seguinte estrutura ("arrumação" dos átomos):

```
                H   H
                |   |
H — C — C — OH
                |   |
                H   H
```

Resumindo, podemos dizer, em termos simples, que:

> **Sínteses** são os processos e as reações que permitem **produzir** determinada substância (partindo-se, em geral, de substâncias mais simples).

> **Análises** são os processos e as reações que permitem **determinar** a estrutura da molécula de uma substância (de que maneira os átomos estão "arrumados" no interior da molécula considerada) e **diferenciá-la** de outras substâncias, no caso de uma mistura.

É interessante lembrar, por exemplo, que muitos medicamentos modernos foram obtidos por "imitação" de substâncias extraídas de plantas medicinais (algumas já conhecidas há muito pelos povos antigos). E como isso é feito? Em linhas bastante gerais, aproveita-se o binômio **síntese-análise** da seguinte maneira: extrai-se, da planta, a substância de efeito curativo; faz-se a **análise** dessa substância para determinar a estrutura de sua molécula (isto é, a "arrumação" dos átomos no interior dessa molécula); a seguir, efetua-se a **síntese** da substância em laboratório (e depois na indústria farmacêutica). O fato mais importante, nesse processo, é que se podem **introduzir variações** na molécula da substância (isto é, acrescentar ou retirar átomos, ou apenas alterar a estrutura dessa molécula), de modo a obter medicamentos mais eficazes e com menos efeitos colaterais. Nesse procedimento, as indústrias farmacêuticas investem bilhões de dólares anualmente.

PETER MENZEL/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

Farmacêutico realizando pesquisa com plantas por meio de um espectrômetro de ressonância nuclear magnética, que possibilita a identificação de moléculas. (Califórnia, EUA, 1998.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

4 A Química orgânica nos dias atuais

Atualmente, a humanidade dispõe de:

- **compostos orgânicos naturais**, cujas fontes principais são o petróleo, o carvão mineral, o gás natural, os produtos agrícolas, os de origem animal etc.;
- **compostos orgânicos sintéticos**, produzidos artificialmente pelas indústrias químicas, que fabricam desde plásticos e fibras têxteis até medicamentos, corantes, inseticidas etc.

HENRY WESTHEIM PHOTOGRAPHY/ALAMY/OTHER IMAGES

As fibras sintéticas estão em tecidos, forrações, tapetes etc.

SUPERCLIC/ALAMY/OTHER IMAGES

Os medicamentos contêm grande variedade de compostos orgânicos.

R-P/KINO

O politetrafluoretileno, resistente ao calor, é usado em panelas, frigideiras, ferros de passar roupa e em outros utensílios domésticos.

Todo esse desenvolvimento é possível porque existem, em grandes universidades e em grandes indústrias, equipes de químicos (e outros cientistas) que trabalham em conjunto e se dedicam à **pesquisa** e ao **desenvolvimento** de novos processos e produtos químicos. As indústrias, em particular, investem grandes somas visando à descoberta de novos processos e produtos que possam, além de lhes retornar os investimentos, gerar lucros.

Desde fins do século XIX até hoje, a Química orgânica teve, sem dúvida, uma evolução muito grande. Isso pode ser comprovado, por exemplo, pelo número de compostos orgânicos conhecidos (quer extraídos da natureza, quer sintetizados):

- em 1880, eram conhecidos cerca de 12.000 compostos;
- em 1910, cerca de 150.000 compostos;
- em 1940, cerca de 500.000 compostos.

O Chemical Abstracts Service (CAS) da Sociedade de Química dos Estados Unidos tinha, em 16 de abril de 2010, o registro de mais de 61 milhões de compostos orgânicos e inorgânicos. Desse total, cerca de 80% são compostos orgânicos.

Com seu desenvolvimento, a Química orgânica acabou se subdividindo e dando origem a mais um ramo da Ciência – a **Bioquímica** –, que estuda as substâncias mais intimamente ligadas à vida dos vegetais e animais, como os alimentos, as vitaminas, os hormônios, os ácidos nucleicos (existentes no núcleo das células vivas) etc. Da Bioquímica, surgiram outros ramos da Ciência e da Tecnologia, como a **Biologia Molecular** e a **Biotecnologia**. Essas divisões e subdivisões que ocorrem na Ciência são decorrentes da evolução do conhecimento humano.

5 Algumas ideias sobre a análise orgânica

Os compostos orgânicos, sejam naturais, sejam sintéticos, apresentam-se em geral misturados com outros, orgânicos ou inorgânicos. O primeiro trabalho a ser efetuado no laboratório é separar uns dos outros, purificando-os o máximo possível. Isso é conseguido pelos processos mecânicos e físicos de separação, como destilação, cristalização etc. Esse trabalho é denominado **análise orgânica imediata**.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Em seguida, procuramos determinar **quais são os elementos químicos** e **quanto há de cada elemento** em um determinado composto orgânico que foi isolado. Isso é denominado **análise orgânica elementar** e subdivide-se em **análise elementar qualitativa** (quando se procura **identificar** os elementos químicos presentes no composto) e em **análise elementar quantitativa** (quando se procura **dosar** os elementos que foram identificados).

Em geral, a análise elementar costuma destruir o composto orgânico, transformando seus elementos em compostos inorgânicos ou minerais, que são de identificação e dosagem mais fáceis. Por isso, essa prática também é denominada **mineralização da substância orgânica**. Assim, por processos adequados:

- o **carbono** é transformado em CO_2;
- o **hidrogênio** é transformado em H_2O;
- o **nitrogênio** é transformado em N_2, NH_3 ou $(NH_4)_2SO_4$;
- os **halogênios** (Cℓ, Br, I), em haletos de prata (AgCℓ, AgBr, AgI);
- o **enxofre**, em sulfetos ou sulfatos; e assim por diante.

Com os resultados numéricos da análise elementar, podemos calcular a **composição centesimal** e a **fórmula mínima** do composto orgânico. Nesses cálculos, empregamos o **cálculo estequiométrico** e o **cálculo de fórmulas** e, às vezes, o **cálculo de volumetria**.

A sequência descrita acima pode ser considerada uma sequência clássica, usada desde os primórdios da análise orgânica. No século XX, porém, os processos de análise tiveram um grande avanço devido à introdução de novas tecnologias e aparelhos capazes de medir novas características físico-químicas das substâncias. Esses aparelhos estão sempre ligados a computadores, que interpretam os resultados obtidos e traçam um gráfico correspondente. Podemos citar, como exemplos dessas novas tecnologias, a espectroscopia de massa, a cromatografia gasosa e a espectroscopia no infravermelho.

Questões

Registre as respostas em seu caderno

a) Faça uma linha do tempo registrando a evolução da definição de Química orgânica.

b) Copie o fluxograma abaixo em seu caderno e complete os espaços hachurados.

Pesquisa

Registre as respostas em seu caderno

Que tipo de material, orgânico ou inorgânico, está mais presente em seu dia a dia? Você sabe qual é a origem dos materiais utilizados para confeccionar a sua escova de dente e a sua camisa?

Referências:

A Química na sua casa: <http://www.abiquim.org.br/casa/>.

A Química na sala de aula:

<http://www.abiquim.org.br/vceaquim/sala.html>.

De onde vem a Química? (origem das substâncias utilizadas para confeccionar materiais do dia a dia):

<http://www.abiquim.org.br/deondevemaquimica/dovq_vc.asp>.

Acesso em: abr. 2010.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Atividade prática

Registre as respostas em seu caderno

ATENÇÃO

Não cheire nem experimente substância alguma utilizada nesta atividade.
Este experimento deve ser realizado com a supervisão de um adulto, pois haverá a necessidade de manipular objetos quentes, podendo haver risco de queimaduras.
Indicamos que o reagente marcado com asterisco (*) seja preparado pelo professor em solução adequadamente diluída.

Demonstrando a presença de carbono em compostos orgânicos

Material

- 1 vela
- 1 pires branco
- fósforos
- 1 funil de vidro de haste longa seco
- $Ca(OH)_2$ (aq)*
- 1 conta-gotas
- 1 régua ou fita métrica

Procedimento

- Acenda a vela e coloque, a uma distância de três ou quatro centímetros acima da chama, um pires branco.
- Observe e anote suas conclusões em seu caderno.
- Ainda com a vela acesa, coloque, a uma distância de três ou quatro centímetros acima da chama, o funil de vidro de haste longa (com a haste virada para cima).
- Observe e anote em seu caderno o que ocorre nas paredes da haste do funil.
- Pegue o funil e pingue duas gotas de hidróxido de cálcio na parede de sua parte mais larga ("boca").
- Gire-o de maneira a homogeneizar bem a solução pela parede.
- Agora, coloque, a uma distância de três ou quatro centímetros acima da chama, o funil de vidro de haste longa (com a haste virada para cima).
- Observe e anote em seu caderno o que ocorre nas paredes da "boca" do funil.

Perguntas

a) O que ocorreu na superfície do pires branco que ficou próxima à chama?

b) O que ocorreu na haste do funil de vidro seco após certo tempo próxima à chama?

c) O que ocorreu na parede da parte mais larga do funil na qual foi gotejada solução de hidróxido de cálcio?

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

Nesta primeira série de exercícios, vamos recordar o cálculo da composição centesimal, da fórmula mínima e da fórmula molecular. Essa revisão será feita por meio de alguns exercícios resolvidos.

1. (UFG-GO) Miller realizou, em 1953, um experimento para testar a hipótese de Oparin, o qual afirmou ser possível o surgimento de moléculas orgânicas complexas a partir de moléculas simples, simulando as condições da Terra primitiva, conforme esquema ao lado.

Qual dos excertos, a seguir, está relacionado ao experimento de Miller?

a) Deus, quando quis fazer o homem, não foi buscar/ A argila de que o fez em um único lugar. (Raimundo Correia)
b) — Faça-me o obséquio de trazer reunidos/ Clorureto de sódio, água e albumina .../ Ah! Basta isto, porque isto é que origina/ A lágrima de todos os vencidos! (Augusto dos Anjos)
c) Numa dança de fogo, envolta em gazes/ A desagregação tremenda que espedaça/ A matéria em energias materiais! (Vinicius de Moraes)
d) O senhor Deus formou, pois, o homem do barro da terra e inspirou-lhe nas narinas um sopro de vida e o homem se tornou um ser vivente. (Gênesis: 2, 4-7)
e) Eu, filho do carbono e do amoníaco/ [...] Na frialdade inorgânica da terra! (Augusto dos Anjos)

ADILSON SECCO

2. (Cesgranrio-RJ) O inseticida paration tem a seguinte fórmula molecular: $C_{10}H_{14}O_5NSP$. Determine a alternativa que indica a massa de 1 mol desse inseticida.

a) 53 g
b) 106 g
c) 152 g
d) 260 g
e) 291 g

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exercício resolvido

3. (UMC-SP) O ciclamato de sódio, utilizado como adoçante, é um composto orgânico cuja fórmula molecular é $NaC_6H_6O_3NS$. Determinar a porcentagem em massa de Na e de O no referido composto, sendo dadas as massas atômicas dos elementos químicos: H = 1; C = 12; N = 14; O = 16; Na = 23; S = 32.

Resolução

Cálculo da massa molecular do $NaC_6H_6O_3NS$: $23 + 12 \cdot 6 + 1 \cdot 6 + 16 \cdot 3 + 14 + 32 \Rightarrow 195$ u.

Agora, fazemos o cálculo pedido, que é um cálculo matemático de porcentagens:

- Para o Na $\left\{ \begin{array}{ccc} 1 \text{ mol (ou 195 g)} & \text{———} & 23 \text{ g de Na} \\ 100 \text{ g} & \text{———} & x \text{ g de Na} \end{array} \right\}$ $x = 11{,}79$ g $\Rightarrow$ $\boxed{x = 11{,}79\% \text{ de Na}}$

- Para o O $\left\{ \begin{array}{ccc} 1 \text{ mol (ou 195 g)} & \text{———} & 48 \text{ g de O} \\ 100 \text{ g} & \text{———} & y \text{ g de O} \end{array} \right\}$ $y = 24{,}61$ g $\Rightarrow$ $\boxed{y = 24{,}61\% \text{ de O}}$

4. (Fatec-SP) Eugenol, o componente ativo do óleo do cravo-da-índia, tem massa molar 164 g/mol e fórmula empírica C_5H_6O. A porcentagem em massa de carbono no eugenol é, aproximadamente:

a) 10,0%.
b) 36,5%.
c) 60,0%.
d) 73,0%.
e) 86,0%.

Dados:
Massas molares (g/mol):
H 1
C 12
O 16

Exercício resolvido

5. 3,60 g de um composto encerram 1,44 g de carbono, 0,24 de hidrogênio e 1,92 g de oxigênio. Qual é a composição centesimal (ou fórmula percentual) desse composto?

Resolução

Este problema, na verdade, "não envolve" Química. É apenas um cálculo matemático de porcentagens:

- Para o carbono $\left\{ \begin{array}{ccc} 3{,}60 \text{ g do composto} & \text{———} & 1{,}44 \text{ g de C} \\ 100\% & \text{———} & x\% \text{ de C} \end{array} \right\}$ $\boxed{x = 40{,}00\% \text{ de C}}$

- Para o hidrogênio $\left\{ \begin{array}{ccc} 3{,}60 \text{ g do composto} & \text{———} & 0{,}24 \text{ g de H} \\ 100\% & \text{———} & y\% \text{ de H} \end{array} \right\}$ $\boxed{y = 6{,}66\% \text{ de H}}$

- Para o oxigênio $\left\{ \begin{array}{ccc} 3{,}60 \text{ g do composto} & \text{———} & 1{,}92 \text{ g de O} \\ 100\% & \text{———} & z\% \text{ de O} \end{array} \right\}$ $\boxed{z = 53{,}33\% \text{ de O}}$

Evidentemente, a soma das porcentagens de todos os elementos formadores de uma substância deve ser igual a 100%. Nesse caso, a soma nos dá 99,99% devido às aproximações feitas nos cálculos das porcentagens do hidrogênio e do oxigênio.

6. (UFSM-RS) Em 3,7 g do medicamento AZT, utilizado para o tratamento de pacientes com síndrome da imunodeficiência adquirida (aids), encontraram-se 1,84 g de C, 0,24 g de H, 0,98 g de O e 0,64 g de N. Qual a fórmula percentual desse medicamento?

a) C = 49,7%, H = 1,6%, O = 29,7%, N = 18,9%.
b) C = 24,9%, H = 3,2%, O = 53,0%, N = 18,9%.
c) C = 53,0%, H = 6,5%, O = 13,3%, N = 27,2%.
d) C = 24,9%, H = 1,6%, O = 56,1%, N = 17,3%.
e) C = 49,7%, H = 6,5%, O = 26,5%, N = 17,3%.

Exercício resolvido

7. Calcule a composição centesimal (ou percentual) de um composto sabendo que a queima de 0,228 g do composto produziu 0,704 g de CO_2 e 0,324 g de H_2O.

Massas atômicas: H = 1; C = 12; O = 16.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Resolução

Para o carbono, temos:

• cálculo da massa de carbono existente em 0,228 g do composto:

$$\underbrace{C}_{} \text{ (do composto)} \longrightarrow \underbrace{CO_2}_{}$$

$$\left.\begin{array}{ccc} 12\text{ g} & \text{———} & 44\text{ g} \\ x\text{ g} & \text{———} & 0{,}704\text{ g} \end{array}\right\} \boxed{x = 0{,}192\text{ g de carbono}}$$

• cálculo da porcentagem de carbono no composto:

$$\left.\begin{array}{ccc} 0{,}228\text{ g (do composto)} & \text{———} & 0{,}192\text{ g de C} \\ 100\% & \text{———} & y\% \text{ de C} \end{array}\right\} \boxed{y \simeq 84{,}2\% \text{ de C}}$$

Para o hidrogênio, temos:

• cálculo da massa de hidrogênio existente em 0,228 g do composto:

$$\underbrace{2\text{ H}}_{} \text{ (do composto)} \longrightarrow \underbrace{H_2O}_{}$$

$$\left.\begin{array}{ccc} 2\text{ g} & \text{———} & 18\text{ g} \\ z\text{ g} & \text{———} & 0{,}324\text{ g} \end{array}\right\} \boxed{z = 0{,}036\text{ g de hidrogênio}}$$

• cálculo da porcentagem de hidrogênio no composto:

$$\left.\begin{array}{ccc} 0{,}228\text{ g (do composto)} & \text{———} & 0{,}036\text{ g de H} \\ 100\% & \text{———} & w\% \text{ de H} \end{array}\right\} \boxed{w \simeq 15{,}8\% \text{ de H}}$$

Conclusão: a composição centesimal pedida é 84,2% de C e 15,8% de H.

Observação: A **determinação da porcentagem do oxigênio** eventualmente existente em um composto orgânico é uma operação difícil de ser executada no laboratório. Por isso, costuma-se calcular a porcentagem do oxigênio "por diferença". Neste exemplo, somando 84,2% de C e 15,8% de H, temos 100%, indicando que no composto não existe nada além de carbono e hidrogênio. Todavia, quando essa soma resulta inferior a 100%, **atribui-se essa diferença ao elemento oxigênio**.

8. (UFRN) Um método de análise desenvolvido por Lavoisier (1743-1794) e aperfeiçoado por Liebig (1803-1873) permitiu determinar a composição percentual dos hidrocarbonetos. O procedimento baseia-se na combustão total — em excesso de oxigênio (O_2) — da amostra analisada, em que todo carbono é convertido em gás carbônico (CO_2) e todo hidrogênio, transformado em água (H_2O).

A queima de 0,50 g de um hidrocarboneto, em presença de oxigênio em excesso, fornece 1,65 g de dióxido de carbono (CO_2) e 0,45 g de água (H_2O).

Considerando as informações acima, pode-se afirmar que as porcentagens em peso de carbono (C) e hidrogênio (H) no hidrocarboneto são, respectivamente:

a) 85% e 15%.
b) 95% e 5%.
c) 90% e 10%
d) 91% e 9%.

Exercício resolvido

9. (UCB-DF) Uma substância orgânica contém 72% de carbono, 12% de hidrogênio e 16% de oxigênio. A fórmula mínima dessa substância é:

(Dados: C — 12 u, O — 16 u, H — 1 u)

a) $C_6H_{12}O$.
b) $C_7H_3O_2$.
c) $C_7H_{12}O_{16}$.
d) $C_{10}H_{12}O_3$.
e) $C_{12}H_{20}O_3$.

Resolução

Dados	Divisão pelas massas atômicas correspondentes	Divisão pelo menor dos quocientes obtidos (no caso, 1)	Fórmula pedida
72% de C	$\frac{72}{12} = 6$	6	$C_6H_{12}O$
12% de H	$\frac{12}{1} = 12$	12	
16% de O	$\frac{16}{16} = 1$	1	

Alternativa a.

10. (Vunesp) Um composto de carbono, hidrogênio e oxigênio apresenta na sua constituição 40,0% de carbono e 6,6% de hidrogênio (massas molares, em g/mol: H = 1; C = 12; O = 16). A sua fórmula mínima é:

a) CHO.
b) CH_2O.
c) CHO_2.
d) C_2HO.
e) C_2H_2O.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exercício resolvido

11. (FEI-SP) A composição centesimal de uma substância orgânica é de 40% de carbono, 6,67% de hidrogênio e 53,33% de oxigênio (massas atômicas: O = 16; C = 12; H = 1). Se sua massa molecular é 180 gramas, sua fórmula molecular é:

a) $C_8H_4O_5$.
b) $C_6H_{12}O_6$.
c) $C_5H_8O_7$.
d) $C_7H_{16}O_5$.
e) $C_4H_4O_8$.

Resolução

Supondo a fórmula pedida como sendo $C_xH_yO_z$, temos:

- Para o C

100% de composto	———	40% de C	$x = 6$
180 g	———	$12x$	

- Para o H

100% de composto	———	6,67% de H	$y \simeq 12$
180 g	———	$1y$	

- Para o O

100% de composto	———	53,33% de O	$z = 6$
180 g	———	$16z$	

Portanto, a fórmula pedida é $C_6H_{12}O_6$.
Alternativa b.

12. (Vunesp) A massa de 1 mol de vanilina, uma substância utilizada para dar sabor aos alimentos, é constituída por 96 g de carbono, 8 g de hidrogênio e 48 g de oxigênio. São dadas as massas molares, em g/mol: vanilina = 152; H = 1; C = 12; O = 16. As fórmulas empírica (mínima) e molecular da vanilina são, respectivamente:

a) C_3H_4O e $C_9H_{12}O_2$.
b) $C_3H_4O_2$ e $C_7H_{12}O_4$.
c) C_5H_5O e $C_{10}H_{10}O_2$.
d) C_5H_5O e $C_{11}H_{14}O$.
e) $C_8H_8O_3$ e $C_8H_8O_3$.

AQUA IMAGE/ALAMY/OTHER IMAGES

Flor da planta *Vanilla planifolia*, da qual se extrai a vanilina. (Nova Caledônia, 2000.)

Exercícios complementares

Registre as respostas em seu caderno

13. (PUC-RS) Considerando-se os seguintes compostos orgânicos:

I. C_3H_6 II. C_2H_5OH III. CH_4

pode-se afirmar que a alternativa que apresenta os compostos em ordem decrescente de porcentagem de carbono presente é:

a) I, II e III.
b) I, III e II.
c) II, III e I.
d) II, I e III.
e) III, II e I.

14. (PUC-MG) As espécies químicas que apresentam a mesma composição centesimal são:

a) CO_2 e CO.
b) CH_4 e C_2H_6.
c) C_6H_6 e C_3H_4.
d) $C_6H_{12}O_6$ e $C_2H_4O_2$.
e) $C_{12}H_{22}O_{11}$ e $C_6H_{12}O_6$.

15. (Unicenp-PR) O benzeno da fórmula **molecular** C_6H_6 é um líquido incolor, de odor agradável, bastante volátil, cujos vapores são tóxicos.

O benzeno tem a mesma **fórmula mínima** que o:

	Composto	Fórmula molecular
a)	etano	C_2H_6
b)	buteno	C_4H_8
c)	acetileno	C_2H_2
d)	metano	CH_4
e)	etanol	C_2H_5OH

16. (Vunesp) A nicotina contém 73,5% de carbono, 8,6% de hidrogênio e 17,3% de nitrogênio. Sabe-se que esse composto contém dois átomos de nitrogênio por molécula (massas atômicas: C = 12; H = 1; N = 14). Quais são as fórmulas empírica (mínima) e molecular da nicotina?

17. (UGF-RJ) A química orgânica sintética iniciou seu desenvolvimento com a síntese da ureia realizada por Whöler, que derrubou a Teoria da Força Vital. Whöler produziu ureia a partir de cianato de amônio, conforme a reação:

$$\underbrace{(NH_4)^+(CNO)^-}_{\text{Cianato de amônio}} \xrightarrow{\Delta} \underbrace{H_2NCONH_2}_{\text{Ureia}}$$

A quantidade de cianato de amônio (em gramas) necessária para preparar 3,1 mg de ureia, segundo a reação de Whöler, é igual a:

a) 0,0031.
b) 0,006.
c) 0,031.
d) 0,31.
e) 0,6.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

6 Características do átomo de carbono

O átomo de carbono apresenta certas particularidades que o tornam bem diferente de todos os átomos dos demais elementos químicos; esse fato foi percebido na metade do século XIX, inicialmente por Kekulé, e possibilitou uma melhor compreensão da estrutura das substâncias orgânicas.

Dentre as principais características do átomo de carbono, devemos citar:

6.1. O carbono é tetravalente

O número atômico do carbono é 6, e sua configuração eletrônica apresenta dois elétrons na camada K e quatro elétrons na camada L. Tendo quatro elétrons em sua última camada eletrônica, o carbono os compartilha com quatro elétrons de outros átomos, para que se complete o octeto, atingindo-se a configuração estável. Formam-se, desse modo, **quatro ligações covalentes**. A tetravalência do carbono foi reconhecida já em 1858 por Kekulé (é o denominado **primeiro postulado de Kekulé**). Por exemplo, a estrutura do metano (CH_4) é:

Modelo atômico de Rutherford. (Representação esquemática sem escala; cores-fantasia.)

Fórmula eletrônica ou de Lewis

ou, abreviadamente,

Fórmula estrutural ou de Kekulé

Além disso, é importante destacar que **as quatro valências do carbono são iguais entre si**. Assim, por exemplo, as quatro fórmulas exemplificadas a seguir representam, na realidade, **um único composto**, de fórmula molecular $CH_3C\ell$:

A **igualdade** entre as quatro valências do carbono é conhecida como **segundo postulado de Kekulé**.

6.2. O carbono forma ligações múltiplas

Nos exemplos anteriores (CH_4 e $CH_3C\ell$), vimos o carbono formando uma única ligação – **ligação simples** – com cada átomo de hidrogênio ou de cloro. Um átomo de carbono, entretanto, pode estabelecer duas ou três ligações com um segundo átomo, formando, respectivamente, uma **ligação dupla** ou uma **ligação tripla**. Por exemplo:

Ligação **dupla** entre dois átomos de carbono	C = C	Eletronicamente
Ligação **dupla** entre um carbono e um oxigênio	C = O	
Ligação **tripla** entre dois átomos de carbono	— C ≡ C —	
Ligação **tripla** entre um carbono e um nitrogênio	— C ≡ N	

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

6.3. O carbono liga-se a várias classes de elementos químicos

O carbono está no grupo 14 (coluna 4A), no "meio" do 2º período da Tabela Periódica:

1 1A	2 2A	13 3A	14 4A	15 5A	16 6A	17 7A	18 8A
H							He
Li	Be	B	C	N	O	F	Ne
Metais					Não metais		

ADILSON SECCO

O carbono fica, portanto, a "meio caminho" entre os metais e os não metais, isto é, entre os elementos eletropositivos e os eletronegativos. Não sendo nem eletropositivo nem eletronegativo, o carbono pode ligar-se ora a elementos eletropositivos (como o **hidrogênio**), ora a elementos eletronegativos (como o **oxigênio**).

Na verdade, o **hidrogênio** sempre aparece nos **compostos orgânicos típicos** (são poucas as exceções, por exemplo, $CC\ell_4$, $C_2C\ell_6$, $CC\ell_2F_2$ etc.); depois do hidrogênio, os elementos mais frequentes, em compostos orgânicos, são o **oxigênio** e o **nitrogênio**. Por esse motivo, o **carbono**, o **hidrogênio**, o **oxigênio** e o **nitrogênio** costumam ser chamados de **elementos organógenos**, que significa "elementos formadores de compostos orgânicos". É comum encontrarmos, ainda, outros elementos químicos, como **enxofre**, **fósforo**, **halogênios** (flúor, cloro, bromo, iodo) e até certos **metais** (como o ferro, o magnésio etc.) ligados a um átomo de carbono.

Desse fato, resulta o costume de se classificarem os compostos orgânicos em:

- **compostos binários**, quando encerram **dois elementos** químicos (por exemplo: C e H);
- **compostos ternários**, quando encerram **três elementos** químicos (por exemplo: C, H e O);
- **compostos quaternários**, quando encerram **quatro elementos** químicos (por exemplo: C, H, O e N); e assim por diante.

6.4. O carbono forma cadeias

O átomo de carbono tem uma capacidade extraordinária de se ligar a outros átomos – de carbono, de oxigênio, de nitrogênio etc. – formando **encadeamentos** ou **cadeias** curtas ou longas com as mais variadas disposições (esse fato é conhecido como **terceiro postulado de Kekulé**). São exatamente essas cadeias que irão constituir o "esqueleto" das moléculas das substâncias orgânicas.

Por exemplo:

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Existem outros elementos químicos que conseguem formar encadeamentos, como, por exemplo, o enxofre, o fósforo etc., entretanto, **nenhum elemento químico apresenta a capacidade de formar cadeias tão longas, variadas e estáveis como o carbono**.

A capacidade de formar cadeias juntamente com as características anteriormente descritas (tetravalência, formação de ligações simples, duplas e triplas e ligação com elementos eletropositivos ou eletronegativos) explicam a razão de o carbono ser capaz de formar milhões de compostos.

OBSERVAÇÃO

A grande versatilidade do carbono em formar ligações pode ser vista em suas **formas alotrópicas**.

ADILSON SECCO

Grafite

ADILSON SECCO

Diamante

ALFRED PASIEKA/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

Fulereno

NORBERT SPEICHER/ALAMY/OTHER IMAGES

Nanotubo

(Representações esquemáticas sem escala; cores-fantasia.)

Ultimamente, os cientistas estão produzindo novas moléculas a partir dos fulerenos e dos nanotubos, cuja aplicação só o futuro nos revelará.

Questões Registre as respostas em seu caderno

As fórmulas moleculares de dois anestésicos são N_2O e $CF_3CHBrC\ell$.

a) Qual é a fórmula estrutural de cada um deles?

b) Qual deles não pode ser considerado um composto orgânico? Justifique.

c) Quantas ligações simples existem no composto orgânico?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

18. Quais são as fórmulas eletrônicas dos seguintes compostos?

a)

c)

b)

19. Quais são as fórmulas eletrônicas dos seguintes compostos?

a)

c)

b)

d)

20. Copie as fórmulas em seu caderno e complete as ligações simples, duplas e triplas que estão faltando nas seguintes estruturas:

a)

d)

b)

e)

c)

f)

21. Copie as fórmulas em seu caderno e complete as seguintes fórmulas estruturais, acrescentando os átomos de hidrogênio que estão em falta:

a) C — C — C
b) C = C
c) C ≡ C — C
d) C — C — Cℓ
e) C — C — O
f) C ≡ N

22. Copie a fórmula em seu caderno e complete a estrutura C — C acrescentando separadamente:

a) um átomo de bromo e cinco de hidrogênio;
b) um átomo de enxofre e seis de hidrogênio;
c) um átomo de nitrogênio e sete de hidrogênio;
d) um átomo de oxigênio e quatro de hidrogênio.

23. (PUC-RS) A fórmula molecular de um hidrocarboneto com cadeia carbônica:

é:

a) C_9H_8.
b) C_9H_7.
c) C_9H_{10}.
d) C_9H_{12}.
e) C_9H_{11}.

24. (UVA) Na estrutura:

representadas pelos algarismos são, respectivamente:

a) simples, dupla, simples.
b) dupla, simples, dupla.
c) simples, tripla, dupla.
d) dupla, tripla, simples.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

7 Classificação dos átomos de carbono em uma cadeia

Conforme a posição em que se encontram na cadeia, os átomos de carbono classificam-se em:

Carbono primário: quando está ligado apenas a um outro átomo de carbono	**Carbono secundário:** quando está ligado a dois outros átomos de carbono	**Carbono terciário:** quando está ligado a três outros átomos de carbono	**Carbono quaternário:** quando está ligado a quatro outros átomos de carbono

Por exemplo, na cadeia orgânica simplificada ao lado:

- são carbonos primários: 1, 7, 8, 9, 10, 12 e 13;
- são carbonos secundários: 5 e 6;
- são carbonos terciários: 2, 4 e 11;
- é carbono quaternário: 3.

Questões

Registre as respostas em seu caderno

Um composto orgânico é formado por 8 átomos de hidrogênio e 4 átomos de carbono, sendo que 3 átomos de carbono são primários e 1 é terciário.

a) Qual é a fórmula estrutural do composto?

b) Quantas ligações simples existem nesse composto?

c) Quantas ligações duplas existem nesse composto?

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

25. Classifique os átomos de carbono em primários, secundários, terciários ou quaternários nas seguintes cadeias:

a)

b)

26. Dentre os átomos de carbono que existem na cadeia carbônica abaixo, identifique os primários, os secundários, os terciários e os quaternários.

27. (Fatec-SP) Na fórmula

as quantidades totais de átomos de carbono primário, secundário e terciário são, respectivamente:

a) 5, 1 e 3.
b) 2, 3 e 4.
c) 3, 3 e 2.
d) 2, 4 e 3.
e) 5, 2 e 2.

28. (UFSM-RS) No composto:

as quantidades totais de átomos de carbono primário, secundário e terciário são, respectivamente:

a) 5, 2 e 3.
b) 3, 5 e 2.
c) 4, 3 e 5.
d) 6, 4 e 4.
e) 5, 6 e 5.

29. (FGV-SP) O composto de fórmula:

apresenta quantos carbonos primários, secundários, terciários e quaternários, respectivamente?

a) 5, 5, 2 e 1.
b) 5, 4, 3 e 1.
c) 7, 4, 1 e 1.
d) 6, 4, 1 e 2.
e) 7, 3, 1 e 2.

30. (PUC-RS) No eugenol, composto de odor agradável de fórmula $CH_2 = CH - CH_2$ OH utilizado como antisséptico bucal, o número de átomos de carbono secundário é:

a) 2.
b) 3.
c) 7.
d) 8.
e) 10.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

8 Tipos de cadeia orgânica

A existência de uma grande variedade de cadeias orgânicas nos obriga a classificá-las segundo vários critérios:

8.1. Quanto ao fechamento da cadeia

Cadeia aberta ou acíclica	Cadeia fechada ou cíclica
Quando o encadeamento dos átomos não sofre nenhum fechamento.	Quando há fechamento na cadeia, formando-se um **ciclo**, **núcleo** ou **anel**.

8.2. Quanto à disposição dos átomos

Cadeia normal	Cadeia ramificada
Quando o encadeamento segue uma sequência única só aparecendo carbonos primários e secundários.	Quando na cadeia surgem **ramos** ou **ramificações**. Além de carbonos primários e secundários, têm-se também carbonos terciários e/ou quaternários.

8.3. Quanto aos tipos de ligação

Cadeia saturada	Cadeia insaturada
Quando só existem ligações simples entre os átomos de carbono.	Quando existem ligações duplas ou triplas.

(Esta última é saturada porque a dupla ligação está fora da cadeia, ocorrendo entre o carbono e o oxigênio.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

8.4. Quanto à natureza dos átomos

Cadeia homogênea	Cadeia heterogênea
Quando na cadeia só existem átomos de carbono.	Quando na cadeia, além dos átomos de carbono, existem outros átomos (**heteroátomos**).

(Esta última é homogênea porque o oxigênio está fora da cadeia.)

OBSERVAÇÃO

Dentre as numerosas cadeias cíclicas que aparecem na Química orgânica, uma das mais importantes é a que se denomina **núcleo** (ou **anel**) **benzênico**, nome proveniente do composto mais simples que apresenta esse anel – o **benzeno** (C_6H_6):

representado por:

O número de compostos aromáticos conhecidos é tão grande que praticamente determinou, dentro da Química orgânica, uma nova divisão, denominada Química dos aromáticos. Disso, resulta outra classificação muito comum, que divide os compostos orgânicos em:

- compostos **alifáticos** ou **acíclicos** (os que têm cadeias abertas);
- compostos **alicíclicos** (os que têm cadeias cíclicas que não são anéis benzênicos);
- compostos **aromáticos** (os que têm anéis benzênicos).

Evidentemente, são ainda muito comuns os **compostos mistos**, como, por exemplo:

Esta cadeia corresponde a um **composto aromático** com ramificação **alifática**.

Esta cadeia representa um composto em parte **aromático**, em parte **alicíclico**.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

8.5. Um resumo das cadeias carbônicas

- CADEIAS CARBÔNICAS
  - ABERTAS, ACÍCLICAS ou ALIFÁTICAS
    - Quanto à disposição dos átomos
      - NORMAIS
      - RAMIFICADAS
    - Quanto aos tipos de ligações
      - SATURADAS
      - INSATURADAS
    - Quanto à natureza dos átomos
      - HOMOGÊNEAS
      - HETEROGÊNEAS
  - FECHADAS ou CÍCLICAS
    - ALICÍCLICAS
      - Quanto à disposição dos átomos
        - NORMAIS
        - RAMIFICADAS
      - Quanto aos tipos de ligações
        - SATURADAS
        - INSATURADAS
      - Quanto à natureza dos átomos
        - HOMOCÍCLICAS
        - HETEROCÍCLICAS
    - AROMÁTICAS
      - MONONUCLEARES
      - POLINUCLEARES
        - COM NÚCLEOS ISOLADOS
        - COM NÚCLEOS CONDENSADOS
  - MISTAS

Com todas essas variações possíveis, cremos que o leitor já percebeu por que existem milhões de compostos orgânicos diferentes.

Questões Registre as respostas em seu caderno

a) Pode haver carbono primário em uma cadeia cíclica?

b) O hidrogênio pode funcionar como heteroátomo em uma cadeia carbônica?

c) Qual é a menor fórmula molecular possível de se encontrar em um composto aromático?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

31. (Mackenzie-SP) O ácido adípico:

matéria-prima para a produção de náilon, apresenta cadeia carbônica:

a) saturada, homogênea e ramificada.
b) saturada, heterogênea e normal.
c) insaturada, homogênea e ramificada.
d) saturada, homogênea e normal.
e) insaturada, homogênea e normal.

32. (UFPA) O linalol, substância isolada do óleo de alfazema, apresenta a seguinte fórmula estrutural:

Essa cadeia carbônica é classificada como:

a) acíclica, normal, insaturada e homogênea.
b) acíclica, ramificada, insaturada e homogênea.
c) alicíclica, ramificada, insaturada e homogênea.
d) alicíclica, normal, saturada e heterogênea.
e) acíclica, ramificada, saturada e heterogênea.

33. (Feevale-RS) Determine a alternativa correta que apresenta a classificação da cadeia carbônica da essência de abacaxi, cuja fórmula estrutural é:

a) Aberta, ramificada, heterogênea e saturada.
b) Aberta, normal, heterogênea e saturada.
c) Aberta, normal, heterogênea e insaturada.
d) Aberta, ramificada, homogênea e saturada.
e) Aberta, ramificada, heterogênea e insaturada.

34. (UFSM-RS) O mirceno, responsável pelo "gosto azedo da cerveja", é representado pela estrutura:

Considerando o composto indicado, identifique a alternativa correta quanto à classificação da cadeia.

a) Acíclica, homogênea, saturada.
b) Acíclica, heterogênea, insaturada.
c) Cíclica, heterogênea, insaturada.
d) Aberta, homogênea, saturada.
e) Aberta, homogênea, insaturada.

35. (Osec-SP) A substância dietil-amina, $C_2H_5 - \underset{\underset{H}{|}}{N} - C_2H_5$, tem cadeia carbônica:

a) acíclica, saturada, heterogênea.
b) cíclica, insaturada, heterogênea.
c) acíclica, normal, homogênea.
d) cíclica, saturada, homogênea.
e) acíclica, ramificada, homogênea.

36. (Mackenzie-SP) O composto $H_3C - \overset{\overset{CH_3}{|}}{\underset{\underset{NH_2}{|}}{C}} - CH_3$ apresenta:

a) cadeia carbônica insaturada.
b) somente carbonos primários.
c) um carbono quaternário.
d) três carbonos primários e um terciário.
e) cadeia carbônica heterogênea.

37. (Mackenzie-SP) Dentre os átomos mencionados abaixo, aquele que pode ser um heteroátomo, numa cadeia carbônica, é o:

a) N ($Z = 7$).
b) H ($Z = 1$).
c) Cℓ ($Z = 17$).
d) F ($Z = 9$).
e) Na ($Z = 11$).

38. Classifique os seguintes compostos aromáticos segundo os critérios:

- mononucleares (M);
- polinucleares com núcleos separados (PS);
- polinucleares com núcleos condensados (PC).

a)

b)

c)

d)

e)

f)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

9 Fórmula estrutural

Em virtude da grande variedade de cadeias carbônicas que podem aparecer nos compostos orgânicos, são muito importantes as chamadas **fórmulas estruturais**, que nos revelam a **estrutura**, isto é, a **arrumação** ou **disposição dos átomos dentro das moléculas**. Por exemplo, uma estrutura muito encontrada na gasolina é a seguinte, em sua forma **estendida**:

que normalmente é abreviada para:

Esta última, denominada **fórmula estrutural condensada**, é mais usada, pois, sem dúvida, é mais fácil de escrever do que a primeira.

Outra versão ainda mais simplificada da mesma fórmula seria:

na qual a cadeia principal é representada por uma linha em zigue-zague.

Podemos simplificá-la ainda mais omitindo os grupos CH_3, resultando, então, a chamada **fórmula de linhas** ou **de bastões**:

Em outras palavras, os C, CH, CH_2 e CH_3 ficam subentendidos, embora sejam escritos, às vezes, os grupos terminais da cadeia e das ramificações.

Havendo, porém, átomos diferentes do carbono e do hidrogênio, eles deverão ser escritos. Veja o exemplo de um outro composto:

Vejamos mais quatro exemplos de grande importância prática.

O **ácido linoleico** ($C_{18}H_{32}O_2$), que existe em muitos vegetais (como algodão, soja, girassol etc.) e que é usado em tintas e vernizes, tem por estrutura:

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A **vitamina A** ($C_{20}H_{30}O$) e a **vitamina C** ($C_6H_8O_6$), fatores muito importantes na nutrição, têm por estruturas:

Vitamina A

Vitamina C

A **dipirona sódica** ($C_{13}H_{16}O_4N_3SNa$) é, atualmente, o analgésico mais utilizado no Brasil e possui a estrutura abaixo:

Em casos de moléculas muito longas, mas formadas por partes que se repetem, é comum apresentarmos apenas uma vez a unidade que se repete. Assim, por exemplo, o composto principal existente na **borracha natural** é formado pela repetição da unidade abaixo:

em que ***n*** representa o número inteiro que indica a quantidade de repetições da "unidade" no encadeamento e, consequentemente, o tamanho da molécula.

Outra representação útil na Química orgânica é a que indica a estrutura espacial da molécula. Nesse caso, as valências situadas no plano (digamos, por exemplo, o plano desta folha de papel) são indicadas por traços (—), as que "avançam" para a frente do plano são indicadas por uma pequena seta cheia (►) e as que se dirigem para trás do plano são indicadas por uma pequena seta pontilhada (┅). Por exemplo, o composto $CH_2 = C = CH_2$ é indicado por:

A fórmula estrutural é muito importante na Química orgânica, porque ela mostra a diferença existente entre **isômeros**, isto é, **compostos diferentes que possuem a mesma fórmula molecular**. Por exemplo, existem três compostos **diferentes** com fórmula molecular C_5H_{12} e que se diferenciam pelas seguintes fórmulas estruturais:

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Questões

Registre as respostas em seu caderno

Um dos responsáveis pelo aroma dos gerânios e das rosas é o geraniol.

Geraniol

a) Qual é a fórmula molecular do geraniol?

b) Qual é a massa molecular desse composto?

c) Quantos carbonos primários, secundários e terciários ele apresenta?

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

39. (UFRGS-RS) A (–)-serricornina, utilizada no controle do caruncho-do-fumo, é o feromônio sexual da *Lasioderma serricorne*. Considere a estrutura química desse feromônio.

A cadeia dessa estrutura pode ser classificada como:

a) acíclica, normal, heterogênea e saturada.
b) alifática, ramificada, homogênea e insaturada.
c) alicíclica, ramificada, heterogênea e insaturada.
d) acíclica, ramificada, homogênea e saturada.
e) alifática, normal, homogênea e saturada.

40. (Cefet-RJ) O pireno, hidrocarboneto de núcleos condensados, obtido do alcatrão da hulha, solúvel em éter e insolúvel em água, apresenta a fórmula estrutural plana.

Pireno

A fórmula molecular do pireno é:

a) $C_{14}H_8$
b) $C_{15}H_{10}$
c) $C_{16}H_{10}$
d) $C_{17}H_{12}$
e) $C_{18}H_{12}$

41. (FCM-MG) A cafeína, um estimulante bastante comum no café, chá, guaraná etc., tem a fórmula estrutural indicada abaixo.

Podemos afirmar corretamente que a fórmula molecular da cafeína é:

a) $C_5H_9N_4O_2$
b) $C_6H_{10}N_4O_2$
c) $C_6H_9N_4O_2$
d) $C_3H_9N_4O_2$
e) $C_8H_{10}N_4O_2$

42. (Uece) A "nicotina" pode ser representada pela fórmula abaixo.

Quantos átomos de carbono e quantos hidrogênios existem em uma molécula desse composto?

a) 10 e 13
b) 10 e 14
c) 9 e 12
d) 8 e 14

43. (PUC-MG) Um composto orgânico de cadeia aberta, insaturada, ramificada, com carbono quaternário, tem cadeia principal com quatro carbonos. Sua fórmula molecular é:

a) C_6H_{13}
b) C_6H_{11}
c) C_6H_{10}
d) C_6H_{14}
e) C_6H_6

44. (UCDB-MS) A massa molecular da sulfanilamida é:

a) 196 u
b) 174 u
c) 108 u
d) 112 u
e) 172 u

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

LEITURA

PRODUTOS ORGÂNICOS?

Atualmente, ouve-se falar, com frequência, em **produtos orgânicos**. Normalmente, essa expressão indica alimentos produzidos **sem a adição de adubos químicos e de agrotóxicos**.

EDUARDO SANTALIESTRA/CID

A ideia começou a ser praticada com a produção de alface e outras verduras e, com o tempo, estendeu-se para legumes, frutas, café, vinho etc. Até mesmo os alimentos orgânicos que são industrializados não devem conter nenhum tipo de aditivo químico.

O preço dos produtos orgânicos é, em geral, superior ao dos produtos convencionais. Os consumidores, no entanto, acreditam que compensa pagar mais para terem um alimento mais saudável e saboroso.

A produção dos produtos orgânicos já é grande nos Estados Unidos e em vários países da Europa. Grandes marcas de produtos alimentícios já entraram, também, no campo dos produtos orgânicos. No Brasil, a produção vem aumentando, ano a ano, tanto para o consumo interno como para a exportação. O governo brasileiro já sancionou uma lei regulamentando-a, como noticiou o jornal *O Estado de S. Paulo*, de 28 de janeiro de 2004:

"[...] No dia 23 de dezembro de 2003, o governo aprovou a Lei 10.831, que regulamenta a produção, certificação e comercialização da agricultura orgânica no Brasil. Assim, os orgânicos passam a ser reconhecidos oficialmente como uma categoria de produto específica, à parte da convencional, sendo, por isso, mais preciso o registro e, consequentemente, o controle e o volume da produção. [...]"

Não há dúvida de que é muito salutar nossa preocupação com alimentos contaminados com venenos. Aliás, essa é uma das grandes batalhas desenvolvidas pelos ecologistas, preocupados com a saúde pública e com a preservação do meio ambiente. As expressões "produtos orgânicos", "hortaliças orgânicas", "legumes orgânicos" etc., entretanto, têm, sem dúvida, um emprego "forçado", pois todo e qualquer alimento, qualquer que seja seu método de produção, é formado, fundamentalmente, por substâncias orgânicas.

Questões sobre a leitura

Registre as respostas em seu caderno

45. O que é chamado de "produto orgânico" na linguagem do dia a dia?

46. Quais são as vantagens dos alimentos "orgânicos"?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO

2 Hidrocarbonetos

Os hidrocarbonetos formam a família mais simples dos compostos do carbono. São formados apenas por átomos de carbono e de hidrogênio. O petróleo é formado principalmente por esses compostos.

TÓPICOS DO CAPÍTULO

1 INTRODUÇÃO
2 ALCANOS
3 ALCENOS
4 ALCADIENOS (DIENOS)
5 ALCINOS
6 CICLANOS
7 HIDROCARBONETOS AROMÁTICOS

LEITURA: *A CARBOQUÍMICA*

Petróleo na camada pré-sal

A formação dos campos gigantes de petróleo encontrados no litoral brasileiro começou no tempo dos dinossauros.

Conhecendo a história da formação dos continentes, há muito tempo geólogos desconfiavam que debaixo de uma enorme camada de sal enterrada no subsolo marítimo existiriam rochas sedimentares cheias de petróleo. Desde os anos 1970 a área tem sido perfurada em busca do petróleo encontrado nos anos 2000.

Há cerca de 150 milhões de anos

As primeiras curvas do litoral do Brasil surgiam lentamente em fraturas causadas pelo movimento das placas tectônicas. Acumulando água, sedimentos e matéria orgânica (algas, plantas e animais), essas fissuras viraram um enorme lago.

Há cerca de 100 milhões de anos

O lago virou um mar raso cujas águas secavam periodicamente, cobrindo de sal os sedimentos anteriores. Quando o Brasil e a África se separaram, formando o Atlântico sul, a maior parte da área do antigo lago ficou em nossa plataforma continental.

Dias de hoje

Soterrada por milhões de anos, sem contato com o O_2 do ar, a matéria orgânica, aprisionada em alta pressão e sob a espessa camada de sal, transformou-se em petróleo e gás.

Promessas para o futuro

Somente do bloco de exploração chamado Tupi podem ser retirados entre 5 bilhões e 8 bilhões de barris de óleo equivalente (óleo e gás natural). Estima-se que, em 2020, a produção diária de óleo equivalente atinja 5,1 milhões de barris. Isso é mais que o dobro do que foi produzido em 2009.
Fonte: Petrobras

ILUSTRAÇÕES: GABRIEL SILVEIRA

Para o fundo e avante

O Brasil desenvolveu algumas das mais avançadas tecnologias de extração de petróleo em águas profundas para chegar ao pré-sal.

1 Água (0 m a 2.000 m)
É muito fundo, mas já era uma profundidade atingida antes por outros poços.

2 Pós-sal (2.000 m a 3.000 m)
Tem esse nome porque, geologicamente, veio depois da camada de sal. Também tem petróleo, mas de qualidade inferior, chamado petróleo pesado.

3 Sal (3.000 m a 5.000 m)
Sob alta pressão e temperatura, esses sais se comportam como plástico derretido e é difícil garantir a estabilidade das rochas na perfuração de poços.

4 Pré-sal (a partir de 5.000 m)
A combinação do tempo, da temperatura e da pressão converteu a matéria orgânica em petróleo de ótima qualidade.

(Representações esquemáticas sem escala; cores-fantasia.)

ILUSTRAÇÕES: GABRIEL SILVEIRA

REFLETINDO

A matéria orgânica que formou o petróleo foi transformada, durante milhões de anos, a altíssima pressão na ausência de gás oxigênio.
Explique o comportamento do petróleo e de seus derivados frente ao ar, em uma reação de oxirredução.

1 Introdução

Sabemos que, na Química inorgânica, as substâncias são agrupadas em funções (ácidos, bases, sais e óxidos). E sabemos, ainda, que essa divisão facilita bastante o estudo das reações inorgânicas.

Tudo isso vale também para a **Química orgânica**, com a diferença de que, nela, **a quantidade de funções orgânicas é muito maior**. Ao longo deste e dos próximos capítulos, vamos estudar suas principais funções.

Os hidrocarbonetos constituem a função mais simples da Química orgânica, por serem formados apenas por carbono e hidrogênio. Uma grande importância dos hidrocarbonetos deve-se ao fato de suas moléculas servirem como "esqueleto" de todas as demais funções orgânicas.

Por definição, dizemos então que:

> **Hidrocarbonetos** são compostos formados exclusivamente por carbono e hidrogênio.

Consequentemente, os hidrocarbonetos obedecem à fórmula geral C_xH_y.

Exemplos:

CH_4 — **Metano**
Presente no gás natural.

$CH_3 — CH_2 — CH_2 — CH_3$ (ou C_4H_{10}) — **Butano**
Presente no gás de cozinha.

(ou C_8H_{18}) — **Octano**
Presente na gasolina.

Veja que a presença apenas de carbono e hidrogênio, em compostos desse tipo, justifica muito bem o nome **hidrocarboneto** (**hidro**, do hidrogênio, e **carboneto**, do carbono).

A importância dos hidrocarbonetos também é enorme do ponto de vista **prático**, pois eles são os principais formadores do petróleo, do gás natural e dos destilados do xisto betuminoso e do carvão mineral. Além disso, os hidrocarbonetos servem como ponto de partida para a obtenção industrial de plásticos, corantes, explosivos, inseticidas etc.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

2 Alcanos

2.1. Definição e fórmula geral

Alcanos (ou hidrocarbonetos parafínicos) são hidrocarbonetos **acíclicos** e **saturados**, isto é, têm cadeias abertas e apresentam apenas ligações simples entre seus carbonos.

Exemplos:

Fómula estrutural condensada	Fórmula molecular
CH_4	CH_4
$CH_3 — CH_3$	C_2H_6
$CH_3 — CH_2 — CH_3$	C_3H_8
$CH_3 — CH_2 — CH_2 — CH_3$	C_4H_{10}

Generalizando, temos: C_nH_{2n+2}

Veja que, com a fórmula geral C_nH_{2n+2}, à medida que *n* assume os valores 1, 2, 3, 4, e assim por diante, as fórmulas dadas anteriormente são obtidas.

Os alcanos são os formadores do petróleo e do gás natural. São muito importantes como **combustíveis** – gás de cozinha, gasolina, querosene, óleo *diesel* etc. Eles representam também o ponto de partida da **indústria petroquímica**, que os utiliza para produzir milhares de derivados – plásticos, tintas, fibras têxteis, borrachas sintéticas etc.

MARCELO XIMENEZ/AGÊNCIA ESTADO

A parafina, muito utilizada na fabricação de velas e outros objetos decorativos, é uma mistura de alcanos de massa molecular elevada.

2.2. Nomenclatura dos alcanos

a) Alcanos não ramificados

Sua nomenclatura, segundo a Iupac, é caracterizada pela terminação **ANO**. Os quatro alcanos mais simples, com até quatro átomos de carbono, têm nomes especiais, que foram conservados por tradição:

Fórmula estrutural condensada	Fórmula molecular	Nome
CH_4	CH_4	Met**ano**
$CH_3 — CH_3$	C_2H_6	Et**ano**
$CH_3 — CH_2 — CH_3$	C_3H_8	Prop**ano**
$CH_3 — CH_2 — CH_2 — CH_3$	C_4H_{10}	But**ano**

Os alcanos de cinco ou mais átomos de carbono já têm uma nomenclatura mais lógica. Seus nomes são formados por um **prefixo** (de origem grega ou latina), que indica o **número de átomos de carbono na molécula**, seguido da terminação **ANO**, característica dos alcanos.

Fórmula molecular	Prefixo	Nome
C_5H_{12}	Penta (cinco)	Pent**ano**
C_6H_{14}	Hexa (seis)	Hex**ano**
C_7H_{16}	Hepta (sete)	Hept**ano**
C_8H_{18}	Octa (oito)	Oct**ano**
C_9H_{20}	Non (nove)	Non**ano**
$C_{10}H_{22}$	Deca (dez)	Dec**ano**

E, daí em diante, temos: com 11 carbonos, undecano; com 12, dodecano; com 13, tridecano; com 14, tetradecano; com 20, eicosano; com 30, triacontano; com 40, tetracontano; etc.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A nomenclatura Iupac

Até o século XIX, os nomes dos compostos orgânicos eram dados arbitrariamente, apenas lembrando sua origem ou alguma de suas características. Assim, por exemplo, o **H — COOH** foi chamado de "ácido **fórmico**" por ser encontrado em certas formigas.

Com o aumento do número dos compostos orgânicos, a situação foi se complicando de tal modo que os químicos, reunidos no Congresso Internacional de Genebra, em 1892, resolveram iniciar uma racionalização da nomenclatura orgânica. Após várias reuniões internacionais, surgiu a denominada **nomenclatura Iupac** (International Union of Pure and Applied Chemistry).

A nomenclatura Iupac é formada por inúmeras regras, com o objetivo de dar nomes bastante lógicos aos compostos orgânicos, de modo que:

- cada composto tenha um nome diferente que o distinga de todos os demais;
- dada a fórmula estrutural de um composto, seja possível elaborar seu nome, e vice-versa.

Apesar de a nomenclatura Iupac ser considerada oficial pelos químicos, ainda persistem outros tipos de nomenclatura, como também veremos mais adiante.

b) Alcanos ramificados

Quando o alcano tem cadeia ramificada, devemos citar, além do nome **da cadeia**, o **das ramificações**. As ramificações mais simples são os grupos derivados dos próprios alcanos, pela "retirada" de **apenas um átomo de hidrogênio**. Seus nomes derivam do alcano correspondente, trocando-se a terminação **ANO** por **IL** (daí o nome genérico de grupos **alquil** ou **alquila**). Sendo assim, temos:

Composto	Ramificação
CH_4 (metano)	$— CH_3$ (metil)
$CH_3 — CH_3$ (etano)	$— CH_2 — CH_3$ (etil)
$CH_3 — CH_2 — CH_3$ (propano)	$— CH_2 — CH_2 — CH_3$ (propil) (ou normal propil ou n-propil)
$CH_3 — CH_2 — CH_2 — CH_3$ (butano)	$— CH_2 — CH_2 — CH_2 — CH_3$ (butil) (ou normal butil ou n-butil)

A Iupac considera também os seguintes grupos, cujos nomes foram consagrados pelo uso:

Isopropil — Isobutil — Sec-butil ou s-butil — Terciobutil, terc-butil ou t-butil

Desse modo, partindo da fórmula estrutural para o nome do composto, temos, por exemplo, a situação ao lado.

Portanto, o nome é: **metil-propano**.

Em moléculas maiores, deve-se considerar como **cadeia principal** a cadeia carbônica **mais longa**, e esta deve ser numerada para indicar a **posição de cada ramificação**. Por exemplo:

Nome: 2-metil-heptano

O número 2 indica a posição do grupo metil na cadeia.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A numeração da cadeia principal deve ser feita de tal modo que as ramificações recebam os **menores números possíveis** (regra dos menores números). Por exemplo:

Numerando-se a cadeia da esquerda para direita, o CH_3 ficaria na posição número 5; logo, deve-se escolher a outra numeração, em que a posição do CH_3 recebe o número 3 (3 é menor que 5).

O nome correto é, pois: **3-metil-heptano**.

Havendo duas (ou mais) ramificações **iguais**, usamos os prefixos **di**, **tri**, **tetra** etc. para indicar a quantidade dessas ramificações. Por exemplo:

Errado: 3-metil-4-metil-heptano **Correto:** 3,4-dimetil-heptano

> Note que os **números** sempre indicam a **posição de cada ramificação** na cadeia principal, enquanto os prefixos **di**, **tri**, **tetra** etc. indicam a **quantidade** de ramificações iguais. Note também que os números são separados entre si por **vírgulas**, enquanto os nomes são separados por **hifens**.

Havendo ramificações **diferentes**, elas serão citadas em **ordem alfabética**. Nessa ordenação, os prefixos (**di**, **tri**, **tetra** etc.) não são considerados. Por exemplo:

O nome é **4-etil-2,3-dimetil-heptano**, uma vez que a letra **e** de etil precede a letra **m** de metil.

Enfim, a ideia básica da nomenclatura Iupac é muito simples: funciona como se estivéssemos numerando uma rua (a cadeia principal) e citando cada um de seus moradores (as ramificações) juntamente com o número de sua residência.

Um dos principais cuidados na nomenclatura Iupac é considerar sempre como cadeia principal a **mais longa**. Compare as duas situações do exemplo abaixo:

Errado, pois a cadeia tomada como principal tem apenas **seis** átomos de carbono.

3-metil-heptano

Correto, pois a cadeia principal, imaginada "em ângulo", tem **sete** átomos de carbono. Além disso, o sentido da numeração dará ao CH_3 o menor número possível (3).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Na eventualidade de termos duas (ou mais) cadeias de mesmo comprimento, devemos escolher como principal a cadeia mais ramificada. Por exemplo:

Errado, pois **há apenas uma ramificação**.

3-etil-2-metil-hexano

Correto, pois, apesar de a cadeia principal agora escolhida ter o **mesmo número de átomos de carbono** (6), ela é **mais ramificada** (há duas ramificações, contra apenas uma na hipótese anterior).

Na verdade, não é comum (e portanto deve-se evitar) escrever a cadeia principal "em ângulo"; sendo assim, o último exemplo dado, normalmente, seria mais bem escrito assim:

Apesar disso, é importante lembrar sempre da cadeia **mais longa**, mesmo que ela apareça "em ângulo".

VOCÊ JÁ PAROU PARA PENSAR ?

A terminologia científica

Na História das Ciências ocorrem comprovações, negações e/ou atualizações de conceitos, aprimoramento de processos, descobertas, entre outros. Assim, os trabalhos científicos tornam dinâmica essa história.

A linguagem que é compreendida por toda a comunidade é uma ferramenta que contribui para o desenvolvimento das Ciências. Um exemplo disso é a **nomenclatura Iupac**. A descoberta de muitos compostos e a necessidade de compartilhar informações levaram à criação de regras de nomenclatura.

A Iupac vem estabelecendo novas regras de nomenclatura com o passar do tempo, tentando torná-las mais claras. Muitos nomes que foram oficiais em determinada época continuam sendo usados, pois leva-se algum tempo para que as novas regras sejam aceitas e incorporadas pela comunidade.

Veja alguns exemplos de nomenclaturas antigas:

Trimetil-etil-metano

Dimetil-isopropil-metano

Nesta nomenclatura os **alcanos** eram considerados **derivados do metano**.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Isobutano

Isopentano

Iso-hexano

O **nome do alcano** indica o **número total de carbonos** no composto, mas perceba que o prefixo **ISO** está sempre caracterizando a presença do grupo:

Pelas regras atuais de nomenclatura, o hífen entre os nomes da ramificação e da cadeia principal deveria ser omitido. Desse modo, o 3-etil-2-metil-hexano seria escrito 3etil2metilexano. No entanto, por uma questão didática e visando maior clareza, grande parte da comunidade científica continua a usar o hífen.

Neste livro, adotaremos esse mesmo critério. Além disso, em alguns exercícios, mantivemos a grafia original dos exames de ingresso em universidades, para que os alunos tenham contato com as nomenclaturas antigas.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Questões

Registre as respostas em seu caderno

a) O gás de cozinha é constituído, essencialmente, de butano, principal componente, e de propano. Quais são as fórmulas estrutural e molecular desses dois compostos?

b) A atmosfera de Netuno contém grande quantidade do hidrocarboneto mais simples que existe. Qual é o nome desse hidrocarboneto? Qual é a sua fórmula?

c) A estrutura de um dos constituintes da gasolina que aumenta o desempenho do motor de um automóvel é:
Qual é o nome desse composto, de acordo com a Iupac?

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

1. (Mackenzie-SP) Relativamente ao composto de fórmula estrutural $H_3C—CH_2—CH_2—CH_3$, considere as afirmações:

I. é um alcano;
II. apresenta somente carbonos primários em sua estrutura;
III. apresenta uma cadeia carbônica normal;
IV. tem fórmula molecular C_4H_{10}.

São corretas somente:

a) I e II. b) I e III. c) II, III e IV. d) I, III e IV. e) I e IV.

2. Dê nomes, segundo a Iupac, aos seguintes alcanos:

a)

b)

c)

d)

3. Qual é a fórmula estrutural dos seguintes compostos:

a) 2-metil-heptano?
b) 2,4-dimetil-pentano?
c) 3-etil-2,2-dimetil-octano?
d) butil-etil-metil-propil-metano?

4. (F. M. Pouso Alegre-MG-Modificado) A nomenclatura para a estrutura seguinte:

de acordo com o sistema da Iupac é:

a) 3,4-dimetil-3-n-propil-nonano.
b) 4-etil-4,5-dimetil-decano.
c) 6,7-dimetil-7-n-propil-nonano.
d) 7-etil-6,7-dimetil-decano.
e) 3-etil-3,4-dimetil-nonano.

5. (UFSM-RS-Modificado)

Segundo a Iupac, o nome correto do alcano apresentado é:

a) 6-etil-3-metil-5-propil-octano.
b) 4-etil-7-metil-5-propil-nonano.
c) 6-etil-3-metil-5-propil-nonano.
d) 6-etil-3-metil-5-propil-octano.
e) 6-etil-7-etil-7-metil-nonano.

6. (FEI-SP) O nome do composto formado pela união dos radicais etil e tércio-butil é:

a) 2,2 dimetilbutano.
b) 2 metilpentano.
c) 3 metilpentano.
d) n hexano.
e) etilpropano.

7. (UFSC) Com relação ao composto abaixo, os nomes dos radicais ligados ao carbono terciário são:

(01) etil, n-propil, isobutil.
(02) metil, 3-hexil.
(04) metil, etil, n-propil.
(08) etil, n-propil, sec-butil.
(16) etil, n-propil, terc-butil.
(32) etil, n-propil, n-butil.
(64) metil, isopropil, 3-hexil.

8. (Uespi) Dentre os compostos cujos nomes constam nas alternativas abaixo, aquele com o maior número de carbono secundário é:

a) 2,3-dimetil-butano.
b) 3-metil-pentano.
c) 2-metil-pentano.
d) hexano.
e) 2,2-dimetil-butano.

9. (UFF-RJ) Analise a estrutura seguinte e considere as regras de nomenclatura da Iupac.

Determine a opção que indica as cadeias laterais ligadas, respectivamente, aos carbonos de números 4 e 5 da cadeia hidrocarbônica principal:

a) propil e isobutil.
b) metil e isobutil.
c) terc-pentil e terc-butil.
d) propil e terc-pentil.
e) metil e propil.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

2.3. A presença dos alcanos em nossa vida

a) Petróleo

O petróleo origina-se de seres vivos, geralmente microscópicos, e marinhos, que foram soterrados há milhões de anos. Pela ação de micro-organismos, da pressão, do calor e do tempo, essa matéria orgânica transformou-se em petróleo.

Como a natureza contou com condições especiais e levou milênios para formá-lo, a humanidade não tem meios de produzir novas reservas de petróleo. Por isso, o petróleo deve ser considerado um **recurso não renovável**.

A palavra **petróleo** vem do latim (*petrae*, pedra; *oleum*, óleo), lembrando que é um material oleoso extraído das rochas. O petróleo é um líquido escuro, oleoso, formado por milhares de compostos orgânicos, com grande predominância de hidrocarbonetos.

Ocorrência: o petróleo é encontrado em bolsões profundos, às vezes em terra firme, outras vezes abaixo do fundo do mar. Acredita-se que 50% das jazidas mundiais de petróleo estejam sob o mar.

A **prospecção** de petróleo (isto é, o trabalho de localizá-lo) é feita de várias maneiras. O método clássico é a detonação de cargas explosivas no solo, seguida de medição das ondas de choque refletidas pelas várias camadas do subsolo. O estudo dessas ondas dá uma ideia da constituição do subsolo e da possibilidade da existência de petróleo. Atualmente, usam-se aviões e satélites artificiais para efetuar

estudos que possibilitam definir as regiões onde a probabilidade de existir petróleo é maior. Essas técnicas modernas permitem a descoberta de poços de petróleo com relativa facilidade.

Fonte: BIZZI, L. A. et al. *Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil*. CPRM, Brasília, 2003.

Extração: as jazidas de petróleo, tanto em terra como no fundo do mar, obedecem normalmente ao seguinte esquema:

(Representação esquemática sem escala; cores-fantasia.)

Em geral, o petróleo é encontrado **sobre água salgada**, o que lembra sua origem marinha, e **embaixo de uma camada gasosa**, formada por CH_4, C_2H_6 etc. em alta pressão. Quando um poço é perfurado, podem ocorrer três hipóteses (acompanhe pela figura acima):

- se a perfuração for feita em *A*, sairá o gás com alta pressão (teremos, então, um **poço de gás natural**);
- se a perfuração for feita em *B*, jorrará petróleo, impelido pela pressão do gás (isto é, teremos um **poço de petróleo**);
- se a perfuração for feita em *C*, jorrará água salgada, o que é evidência da existência de petróleo.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A extração de petróleo no mar é mais difícil. O Brasil, atualmente, detém uma das mais avançadas tecnologias para esse tipo de extração, conseguindo localizar petróleo em profundidades cada vez maiores, como vemos pelo esquema abaixo:

Temos, abaixo, um esquema típico de um poço submarino de petróleo e a evolução da produção de petróleo no Brasil.

(Representação esquemática sem escala; cores-fantasia.)

Camada pré-sal

Com 800 km de extensão e 200 km de largura, a camada pré-sal se distribui pelas bacias de Santos, Campos e Espírito Santo, estendendo-se do litoral de Santa Catarina até o do Espírito Santo (reveja a localização dessas bacias no mapa da página anterior).

A densidade do petróleo permite classificá-lo em leve, mediano, pesado e ultrapesado. Essa classificação é baseada nas características físico-químicas do petróleo, considerando a análise da densidade e da viscosidade do óleo. O petróleo do pré-sal é classificado como leve, diferentemente do petróleo encontrado no restante do Brasil, que geralmente é classificado como pesado.

Uma das vantagens do petróleo leve é ter baixo teor de substâncias poluentes como enxofre e nitrogênio, normalmente encontrados em grande quantidade no petróleo pesado.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ADILSON SECCO

OS NÚMEROS INDICAM A EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO (EM MIL BARRIS POR DIA) DE PETRÓLEO NO PAÍS

Fonte: Petrobras.

Após a extração, o petróleo é transportado até as regiões consumidoras, por meio de oleodutos ou de superpetroleiros, navios gigantescos que deslocam até 750.000 toneladas. Como sabemos, o transporte marítimo desse tipo de carga tem causado sérios desastres ecológicos, devido a acidentes com esses petroleiros.

RON NIEBRUGGE/ALAMY/OTHER IMAGES

Trecho de oleoduto. (Alasca, Estados Unidos, 2005.)

RICARDO AZOURY/OLHAR IMAGEM

Navio petroleiro. (Baía de Guanabara, Rio de Janeiro, RJ, 2002.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Refino do petróleo: transportado em navios e oleodutos, o petróleo vai para as **refinarias de petróleo**, onde seus componentes são separados e purificados — é o processo denominado **refino** ou **refinação** do petróleo, que esquematizamos a seguir:

ADILSON SECCO

(Representação esquemática sem escala; cores-fantasia.)

Nesse processo, o petróleo cru (ou bruto) entra em uma fornalha (lado esquerdo do esquema), onde é aquecido; a seguir, passa pela torre de destilação a pressão atmosférica, onde são separadas várias frações (atente para a descrição, ao lado dessa torre, com os nomes das frações, seus intervalos de ebulição e a composição química, aí representada pelos números de átomos de carbono em cada fração). O resíduo da primeira torre é reaquecido e vai para a segunda torre, de destilação a vácuo (ou melhor, destilação a pressão reduzida), de onde saem vários óleos lubrificantes e o resíduo final, que é o asfalto.

ADILSON SECCO

Aproveitamento médio de um barril de petróleo (1 barril = 159 litros)	
Derivados	**Porcentagem**
GLP	8,75
Gasolinas (automotiva e aviação)	21,31
Naftas e solventes	8,96
Querosenes (iluminação e aviação)	4,36
Óleo *diesel*	34,86
Óleos combustíveis	16,85
Outros	4,91

Fonte: Petrobras.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

JUCA MARTINS/OLHAR IMAGEM

Torres de refino de petróleo da Petrobras (Paulínia, SP, 2008).

Craqueamento (ou pirólise): o termo vem do inglês *to crack* ("quebrar") e representa a quebra de frações mais pesadas (moléculas maiores) do petróleo, que são transformadas em "frações mais leves" (moléculas menores) por **aquecimento** (craqueamento térmico) ou por **aquecimento e catalisadores** (craqueamento catalítico). Por exemplo:

$$C_8H_{18} \text{ (}n\text{-octano ou octano normal)} \longrightarrow \begin{cases} \underbrace{CH_3-CH_2-CH_2-CH_3}_{\text{(Alcano)}} + \underbrace{CH_3-CH=CH-CH_3}_{\text{(Alceno)}} \text{ ou} \\ CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3 + CH_2=CH_2 \text{ ou} \\ C_4H_{10} + CH_4 + C_2H_4 + C \text{ ou} \\ C_8H_{16} + H_2 \end{cases}$$

O craqueamento é um processo complexo, pois a quebra de um alcano de molécula grande produz vários compostos de moléculas menores – alcanos, alcenos e, inclusive, carbono e hidrogênio – que são separados posteriormente. Trata-se de um processo importantíssimo, pois permite aumentar a quantidade e melhorar a qualidade da gasolina produzida. Além disso, dele se originam inúmeros produtos que servem como matéria-prima para outras indústrias (por exemplo, com o $CH_2=CH_2$ é fabricado o polietileno, um dos plásticos mais usados no mundo atual).

Reforma catalítica: por meio de aquecimento e catalisadores apropriados, o processo denominado reforma catalítica permite transformar hidrocarbonetos de cadeia normal em hidrocarbonetos ramificados, cíclicos e aromáticos, contendo em geral o mesmo número de átomos de carbono.

Por exemplo:

$$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3 \xrightarrow[\text{Catalisadores}]{\Delta} CH_3-\underset{\underset{CH_3}{|}}{CH}-CH_2-CH_2-CH_3$$

$$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3 \xrightarrow[\text{Catalisadores}]{\Delta}$$ $+ H_2$

$$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3 \xrightarrow[\text{Catalisadores}]{\Delta}$$ $+ 3H_2$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Esse processo é muito importante para melhorar a qualidade da gasolina, pois hidrocarbonetos ramificados, cíclicos e aromáticos melhoram o desempenho desse combustível nos motores dos automóveis.

Convém relembrar que o progresso obtido no processamento do petróleo e de suas frações, no século XX, deve-se, em grande parte, ao extraordinário desenvolvimento dos **catalisadores**.

Gasolina: dos produtos obtidos no refino do petróleo, um dos mais importantes é a gasolina, usada nos automóveis. O motor que normalmente equipa os automóveis é o chamado **motor a explosão de quatro tempos**, cujo funcionamento pode ser assim esquematizado:

1º tempo — **admissão:** o pistão desce e "aspira" a mistura de ar e vapor de gasolina.

2º tempo — **compressão:** o pistão sobe e comprime a mistura de ar e vapor de gasolina.

3º tempo — **explosão:** a faísca da vela detona a mistura e empurra o pistão para baixo (é o que vai mover o automóvel).

4º tempo — **escape:** o pistão sobe novamente e expulsa os gases de combustão (e o processo recomeça).

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Ao longo dos anos, para aumentar a potência do motor, aumentou-se a chamada **taxa de compressão**, que é a relação entre o volume inicial e o volume final da mistura ar-combustível, no 2º tempo de funcionamento do motor. Observou-se porém que, a partir de uma certa taxa de compressão, o rendimento do motor voltava a cair, porque a explosão da gasolina ocorria tumultuadamente e antes de a faísca saltar da vela – isto é, o motor começava a "bater pino", como se costuma dizer. Começou-se, então, a aprimorar o estudo da composição química da gasolina.

Normalmente, a gasolina contém alcanos de C_6H_{14} a $C_{10}H_{22}$, predominando, porém, os compostos de fórmula C_7H_{16} e C_8H_{18}. Destes últimos, o que dá melhor desempenho ao motor de um automóvel é o 2,2,4-trimetil-pentano, popularmente chamado de **isoctano**; a ele foi atribuído um **índice de octanos** (octanagem) igual a 100. Pelo contrário, o alcano de pior desempenho nos motores a explosão é o heptano normal, ao qual se atribuiu um **índice de octanos** igual a zero. Desse modo, quando dizemos que uma gasolina tem índice de octanos igual a 70, significa que ela tem um desempenho idêntico ao de uma mistura de 70% de isoctano e 30% de heptano normal.

Isoctano

Heptano

Veja, mais uma vez, como é importante o conhecimento da estrutura dos compostos, de sua reatividade química etc. para a obtenção de melhorias técnicas que trazem benefícios para o nosso cotidiano. São pesquisas desse tipo que melhoram, por exemplo, o combustível usado pelos carros da Fórmula 1.

ROBERT GHEMENT/AFP/GETTY IMAGES

A Fórmula 1 é um importante campo para o desenvolvimento de combustíveis. (Valência, Espanha, 2008.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Uma maneira de aumentar a octanagem é adicionar à gasolina os chamados **antidetonantes**. Um dos antidetonantes clássicos foi o **chumbo-tetraetila**, $Pb(C_2H_5)_4$, usado pela primeira vez em 1922. Atualmente seu uso é proibido, pois, na combustão da gasolina nos motores dos automóveis, o chumbo é liberado na atmosfera e se torna um poluidor altamente nocivo. Outro antidetonante utilizado foi o **éter metil-terciobutílico**, cuja sigla (MTBE) vem do inglês – *methyl tert-butyl ether*. Atualmente, o MTBE vem sendo proibido em vários países, por oferecer sérios riscos aos seres humanos e ao meio ambiente. É importante notar que, no Brasil, o álcool anidro (praticamente sem água), que já vem sendo adicionado à gasolina, também funciona como antidetonante.

Chumbo-tetraetila

MTBE

b) Gás natural

O gás natural é um **ótimo combustível**, tanto por seu alto poder calorífico como por ser menos poluente que os outros derivados de petróleo, uma vez que contém menos impurezas. É também ótima **matéria-prima**, usada como ponto de partida nas indústrias petroquímicas.

O gás natural pode ser encontrado na natureza isoladamente, em reservas de gás ou em reservas associadas ao petróleo. A maioria (70%) dessas reservas encontra-se em campos marítimos e associadas ao petróleo, apresentando maior dificuldade de extração.

O gás extraído dessas reservas é distribuído por gasodutos que, no entanto, ainda são em número e abrangência territorial limitados (veja mapa na página seguinte), sendo esse um empecilho à distribuição desse gás em território nacional.

Outro grande desafio para o Brasil, em relação ao gás natural, é aumentar a produção interna para suprir a crescente demanda, uma vez que grande parte do que é consumido ainda precisa ser importada.

Observe essa situação nos gráficos a seguir:

ADILSON SECCO

O consumo e a importação crescentes de gás natural.

ADILSON SECCO

Todos os setores tendem a aumentar o consumo, com o crescimento econômico do Brasil.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Fonte: Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2009. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/?pg=8240>. Acesso em: mar. 2010.

Mapa da distribuição de gasodutos e oleodutos no Brasil em 2009. Novas instalações estão sendo construídas para expandir a distribuição de petróleo e gás natural pelo país.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Gás liquefeito de petróleo (GLP)

É importante não confundir o **gás natural** (constituído principalmente por metano – CH_4) com **gás liquefeito de petróleo** (GLP), que é uma das frações obtidas nas refinarias de petróleo (formado, principalmente, por propano – C_3H_8 – e butano – C_4H_{10}). O GLP é o gás engarrafado em botijões, para uso doméstico, ou em garrafas maiores, para cozinhas industriais, para mover empilhadeiras etc. É chamado de "liquefeito" porque, ao ser comprimido para dentro do botijão, parte passa para o estado líquido – o que podemos "sentir" balançando um botijão, ou mesmo ver em um isqueiro de plástico transparente.

c) Metano

O metano (CH_4) é um gás incolor, inodoro e muito inflamável. Sua mistura com o ar explode violentamente, quando em contato com chama ou faísca. Essa inflamabilidade já causou muitas explosões em minas de carvão, no interior das quais ocorre a emanação do metano (a mistura do metano com o ar é chamada, em mineração, de **grisu**). Por esse motivo, os antigos mineiros usavam um tipo de lampião cuja chama era protegida por uma tela metálica (lâmpada de Davy) e, atualmente, todos os dispositivos elétricos (lâmpadas, motores etc.) usados em minas de carvão são blindados, para evitar o perigo das faíscas elétricas.

O metano se forma também nos pântanos, pelo apodrecimento de vegetais, sendo por isso chamado de **gás dos pântanos**. Forma-se também nos **aterros sanitários** (aterros de lixo urbano), devido à atividade de bactérias que se multiplicam no lixo (foto A). Por esse motivo, nos aterros sanitários, são colocadas muitas "chaminés", que atravessam as várias camadas de material depositado, pelas quais escoam os gases produzidos pela fermentação do lixo. Essa mistura gasosa, constituída sobretudo de metano, é queimada continuamente, de modo a destruir também os gases que provocariam mau cheiro nos arredores do aterro.

A ideia de extrair gases do lixo é aproveitada nos chamados **biodigestores** (foto B). Nesses aparelhos, são colocados resíduos agrícolas, madeira, bagaço de cana-de-açúcar, dejetos animais etc. (**biomassa**), cuja fermentação produz o chamado **biogás** – mistura gasosa formada principalmente por metano. O biogás é usado como combustível em caldeiras, veículos etc., e o resíduo formado no biodigestor é utilizado como fertilizante agrícola. Esse é um bom exemplo de aproveitamento racional da biomassa, uma vez que, além de produzir energia, reduz os prejuízos que o lixo causa ao ambiente.

AGÊNCIA RBS/AGÊNCIA ESTADO

Mineiros com equipamento elétrico blindado numa mina de carvão. (Criciúma, Santa Catarina, 2007.)

MÔNICA ZARATTINI/AGÊNCIA ESTADO

Chaminés queimando gás metano em aterro sanitário. (São Paulo, SP, 2001.)

JÚNIOR LAGO/FUTURA PRESS

Tanques de depósito de dejetos e gases para queima de gás metano e produção de biogás. (São Paulo, SP, 2007.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Lixo vai gerar energia para 200 mil pessoas

No aterro sanitário Bandeirantes (zona norte da cidade de São Paulo), os gases provenientes da decomposição do lixo eram simplesmente queimados, até janeiro de 2004, quando foi inaugurada uma usina para aproveitar energia do lixo. Temos, abaixo, uma representação esquemática sem escala dessa usina em funcionamento em 2010.

Fonte: *Folha de S. Paulo*, 23 jan. 2004, p. C-4.

2.4. Combustão dos alcanos

Os alcanos sofrem **combustão**, isto é, **queimam com muita facilidade**. Quando acendemos um isqueiro comum (a gás butano, C_4H_{10}), a faísca provoca a reação do butano com o oxigênio do ar, produzindo a chama característica:

$$2\ C_4H_{10} + 13\ O_2 \longrightarrow 8\ CO_2 + 10\ H_2O + \text{Calor}$$

Reações semelhantes ocorrem quando acendemos um fogão a gás, quando "queimamos" gasolina para movimentar um automóvel, *diesel* para movimentar ônibus e caminhões etc. Note que, nesses casos, o "produto" principal que desejamos é o **calor**, isto é, a **energia** produzida pela reação.

Um destino mais "nobre" para os derivados do petróleo é sua transformação em produtos úteis como plásticos, tintas, corantes, explosivos etc. Até hoje, os derivados do petróleo são consumidos principalmente na combustão, a fim de produzir energia, o que causa o aumento da poluição atmosférica e do efeito estufa, devido ao CO_2 resultante.

A reação de combustão é uma **reação de oxirredução**, na qual o alcano é o redutor (aqui chamado de **combustível**) e o oxigênio do ar é o **oxidante** (chamado de **comburente**). Provocada por uma chama ou faísca (que fornece a energia de ativação), a combustão é fácil, rápida e, às vezes, violentamente explosiva. Essa facilidade é, em parte, justificada pela quantidade elevada de energia liberada na reação – fortemente exotérmica. Por exemplo:

$$2\ C_4H_{10} + 13\ O_2 \longrightarrow 8\ CO_2 + 10\ H_2O + 2.873{,}3\ \text{kJ/mol}$$

É interessante notar o que acontece quando, na mistura do alcano com o oxigênio (ou com o ar), a quantidade de oxigênio (ou de ar) começa a diminuir. Acompanhe os três exemplos abaixo:

I. $2\ C_4H_{10} + 13\ O_2 \longrightarrow 8\ CO_2 + 10\ H_2O$

II. $2\ C_4H_{10} + 9\ O_2 \longrightarrow 8\ CO + 10\ H_2O$

III. $2\ C_4H_{10} + 5\ O_2 \longrightarrow 8\ C + 10\ H_2O$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Note que, de I para III, houve diminuição da quantidade de oxigênio consumido pela reação (13 > 9 > 5). Dizemos, por isso, que I é uma **combustão total ou completa** e produz CO_2; já II e III são **combustões parciais** ou **incompletas** e produzem CO e C, respectivamente. Em um automóvel com o motor **bem regulado**, deve haver combustão total, com produção apenas de CO_2. Quando o motor está desregulado (com entrada insuficiente de ar), a combustão tende a ser parcial, produzindo CO – que é altamente tóxico e já causou muitas mortes em garagens malventiladas (o mesmo ocorre em banheiros fechados com aquecedores a gás). Em casos extremos, como acontece com ônibus e caminhões, a combustão é tão incompleta que o carbono formado torna-se visível ao sair pelo escapamento, sob forma de fumaça escura (fuligem).

Por outro lado, devemos ressaltar que, em fábricas especializadas, a combustão parcial de alcanos é provocada intencionalmente, **visando à produção de carbono**, pois o carvão finamente dividido (conhecido como **negro de fumo**) é importante na fabricação de certas tintas, graxa para sapatos etc., e na composição da borracha para fabricação de pneus.

VOCÊ JÁ PAROU PARA PENSAR ?

O sequestro de carbono

Indústrias, automóveis, ônibus, caminhões, navios, aviões etc. que queimam combustíveis como gasolina, *diesel*, querosene e óleo combustível produzem, dentre outros gases, o CO_2, que contribui para o aumento do efeito estufa. Uma ideia interessante é imaginar um ou mais processos para retirar (sequestrar) o excesso de CO_2 atmosférico.

A ideia mais simples é criar novas florestas e reflorestar áreas já degradadas. De fato, as árvores (principalmente as mais jovens e em fase de crescimento) retiram CO_2 da atmosfera para seu processo de fotossíntese (e ainda liberam O_2 para a atmosfera). O problema é que seria necessária uma área enorme de floresta (fato talvez impraticável) para retirar os cerca de 26 bilhões de toneladas de CO_2 lançados anualmente na atmosfera.

Outra ideia para o "sequestro de carbono" que está sendo examinada é a de injetar e aprisionar o CO_2 em camadas profundas do subsolo. Para tanto, poderiam ser usados, por exemplo, poços de petróleo ou de gás natural já esgotados.

Questões

Registre as respostas em seu caderno

a) O petróleo é uma substância pura? Justifique.

b) Por que o petróleo é uma fonte não renovável de energia?

c) Observe o esquema de refino do petróleo na página 54 e relacione o ponto de ebulição dos hidrocarbonetos com o tamanho de suas moléculas.

Pesquisa

Registre as respostas em seu caderno

Pesquise nos materiais sugeridos a seguir ou em outras fontes e responda:

O que são biocombustíveis? O que é biogás? Como ele é obtido? Qual é sua composição e sua utilidade?

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. *Biocombustíveis*. Disponível em: <http://www.anp.gov.br>.

Ambiente Brasil. *Biogás*. Disponível em:
<http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=./energia/index.html&conteudo=./energia/biogas.html>.

Conselho Regional de Química 4ª Região. Biocombustíveis.
Disponível em: <www.crq4.org.br/?p=texto.php&c=quimica__viva__biocombustiveis__>.

Acessos em: mar. 2010.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Atividade prática

Registre as respostas em seu caderno

ATENÇÃO

Este experimento deve ser realizado pelo professor, pois haverá a necessidade de manipular objetos quentes, podendo haver risco de queimaduras.

O funcionamento de um bico de Bunsen

Material

- Um bico de Bunsen alimentado com gás natural ou engarrafado
- Um pires branco e limpo

Procedimento

- Observe que o bico de Bunsen tem, em sua parte inferior, um anel que, ao ser girado, deixa uma "janela", ora aberta, ora fechada, que permite controlar a entrada do ar para a combustão do gás.
- Acenda o bico de Bunsen, deixe a janela aberta e observe a cor da chama; segure o pires com a garra sobre a chama (sem aproximar demais) por 1 ou 2 minutos.
- Com o bico aceso, feche a janela e observe a cor da chama.
- Ainda com a janela fechada, segure o pires, com a garra, sobre a chama (sem aproximar demais) por 1 ou 2 minutos.

Perguntas

a) Qual é a cor da chama com a janela aberta?

b) Qual é a cor da chama com a janela fechada?

c) O que se nota no pires com a janela aberta? E com a janela fechada?

d) Explique os fatos observados por meio de equações químicas.

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

10. (Enem-MEC) Para compreender o processo de exploração e o consumo dos recursos petrolíferos, é fundamental conhecer a gênese e o processo de formação do petróleo descritos no texto abaixo.

> O petróleo é um combustível fóssil, originado provavelmente de restos de vida aquática acumulados no fundo dos oceanos primitivos e cobertos por sedimentos. O tempo e a pressão do sedimento sobre o material depositado no fundo do mar transformaram esses restos em massas viscosas de coloração negra denominadas jazidas de petróleo.
>
> (Adaptado de TUNDISI, *Usos de energia*. São Paulo: Atual, 1991.)

As informações do texto permitem afirmar que:

a) o petróleo é um recurso energético renovável a curto prazo, em razão de sua constante formação geológica.
b) a exploração de petróleo é realizada apenas em áreas marinhas.
c) a extração e o aproveitamento do petróleo são atividades não poluentes dada sua origem natural.
d) o petróleo é um recurso energético distribuído homogeneamente, em todas as regiões, independentemente da sua origem.
e) o petróleo é um recurso não renovável a curto prazo, explorado em áreas continentais de origem marinha ou em áreas submarinas.

11. (Enem-MEC)

> A idade da pedra chegou ao fim, não porque faltassem pedras; a era do petróleo chegará igualmente ao fim, mas não por falta de petróleo.
>
> Xeque Yamani, Ex-ministro do Petróleo da Arábia Saudita. *O Estado de S. Paulo*, 20 ago. 2001.

Considerando as características que envolvem a utilização das matérias-primas citadas no texto em diferentes contextos histórico-geográficos, é correto afirmar que, de acordo com o autor, a exemplo do que aconteceu na Idade da Pedra, o fim da era do petróleo estaria relacionado:

a) à redução e esgotamento das reservas de petróleo.
b) ao desenvolvimento tecnológico e à utilização de novas fontes de energia.
c) ao desenvolvimento dos transportes e consequente aumento do consumo de energia.
d) ao excesso de produção e consequente desvalorização do barril de petróleo.
e) à diminuição das ações humanas sobre o meio ambiente.

12. (PUC-RS) Os hidrocarbonetos de menor ponto de ebulição obtidos a partir da destilação fracionada do petróleo estão presentes:

a) na gasolina.
b) na parafina.
c) no óleo *diesel*.
d) no querosene.
e) no gás de cozinha.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

13. (PUC-RS) Considere o esquema a seguir, que apresenta a obtenção de biogás a partir de resíduos orgânicos.

A fórmula *X* e a aplicação *Y* são, respectivamente:

a) CH_4 e fertilizante.
b) $CH_3 — OH$ e combustível.
c) $CH \equiv CH$ e fibra têxtil.
d) $CH_2 = CH_2$ e plástico.
e) $CH_3 — CH_3$ e siderurgia.

14. (FGV-SP) Há alguns anos, no ABC, um loteamento clandestino instalou-se sobre um antigo aterro sanitário. Ao acender o fogão, pela manhã, um operário explodiu seu barraco e os dos vizinhos. A imprensa noticiou que a explosão se dera não porque o "bujão de gás do infeliz operário estivesse vazando e sim devido a emanações de gases do aterro". Certamente, o gás, então emanado, era:

a) BTX (mistura de benzeno, tolueno e xileno).
b) monóxido de carbono.
c) amônia.
d) metano.
e) gás sulfídrico.

15. (UFRGS-RS) O número de moléculas de oxigênio necessário para a combustão completa de uma molécula de heptano é igual a:

a) 8. b) 11. c) 14. d) 15. e) 22.

16. (Mackenzie-SP) A fuligem, que pode formar-se na combustão incompleta do gás de butijão (mistura de propano e butano), é constituída por:

a) monóxido de carbono.
b) carbono finamente dividido.
c) gás nitrogênio.
d) gás oxigênio.
e) gás carbônico.

17. (UFMG) A gasolina é uma mistura de hidrocarbonetos, com predomínio de compostos C_7 e C_8. A gasolina destinada a ser consumida em climas frios precisa ser formulada com maior quantidade de alcanos menores — como butanos e pentanos — do que aquela que é preparada para ser consumida em lugares quentes.

Essa composição especial é importante para se conseguir, facilmente, "dar a partida" nos motores, isto é, para a ignição ocorrer rapidamente.

Considerando-se essas informações, é **correto** afirmar que:

a) os alcanos maiores facilitam a ignição.
b) os alcanos maiores são mais voláteis.
c) os alcanos mais voláteis facilitam a ignição.
d) os alcanos são mais voláteis em temperaturas mais baixas.

18. (UFRGS-RS) Um vazamento de gás de cozinha pode provocar sérios acidentes. O gás de cozinha, quando presente no ar em concentração adequada, pode ter sua combustão provocada por uma simples faísca proveniente de um interruptor de luz ou de um motor de geladeira. Essas explosões são, muitas vezes, divulgadas erroneamente como explosões do botijão de gás. A reação de combustão completa de um dos componentes do gás de cozinha é apresentada a seguir:

$$C_3H_8 + 5\,O_2 \longrightarrow 3\,CO_2 + 4\,H_2O$$

A partir da equação apresentada, qual a massa de oxigênio necessária para produzir a combustão completa de 224 litros de propano nas CNTP?

a) 32 g
b) 160 g
c) 320 g
d) 1.600 g
e) 3.200 g

19. (Univali-SC) Uma família de 3 pessoas gasta 1 bujão de gás butano de 13 kg por mês (trinta dias) no preparo de suas refeições. Calcule o número de mols gasto por dia, por pessoa, aproximadamente. (Sabe-se: massas atômicas C = 12, H = 1.)

a) 433 mols
b) 2,5 mols
c) 0,5 mol
d) 7,5 mols
e) 1,0 mol

20. (Enem-MEC) Os dados abaixo referem-se à origem do petróleo consumido no Brasil em dois diferentes anos.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Analisando os dados, pode-se perceber que o Brasil adotou determinadas estratégias energéticas, dentre as quais podemos citar:

a) a diminuição das importações dos países muçulmanos e redução do consumo interno.
b) a redução da produção nacional e diminuição do consumo do petróleo produzido no Oriente Médio.
c) a redução da produção nacional e o aumento das compras de petróleo dos países árabes e africanos.
d) o aumento da produção nacional e redução do consumo de petróleo vindo dos países do Oriente Médio.
e) o aumento da dependência externa de petróleo vindo de países mais próximos do Brasil e redução do consumo interno.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exercícios complementares

Registre as respostas em seu caderno

21. (Enem-MEC) A gasolina é vendida por litro, mas, em sua utilização como combustível, a massa é o que importa. Um aumento da temperatura do ambiente leva a um aumento no volume da gasolina. Para diminuir os efeitos práticos dessa variação, os tanques dos postos de gasolina são subterrâneos. Se os tanques **não** fossem subterrâneos:

I. Você levaria vantagem ao abastecer o carro na hora mais quente do dia, pois estaria comprando mais massa por litro de combustível.

II. Abastecendo com a temperatura mais baixa, você estaria comprando mais massa de combustível para cada litro.

III. Se a gasolina fosse vendida por kg em vez de por litro, o problema comercial decorrente da dilatação da gasolina estaria resolvido.

Destas considerações, somente:

a) I é correta.
b) II é correta.
c) III é correta.
d) I e II são corretas.
e) II e III são corretas.

22. (Uerj) Uma mistura de hidrocarbonetos e aditivos compõe o combustível denominado gasolina. Estudos revelaram que quanto maior o número de hidrocarbonetos ramificados, melhor é a *performance* da gasolina e o rendimento do motor.

Observe as estruturas dos hidrocarbonetos abaixo:

I.

II.

III.

IV.

O hidrocarboneto mais ramificado é o de número:

a) IV.
b) III.
c) II.
d) I.

23. (Unic-MT) Existem no petróleo, além dos hidrocarbonetos, em pequenas quantidades, substâncias contendo nitrogênio, oxigênio e enxofre. Este último é a pior impureza existente no petróleo, estando presente na forma de substância simples (S_8), de gás sulfídrico (H_2S) e também na composição de substâncias orgânicas. O enxofre deve ser retirado dos combustíveis, porque:

I. causa mau odor aos produtos da queima do combustível.

II. faz com que o combustível fique corrosivo.

III. é também um dos responsáveis pela chuva ácida.

IV. acentua o efeito estufa.

São corrretas as afirmativas:

a) I, II e III somente.
b) I, III e IV somente.
c) somente a IV.
d) todas elas.
e) Nenhuma delas.

24. (Uerj-Adaptado) O gás natural proveniente da bacia petrolífera de Campos é constituído basicamente por gás metano (CH_4). Se o volume consumido por uma residência for de 30 m^3 de CH_4 (g), à temperatura de 27 °C e pressão de 1 atmosfera, a massa consumida desse gás, em kg, será de aproximadamente:

a) 13,60. b) 15,82. c) 19,75. d) 22,40.

25. (Univali-SC) O gás engarrafado, usualmente consumido como combustível em fogões, é mistura de hidrocarbonetos derivados do petróleo, constituída, predominantemente, de butano (C_4H_{10}).

Uma dona de casa, utilizando-se de seus conhecimentos em termoquímica e sabendo que a quantidade de calor produzida em seu fogão, devido à combustão do butano, foi de 60.000 kJ, calculou que o botijão de gás utilizado apresenta uma diminuição de massa de:

Dados: $C_4H_{10}\,(g) + \frac{13}{2}\,O_2\,(g) \longrightarrow$

$\longrightarrow 4\,CO_2\,(g) + 5\,H_2O\,(g) \quad \Delta = -2.900$ kJ/mol

Massas atômicas: C = 12, H = 1.

a) 1,0 kg.
b) 1,2 kg.
c) 2,8 kg.
d) 3,2 kg.
e) 4,4 kg.

26. (PUC-RJ) O gás natural, embora também seja um combustível fóssil, é considerado mais limpo do que a gasolina, por permitir uma combustão mais completa e maior eficiência do motor. Assim, um número crescente de táxis rodam na cidade movidos por esse combustível. Esses veículos podem ser reconhecidos por terem parte de seu porta-malas ocupado pelo cilindro de aço que contém o gás. Um cilindro desses, com volume de 82 litros, foi carregado em um posto, numa temperatura de 27 °C, até uma pressão de 6 atm. Qual a massa de gás natural nele contido, considerando o gás natural formado (em mols) por 50% de metano (CH_4) e 50% de etano (C_2H_6)? (Dado: R = 0,082 atm · L/K · mol)

27. (Enem-MEC) O gás natural veicular (GNV) pode substituir a gasolina ou o álcool nos veículos automotores. Nas grandes cidades, essa possibilidade tem sido explorada principalmente pelos táxis, que recuperam em um tempo relativamente curto o investimento feito com a conversão por meio da economia proporcionada pelo uso do gás natural. Atualmente, a conversão para gás natural do motor de um automóvel que utiliza a gasolina custa R$ 3.000,00. Um litro de gasolina permite percorrer cerca de 10 km e custa R$ 2,20, enquanto um metro cúbico de GNV permite percorrer cerca de 12 km e custa R$ 1,10. Desse modo, um taxista que percorra 6.000 km por mês recupera o investimento da conversão em aproximadamente:

a) 2 meses.
b) 4 meses.
c) 6 meses.
d) 8 meses.
e) 10 meses.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

3 Alcenos

3.1. Definição e fórmula geral

Alcenos (também chamados alquenos, olefinas ou hidrocarbonetos etilênicos) são hidrocarbonetos **acíclicos** que contêm **uma única ligação dupla** em sua cadeia carbônica.

Exemplos:

Fómula estrutural	Fórmula molecular
$CH_2 = CH_2$	C_2H_4
$CH_2 = CH - CH_3$	C_3H_6
$CH_2 = CH - CH_2 - CH_3$	C_4H_8
$CH_3 - CH = CH - CH_2 - CH_3$	C_5H_{10}

Generalizando, temos: C_nH_{2n}

Conforme *n* seja igual a 2, 3, 4, 5..., teremos as fórmulas moleculares dos sucessivos alcenos.

3.2. Nomenclatura dos alcenos

a) Alcenos não ramificados

Segundo a Iupac, a nomenclatura dos alcenos é semelhante à dos alcanos, bastando trocar-se a terminação **ANO** pela terminação **ENO**. Por exemplo:

Fórmula estrutural	Fórmula molecular	Nome
$CH_2 = CH_2$	C_2H_4	Et**eno**
$CH_2 = CH - CH_3$	C_3H_6	Prop**eno**

Para cadeias maiores torna-se necessário citar a **posição da ligação dupla** (lembre-se de que a ligação dupla é sempre o "local" mais importante na estrutura de um alceno). Acompanhe os exemplos abaixo:

$CH_2 = CH - CH_2 - CH_3$
$CH_3 - CH = CH - CH_3$
} São moléculas (e substâncias) diferentes. devido à **posição** da ligação dupla.

$CH_3 - CH_2 - CH = CH_2$
} É igual à primeira fórmula (basta ler da direita para a esquerda).

Como os dois primeiros compostos são diferentes, seus nomes deverão ser, evidentemente, diferentes. As regras da Iupac mandam indicar a **posição da ligação dupla** por meio de um **número**. Deve-se então numerar a cadeia a partir da **extremidade mais próxima da ligação dupla** e citar o **menor dos dois números** que abrangem a ligação dupla, escrevendo-o antes da terminação **ENO**. Temos, então:

$\overset{1}{C}H_2 = \overset{2}{C}H - \overset{3}{C}H_2 - \overset{4}{C}H_3$

Nomenclatura Iupac: But-1-eno
Nomenclatura antiga: 1-buteno ou buteno-1

$\overset{1}{C}H_3 - \overset{2}{C}H = \overset{3}{C}H - \overset{4}{C}H_3$

Nomenclatura Iupac: But-2-eno
Nomenclatura antiga: 2-buteno ou buteno-2

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja que, para o primeiro composto, é **errado** numerar e dizer:

$$\overset{4}{CH_2}=\overset{3}{CH}-\overset{2}{CH_2}-\overset{1}{CH_3}$$ but-3-eno

pois a numeração **não** partiu da extremidade mais próxima da ligação dupla (e, como consequência, não obedece à "regra dos menores números" da Iupac).

Veja também que, no segundo composto, a sequência da numeração é indiferente:

$$\overset{4}{\underset{1}{CH_3}}-\overset{3}{\underset{2}{CH}}=\overset{2}{\underset{3}{CH}}-\overset{1}{\underset{4}{CH_3}}$$

pois, nesse caso, a fórmula é **simétrica** em relação à ligação dupla.

b) Alcenos ramificados

A nomenclatura dos alcenos de cadeias longas e ramificadas é, ainda, semelhante à dos alcanos, lembrando-se, porém, que:

1. A cadeia principal é a mais longa **que contém a ligação dupla**.
2. A numeração da cadeia principal é sempre feita **a partir da extremidade mais próxima da ligação dupla**, independentemente das ramificações presentes na cadeia. No nome do alceno, a posição da dupla é dada pelo número do primeiro carbono da dupla. Esse número é escrito antes da terminação **ENO**.

1º exemplo

Nomenclatura Iupac: 5-metil-hex-2-eno
Nomenclatura antiga: 5-metil-2-hexeno

2º exemplo

Nomenclatura Iupac: 3-propil-hept-1-eno
Nomenclatura antiga: 3-propil-1-hepteno

OBSERVAÇÕES

1ª Veja que os nomes atuais, propostos pela Iupac, são mais difíceis de escrever e pronunciar do que os antigos, propostos por regras anteriores da própria Iupac. Por esse motivo, a nomenclatura "antiga" ainda é bastante usada.

Outra nomenclatura antiga, usada para os alcenos mais simples, usa a terminação **ILENO**:

$CH_2=CH_2$ — Etileno

$CH_2=CH-CH_3$ — Propileno

$CH_2=CH-CH_2-CH_3$ — Butileno

$CH_2=C(CH_3)-CH_3$ — Isobutileno

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Menos usada é a nomenclatura que considera os alcenos como derivados do etileno:

Tetrametil-etileno

2ª É útil, também, conhecer os nomes dos seguintes grupos insaturados:

Grupo	Nome Iupac	Nome usual
$CH_2 =$	Metenil	Metileno
$CH_2 = CH -$	Etenil	Vinil
$CH_2 = CH - CH_2 -$	2-propenil	Alil

Nota-se, nessa tabela, a substituição da terminação **ENO**, característica dos alcenos, por **ENIL**, o que está de acordo com a nomenclatura Iupac.

3.3. A presença dos alcenos em nossa vida

O composto mais simples da família dos alcenos é o **eteno** ou **etileno** ($CH_2 = CH_2$). Ele é produzido por frutos verdes e age no amadurecimento desses frutos. Quando se embrulham bananas em jornal, por exemplo, "aprisiona-se" o etileno, o que acelera o amadurecimento das frutas. Imitando a natureza, muitos estabelecimentos comerciais utilizam esse gás para promover o amadurecimento rápido de frutos.

Do ponto de vista industrial e econômico, deve-se lembrar que o etileno é o 4º produto químico mais fabricado no mundo, perdendo apenas para o H_2SO_4, o O_2 e o CaO. O etileno é produzido, principalmente, pelo **craqueamento da nafta** resultante do refino do petróleo e do **tratamento do gás natural**. A maior parte do etileno é, em seguida, transformada em **polietileno**, um dos plásticos mais utilizados da atualidade, com o qual são fabricados sacos para embalagens, cortinas de banheiro, toalhas de mesa, embalagens para produtos de limpeza, garrafas de água mineral etc.

FOODFOLIO/ALAMY/OTHER IMAGES

Garrafas feitas de polietileno utilizadas para armazenar água.

O alceno seguinte é o **propeno** ou **propileno** ($CH_2 = CH - CH_3$), que é produzido em grandes quantidades, nas indústrias, e totalmente transformado no plástico denominado **polipropileno**, com o qual são fabricados fitilhos usados como barbantes, peças moldadas, como para-choques de automóveis etc.

De modo geral, falar em **alcenos** significa falar em **indústria petroquímica**, que dia a dia se torna mais importante no mundo moderno. De fato, normalmente a indústria petroquímica parte da chamada **nafta**, que é a fração de destilação do petróleo correspondente a um tipo de gasolina bruta, e, por meio do craqueamento e de outros processos, transforma essa nafta em alcenos, que, em seguida, são transformados em um número enorme de produtos químicos importantes.

ADILSON SECCO

(Representação esquemática sem escala; cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Já que falamos na produção petroquímica do etileno, é oportuno lembrar: no Brasil, o álcool comum (etanol) é produzido a partir da cana-de-açúcar; mas, em países ricos em petróleo, o etanol pode ser preparado a partir do etileno, pela reação:

$$\underbrace{CH_2{=}CH_2}_{\text{Etileno}} + H_2O \xrightarrow[\text{Catalisadores}]{P,\ T} \underbrace{CH_3{-}CH_2OH}_{\text{Etanol ou álcool comum}}$$

Questões

Registre as respostas em seu caderno

a) Os frutos verdes produzem um composto orgânico que age em seu amadurecimento. Esse composto é o alceno mais simples que existe. Qual é o nome dele?

b) Qual é a fórmula molecular desse alceno?

c) Qual é a fórmula estrutural do 3,4-dimetil-pent-1-eno?

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

28. (Mackenzie-SP) Um hábito comum é enrolar pencas de bananas e mamões verdes em jornal para que amadureçam mais rapidamente. Durante o amadurecimento das frutas, há a liberação de gás eteno, que também é responsável pela aceleração do processo. Dado: massa molar (g/mol) H = 1, C = 12.

A respeito do gás eteno, é correto afirmar que:

a) é um hidrocarboneto aromático.
b) é um alcano.
c) tem massa molar 30,0 g/mol.
d) apresenta fórmula molecular C_2H_4 e é mais conhecido como gás etileno.
e) tem fórmula estrutural $H_3C - CH_3$.

29. Dê nomes, segundo a Iupac, aos seguintes alcenos:

a) $CH_2{=}CH{-}\underset{\underset{CH_3}{|}}{CH}{-}CH_3$

b) $CH_2{=}\underset{\underset{\underset{\underset{CH_3}{|}}{CH_2}}{|}}{C}{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_3$

c) $CH_3{-}\underset{\underset{CH_3}{|}}{\overset{\overset{CH_3}{|}}{C}}{-}\underset{\underset{\underset{\underset{CH_3}{|}}{CH_2}}{|}}{CH}{-}CH_2{-}CH{=}CH_2$

30. Qual é a fórmula estrutural dos seguintes compostos:

a) 4-metil-pent-1-eno?
b) dimetil-but-2-eno?
c) 4,4-dietil-2-metil-hex-2-eno?
d) 5-etil-6,7,7-trimetil-oct-3-eno?

31. (Mackenzie-SP) Da substância de fórmula estrutural plana

$H_3C{-}\underset{\underset{CH_3}{|}}{C}{=}\overset{\overset{CH_3}{|}}{C}{-}CH_3$, é correto afirmar que:

a) apresenta cadeia carbônica, aberta, ramificada e saturada.
b) é um hidrocarboneto com cadeia carbônica fechada.
c) é o dimetil-2-buteno.
d) é um alcano.
e) apresenta dois radicais etil em sua estrutura.

32. (Mackenzie-SP) Sobre o composto cuja fórmula estrutural é dada abaixo, fazem-se as afirmações:

I. É um alceno.
II. Possui três ramificações diferentes entre si, ligadas à cadeia principal.
III. Apesar de ter fórmula molecular $C_{11}H_{22}$, não é um hidrocarboneto.
IV. Possui no total quatro carbonos terciários.

$$H_3C{-}\underset{\underset{\underset{\underset{CH_3}{|}}{CH_2}}{|}}{CH}{-}\overset{\overset{CH_3}{|}}{CH}{-}\underset{\underset{\underset{\underset{CH_3}{|}}{CH}{-}CH_3}{|}}{C}{=}CH_2$$

São corretas:

a) I e IV, somente.
b) I, II, III e IV.
c) II e III, somente.
d) II e IV, somente.
e) III e IV, somente.

33. (UFF-RJ) Tem-se uma amostra gasosa formada por um dos seguintes compostos:

CH_4; C_2H_4; C_2H_6; C_3H_6 ou C_3H_8

Se 22 g dessa amostra ocupam o volume de 24,6 L à pressão de 0,5 atm e temperatura de 27 °C (dado R = 0,082 L · atm K^{-1} mol^{-1}), conclui-se que se trata do gás:

a) etano.
b) metano.
c) propano.
d) propeno.
e) eteno.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

4 Alcadienos (dienos)

4.1. Definição e fórmula geral

Alcadienos (ou simplesmente **dienos**) são hidrocarbonetos **acíclicos**, que contêm **duas ligações duplas** em sua cadeia carbônica.

Exemplos:

Fórmula estrutural	Fórmula molecular
$CH_2=C=CH_2$	C_3H_4
$CH_2=CH-CH=CH_2$	C_4H_6
$CH_2=CH-CH=CH-CH_3$	C_5H_8

Generalizando, temos: C_nH_{2n-2}

4.2. Nomenclatura dos dienos

Segundo a Iupac, a terminação dos nomes dos alcadienos é **dieno** (onde **di** lembra **duas** e **eno** lembra a dupla ligação). A cadeia principal deve ser a **mais longa** e passar, **obrigatoriamente**, pelas duas ligações duplas. A **numeração** da cadeia principal deve ser feita de modo que os **números** indicativos das posições das ligações duplas e das ramificações sejam os **menores possíveis**.

Exemplos:

$$CH_2=CH-CH=CH_2 \begin{cases} \text{Nomenclatura Iupac: Buta-1,3-dieno} \\ \text{Nomenclatura antiga: 1,3-butadieno} \end{cases}$$

$$\overset{8}{CH_3}-\overset{7}{CH_2}-\overset{6}{CH}=\overset{5}{CH}-\overset{4}{\underset{\underset{CH_3}{|}}{CH}}-\overset{3}{CH}=\overset{2}{CH}-\overset{1}{CH_3} \begin{cases} \text{Nomenclatura Iupac: 4-metil-octa-2,5-dieno} \\ \text{Nomenclatura antiga: 4-metil-2,5-octadieno} \end{cases}$$

OBSERVAÇÃO

Por analogia aos dienos, denominamos **trienos**, **tetrenos**..., **polienos** os hidrocarbonetos que possuem, respectivamente, **três**, **quatro**... ***n*** ligações duplas em suas moléculas. A nomenclatura desses compostos segue as mesmas ideias vistas, acima, para os dienos. Por exemplo:

$$CH_2=CH-CH=CH-CH=CH_2 \begin{cases} \text{Nomenclatura Iupac: Hexa-1,3,5-trieno} \\ \text{Nomenclatura antiga: 1,3,5-hexatrieno} \end{cases}$$

4.3. A presença dos dienos (e polienos) em nossa vida

Os dienos simples não existem na natureza. São, porém, preparados em grande quantidade pela indústria petroquímica, visando à produção de polímeros e borrachas sintéticas.

Um dieno importante é o 2-metil-buta-1,3-dieno, chamado usualmente de **isopreno**:

Fórmula estrutural

$$CH_2=\underset{\underset{CH_3}{|}}{C}-CH=CH_2$$

Fórmula molecular

C_5H_8

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A molécula do isopreno é chamada de **unidade isoprênica**, pois, unindo-se a 2, 3, 4... *n* moléculas iguais, forma moléculas múltiplas $(C_5H_8)_n$ de cadeias abertas ou fechadas, denominadas **terpenos**.

Os terpenos e seus derivados oxigenados são os principais formadores dos **óleos essenciais** ou **aromáticos**. A unidade isoprênica (C_5H_8) é também a unidade básica da **borracha**.

EDUARDO SANTALIESTRA/CID

Luvas cirúrgicas, bicos de chupetas, mamadeiras e preservativos são exemplos de produtos feitos de isopreno.

a) Óleos essenciais

Os óleos essenciais fazem parte dos perfumes e acompanham a história da humanidade há milênios. Antigos sacerdotes queimavam madeira juntamente com folhas e materiais de origem animal, para acompanhar suas preces aos deuses. Os unguentos citados na Bíblia eram obtidos a partir de flores e folhas amassadas em óleos ou gorduras. Posteriormente, flores e folhas passaram a ser aquecidas em água, para que o vapor destilado trouxesse consigo seus aromas característicos – surgia assim o processo de preparação dos chamados **óleos essenciais** (**essência** significando **aroma**). Esse processo é trabalhoso, já que são necessárias cerca de 5 toneladas de rosas para produzir 1 quilograma de óleo de rosas.

ARCO IMAGES GMBH/ALAMY/OTHER IMAGES

Óleo essencial de rosas.

Como exemplos de alguns terpenos existentes nos óleos essenciais, temos:

- O **mirceno**, encontrado nos óleos das folhas de louro ou das flores de verbena, que tem fórmula:

$$CH_3-\underset{\underset{CH_3}{|}}{C}=CH-CH_2-CH_2=\underset{\underset{CH_2}{|}}{C}-CH=CH_2$$

(Note que no mirceno estão reunidas duas unidades isoprênicas, de modo que podemos escrever sua fórmula molecular de duas maneiras: $(C_5H_8)_2$ ou $C_{10}H_{16}$.)

- O **limoneno**, presente no óleo extraído da casca do limão e da laranja, cuja estrutura é mostrada ao lado.

(O limoneno também é formado por duas unidades isoprênicas, o que nos leva de novo às fórmulas $(C_5H_8)_2$ ou $C_{10}H_{16}$.)

- O **pineno** (presente na **terebintina**, óleo extraído de árvores coníferas), usado como solvente de tintas e vernizes, cuja fórmula é também $C_{10}H_{16}$.

b) A borracha natural

A borracha natural é formada, teoricamente, por uma repetição de unidades isoprênicas, segundo a equação:

$$n \cdot \underbrace{\left(CH_2=\underset{\underset{CH_3}{|}}{C}-CH=CH_2\right)}_{\text{Isopreno}} \longrightarrow \underbrace{\left(\cdots-CH_2-\underset{\underset{CH_3}{|}}{C}=CH-CH_2-\cdots\right)_n}_{\text{Poli-isopreno}}$$

A borracha natural (ou látex) é encontrada na seiva de vários vegetais, sendo o valor de *n*, na fórmula acima, da ordem de 5.000. O látex da seringueira, por exemplo, é uma emulsão contendo cerca de 35% de poli-isopreno. Um estudo mais completo da borracha será feito mais adiante, no capítulo sobre polímeros.

ROGÉRIO REIS/PULSAR IMAGENS

Extração do látex em seringal. (Presidente Prudente, SP, 2008.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Questão Registre as respostas em seu caderno

Para o dieno formado por 4 carbonos insaturados e 6 hidrogênios, escreva em seu caderno suas fórmulas estrutural e molecular, e seu nome segundo a Iupac.

Exercícios básicos Registre as respostas em seu caderno

34. (UFV-MG) A fórmula molecular do composto nona-3,5-dieno é:

a) $C_{19}H_{26}$
b) $C_{19}H_{38}$
c) C_9H_{18}
d) C_9H_{16}
e) C_9H_{12}

35. (Unifor-CE) As moléculas do 2-metil-1,3-butadieno possuem cadeia com cinco átomos de carbono. Quantos átomos de hidrogênio há na molécula desse composto?

a) 6
b) 7
c) 8
d) 9
e) 10

36. (Ufac-Modificado) O nome correto, segundo a Iupac, para o composto

é:

a) 4-etil-2,4-dimetil-hepta-1,5-dieno.
b) 4-etil-4-etil-2-dimetil-hepta-1,5-dieno.
c) 4-etil-2-metil-4-metil-hepta-2,6-dieno.
d) 4-alil-2,4-dimetil-hex-1-eno.
e) 4-alil-2,4-metil-2-hexeno.

37. A borracha natural é um produto cuja fórmula molecular é:

a) $C_{12}H_{22}O_{11}$
b) $(C_5H_8)_n$
c) $C_6H_{12}O_6$
d) $(C_6H_{10}O_5)_n$
e) $C_{10}H_{18}O$

5 Alcinos

5.1. Definição e fórmula geral

Alcinos (ou **alquinos** ou **hidrocarbonetos acetilênicos**) são hidrocarbonetos **acíclicos**, que contêm **uma única ligação tripla** em sua cadeia carbônica.

Exemplos:

Fórmula estrutural	Fórmula molecular
$H-C\equiv C-H$	C_2H_2
$H-C\equiv C-CH_3$	C_3H_4
$H-C\equiv C-CH_2-CH_3$	C_4H_6

Generalizando, temos: C_nH_{2n-2}

Veja que a fórmula geral coincide com a dos dienos.

5.2. Nomenclatura dos alcinos

A nomenclatura Iupac atribui aos alcinos a terminação **INO**. Em uma nomenclatura mais antiga, consideravam-se os alcinos mais simples como derivados do acetileno. Desse modo, temos:

Fórmula estrutural condensada	Nomenclatura Iupac	Nomenclatura comum
$HC\equiv CH$	eti**no**	acetileno
$HC\equiv C-CH_3$	prop**ino**	metil-acetileno
$HC\equiv C-CH_2-CH_3$	but-1-**ino**	etil-acetileno

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Nos alcinos mais complexos, a nomenclatura Iupac é feita de modo semelhante à dos alcenos. Aqui, também, **a cadeia principal é a mais longa que contém a ligação tripla**; e **a numeração é feita a partir da extremidade mais próxima da ligação tripla**.

1º exemplo

Com a fórmula C_4H_6 temos duas possibilidades:

$$\overset{1}{HC}\equiv\overset{2}{C}-\overset{3}{CH_2}-\overset{4}{CH_3}$$

Nomenclatura Iupac: But-1-ino
Nomenclatura antiga: 1-butino

$$\overset{1}{CH_3}-\overset{2}{C}\equiv\overset{3}{C}-\overset{4}{CH_3}$$

Nomenclatura Iupac: But-2-ino
Nomenclatura antiga: 2-butino

2º exemplo

$$\overset{5}{CH_3}-\overset{4}{\underset{\underset{CH_3}{|}}{CH}}-\overset{3}{C}\equiv\overset{2}{C}-\overset{1}{CH_3}$$

Nomenclatura Iupac: 4-metil-pent-2-ino
Nomenclatura antiga: 4-metil-2-pentino

3º exemplo

$$\overset{6}{CH_3}-\overset{5}{CH_2}-\overset{4}{C}\equiv\overset{3}{C}-\overset{2}{\underset{\underset{CH_3}{|}}{CH}}-\overset{1}{CH_3}$$

Nomenclatura Iupac: 2-metil-hex-3-ino
Nomenclatura antiga: 2-metil-3-hexino

Nesse último exemplo, veja que, no que se refere à ligação tripla, seria indiferente começar a numeração por uma extremidade ou outra da cadeia, pois a ligação tripla está exatamente **no meio** da cadeia; no entanto, a preferência final foi dada para que a **ramificação** CH_3 fosse indicada pelo **menor número possível**.

5.3. A presença dos alcinos em nossa vida

O alcino mais importante é o C_2H_2 ($H-C\equiv C-H$), chamado usualmente de **acetileno**. Ele é produzido facilmente, colocando-se o **carbureto** ou **carbeto de cálcio** (um sólido branco, de fórmula CaC_2, vendido em lojas de ferragens) em contato com a água:

$$\underbrace{CaC_2}_{\text{Carbeto de cálcio (carbureto)}} + 2\,H_2O \longrightarrow Ca(OH)_2 + \underbrace{C_2H_2}_{\text{Acetileno}}$$

O carbureto reage tão facilmente com a água que deve ser guardado em latas bem fechadas, para evitar o contato com a umidade do ar.

A queima do acetileno produz chama muito quente e luminosa, segundo a reação:

$$2\,C_2H_2 + 5\,O_2 \longrightarrow 4\,CO_2 + 2\,H_2O + \text{Calor}$$

Por esse motivo, o acetileno era utilizado, no passado, em lanternas para exploração de cavernas (Foto A). Hoje, é o combustível empregado nos maçaricos oxiacetilênicos, capazes de produzir temperaturas muito elevadas (da ordem de 3.000 °C), prestando-se por isso à solda e ao corte de metais (Foto B). Além disso, a partir dele são produzidos muitos derivados, que servem como matérias-primas para indústrias de plásticos, fios têxteis, borrachas sintéticas etc.

CHARLES D. WINTERS/PR/LATINSTOCK

Mineiro com capacete com lanterna de acetileno.

67PHOTO/ALAMY/OTHER IMAGES

Trabalhador operando um maçarico oxiacetilênico.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Questões

Registre as respostas em seu caderno

a) O composto orgânico utilizado como uma das matérias-primas mais importantes para a fabricação de plástico é o alcino mais simples que existe. Qual é o nome, segundo a Iupac, desse composto?

b) Qual é sua fórmula estrutural?

c) Qual é o nome usual desse hidrocarboneto?

d) Qual é a fórmula estrutural e o nome, segundo a Iupac, do alcino ramificado formado por 5 átomos de carbono e 8 átomos de hidrogênio?

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

38. Dê nomes, segundo a Iupac, aos seguintes alcinos:

a) $CH_3 - CH_2 - C \equiv C - CH_3$

b) $CH_3 - CH_2 - CH_2 - CH(C \equiv CH) - CH_3$

c) $HC \equiv C - CH_2 - CH(CH_3) - CH_3$

d) $CH_3 - CH_2 - CH_2 - C \equiv C - CH(CH_3) - CH_2 - CH_3$

39. Qual é a fórmula estrutural dos seguintes compostos:

a) 4-metil-hex-1-ino?

b) 4,4-dimetil-hex-2-ino?

c) 5-etil-2-metil-hept-3-ino?

40. (Mackenzie-SP) As fórmulas do etano, do eteno e do propino são, respectivamente, $H_3C - CH_3$, $H_2C = CH_2$ e $HC \equiv C - CH_3$. Então, as fórmulas do propano, do propadieno e do etino, na ordem mencionada, são:

a) $H_3C - CH = CH_2$, $H_2C = C = CH_2$ e $H_3C - CH_2 - CH_3$.

b) $H_3C - CH_2 - CH_3$, $H_2C = C = CH_2$ e $HC \equiv CH$.

c) $H_2C = CH - CH_3$, $H_3C - C \equiv CH$ e $H_3C - CH_2 - CH_3$.

d) $H_3C - CH_2 - CH_3$, $H_2C = CH - CH_3$ e $HC \equiv C - CH_3$.

e) CH_4, $H_2C = CH - CH_3$ e $HC \equiv CH$.

41. (Unifor-CE) O 2,2,5-trimetril-3-heptino é um hidrocarboneto cujas moléculas têm cadeia carbônica:

I. insaturada;
II. ramificada;
III. aromática.

Dessas afirmações, somente:

a) I é correta.
b) II é correta.
c) III é correta.
d) I e II são corretas.
e) I e III são corretas.

42. (FEI-SP) Certo hidrocarboneto contém 90% em massa de carbono. O composto pode ser o:

a) propino.
b) propano.
c) acetileno.
d) eteno.
e) metano.

43. (PUC-SP) O acetileno (C_2H_2) pode ser obtido facilmente partindo-se do carbeto de cálcio (CaC_2) e de água, utilizando-se o aparelho esquematizado ao lado.

ADILSON SECCO

A respeito desse processo, foram feitas as seguintes afirmações:

I. A reação ocorrida é:
$CaC_2 + H_2O \longrightarrow C_2H_2 + CaOH_2$

II. No funil de separação, deve-se colocar água.

III. No erlenmeyer, deve-se colocar o carbeto de cálcio.

IV. No início do processo, a cuba e o cilindro devem estar cheios de água.

V. O volume de C_2H_2 liberado depende da massa de CaC_2 que reagiu.

Das afirmações feitas, são corretas:

a) I, II, III, IV e V.
b) somente I, II, III e IV.
c) somente II, IV e V.
d) somente II, III, IV e V.
e) somente III, IV e V.

44. (Mackenzie-SP) $CaC_2\,(s) + 2\,H_2O\,(\ell) \longrightarrow H - C \equiv C - H\,(g) + Ca(OH)_2$ (precipitado)

A reação equacionada acima produz:

a) dois compostos orgânicos.
b) uma base inorgânica insolúvel em água.
c) um hidrocarboneto de fórmula molecular C_2H_4.
d) duas substâncias gasosas.
e) um hidrocarboneto saturado.

45. (Mackenzie-SP) 10,0 g de um alcino, que possui cadeia carbônica contendo um carbono quaternário, ocupam 3,0 L a 1 atm e 27 °C. A fórmula estrutural desse hidrocarboneto é:

(Dados: massa molar (g/mol): H = 1; C = 12; constante universal dos gases $R = 0{,}082\ \frac{atm \cdot L}{mol \cdot K}$)

a) $HC \equiv C - CH(CH_3) - CH_2 - CH_3$

b) $H_3C - C \equiv C - CH(CH_3) - CH_3$

c) $HC \equiv C - C(CH_3)_2 - CH_2 - CH_3$

d) $HC \equiv C - C(CH_3)_3 - CH_3$

e) $H - C \equiv C - H$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

6 Ciclanos

6.1. Definição e fórmula geral

Ciclanos (ou **cicloalcanos** ou **cicloparafinas**) são hidrocarbonetos **cíclicos,** que contêm **apenas ligações simples** (isto é, hidrocarbonetos cíclicos e saturados).

Exemplos:

Fórmula estrutural	Fórmula simplificada	Fórmula molecular
		C_3H_6
		C_4H_8
		C_5H_{10}

Generalizando, temos: C_nH_{2n} (fórmula idêntica à dos dienos).

Como você notou, é comum representá-los pela figura geométrica indicativa do ciclo ou anel.

6.2. Nomenclatura dos ciclanos

As regras da Iupac atribuem aos ciclanos o prefixo **CICLO** e a terminação **ANO**. Por exemplo:

Ciclobutano

Note a terminação **ANO**, igual à dos alcanos, lembrando que os ciclanos também têm cadeia saturada.

Existindo apenas uma ramificação no ciclo, devemos citá-la antes do nome do ciclano. Por exemplo:

Metil-ciclopropano

Etil-ciclopentano

Existindo duas ou mais ramificações, devemos numerar os carbonos do ciclo, **partindo da ramificação mais simples** e percorrendo o ciclo **no sentido horário ou anti-horário**, de modo a citar as outras ramificações por meio de números os menores possíveis:

1-metil-3-isopropil-ciclopentano

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

OBSERVAÇÃO

Existem ciclos: contendo uma única ligação dupla – os **ciclenos**; contendo duas ligações duplas – os **ciclodienos**; e, mais raramente, contendo uma ligação tripla – os **ciclinos**. As nomenclaturas desses ciclos são sempre precedidas pela palavra **ciclo** e lembram as nomenclaturas dos correspondentes alcenos, dienos e alcinos. Por exemplo:

Ciclopenteno

Ciclo-hexa-1,3-dieno

Ciclo-octino

6.3. A presença dos ciclanos em nossa vida

Os ciclanos existem, em quantidades maiores ou menores, no petróleo de várias regiões do mundo. O ciclo-hexano, por exemplo, é usado como solvente e removedor de tintas e vernizes, além de servir como ponto de partida para a fabricação de produtos industriais importantes, como o náilon.

SYNTHETIC ALAN KING/ALAMY/OTHER IMAGES

Sacola esportiva feita de náilon.

Questões

Registre as respostas em seu caderno

Considere um hidrocarboneto cuja fórmula molecular é C_4H_8.

a) Podemos afirmar que ele é um alceno? Justifique.

b) Qual é a fórmula estrutural desse composto, sabendo-se que ele é formado por 1 átomo de carbono primário, 2 átomos de carbono secundário e 1 átomo de carbono terciário?

c) Qual é o nome desse composto?

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

46. Dê os nomes dos seguintes compostos:

a) $CH_2 — CH_2 — CH_3$

b)

c)

d)

47. Qual é a fórmula estrutural dos seguintes compostos:
a) metil-ciclopentano?
b) octametil-ciclobutano?
c) 1,1-dimetil-ciclo-hexano?

48. (Vunesp) Têm a mesma fórmula molecular C_5H_{10}:
a) n-pentano e metilciclobutano.
b) penteno-1 e ciclopentano.
c) pentino-2 e ciclopenteno.
d) 2-metilbutano e dimetilciclopropano.
e) 2,2-dimetilpropano e etilciclopropano.

49. Dê as fórmulas gerais dos:
a) alcanos;
b) hidrocarbonetos alifáticos (os que têm cadeias abertas) com três duplas ligações;
c) hidrocarbonetos alicíclicos (os que têm cadeias cíclicas que não sejam anéis benzênicos) com uma dupla ligação.

50. (PUC-MG) Um mol de um hidrocarboneto de fórmula desconhecida consome, em combustão total, 134,4 L de O_2 medidos em CNTP e produz 72 g de H_2O. É correto concluir que o composto orgânico é o:
a) propano.
b) butano.
c) ciclobutano.
d) ciclopropano.
e) propeno.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

7 Hidrocarbonetos aromáticos

7.1. Definição

Hidrocarbonetos aromáticos são os que possuem **um ou mais anéis benzênicos** (ou aromáticos) em sua molécula.

O composto mais simples dessa família é o benzeno (e o anel benzênico ou aromático) de fórmula C_6H_6, representado da seguinte maneira:

Benzeno

O benzeno é um líquido incolor, volátil, inflamável e muito tóxico.

Outros exemplos:

Tolueno

Presente no bálsamo de tolu, extraído de uma árvore originária da Colômbia.

Naftaleno

Vendido na forma de bolinhas de naftalina e usado como repelente de insetos.

Antraceno

Presente nos óleos destilados do carvão mineral.

Os hidrocarbonetos aromáticos são uma família tão numerosa que é impossível representá-los por uma única fórmula geral. É interessante notar, também, que os hidrocarbonetos aromáticos formam tantos derivados, e de tal importância, que a **Química dos aromáticos** chega a ser considerada um ramo especial da Química orgânica. Quase todos os compostos orgânicos são tóxicos, mas a toxidez dos aromáticos é uma das mais nocivas.

FABIO COLOMBINI

Bolinhas de naftalina.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

7.2. A estrutura do anel benzênico

O benzeno foi descoberto em 1825 por Michael Faraday (1791-1867) no gás de iluminação usado em Londres na época. Lembramos que Faraday é o mesmo cientista que descobriu vários fenômenos elétricos e determinou as leis da eletrólise. Em 1834, o químico Eilhardt Mitscherlich (1794-1863) determinou a fórmula molecular do benzeno: C_6H_6.

Pois bem, a história do benzeno é curiosa porque durante muitos anos os químicos se esforçaram para descobrir como os **seis** átomos de carbono e os **seis** de hidrogênio estavam "arrumados" no interior da molécula de benzeno. Já na metade do século XIX, vários cientistas haviam proposto diferentes fórmulas estruturais para essa molécula. Veja a seguir algumas delas e, entre parênteses, o nome do respectivo autor:

(Dewar)

(Ladenburg)

(Claus)

(Armstrong e Baeyer)

Nenhuma dessas estruturas, porém, conseguia explicar as reações apresentadas pelo benzeno. Foi então que, em 1865, o químico alemão Kekulé propôs a ideia do anel hexagonal, completada no ano seguinte com a hipótese da existência de um par de estruturas em equilíbrio, com alternância das ligações duplas:

Com essa estrutura conseguiu-se, afinal, explicar o comportamento químico do benzeno. Foi, sem dúvida, uma ideia genial de Kekulé, que, na época, não conhecia as teorias eletrônicas das ligações químicas. De certa forma, ele antecipou em 65 anos a ideia da ressonância no anel benzênico, que surgiu na Química somente em 1930. É conhecida a história de que Kekulé teria imaginado o anel benzênico depois de sonhar com uma serpente mordendo a própria cauda.

Friedrich August Kekulé von Stradonitz

Químico alemão (ao lado, retratado em 1862), nasceu em 1829 e faleceu em 1896.
Em 1857 Kekulé propôs a **tetravalência do carbono** (página 29), que foi sem dúvida o marco inicial da **Química orgânica estrutural**. De seu trabalho resultou a ideia da possível existência de ramificações nas cadeias carbônicas.
Kekulé foi um dos pioneiros da Química orgânica teórica. Suas ideias sobre a estrutura das moléculas orgânicas ajudaram o grande desenvolvimento da Química Industrial, na Alemanha, no final do século XIX, especialmente no setor dos corantes. Kekulé foi um dos maiores professores de Química de seu tempo: em 1887 completou sua obra *Tratado de Química orgânica*, de grande influência na época: três de seus discípulos foram laureados com o Prêmio Nobel de Química: Van't Hoff (1901), Fischer (1902) e Baeyer (1905).

7.3. Nomenclatura dos hidrocarbonetos aromáticos

A Iupac consagrou o nome **benzeno** para o hidrocarboneto aromático mais simples: ou C_6H_6.

Para outros hidrocarbonetos aromáticos existe, sem dúvida, a nomenclatura Iupac, mas é muito comum designá-los por **nomes particulares**.

Vamos considerar inicialmente os hidrocarbonetos com **um único anel benzênico e uma ou mais ramificações saturadas**, que são chamados de **hidrocarbonetos alquil-benzênicos** ou simplesmente **benzênicos**. Seus nomes são formados pela palavra **benzeno, precedida pelos nomes das ramificações**; a numeração dos carbonos do anel **deve partir da ramificação mais simples** e prosseguir **no sentido que resulte os menores números possíveis**. Exemplos:

Metil-benzeno (nome mais usado: tolueno)

3-etil-1,2-dimetil-benzeno

No caso de duas ramificações, são bastante usados os prefixos **orto (o), meta (m)** e **para (p)** a fim de indicar as posições 1,2 (ou 1,6)/1,3 (ou 1,5)/1,4, respectivamente.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exemplos:

1,2-dimetil-benzeno
ou
o-dimetil-benzeno
ou
o-xileno

1,3-dimetil-benzeno
ou
m-dimetil-benzeno
ou
m-xileno

1,4-dimetil-benzeno
ou
p-dimetil-benzeno
ou
p-xileno

Os grupos **monovalentes**, derivados dos hidrocarbonetos aromáticos pela subtração de um hidrogênio do anel aromático, denominam-se **grupos aril** (ou **arila**), e são representados simbolicamente por – *Ar*. Por exemplo:

Fenil

Benzil

o-toluil

m-toluil

p-toluil

Atenção para os dois primeiros, que costumam causar confusões: o grupo derivado do **benzeno** chama-se **fenil**, enquanto **benzil** é o grupo derivado do tolueno com valência livre na cadeia lateral.

Os nomes desses grupos são importantes, pois facilitam a nomenclatura de hidrocarbonetos aromáticos mais complexos, como, por exemplo:

Trifenil-metano

1,2-difenil-etano

4-fenil-2,4-dimetil-hex-2-eno

Repetimos que na família dos aromáticos é muito comum o uso de nomes particulares, por exemplo:

Naftaleno

Antraceno

Fenantreno

7.4. Classificação dos hidrocarbonetos aromáticos

a) Aromáticos mononucleares ou monocíclicos

São os hidrocarbonetos que têm um único anel benzênico:

- **benzênicos** ou **com ramificações saturadas**

Tolueno

Etil-benzeno

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

- **com ramificações insaturadas** (contendo uma ou mais ligações duplas e/ou triplas)

Estireno

O primeiro grupo é, sem dúvida, o mais importante. Por isso, dizemos que **hidrocarbonetos benzênicos** são os aromáticos **monocíclicos** com **ramificações acíclicas e saturadas**.

Obedecem à fórmula geral C_nH_{2n-6}, sendo $n \geqslant 6$. Exemplos:

C_6H_6 ⇒

C_7H_8 ⇒

C_8H_{10} ⇒

b) Aromáticos polinucleares ou policíclicos

São os que apresentam dois ou mais anéis benzênicos. São classificados em:

- **de núcleos isolados**

Bifenilo

1,3-difenil-propano

- **de núcleos condensados**

Naftaleno

Antraceno

Fenantreno

7.5. A presença dos aromáticos em nossa vida

Os primeiros hidrocarbonetos aromáticos e seus derivados foram encontrados em cascas de árvores, no óleo de baleia e, mais tarde, nos destilados da hulha ou carvão mineral. Receberam o nome de **aromáticos** devido ao seu odor agradável, como acontece com o tolueno, encontrado no bálsamo de tolu. Posteriormente descobriu-se que esses compostos tinham em sua estrutura o anel do benzeno, o qual passou a ser considerado a estrutura fundamental da família dos aromáticos.

Um episódio importante na história da Química orgânica foram os trabalhos de **síntese** realizados por Adolf von Baeyer (1835-1917) no século XIX.

Adolf von Baeyer, em foto de 1905.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Baeyer realizou pesquisas sobre muitos compostos orgânicos e criou uma teoria importante sobre a **estabilidade de compostos cíclicos**. Um de seus principais trabalhos foi o da síntese do índigo.

O **índigo**, muito usado para tingir tecidos de azul (por exemplo, os *jeans* clássicos, como o da foto ao lado), é um dos corantes mais antigos que se conhecem. O índigo natural é extraído de uma planta que, no final do século XIX, era extensivamente cultivada na Índia e em Java. Baeyer trabalhou dezessete anos (1865-1882) pesquisando a estrutura do índigo natural até chegar à sua síntese.

Índigo ($C_{16}H_{10}N_2O_2$)

CHUCK GOODENOUGH/ALAMY/OTHER IMAGES

Em 1893, uma empresa alemã desenvolveu outro processo, mais barato, para obter o índigo sintético – e começou a comercializá-lo, em 1897, por um preço bem abaixo do índigo natural. Isso acabou com as plantações da Índia e de Java e ocasionou uma forte crise econômica nesses países. Em contrapartida, foram sínteses desse tipo que provocaram o grande desenvolvimento da indústria química alemã ocorrido no final do século XIX. Note, então, como o desenvolvimento científico e industrial pode provocar a ascensão ou a queda econômica de povos e países.

Por seus trabalhos pioneiros em corantes sintéticos e em compostos hidroaromáticos, Baeyer recebeu o Prêmio Nobel de Química em 1905.

Questões

Registre as respostas em seu caderno

a) Um hidrocarboneto aromático, com ramificação insaturada, possui fórmula molecular C_8H_8. Qual é a fórmula estrutural desse aromático? Qual é o seu nome?

b) Um aromático com ramificações saturadas possui fórmula molecular C_8H_{10}. Quais são as possíveis fórmulas estruturais desse aromático? Dê o nome, segundo a Iupac, de cada um dos compostos.

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

51. Dê os nomes dos seguintes compostos:

a)

b)

c)

d)

52. Qual é a fórmula estrutural dos seguintes compostos:

a) m-xileno?
b) 1,3,5-trimetil-benzeno?
c) 4-etil-3-fenil-2-metil-heptano?

53. (UPF-RS) Os nomes dos radicais orgânicos a seguir representados são, respectivamente:

I. $CH_3 — CH_2 —$

II. $CH_3 — CH(CH_3) — CH_2 —$

III.

IV. $CH_3 — C(CH_3)_2 —$

a) metila, isobutila, fenila, terc-butila.
b) etila, sec-butila, fenila, terc-butila.
c) metila, sec-butila, benzila, terc-butila.
d) metila, isobutila, fenila, isoamila.
e) etila, isobutila, benzila, terc-butila.

54. (UEMG) O hidrocarboneto de nome usual metil-etil-fenil metano tem que nome oficial ou Iupac?

a) sec-butil-benzeno
b) n-butil-benzeno
c) terc-butil-benzeno
d) iso-butil-benzeno
e) etil-tolueno

55. (UEPB) As bolinhas de naftalina são produtos muito utilizados em armários, no combate às traças. Elas diminuem de tamanho com o passar do tempo devido ao fenômeno da sublimação. Identifique a alternativa que corresponde ao constituinte químico da **naftalina** e à série orgânica a que pertence, respectivamente:

a) Tolueno; hidrocarboneto.
b) Nafteno; cicleno.
c) Fenantreno; alceno.
d) Naftaleno; hidrocarboneto aromático.
e) Naftol; fenol.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

56. (UEL-PR) Dentre os componentes do cigarro, encontram-se a nicotina, que interfere no fluxo de informações entre as células; a amônia, que provoca irritação nos olhos; e o alcatrão, formado pela mistura de compostos como o benzopireno, o crizeno e o antraceno, todos com potencial cancerígeno. Sobre o benzopireno, cuja estrutura química é apresentada abaixo, é correto afirmar que a molécula é formada por:

Benzopireno

a) cadeias aromáticas com núcleo benzênico.
b) arranjo de cadeias carbônicas acíclicas.
c) cadeias alicíclicas de ligações saturadas.
d) cadeias carbônicas heterocíclicas.
e) arranjo de anéis de ciclo-hexano.

57. (Cefet-RJ) O pireno, hidrocarboneto de núcleos condensados, obtido do alcatrão de hulha, solúvel em éter e insolúvel em água, apresenta a fórmula estrutural plana.

Pireno

A fórmula molecular do pireno é:

a) $C_{14}H_8$
b) $C_{15}H_{10}$
c) $C_{16}H_{10}$
d) $C_{17}H_{12}$
e) $C_{18}H_{12}$

58. (UFSCar-SP) A queima do eucalipto para produzir carvão pode liberar substâncias irritantes e cancerígenas, tais como benzoantracenos, benzofluorantenos e dibenzoantracenos, que apresentam em suas estruturas anéis de benzeno condensados. O antraceno apresenta três anéis e tem fórmula molecular:

a) $C_{14}H_8$
b) $C_{14}H_{10}$
c) $C_{14}H_{12}$
d) $C_{18}H_{12}$
e) $C_{18}H_{14}$

59. (UFRGS-RS) Os químicos, no passado, utilizaram muito o benzeno como solvente. Atualmente o uso de benzeno é restrito, pois sabe-se que ele é cancerígeno. O limite tolerado de exposição ao benzeno é de 3,2 mg por metro cúbico de ar. Essa concentração é equivalente a:

a) $4{,}1 \cdot 10^{-8}$ mol/L.
b) 0,041 mol/L.
c) $2{,}2 \cdot 10^{-5}$ mol/L.
d) $2{,}2 \cdot 10^{-3}$ % em massa.
e) 0,022% em massa.

LEITURA

A CARBOQUÍMICA

Até hoje, a principal fonte de compostos orgânicos sintéticos tem sido o petróleo — daí o grande desenvolvimento da **petroquímica**. No entanto, o grande aumento do preço do petróleo levou à busca de outras fontes de compostos orgânicos. Um caminho importante para a obtenção desses compostos é o da **carboquímica**, que parte dos carvões minerais.

Os carvões minerais são encontrados no subsolo e resultam da transformação de árvores soterradas durante milhares ou milhões de anos. Pela ação de microrganismos e, posteriormente, pela ação de pressão e temperaturas elevadas, os vegetais soterrados perdem umidade, oxigênio, nitrogênio etc., produzindo um carvão cada vez mais puro, isto é, mais rico em carbono. Os principais carvões minerais são:

Turfa	(60 a 65% de C)
Linhito	(65 a 80% de C)
Hulha	(80 a 90% de C)
Antracito	(90 a 95% de C)

No sentido da seta, temos:
– idades geológicas crescentes;
– localização em jazidas cada vez mais profundas;
– umidade decrescente;
– teores de H, O, N etc. decrescentes;
– carbonificação crescente, isto é, aumento no teor de carbono;
– poder calorífico crescente.

A **hulha** ou **carvão de pedra** é o carvão fóssil mais abundante e mais importante. Às vezes, ele é encontrado próximo da superfície, porém mais frequentemente localiza-se entre 400 e 1.000 m de profundidade.

No início da Revolução Industrial (século XVIII) os fornos de produção de ferro e aço da Europa usavam carvão vegetal. Essa prática levou à destruição de muitas florestas europeias. Passou-se então a usar a hulha, em um processo empregado até hoje que, além de produzir o carvão (coque) necessário à indústria siderúrgica, produz uma série importante de compostos aromáticos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Reservas provadas de carvão mineral em 2008

Estados Unidos, Federação Russa e China, juntos, têm 61,7% das reservas mundiais. O Brasil tem poucas reservas, somente 7 bilhões de toneladas ou 0,9% das reservas mundiais.

Total: 826 bilhões de toneladas

ADILSON SECCO

Fonte: Gráfico elaborado a partir de dados da British Petroleum.

Uma vez extraída, a hulha é aquecida em retortas, na ausência de ar (ou pegaria fogo), por um processo denominado **destilação seca** ou **pirólise**. Resultam então quatro frações principais:

HULHA —1.000 °C→

- **Gás de hulha** → Mistura de H_2, CH_4, CO etc. usada como combustível ou fonte de H_2.
- **Águas amoniacais** → Solução de NH_4OH e seus sais; reagindo com H_2SO_4, produz $(NH_4)_2SO_4$, usado como adubo.
- **Alcatrão de hulha** → Líquido oleoso, escuro, insolúvel em água e formado pela mistura de centenas de compostos orgânicos, principalmente aromáticos.
- **Carvão coque** → É o produto principal e é usado como redutor em metalurgia (siderurgia).

O alcatrão de hulha obtido no processo anterior, sendo submetido à destilação fracionada, produz:

ALCATRÃO

- Até 160 °C → **Óleos leves**: Benzeno; Tolueno (CH_3); Xilenos (o/m/p) (CH_3, CH_3); etc.
- De 160 °C a 230 °C → **Óleos médios**: Fenol (OH); Piridina (N); Naftaleno; etc.
- De 230 °C a 270 °C → **Óleos pesados**: Anilina (NH_3); Cresóis (o/m/p) (CH_3, OH); Naftóis (a/b) (OH); etc.
- De 270 °C a 360 °C → **Óleos antracênicos**: Antraceno; Fenantreno; etc.
- Resíduo → **Piche**

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Além de serem obtidos nas indústrias de carvão mineral (via carboquímica), os hidrocarbonetos aromáticos são obtidos também pela indústria petroquímica (via petroquímica). De fato, consegue-se atualmente produzir os hidrocarbonetos benzênicos mais simples (benzeno, tolueno, xilenos, por exemplo) a partir de frações do petróleo. Economicamente, esses processos são muito importantes, pois as quantidades de aromáticos obtidas a partir da hulha seriam insuficientes para satisfazer a demanda industrial.

Atualmente, vários países desenvolvem novos processos de aproveitamento do carvão e de seus subprodutos, visando escapar da alta do petróleo. Dentre os objetivos desses processos estão, por exemplo, a produção do metanol, da amônia e do hidrogênio.

Questões sobre a leitura

Registre as respostas em seu caderno

60. Pesquise quais são os tipos de carvão mineral mais encontrados no Brasil e em quais estados se localizam as jazidas.

61. (Uepa) Os carvões minerais são encontrados no subsolo e resultam da transformação de árvores que ficaram soterradas durante milhões de anos. Pela ação de micro-organismos e, posteriormente, pela ação de pressão e temperaturas elevadas, os vegetais soterrados vão perdendo umidade, oxigênio, nitrogênio etc. e produzindo um carvão cada vez mais puro, isto é, mais rico em carbono e, por conseguinte, com maior poder calorífico.
O gráfico mostra em média a porcentagem de carbono em quatro carvões minerais.

ADILSON SECCO

Baseado nas informações apresentadas acima, qual é a alternativa **correta**?
a) A turfa é o carvão que apresenta maior poder calorífico.
b) A combustão do linhito leva à liberação de maior quantidade de CO_2.
c) O carvão que apresenta maior concentração de nitrogênio é a hulha.
d) A hulha é o carvão que apresenta maior poder calorífico.
e) A combustão do antracito leva à liberação de maior quantidade de CO_2.

62. (FGV-SP) A destilação de hulha produz uma série de compostos, um dos quais é um hidrocarboneto de massa molar 78 g/mol. Considerando-se que as massas molares do carbono, hidrogênio e oxigênio são, respectivamente, 12, 1 e 16 g/mol, concluímos que esse hidrocarboneto é:
a) hexeno.
b) benzeno.
c) pentano.
d) ciclopentano.
e) hexano.

63. (UFRGS-RS) Em 1893 a síntese da alizarina, corante azulado conhecido como anil, trouxe ao alcatrão da hulha, até então considerado como resíduo indesejável de indústrias de aço, grande importância como fonte de compostos orgânicos. A importância do alcatrão da hulha na Química orgânica deve-se ao fato de ser constituído principalmente de substâncias com cadeia carbônica do mesmo tipo que a do:
a) hexano.
b) ciclohexano.
c) éter etílico.
d) propeno.
e) naftaleno.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO

3 Funções orgânicas oxigenadas

O oxigênio é um elemento abundante na natureza: encontra-se no ar, na água e no solo. Diversos óxidos existentes no mundo mineral são de metais que foram oxidados pelo oxigênio. No mundo orgânico ocorre o mesmo. A presença do oxigênio nas cadeias de carbono e hidrogênio forma os compostos orgânicos oxigenados, como o álcool combustível.

TÓPICOS DO CAPÍTULO

1 INTRODUÇÃO
2 ÁLCOOIS
3 FENÓIS
4 ÉTERES
5 ALDEÍDOS E CETONAS
6 ÁCIDOS CARBOXÍLICOS
7 DERIVADOS DOS ÁCIDOS CARBOXÍLICOS
8 RESUMO DAS FUNÇÕES OXIGENADAS

LEITURA: *PERFUMES E FLAVORIZANTES*

A força do etanol

Em seu ciclo de produção, do campo até a queima nos motores, o etanol de cana-de-açúcar recupera a maior parte do CO_2 gerado na combustão.

A quantidade de CO_2 emitido e absorvido na produção e no consumo de etanol varia conforme fatores biológicos, ambientais e tecnológicos. Segundo a União da Indústria de Cana-de-Açúcar, o ciclo de produção de **1.000 litros** de álcool combustível gera e absorve aproximadamente as seguintes quantidades de CO_2:

1 Cultivo e colheita

Equipamentos e insumos agrícolas são usados desde a preparação da terra. Em 2007, metade da colheita paulista foi feita manualmente, o que exige queimadas. Mas o Governo Federal determinou que até 2014 toda a colheita seja mecanizada.

2 Crescimento

A planta acumula energia química por meio da transformação da radiação solar, do CO_2 e da água em carboidratos, pela **fotossíntese**. Assim, a cana-de-açúcar sequestra o carbono da atmosfera para seu crescimento.

ILUSTRAÇÕES: MARIO BAG

5 **Consumo**
A queima de 1.000 litros de etanol emite gases equivalentes a pouco mais de 1,5 tonelada de dióxido de carbono.

Fazendo as contas
Nesse ciclo de produção de 1.000 litros de etanol, o saldo de CO_2 é de:

2.961 kg Emissão	3.604 kg Emissão	50 kg Emissão	1.520 kg Emissão	7.650 kg Absorção
1 +	3 +	4 +	5 –	2

= 485 kg de CO_2 emitido

Produzir e consumir uma quantidade energeticamente equivalente de **gasolina resultaria na emissão de 2.280 kg de CO_2**.

Ou seja, o etanol emite cerca de **80% menos CO_2** que a gasolina.

ILUSTRAÇÕES: MARIO BAG

4 **Distribuição**
O *diesel* move os caminhões que carregam o etanol (atualmente estão sendo construídos alcooldutos).

3 **Processamento**
A cana-de-açúcar moída libera uma solução de sacarose que pode ser levada diretamente para a **fermentação** e a destilação. O bagaço é aproveitado na própria usina, para gerar energia em usinas termoelétricas.

Nos Estados Unidos essa etapa é muito mais poluente e demorada, pois usa-se milho, cujo amido tem que ser degradado por enzimas em açúcares solúveis para poder ser fermentado.

REFLETINDO

Genericamente, a fórmula da gasolina é C_8H_{18} e a do álcool é C_2H_5OH. Nos motores, esses dois combustíveis sofrem a oxidação completa (combustão total) e geram como produtos energia, CO_2 e água.

a) Podemos entender os compostos oxigenados como um hidrocarboneto que sofreu oxidação parcial?

b) Na produção do álcool da cana-de-açúcar, podemos dizer que o etanol foi sintetizado de forma direta a partir dos reagentes?

Explique suas respostas.

1 Introdução

Funções orgânicas oxigenadas são as que contêm **oxigênio**, além de carbono e hidrogênio.

As funções orgânicas oxigenadas representam uma família enorme e muito diversificada de compostos orgânicos. Isso acontece porque, depois do carbono e do hidrogênio, o oxigênio é o elemento químico de maior presença nos compostos orgânicos.

Os grupos funcionais oxigenados estão presentes em uma **infinidade de compostos** de grande importância biológica, como, por exemplo: no amido dos cereais, nos óleos dos vegetais, na gordura dos animais, nas bebidas alcoólicas etc. Além disso, estão presentes também em essências, perfumes, plásticos, fibras têxteis sintéticas e no álcool como combustível para automóveis.

Vamos estudar as funções oxigenadas mais importantes, que são: **álcoois**, **fenóis**, **éteres**, **aldeídos**, **cetonas**, **ácidos carboxílicos** e seus derivados.

2 Álcoois

2.1. Definição

Álcoois são compostos orgânicos que contêm um ou mais grupos **hidroxila** (OH) ligados diretamente a átomos de carbono saturados.

Exemplos:

Álcool alifático

Diálcool alifático

Álcool cíclico

Álcool aromático

Costuma-se representar um monoálcool por $R — OH$. Pode-se também considerá-lo como derivado da água (H — O — H), pela substituição de um hidrogênio por um grupo orgânico.

A **hidroxila** ou **oxidrila (OH)** é o **grupo funcional** dos álcoois, pois é a responsável pelas propriedades químicas desses compostos.

OBSERVAÇÃO

Nem todos os compostos que apresentam o grupo hidroxila (OH) podem ser considerados álcoois. Veja os dois exemplos seguintes:

Não é álcool; é um **enol** (instável), pois o OH está ligado a um carbono insaturado.

Não é álcool; é um **fenol**, pois o OH está ligado a um anel benzênico.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

No dia a dia, quando os jornais, o rádio, a televisão etc. falam em **álcool**, estão se referindo ao álcool comum, de fórmula $CH_3 — CH_2OH$, conhecido como **álcool etílico** e de nome oficial **etanol**. Além de estar presente nas bebidas "alcoólicas", o etanol tem largo emprego industrial – como solvente, na produção de loções e perfumes e, ainda, como combustível para automóveis. A família dos álcoois, no entanto, é muito mais numerosa e diversificada. Por exemplo, são álcoois (ou têm o grupo funcional dos álcoois) substâncias como: a **glicerina**, usada em sabões, em cosméticos, nas tintas de impressão gráfica, como aditivo em alimentos etc.; os **açúcares**, como a glicose, a sacarose etc.; o **amido**, existente na batata, na mandioca, no trigo etc.; a **celulose**, presente no papel que usamos diariamente etc.

2.2. Nomenclatura dos álcoois

A nomenclatura Iupac reserva para os álcoois a terminação **OL**, tirada da própria palavra álco**ol**. A cadeia principal deve ser a mais longa **que contém o carbono ligado ao OH**; a numeração da cadeia deve se iniciar pela **extremidade mais próxima ao OH**; e, por fim, o nome do álcool será o do hidrocarboneto correspondente à cadeia principal, trocando-se a letra **o** final por **ol**. Exemplos:

Metanol

Etanol

Nomenclatura Iupac: 2-metil-propan-1-ol
Nomenclatura antiga: 2-metil-1-propanol

Nomenclatura Iupac: 4-metil-pentan-2-ol
Nomenclatura antiga: 4-metil-2-pentanol

Nomenclatura Iupac: Ciclopentanol

Nomenclatura Iupac: 3-metil-ciclohexan-1-ol
Nomenclatura antiga: 3-metil-1-ciclo-hexanol

(Neste último exemplo, o número 1 pode ser omitido, dizendo-se: 3-metil-ciclo-hexanol.)

Em **moléculas mais complicadas**, a nomenclatura Iupac considera a hidroxila uma **ramificação**, chamada de **hidróxi**:

3-cloro-1-fenil-2-hidróxi-butano

(Note que as ramificações são escritas em ordem alfabética.)

Uma nomenclatura comum, muito usada, é:

Álcool _____ ico
Nome do grupo orgânico

Exemplos:

$CH_3 — CH_2OH$

Álcool etílico

Álcool benzílico

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Outra nomenclatura, mais antiga, é a **nomenclatura de Kolbe**. Esse cientista chamava o metanol de **carbinol** e considerava os demais álcoois como seus derivados:

CH_3OH

Carbinol

Trimetil-carbinol

2.3. Classificações dos álcoois

Os álcoois podem ser classificados segundo vários critérios. Os mais comuns são:

- **de acordo com a cadeia carbônica**

$CH_3 — CH_2 — CH_2OH$

Propan-1-ol
(álcool saturado)

but-1-en-3-ol
(álcool insaturado)

Álcool benzílico
(álcool aromático)

- **de acordo com o número de oxidrilas**

a) **monoálcoois** ou **monóis** (têm **uma** hidroxila):

$CH_3 — CH_2OH$ Etanol (é o álcool comum)

b) **diálcoois** ou **dióis** (têm **duas** hidroxilas):

Etileno-glicol (usado na produção de polímeros e como anticongelante da água)

c) **triálcoois** ou **tríois** (têm **três** hidroxilas):

Glicerina (usada em perfumaria, em confeitaria e na produção de polímeros e da nitroglicerina)

e assim por diante: tetróis, pentóis, polióis etc.

- **de acordo com a posição da hidroxila**

a) **álcool primário** (tem a hidroxila ligada a carbono primário):

$CH_3 — CH_2 — OH$ Etanol

b) **álcool secundário** (tem a hidroxila ligada a carbono secundário):

Propan-2-ol

c) **álcool terciário** (tem a hidroxila ligada a carbono terciário):

2-metil-propan-2-ol

Questões Registre as respostas em seu caderno

Apesar de tóxico, o mais simples dos álcoois é muito importante em laboratórios e indústrias.

a) Qual o nome desse álcool? Qual sua fórmula estrutural? Como podemos classificá-lo?

b) Um monoálcool secundário e saturado possui 3 carbonos e 8 hidrogênios. Qual a fórmula estrutural desse álcool? Qual seu nome, segundo a Iupac?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

1. Dê os nomes, segundo a Iupac, dos seguintes compostos:

a) $CH_3-\underset{\underset{OH}{|}}{CH}-CH_3$

b) $(CH_3)_2CH-\underset{\underset{OH}{|}}{CH}-CH(CH_3)_2$

c) $CH_3-\overset{\overset{CH_3}{|}}{\underset{\underset{CH_3}{|}}{C}}-CH_2-\underset{\underset{OH}{|}}{CH_2}$

d) $CH_3-CH_2-\underset{\underset{C_2H_5}{|}}{CH}-\overset{\overset{CH_3}{|}}{\underset{\underset{OH}{|}}{C}}-CH_2-\underset{\underset{CH_3}{|}}{CH}-CH_3$

e)

2. Quais são as fórmulas estruturais dos seguintes compostos:

a) álcool terciobutílico?
b) etil-metil-carbinol?
c) 6-metil-heptan-3-ol?
d) ciclopropanol?

3. (UFG-GO-Modificado) O composto

$CH_2-CH_2-\overset{\overset{OH}{|}}{\underset{\underset{C_6H_5}{|}}{C}}-\underset{\underset{CH_3}{|}}{CH_2}$, pelo sistema Iupac, é o:

a) 3-fenil-3-hexanal.
b) fenil-n-metil-propil-carbinol.
c) 4-etil-4-fenil-butanol.
d) etil-fenil-propil-carbinol.
e) 3-fenil-hexan-3-ol.

4. (U. São Judas-SP-Modificado) O manitol, $C_6H_{14}O_6$, é um tipo de açúcar utilizado na fabricação de condensadores eletrolíticos secos, que são usados em rádios, videocassetes e televisores; por isso, em tais aparelhos podem aparecer alguns insetos, principalmente formigas. Se a fórmula estrutural é:

$$HOH_2C-\underset{\underset{OH}{|}}{\overset{\overset{H}{|}}{C}}-\underset{\underset{OH}{|}}{\overset{\overset{H}{|}}{C}}-\underset{\underset{H}{|}}{\overset{\overset{OH}{|}}{C}}-\underset{\underset{H}{|}}{\overset{\overset{OH}{|}}{C}}-CH_2OH$$

Qual o nome oficial (Iupac) desse açúcar?

a) Hexanol.
b) Hexan-1,6-diol.
c) Hexan-1,2,3-triol.
d) 1,2,3,4-tetra-hidroxi-hexano.
e) Hexan-1,2,3,4,5,6-hexol.

5. (Unama-PA) Entre os compostos listados a seguir, qual aquele que apresenta um carbono terciário, uma dupla ligação e pertence à função álcool?

a) $CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-\underset{\underset{CH_3}{|}}{CH}-\underset{\underset{CH_3}{|}}{CH}-CH_3$

b) $CH_3-C\equiv C-CH_2-\overset{\overset{OH}{|}}{CH_2}$

c) $CH_3-CH=CH-\overset{\overset{CH_3}{|}}{CH}-COOH$

d) $CH_3-CH_2-CH=CH-\overset{\overset{O}{\|}}{CH}$

e) $CH_3-\overset{\overset{CH_3}{|}}{C}=CH-\overset{\overset{OH}{|}}{CH}-CH_2-CH_3$

6. (UCS-RS-Modificado) Os compostos da função álcool são de grande importância para a nossa vida, tanto pelo uso direto como pela utilidade na preparação de outros compostos orgânicos. O etan-1,2-diol, ou etileno-glicol, é comercializado como anticongelante da água de radiadores. O propan-1,2,3-triol, ou glicerina, é utilizado como agente umectante na indústria alimentícia. O propan-2-ol, ou álcool isopropílico, é usado como desinfetante. Os compostos da função álcool citados são, respectivamente, representados pelas fórmulas:

a) $CH_2=CH_2-OH$; $CH_3-CH_2-CH_2-OH$; CH_3-O-CH_3

b) $\underset{\underset{HO}{|}}{H_2C}-\underset{\underset{OH}{|}}{CH_2}$; $\underset{\underset{HO}{|}}{H_2C}-\underset{\underset{OH}{|}}{CH}-\underset{\underset{OH}{|}}{CH_2}$; $H_3C-\underset{\underset{OH}{|}}{CH}-CH_3$

c) CH_3-CH_2-OH; $CH_2=CH-OH$; $\underset{\underset{HO}{|}}{H_2C}-\underset{\underset{OH}{|}}{CH_2}$

d) $\underset{\underset{HO}{|}}{HC}=\underset{\underset{OH}{|}}{CH}$; CH_3-O-CH_3; $\underset{\underset{HO}{|}}{H_2C}-\underset{\underset{OH}{|}}{CH}-\underset{\underset{OH}{|}}{CH_2}$

e) CH_3-CH_2-COOH; CH_3-CH_2-COH; $H_3C-\underset{\underset{OH}{|}}{CH}-CH_3$

7. (Mackenzie-SP) O óleo de rosas tem fórmula estrutural

É **incorreto** afirmar que:

a) é um álcool.
b) possui somente um carbono terciário em sua estrutura.
c) é um ciclano.
d) tem fórmula molecular $C_8H_{10}O$.
e) possui um anel benzênico em sua estrutura.

8. (UFF-RJ-Modificado) Um composto orgânico *X* apresenta os quatro átomos de hidrogênio do metano substituídos pelos grupos: isopropil, benzil, hidróxi e metil. A fórmula molecular de *X* é:

a) $C_{12}H_{16}O_2$
b) $C_{11}H_{16}O$
c) $C_{12}H_{18}O$
d) $C_{11}H_{14}O_2$
e) $C_{11}H_{14}O$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

2.4. A presença dos álcoois em nossa vida

Vamos considerar apenas os dois álcoois mais comuns: o metanol e o etanol.

a) Metanol

O **metanol**, **álcool metílico** ou carbinol foi antigamente chamado também de "álcool de madeira", por poder ser obtido pelo aquecimento da madeira em retortas (fornos fechados, sem entrada de ar), de acordo com o esquema seguinte:

Esse processo é antigo e está em desuso industrial por ser antieconômico. É oportuno, porém, observar que a fração aquosa da destilação da madeira tem **caráter ácido** (pois contém ácido acético), ao contrário da fração aquosa da destilação da hulha, chamada de **águas amoniacais**, que é **básica** (pois contém hidróxido de amônio), como vimos na página 82.

Atualmente, o metanol é obtido sinteticamente por dois caminhos:

- **a partir do monóxido de carbono**:

$$CO + 2\,H_2 \xrightarrow[ZnO + Cr_2O_3]{400\ °C/200\ atm} CH_3OH$$

Nesse caso, a mistura CO e H_2 é obtida do chamado **gás de água**:

$$C + H_2O \xrightarrow{\Delta} \underbrace{CO + H_2}_{\text{Gás de água}}$$

$$CO + H_2O \xrightarrow[\text{Catalisadores}]{\Delta} CO_2 + H_2$$

Esse é um processo **carboquímico**, pois parte do carvão coque.

- **por oxidação controlada do metano**:

$$CH_4 + \frac{1}{2}\,O_2 \xrightarrow[\text{Catalisadores}]{500\ °C/15\ atm} CH_3OH$$

Esse é um processo **petroquímico**, pois parte do gás natural (metano) ou do petróleo.

O metanol é muito usado, industrialmente, como solvente e na produção do metanal ou aldeído fórmico (formol), de acordo com a equação:

$$CH_3OH + \frac{1}{2}\,O_2 \xrightarrow{Fe} HCHO + H_2O$$

O metanol é altamente inflamável, queimando segundo a equação:

$$2\,CH_3OH + 3\,O_2 \longrightarrow 2\,CO_2 + 4\,H_2O$$

A chama produzida é de cor azul muito clara, de modo que se torna praticamente invisível quando está sob forte luminosidade (é um perigo adicional).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O metanol pode ser usado como combustível, em motores a explosão.

O metanol é o mais tóxico dos álcoois. Se ingerido, ainda que em pequenas doses, causa cegueira e até morte, como ocorreu em Salvador, na Bahia, no início de 1999, quando 40 pessoas morreram devido ao consumo de aguardente contaminada com metanol.

JAMIE SQUIRE/GETTY IMAGES

Os carros da Fórmula Indy utilizavam metanol como combustível até 2007 quando, por segurança, passaram a usar o etanol.

b) Etanol

O **etanol** ou **álcool etílico** é o **álcool comum**, de extenso uso como solvente doméstico e industrial. Atualmente, no Brasil, é um dos principais combustíveis automotivos.

ADILSON SECCO

Modelo molecular do etanol. (Representação esquemática sem escala; cores-fantasia.)

O etanol pode ser obtido por:

- **hidratação do etileno** (fora do Brasil é bastante usado):

$$CH_2{=}CH_2 + H_2O \xrightarrow{H_2SO_4} CH_3{-}CH_2OH$$

O etileno, por sua vez, é obtido a partir do petróleo.

- **fermentação de açúcares ou cereais.**

No Brasil, o álcool é obtido por fermentação do açúcar de cana. Em outros países, usam-se como matérias-primas a beterraba, o milho, o arroz etc. (daí o nome "álcool de cereais").

Esquematicamente, o processo usado no Brasil é o apresentado a seguir. Repare que, a partir de uma tonelada de cana-de-açúcar, consegue-se produzir cerca de 70 litros de etanol.

Somente no processo de fermentação do melaço é que ocorrem reações químicas, ou melhor, **bioquímicas**, como as mostradas a seguir:

$$\underbrace{C_{12}H_{22}O_{11}}_{\text{Sacarose (açúcar de cana)}} + H_2O \xrightarrow{\text{Invertase}} \underbrace{C_6H_{12}O_6}_{\text{Glicose}} + \underbrace{C_6H_{12}O_6}_{\text{Frutose}}$$

$$\underbrace{C_6H_{12}O_6}_{\text{Glicose ou frutose}} \xrightarrow{\text{Enzimas}} \underbrace{2\,C_2H_5OH}_{\text{Etanol}} + \underbrace{2\,CO_2\uparrow}_{\text{Gás carbônico}}$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

As enzimas (incluindo a invertase) são produzidas pelo micro-organismo *Saccharomyces cerevisae*, encontrado no **fermento** ou na **levedura de cerveja**.

Após a fermentação, o álcool é destilado, obtendo-se o álcool comum a 96 graus Gay-Lussac (96 °GL), que corresponde à mistura azeotrópica de 96% de etanol e 4% de água, em volume. A escala Gay-Lussac, usada para medir as concentrações das misturas álcool-água, é antiga, mas ainda bastante usada. Na prática, ela é incorporada a um densímetro especial, chamado **alcoômetro** (mostrado ao lado), no qual o valor de 0 °GL (zero grau Gay-Lussac) corresponde à água pura, e o valor 100 °GL corresponde ao etanol puro.

Detalhe ampliado do copo com álcool e densímetro.

Alcoômetro.

FOTOS: EDUARDO SANTALIESTRA/CID

DELFIM MARTINS/PULSAR IMAGENS

Colunas de destilação de álcool. (Sertãozinho, SP, 2004.)

ANDRÉ VIEIRA/GETTY IMAGES

Equipamento de amostragem para controle de qualidade na produção de álcool. (Patrocínio Paulista, SP, 2003.)

Duas expressões bastante usadas são: álcool anidro e álcool desnaturado.

Álcool anidro ou **absoluto** é o álcool praticamente isento de água (quase 100% etanol). É obtido, industrialmente, destilando-se o álcool comum com benzeno, o qual arrasta consigo praticamente os 4% de água existentes no álcool comum. O álcool anidro é usado em mistura com a gasolina.

Álcool desnaturado ou **denaturado** é o álcool comum ao qual são adicionadas substâncias de cheiro e sabor desagradáveis. Isso é feito para que o álcool industrial (sobre o qual incidem impostos mais baixos) não seja desviado para a fabricação de bebidas (que usa álcool sujeito a impostos mais altos).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

• **Usos do etanol**

Domesticamente, o álcool líquido 96 °GL ainda é usado como **desinfetante**. Ele é também responsável por milhares de pessoas queimadas por ano, especialmente crianças, por isso, atualmente é mais comum o álcool líquido 46 °GL. Daí, sua frequente substituição pelo **álcool gel**, preparado misturando-se o álcool líquido com um polímero denominado **carbopol**.

EDUARDO SANTALIESTRA/CID

O uso do álcool gel é mais seguro, pois ele não é explosivo e queima cerca de 4 a 5 vezes mais devagar que o álcool comum.

Na **indústria**, o etanol é usado:

- como **solvente** para tintas, vernizes, perfumes etc.;
- na **obtenção de vários compostos orgânicos**, por exemplo:
  - **acetaldeído** ($CH_3 — CH_2OH + \frac{1}{2} O_2 \longrightarrow CH_3 — CHO + H_2O$);
  - **ácido acético** ($CH_3 — CH_2OH + O_2 \longrightarrow CH_3 — COOH + H_2O$; é a reação que ocorre quando o vinho azeda e torna-se vinagre);
  - **éter comum** ($2\ CH_3 — CH_2OH \longrightarrow CH_3 — CH_2 — O — CH_2 — CH_3 + H_2O$) etc.

$$\cdots CH_2 — \underset{\underset{COOH}{|}}{CH} — CH_2 \cdots$$

Carbopol, também usado em géis cosméticos

Indubitavelmente, porém, o maior uso do etanol, no Brasil, é como **combustível para automóveis**, além de sua presença em **bebidas alcóolicas**.

c) Álcool automotivo

Em 1973, o preço do petróleo quadruplicou e chegou a 30 dólares o barril. O Brasil, que na ocasião importava cerca de 80% do petróleo que consumia, sofreu um sério golpe em sua economia. Para enfrentar essa crise, o Governo Federal criou, em 1975, o Programa Nacional do Álcool (Proálcool). O objetivo era aumentar a produção do álcool e adicioná-lo à gasolina, para economizar petróleo. Posteriormente, foram introduzidos no mercado os carros movidos exclusivamente a álcool; estes, em 1985, chegaram a representar 96% da produção nacional de automóveis. No mesmo ano, porém, o preço internacional do petróleo caiu pela metade, e o interesse na produção do álcool diminuiu. Os carros movidos a gasolina voltaram a predominar em nossas ruas, mas sempre havendo adição de 20% a 25% de álcool anidro à gasolina. A partir de 2004, com o aumento do crescimento econômico e do consumo de petróleo, sua cotação chegou perto de 150 dólares o barril (julho de 2008). Com isso, o álcool valorizou-se muito em todo o mundo. Independentemente do vaivém da economia mundial, o álcool provou ser uma excelente alternativa para os combustíveis veiculares.

No Brasil, o consumo de etanol vem crescendo aceleradamente devido ao aumento da frota de automóveis e a introdução dos motores **flex**, que podem usar, indistintamente, gasolina ou álcool. Desse modo, os proprietários dos veículos podem eleger seu combustível orientando-se pela relação entre os preços da gasolina e do álcool, presentes nos postos de abastecimento, tal como podemos ver no gráfico abaixo.

Escolha o combustível

ADILSON SECCO

Fonte: *Jornal da Tarde*, 16/5/2007, p. 23-D.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

No mundo, o consumo de etanol também cresceu, tanto em seu uso como combustível quanto em seu uso como matéria-prima industrial. Para enfrentar essa demanda, a produção também aumentou, sendo o Brasil e os Estados Unidos os maiores produtores de etanol na atualidade, como mostram os gráficos abaixo:

A evolução da produção mundial de etanol

ADILSON SECCO

Fonte: British Petroleum Statistics Review of World Energy 2009.

Produção de etanol em 2008

ADILSON SECCO

Fonte: British Petroleum Statistics Review of World Energy 2009.

Em 2008, o etanol tornou-se, no Brasil, a segunda maior fonte de energia, ultrapassando as hidroelétricas e ficando atrás apenas do petróleo. Além disso, o custo de produção do etanol brasileiro é muito competitivo, o que deverá facilitar nossas exportações futuras. Esses fatos são mostrados nos gráficos seguintes.

Produção brasileira de etanol e produtividade de cana-de-açúcar

ADILSON SECCO

Fonte: Ministério da Agricultura.

Exportações brasileiras de álcool por safra

ADILSON SECCO

Fonte: Anuário Estatístico da Agroenergia 2009. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br>. Acesso em: abr. 2010.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O etanol tem a grande vantagem de ser um combustível renovável e menos poluidor que os derivados do petróleo. Os opositores ao seu uso argumentam que o plantio da cana-de-açúcar ocupa terras que poderiam ser usadas para a produção de alimentos e para a criação de animais, aliviando a fome do mundo atual.

d) Bebidas alcoólicas

O álcool etílico está presente em diversas bebidas alcoólicas, como a cerveja e o vinho. O consumo de bebidas que contêm álcool é bastante disseminado em nossa sociedade, mas é necessário ter sempre em mente que o álcool é uma droga e, portanto, é prejudicial à saúde quando consumido em excesso. O álcool pode levar à dependência (alcoolismo), com sérias consequências para a sociedade. A venda de bebidas alcoólicas é proibida para menores de 18 anos.

De modo geral, as bebidas alcoólicas podem ser classificadas em:

- **Não fermentadas**, que são os **licores** (mistura de água e álcool, que contêm açúcar, corantes e essências).
- **Fermentadas**
  - **Não destiladas**
    - **Vinho**, obtido pela fermentação do suco de uva em tonéis.
    - **Champanhe**, obtido pela fermentação do suco de uva na própria garrafa.
    - **Cerveja**, obtida pela fermentação do malte, lúpulo etc.
  - **Destiladas**
    - **Aguardente** (cachaça) obtida pela fermentação do caldo de cana.
    - **Uísque**, obtido pela fermentação de cereais.
    - **Conhaque**, obtido pela fermentação do vinho.

Como exemplo, damos, a seguir, o esquema genérico de fabricação da cerveja:

DA CEVADA À CERVEJA

1. Maceração
A cevada é macerada e absorve a água.

2. Germinação
Em 7 dias, a cevada transforma-se em malte verde.

3. Secagem
O malte verde é secado a ar quente.

4. Moinho
O malte seco é moído.

5. Mistura
O malte moído é misturado à água quente.

6. Depuração
Filtros separam o mosto açucarado.

7. Fervura
A mistura mosto + lúpulo ferve e é filtrada.

8. Fermentação
Mosto e levedura fermentam por uma semana.

9. Conservação
A mistura descansa por até um mês.

10. Filtragem
São retirados os restos de fermento.

11. Engarrafamento
Acondicionamento em barris e garrafas.

12. Pasteurização
Aumenta a conservação do produto.

13. Etiquetagem
As garrafas recebem seus rótulos.

A cevada transforma-se em malte, ao qual são adicionados o lúpulo ou grão cru (milho, arroz) e a levedura. O açúcar do malte transforma-se em gás carbônico e álcool: receita clássica que tem muitas variações.
Fonte: Revista *Novaciência*. São Paulo: Novaciência, 1989.

ADILSON SECCO

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A qualidade da bebida (sabor, buquê etc.) depende da qualidade da matéria-prima (uvas, cereais, cevada etc.), dos cuidados na fabricação, do tempo e da forma de armazenagem etc. Como exemplos, podemos citar a importância "da safra do vinho", "do amadurecimento do champanhe", "do tempo de envelhecimento do uísque" etc. (sabe-se, atualmente, que o vinho contém cerca de 10.000 substâncias químicas diferentes).

As bebidas fermentadas e não destiladas têm teor alcoólico menor que as destiladas: na cerveja, por exemplo, o teor alcoólico varia de 4 °GL a 6 °GL; no vinho, de 8 °GL a 12 °GL. Nas bebidas destiladas, o teor alcoólico é mais elevado: na cachaça, ele varia de 38 °GL a 45 °GL; no uísque, de 42 °GL a 48 °GL.

Uma pessoa ingere 10 g de álcool quando bebe:

330 mL de cerveja (4% de álcool)

ou

125 mL de vinho branco (10% de álcool)

ou

40 mL de conhaque (38% de álcool)

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

RACHEL GUEDES/PULSAR IMAGENS

Interior de uma cervejaria. (Campos do Jordão, SP, 2006.)

O álcool etílico é tóxico e age como depressivo do sistema nervoso central – 0,1% de álcool no sangue já afeta a coordenação motora da pessoa e 0,6% pode causar sua morte. A ressaca provocada por bebidas alcoólicas é causada, principalmente, pelo acetaldeído resultante da oxidação do álcool no organismo e também por impurezas existentes na bebida. Como o metabolismo dessas substâncias é realizado, principalmente, pelo fígado, o alcoolismo crônico acaba provocando a cirrose hepática.

Bafômetros

Para previnir que motoristas dirijam embriagados, a polícia usa os **bafômetros**. O motorista suspeito sopra através de um tubo ligado ao bafômetro, que indicará, então, seu grau de embriaguez.

O tipo mais simples e antigo de bafômetro contém um cartucho com $K_2Cr_2O_7$ depositado sobre partículas de sílica gel umedecidas com H_2SO_4. Se o ar nele soprado contiver álcool, ocorrerá a seguinte reação:

$$\underbrace{3\ CH_3CH_2OH}_{\text{Álcool}} + \underbrace{2\ K_2Cr_2O_7}_{\text{Alaranjado}} + 8\ H_2SO_4 \longrightarrow \underbrace{3\ CH_3COOH}_{\text{Ácido}} + \underbrace{2\ Cr_2(SO_4)_3}_{\text{Verde}} + 2\ K_2SO_4 + 11\ H_2O$$

A maior ou menor alteração da cor do cartucho – do alaranjado para o verde – indicará o maior ou menor grau de embriaguez do motorista.

Os bafômetros mais modernos funcionam com base no princípio das pilhas de combustível. O ar é soprado através de um disco plástico poroso, coberto com pó de platina, que age como catalisador da oxidação do álcool a ácido; eletrodos, ligados a cada lado do disco poroso, conduzem a corrente elétrica gerada pela reação de oxirredução até detectores sensíveis; como essa corrente é proporcional à concentração de álcool no ar expirado, tem-se, então, a determinação do grau de embriaguez do motorista.

GRIZAR JÚNIOR/FUTURA PRESS

Policial militar realizando teste do bafômetro em motorista. (São Paulo, SP, 2008.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Questões

Registre as respostas em seu caderno

O metanol e o etanol são utilizados como combustíveis.

a) Qual é a equação que representa a combustão completa do metanol?

b) Qual é a equação que representa a combustão completa do etanol?

c) Qual dos álcoois, considerando quantidades equimolares, libera maior quantidade de gás carbônico?

Pesquisa

Registre as respostas em seu caderno

Por que a concentração de álcool no hálito de uma pessoa pode ser usada para avaliar seu estado de embriaguez?

Quais os efeitos do etanol, em função da concentração no sangue, em uma pessoa?

Referências:

Bebidas alcoólicas. *Centro Brasileiro de Informações sobre drogas psicotróficas – Cebrid*. Departamento de Psicobiologia Unifesp-EPM. Disponível em: <http:/www.unifesp.br/dpsicobio/cebrid/folhetos/alcool_.htm>.

BRAATHEN, C. Hálito culpado — O princípio químico do bafômetro. *Química Nova na Escola*, n. 5, maio de 1997. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc05/quimsoc.pdf>.

Acessos em: abr. 2010.

Atividade prática

Registre as respostas em seu caderno

ATENÇÃO

Não cheire nem experimente substância alguma utilizada nesta atividade.

Teor de álcool na gasolina

Material

- 1 proveta de 200 mL
- 1 rolha para vedar a proveta
- 1 seringa grande
- 50 mL de gasolina
- 50 mL de água

Procedimento

- Usando a seringa, coloque 50 mL de gasolina na proveta.
- A seguir, adicione 50 mL de água.
- Tampe a proveta com a rolha.
- Agite o sistema (inclusive, virando-o de cabeça para baixo).
- Deixe o sistema em repouso, até haver separação das fases.
- Meça o volume de cada fase, na própria graduação da proveta.

Perguntas

a) Quais os volumes finais de cada fase?

b) Qual a fase de maior volume?

c) O que contém cada fase?

d) Por que isso ocorreu?

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

9. (Fuvest-SP) Pode-se produzir metanol a partir de uma reserva natural (*X*), conforme o esquema ao lado.

Em tal esquema, *X* e *Y* devem ser, respectivamente:

a) metano e oxigênio.
b) carvão e hidrogênio.
c) celulose e gás carbônico.
d) calcário e soda cáustica.
e) sacarose e etanol.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

10. (Fatec-SP) Com relação ao etanol e ao metanol, são feitas as afirmações:

I. Ambos os álcoois podem ser utilizados como combustível para automóveis.
II. Além da utilização em bebidas, o metanol pode ser utilizado como solvente em perfumes, loções, desodorantes e medicamentos.
III. Atualmente, o metanol é produzido do petróleo e do carvão mineral por meio de transformações químicas feitas na indústria.
IV. O metanol é um combustível relativamente "limpo". Sua combustão completa tem alto rendimento, produzindo CO_2 e H_2O.
V. Ambos os álcoois podem ser produzidos a partir da cana-de-açúcar.

Escolha a alternativa que apresenta somente afirmação(ões) verdadeira(s).

a) I. b) II e III. c) II e IV. d) I, III e IV. e) I, II, III e IV.

11. (Enem-MEC) O esquema ilustra o processo de obtenção do álcool etílico a partir da cana-de-açúcar.

Em 1996, foram produzidos no Brasil 12 bilhões de litros de álcool. A quantidade de cana-de-açúcar, em toneladas, que teve de ser colhida para esse fim foi de aproximadamente:

a) $1,7 \cdot 10^8$. b) $1,2 \cdot 10^9$. c) $1,7 \cdot 10^9$. d) $1,2 \cdot 10^{10}$. e) $7,0 \cdot 10^{10}$.

12. (Enem-MEC) Os *sistemas de cogeração* representam uma prática de utilização racional de combustíveis e de produção de energia. Isso já se pratica em algumas indústrias de açúcar e de álcool, nas quais se aproveita o bagaço da cana, um de seus subprodutos, para produção de energia. Esse processo está ilustrado no esquema abaixo.

Entre os argumentos favoráveis a esse sistema de cogeração, pode-se destacar que ele:

a) otimiza o aproveitamento energético, ao usar queima do bagaço nos processos térmicos da usina e na geração de eletricidade.
b) aumenta a produção de álcool e de açúcar, ao usar o bagaço como insumo suplementar.
c) economiza na compra da cana-de-açúcar, já que o bagaço também pode ser transformado em álcool.
d) aumenta a produtividade, ao fazer uso do álcool para a geração de calor na própria usina.
e) reduz o uso de máquinas e equipamentos na produção de açúcar e álcool, por não manipular o bagaço da cana.

13. (UFMG) Pode-se obter etanol anidro — isto é, etanol isento de água — pela adição de óxido de cálcio ao etanol hidratado. Nesse caso, o óxido de cálcio, também conhecido como cal viva ou cal virgem, retira a água do sistema, ao reagir com ela, formando hidróxido de cálcio, segundo a equação:

$$CaO\ (s) + \underbrace{H_2O}_{\text{Dissolvida em álcool}} \longrightarrow Ca(OH)_2\ (s)$$

Considerando-se esse processo de obtenção de álcool anidro, é **correto** afirmar que:

a) o álcool pode ser separado do hidróxido de cálcio por uma filtração.
b) o hidróxido de cálcio reage com etanol.
c) o óxido de cálcio é solúvel em etanol.
d) o sistema formado por etanol e água é heterogêneo.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

14. (FGV-SP) O álcool (C_2H_5OH) é produzido nas usinas pela fermentação do melaço de cana-de-açúcar, que é uma solução aquosa de sacarose ($C_{12}H_{22}O_{11}$). Nos tanques de fermentação, observa-se uma intensa fervura aparente do caldo em fermentação.

a) Explique por que ocorre essa "fervura fria".
b) Dê a equação da reação química envolvida.

15. (Enem-MEC) Do ponto de vista ambiental, uma distinção importante que se faz entre os combustíveis é a de serem provenientes ou não de fontes renováveis. No caso dos derivados de petróleo e do álcool de cana, essa distinção caracteriza-se:

a) pela diferença nas escalas de tempo de formação das fontes, período geológico, no caso do petróleo, e anual, no da cana.
b) pelo maior ou menor tempo para se reciclar o combustível utilizado, tempo muito maior no caso do álcool.
c) pelo maior ou menor tempo para se reciclar o combustível utilizado, tempo muito maior no caso dos derivados do petróleo.
d) pelo tempo de combustão de uma mesma quantidade de combustível, tempo muito maior para os derivados do petróleo do que do álcool.
e) pelo tempo de produção de combustível, pois o refino do petróleo leva dez vezes mais tempo do que a destilação do fermento de cana.

16. (Enem-MEC) Os acidentes de trânsito, no Brasil, em sua maior parte são causados por erro do motorista. Em boa parte deles, o motivo é o fato de dirigir após o consumo de bebida alcoólica. A ingestão de uma lata de cerveja provoca uma concentração de aproximadamente 0,3 g/L de álcool no sangue.

A tabela abaixo mostra os efeitos sobre o corpo humano provocados por bebidas alcoólicas em função de níveis de concentração de álcool no sangue:

Concentração de álcool no sangue (g/L)	Efeitos
0,1 – 0,5	Sem influência aparente, ainda que com alterações clínicas
0,3 – 1,2	Euforia suave, sociabilidade acentuada e queda da atenção
0,9 – 2,5	Excitação, perda de julgamento crítico, queda da sensibilidade e das reações motoras
1,8 – 3,0	Confusão mental e perda da coordenação motora
2,7 – 4,0	Estupor, apatia, vômitos e desequilíbrio ao andar
3,5 – 5,0	Coma e morte possível

(Revista *Pesquisa Fapesp*, nº 57, setembro 2000.)

Uma pessoa que tenha tomado três latas de cerveja provavelmente apresenta:

a) queda de atenção, de sensibilidade e das reações motoras.
b) aparente normalidade, mas com alterações clínicas.
c) confusão mental e falta de coordenação motora.
d) disfunção digestiva e desequilíbrio ao andar.
e) estupor e risco de parada respiratória.

17. (Enem-MEC) Há cerca de dez anos, estimava-se que 11,2% da população brasileira poderiam ser considerados dependentes de álcool. Esse índice, dividido por gênero, apontava que 17,1% da população masculina e 5,7% da população feminina eram consumidores da bebida. Quando analisada a distribuição etária desse consumo, outro choque: a pesquisa evidenciou que 41,2% de estudantes da educação básica da rede pública brasileira já haviam feito uso de álcool.

Dados atuais apontam que a porcentagem de dependentes de álcool subiu para 15%. Estima-se que o país gaste 7,3% do PIB por ano para tratar de problemas relacionados ao alcoolismo, desde o tratamento de pacientes até a perda da produtividade no trabalho. A indústria do álcool no Brasil, que produz do açúcar ao álcool combustível, movimenta 3,5% do PIB.

Revista Brasileira de Psiquiatria, v. 28, nº 4, dez/2006 e internet: <www.alcoolismo.com.br> (com adaptações).

A partir dos dados acima, conclui-se que:

a) o país, para tratar pessoas com problemas provocados pelo alcoolismo, gasta o dobro do que movimenta para produzir bebida alcoólica.
b) o aumento do número de brasileiros dependente de álcool acarreta decréscimo no percentual do PIB gasto no tratamento dessas pessoas.
c) o elevado percentual de estudantes que já consumiram bebida alcoólica é indicativo de que o consumo do álcool é problema que deve ser enfrentado pela sociedade.
d) as mulheres representam metade da população brasileira dependente de álcool.
e) o aumento na porcentagem de brasileiros dependentes de álcool deveu-se, basicamente, ao crescimento da indústria do álcool.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exercícios complementares

Registre as respostas em seu caderno

18. (Mackenzie-SP) Admita que a gasolina e o álcool usados como combustível sejam formados unicamente por moléculas de fórmula C_8H_{18} e C_2H_5OH, respectivamente. Assim, ocorrendo a combustão total de quantidades iguais de moléculas de cada uma dessas substâncias, separadamente, verifica-se, nas mesmas condições de pressão e temperatura, que:

a) o volume de vapor de água produzido nas duas reações é o mesmo.
b) o volume de gás oxigênio gasto é menor na queima da gasolina.
c) a quantidade de gás carbônico produzido é menor na combustão do álcool.
d) a massa total dos produtos obtidos em cada uma das reações é a mesma.
e) a quantidade de gás carbônico produzido na combustão da gasolina é menor.

19. (UEL-PR) A mistura de álcool e água é expressa de diversas maneiras. No comércio, por exemplo, as garrafas de álcool costumam apresentar essa informação expressa em 96,0 °GL e/ou 92,8 °INPM.

> °GL — indica a porcentagem em volume de álcool na mistura.
> °INPM — indica a porcentagem em massa de álcool na mistura.

Sabe-se que a solução obtida pela fermentação do açúcar apresenta um volume de etanol em torno de 10%. Com destilações sucessivas, é possível elevar o conteúdo alcoólico até cerca de 96% em volume. Uma purificação maior do álcool exige outros tratamentos como, por exemplo, a adição de CaO, que reage com a água presente, retirando-a da mistura. O álcool absoluto ou anidro, assim obtido, é etanol praticamente isento de água, podendo ser utilizado como combustível para automóveis em sua forma pura ou misturado com gasolina.

Com base nas informações, é correto afirmar:

a) 500 g de uma solução alcoólica a 60,0 °INPM contêm 300 g de álcool etílico.
b) Por destilações sucessivas, é possível elevar o conteúdo de etanol a 96 g por 100 g da mistura.
c) É possível obter álcool absoluto por destilação simples.
d) Álcool com indicação 92,8 °INPM pode ser preparado misturando-se 46,4 mL de etanol e 3,60 mL de água.
e) Álcool com indicação 96,0 °GL pode ser preparado misturando-se 96,0 mL de etanol com 100 mL de água.

20. (Enem-MEC) As características dos vinhos dependem do grau de maturação das uvas nas parreiras porque as concentrações de diversas substâncias da composição das uvas variam à medida que as uvas vão amadurecendo. O gráfico a seguir mostra a variação da concentração de três substâncias presentes em uvas em função do tempo.

ADILSON SECCO

O teor alcoólico do vinho deve-se à fermentação dos açúcares do suco da uva. Por sua vez, a acidez do vinho produzido é proporcional à concentração dos ácidos tartárico e málico.

Considerando-se as diferentes características desejadas, as uvas podem ser colhidas:

a) mais cedo, para obtenção de vinhos menos ácidos e menos alcoólicos.
b) mais cedo, para a obtenção de vinhos mais ácidos e mais alcoólicos.
c) mais tarde, para a obtenção de vinhos mais alcoólicos e menos ácidos.
d) mais cedo e ser fermentadas por mais tempo, para a obtenção de vinhos mais alcoólicos.
e) mais tarde e ser fermentadas por menos tempo, para a obtenção de vinhos menos alcoólicos.

21. (Enem-MEC) As pressões ambientais pela redução na emissão de gás estufa, somadas ao anseio pela diminuição da dependência do petróleo, fizeram os olhos do mundo se voltarem para os combustíveis renováveis, principalmente para o etanol. Líderes na produção e no consumo de etanol, Brasil e Estados Unidos da América (EUA) produziram, juntos, cerca de 35 bilhões de litros do produto em 2006. Os EUA utilizam o milho como matéria-prima para a produção desse álcool, ao passo que o Brasil utiliza a cana-de-açúcar. O quadro abaixo apresenta alguns índices relativos ao processo de obtenção de álcool nesses dois países.

	Cana	Milho
Produção de etanol	8 mil litros/ha	3 mil litros/ha
Gasto de energia fóssil para produzir 1 litro de álcool	1.600 kcal	6.600 kcal
Balanço energético	**Positivo**: gasta-se 1 caloria de combustível fóssil para a produção de 3,24 calorias de etanol	**Negativo**: gasta-se 1 caloria de combustível fóssil para a produção de 0,77 caloria de etanol
Custo da produção/litro	US$ 0,28	US$ 0,45
Preço de venda/litro	US$ 0,42	US$ 0,92

Globo Rural, jun. 2007 (com adaptações).

Se comparado com o uso do milho como matéria-prima na obtenção do etanol, o uso da cana-de-açúcar é:

a) mais eficiente, pois a produtividade do canavial é maior que a do milharal, superando-a em mais do dobro de litros de álcool produzido por hectare.
b) mais eficiente, pois gasta-se menos energia fóssil para se produzir 1 litro de álcool a partir do milho do que para produzi-lo a partir da cana.
c) igualmente eficiente, pois, nas duas situações, as diferenças entre o preço de venda do litro do álcool e o custo de sua produção se equiparam.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

d) menos eficiente, pois o balanço energético para se produzir o etanol a partir da cana é menor que o balanço energético para produzi-lo a partir do milho.
e) menos eficiente, pois o custo de produção do litro de álcool a partir da cana é menor que o custo de produção a partir do milho.

22. (Unifesp) No mês de maio de 2007, o governo federal lançou a Política Nacional sobre Álcool. A ação mais polêmica consiste na limitação da publicidade de bebidas alcoólicas nos meios de comunicação. Pelo texto do decreto, serão consideradas alcoólicas as bebidas com teor de álcool a partir de 0,5 °GL. A concentração de etanol nas bebidas é expressa pela escala centesimal Gay Lussac (°GL), que indica a percentagem em volume de etanol presente em uma solução. Pela nova Política, a bebida alcoólica mais consumida no país, a cerveja, sofreria restrições na sua publicidade. Para que não sofra as limitações da legislação, o preparo de uma nova bebida, a partir da diluição de uma dose de 300 mL de uma cerveja que apresenta teor alcoólico 4 °GL, deverá apresentar um volume final, em L, acima de:

a) 1,0. b) 1,4. c) 1,8. d) 2,0. e) 2,4.

3 Fenóis

3.1. Definição

Fenóis são compostos orgânicos com **uma ou mais hidroxilas** (OH) ligadas **diretamente** ao anel aromático.

Por exemplo:

OBSERVAÇÃO

Nem todos os compostos orgânicos com um ou mais grupos hidroxilas (OH) ligados a uma cadeia carbônica fechada são fenóis. Veja o exemplo ao lado, em que a cadeia carbônica fechada **não é um anel aromático**.

Não é fenol
(é um **álcool cíclico**).

Um monofenol é representado simbolicamente por *Ar*OH, em que *Ar* é a abreviatura de anel aromático.

O **grupo funcional** dos fenóis é a **hidroxila** ou **oxidrila** (**OH**). É o mesmo grupo funcional dos álcoois. A diferença é que, nos álcoois, o OH deve estar ligado a um **átomo de carbono saturado**, enquanto, nos fenóis, o OH deve estar ligado a um **átomo de carbono de um anel aromático**.

3.2. Nomenclatura dos fenóis

A nomenclatura Iupac dá aos fenóis a terminação **OL** ou o prefixo **HIDRÓXI**. No entanto, como acontece com todos os compostos aromáticos, os fenóis mais simples têm **nomes comuns**, que são aceitos pela Iupac. Exemplo:

Benzenol ou hidróxi-benzeno ou fenol comum

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Em moléculas mais complexas, usa-se o prefixo **hidróxi**. Existindo várias ramificações no anel aromático, **a numeração inicia-se na hidroxila** e prossegue **no sentido que proporciona números menores**. Exemplos:

1-hidróxi-2-metil-benzeno ou o-hidróxi-tolueno ou o-cresol

1-hidróxi-naftaleno ou α-naftol

Benzeno-1,2-diol ou 1,2-dihidróxi-benzeno ou catecol

3.3. A presença dos fenóis em nossa vida

O fenol comum é o representante mais simples e um dos mais importantes da família dos compostos aromáticos denominados **fenóis**. É um sólido incolor, cristalino, de fusão fácil (PF = 41,2 °C), pouco solúvel em água e corrosivo para a pele. Ele foi isolado do alcatrão da hulha no início do século XIX.

Em 1865, o médico Joseph Lister (1827-1912) demonstrou, na Escola de Medicina de Glasgow (Escócia), o poder do fenol como desinfetante dos instrumentos cirúrgicos. Na época, isso representou uma grande conquista no combate às infecções hospitalares. Por ser tóxico e muito irritante para a pele, o fenol foi gradativamente substituído por outros bactericidas. Atualmente, outros compostos da família dos fenóis são usados como antissépticos hospitalares, como, por exemplo:

4-hexil-resorcinol

Hexaclorofeno

Um desinfetante barato, muito usado em agropecuária, é a **creolina**, que é uma solução aquosa, alcalina, da mistura dos cresóis.

o-cresol

m-cresol

p-cresol

EDUARDO SANTALIESTRA/CID

A creolina é muito utilizada na limpeza doméstica.

O desinfetante **lisol**, por sua vez, é uma emulsão de cresóis em sabão, sendo limpante devido ao sabão e desinfetante devido aos cresóis.

Os fenóis são usados também na preservação da madeira, defendendo-a do ataque dos insetos. O maior uso, porém, é na indústria química, como matéria-prima para a fabricação de plásticos, corantes, perfumes, explosivos etc.

Na natureza, há muitos compostos que apresentam o grupo OH, característico dos fenóis:

Eugenol

(Essência de cravo-da-índia, usada como antisséptico bucal.)

Vanilina

(Essência de baunilha, usada na fabricação de doces, sorvetes etc.)

Timol

(Essência de tomilho, também usada na indústria de alimentos.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

VOCÊ JÁ PAROU PARA PENSAR ?

A revelação fotográfica

Um filme fotográfico **preto e branco** é uma película de plástico recoberta por uma **emulsão fotográfica**, formada por gelatina e contendo pequenos cristais de AgBr, chamados **grãos**, com tamanhos variando de 0,1 µm a 1,5 µm. O tamanho dos grãos e a presença de quantidades mínimas de AgCℓ ou de AgI determinam a **sensibilidade** do filme fotográfico.

No instante da fotografia, a luz incide sobre o filme e decompõe pequena parte do AgBr, segundo a equação:

$$2\ AgBr \xrightarrow{luz} 2\ Ag^0 + Br_2$$

Desse modo, formam-se apenas alguns poucos átomos de Ag^0 (prata metálica) dentro de cada grão de AgBr, dando origem a uma **imagem latente**.

Faz-se, então, a **revelação** do filme, que consiste em mergulhá-lo em uma solução de **hidroquinona** (revelador), que desencadeia a redução do AgBr restante que existe nos grãos já sensibilizados pela luz (isto é, onde há imagem latente). Ocorre, então, a seguinte reação:

A seguir, o filme é lavado com água, para eliminar o excesso de reagente (e parar a reação), e submetido ao processo de **fixação**. Esse procedimento consiste em mergulhar o filme em solução de **tiossulfato de sódio** (fixador) – $Na_2S_2O_3$, que antigamente era chamado, pelos fotógrafos, de **hipossulfito** (de sódio). Ocorre, então, a reação:

$$AgBr + 2\ Na_2S_2O_3 \longrightarrow Na_3[Ag(S_2O_3)_2] + NaBr$$

Nessa reação, é eliminado o AgBr **que restou no filme, nas regiões não atingidas pela luz inicial**. Desse modo, evita-se que a fotografia venha a amarelar com o tempo. O filme é novamente lavado e secado, tendo-se, assim, um **negativo em preto e branco**. Para se obter uma **cópia em papel**, faz-se uma "nova fotografia", na qual a luz atravessa o negativo obtido e atinge um **papel fotográfico**. Esse papel tem uma emulsão fotográfica semelhante à do filme original e, depois de submetido às reações acima, dá origem a uma fotografia em preto e branco, em papel.

JUCA MARTINS/OLHAR IMAGEM

JUCA MARTINS/OLHAR IMAGEM

(A) Negativo em preto e branco e (B) fotografia em preto e branco de uma vista do Viaduto do Chá, no centro histórico de São Paulo, SP, 1983.

A fotografia colorida é um processo químico bem mais complexo que o descrito acima. Há, no filme, três camadas de emulsão gelatinosa de AgBr, cada uma contendo um **corante** diferente e sensível a cada uma das cores primárias: vermelho, verde e azul. A revelação e a cópia final em papel colorido são também processos químicos complexos, que fogem à finalidade desta obra.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Questões

Registre as respostas em seu caderno

No alcatrão da hulha, estão presentes, dentre outros, os compostos fenol e álcool benzílico.

a) Dê a fórmula estrutural de cada um deles.

b) Qual a diferença principal entre eles?

c) Dê a função de cada um dos compostos.

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

23. Dê os nomes dos seguintes fenóis:

a)

b)

c)

24. Quais são as fórmulas estruturais dos seguintes compostos:

a) m-metil-fenol?

b) 2,6-dietil-hidróxi-benzeno?

25. (UFMG) Considere as estruturas moleculares do naftaleno e da decalina, representadas pelas fórmulas abaixo.

Naftaleno

Decalina

Substituindo, em ambas as moléculas, um átomo de hidrogênio por um grupo hidroxila (OH), obtêm-se dois compostos que pertencem, **respectivamente**, às funções:

a) álcool e fenol.
b) fenol e álcool.
c) álcool e álcool.
d) fenol e fenol.

4 Éteres

4.1. Definição

Éteres são compostos orgânicos em que o oxigênio está diretamente ligado a duas cadeias carbônicas (ou seja, a dois grupos alquila ou arila).

Por exemplo:

$CH_3 — O — CH_3$

A fórmula geral dos éteres é $R — O — R'$ ou $Ar — O — Ar$ ou $Ar — O — R$, uma vez que os dois grupos podem ser iguais ou diferentes entre si, bem como alifáticos ou aromáticos.

Os éteres são também denominados "óxidos orgânicos" e podem ser considerados como derivados da água (H — O — H) pela substituição dos dois hidrogênios por grupos orgânicos; temos, então:

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Os éteres podem ser classificados em:

- **simétricos** ($R — O — R$) ou **assimétricos** ($R — O — R'$);
- **alifáticos** ($R — O — R$), **aromáticos** ($Ar — O — Ar$) ou **mistos** ($Ar — O — R$).

Há também **éteres cíclicos**, que são, então, **compostos heterocíclicos**, nos quais o oxigênio é o **heteroátomo**; por exemplo:

Óxido de etileno
ou epóxi-etano

Tetra-hidrofurano

Dioxano

4.2. Nomenclatura dos éteres

A **nomenclatura Iupac** dos éteres contém a palavra **ÓXI** intercalada nos nomes dos dois grupos formadores do éter:

_____ óxi _____
Grupo menor — Grupo maior

A **nomenclatura usual** contém a palavra **ÉTER** seguida pelos nomes dos dois grupos, **em ordem alfabética**, acrescidos da terminação **ÍLICO**. (Há também nomes particulares.)

Éter _____ - _____ ílico
1º Grupo — 2º Grupo
em ordem alfabética

Exemplos:

$CH_3 — O — CH_2 — CH_3$
- Metóxi-etano (Nomenclatura Iupac)
- éter etílico-metílico ou
- éter etil-metílico (Nomenclaturas usuais)

$CH_3 — CH_2 — O — CH_2 — CH_3$
- Etóxi-etano (Nomenclatura Iupac)
- éter dietílico
- ou simplesmente éter etílico (Nomenclaturas usuais)

- Metóxi-benzeno (Nomenclatura Iupac)
- éter fenil-metílico (Nomenclatura usual)
- anisol (Nome particular)

4.3. A presença dos éteres em nossa vida

Quando se fala em éter, lembramo-nos imediatamente do **éter comum** ($CH_3 — CH_2 — O — CH_2 — CH_3$), que é vendido em farmácias. Esse composto começou a ser usado, como anestésico por inalação, em 1842. Devido ao mal-estar que provocava após a anestesia, o éter comum foi substituído gradativamente por outros anestésicos nas cirurgias. No entanto, passado sobre a pele, além da sensação de frio que sua evaporação proporciona, o éter provoca uma diminuição da sensibilidade da pele, tornando menos dolorosa a picada de uma agulha de injeção, por exemplo.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Atualmente, o éter comum é muito usado como solvente apolar, tanto em laboratório como nas indústrias químicas. Nesse último caso, é empregado principalmente na extração de óleos, gorduras, essências, perfumes etc. de suas fontes vegetais ou animais.

Um grande perigo no uso do éter comum é sua alta inflamabilidade, ou seja, ele pega fogo muito facilmente com aquecimento mais intenso.

Outro éter de grande importância na atualidade é o metóxi-terciobutano (MTBE), usado como antidetonante na gasolina. A função éter está presente também em muitos compostos naturais de função mista, como, por exemplo, o eugenol e a vanilina.

AKG/LATINSTOCK

Pintura em que o dentista William Thomas Green Morton, em demonstração pública, faz uso de anestesia com éter na extração dentária, realizada no Hospital Geral de Massachusetts (EUA) em 1846 (Museu da Ciência e História da Medicina, Londres, Inglaterra).

Metóxi-terciobutano
(Antidetonante da gasolina.)

Eugenol
(Essência de cravo-da-índia.)

Vanilina
(Essência da baunilha, fruta originária das Índias.)

Questões

Registre as respostas em seu caderno

Um éter possui 3 carbonos e 8 hidrogênios.

a) Qual é a fórmula molecular desse composto?

b) Qual é a fórmula estrutural desse éter?

c) Dê o nome, segundo a Iupac, desse éter.

d) Dê o nome usual desse composto.

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

26. Dê os nomes dos seguintes éteres:

a) $CH_3 — CH_2 — O — CH_2 — CH_2 — CH_3$

b) $CH_3 — O — CH_3$

c) $CH_3 — CH_2 — O —$

27. Quais são as fórmulas estruturais dos seguintes compostos:

a) metóxi-sec-butano?

b) éter dietílico (éter comum)?

c) éter etil-metílico?

28. (UFPA) Qual é a fórmula:

a) estrutural do 2-isopropil-5-metil-ciclo-hexanol?

b) molecular do etóxi-benzeno?

29. (UFS-SE) As substâncias de fórmula $C_2H_5OCH_3$ e C_3H_7OH têm diferentes:

a) cadeias carbônicas.

b) massas moleculares.

c) fórmulas mínimas.

d) composições centesimais.

e) fórmulas moleculares.

30. (Uepa) O composto

$$CH_3 — CH_2 — \underset{}{\overset{CH_3}{\overset{|}{CH}}} — O — CH_2 — CH_3$$

possui:

a) 3 carbonos primários, 2 secundários e 1 terciário.

b) 1 hidrogênio ligado ao carbono terciário.

c) cadeia acíclica, ramificada, saturada e homogênea.

d) cadeia alifática, ramificada, saturada e heterogênea.

e) o grupo funcional (— O —), que caracteriza um álcool.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

31. (Mackenzie-SP)

Substância	Ponto de fusão (°C)	Ponto de ebulição (°C)
Etanol	−117	78
Éter etílico	−116	34

Pela análise dos dados da tabela acima, medidos a 1 atm, podemos afirmar que, à temperatura de 40 °C e 1 atm:

a) o éter e o etanol encontram-se na fase gasosa.
b) o éter encontra-se na fase gasosa e o etanol, na fase líquida.
c) ambos encontram-se na fase líquida.
d) o éter encontra-se na fase líquida e o etanol, na fase gasosa.
e) ambos encontram-se na fase sólida.

5 Aldeídos e cetonas

5.1. Definição

Aldeídos são compostos orgânicos que possuem o grupo funcional $-C\begin{matrix}\diagup\!\!\!\!= O \\ \diagdown H\end{matrix}$; **cetonas** são compostos orgânicos que têm o grupo $>C=O$. Ambos são ligados a cadeias carbônicas.

O grupo funcional dos aldeídos $-C\begin{matrix}\diagup\!\!\!\!= O \\ \diagdown H\end{matrix}$ — ou abreviadamente, $-CHO-$ — é denominado **aldoxila**, **metanoíla** ou **formila**.

O grupo funcional das cetonas $>C=O$ — ou abreviadamente, $-CO-$ — é denominado **carbonila**. Como a carbonila está também presente nos aldeídos, costuma-se chamar aldeídos e cetonas, em conjunto, de **compostos carbonílicos**.

Os tipos principais de aldeídos e cetonas são:

$H-C\begin{matrix}\diagup\!\!\!\!= O \\ \diagdown H\end{matrix}$

Formaldeído (é o mais simples)

$R-C\begin{matrix}\diagup\!\!\!\!= O \\ \diagdown H\end{matrix}$ (ou $R-CHO$)

Aldeídos alifáticos

$Ar-C\begin{matrix}\diagup\!\!\!\!= O \\ \diagdown H\end{matrix}$ (ou $Ar-CHO$)

Aldeídos aromáticos

$R-\underset{\underset{O}{\|}}{C}-R'$

Cetonas alifáticas

$Ar-\underset{\underset{O}{\|}}{C}-Ar'$

Cetonas aromáticas

$Ar-\underset{\underset{O}{\|}}{C}-R$

Cetonas mistas

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

5.2. Nomenclaturas de aldeídos e cetonas

A **nomenclatura Iupac** dos aldeídos é feita com a terminação **AL**. A cadeia principal é **a mais longa que inclui o grupo – CHO**, e a numeração é feita a partir desse grupo.

A **nomenclatura usual** é feita com a palavra **ALDEÍDO** e o nome do ácido carboxílico correspondente (a nomenclatura dos ácidos será vista mais adiante). Por exemplo:

ou $H-CHO$ Metanal ou aldeído fórmico ou formaldeído

ou CH_3-CHO Etanal ou aldeído acético ou acetaldeído

3-metil-butanal

Como sempre, existem nomes particulares, por exemplo:

Benzaldeído

A **nomenclatura Iupac** das cetonas contém a terminação **ONA**. A cadeia principal é a **mais longa que inclui a carbonila**, e a numeração é feita **a partir da extremidade mais próxima da carbonila**.

A **nomenclatura usual** das cetonas contém a palavra **CETONA**, seguida dos nomes dos grupos ligados à carbonila, **em ordem alfabética**, acrescidos da terminação **ÍLICA**. Por exemplo:

propan-2-ona (Nomenclatura Iupac)
propanona ou cetona dimetílica (Nomenclatura usual)

butan-2-ona (Nomenclatura Iupac)
butanona ou cetona etil-metílica (Nomenclatura usual)

pentan-2-ona (Nomenclatura Iupac)
cetona metil-propílica (Nomenclatura usual)

OBSERVAÇÃO

Quinonas são dicetonas cíclicas de grande importância industrial. Exemplos:

p-benzoquinona
(É a quinona comum já mencionada na revelação de fotografias.)

Antraquinona
(Importante matéria-prima para a fabricação de corantes.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

5.3. A presença dos aldeídos e das cetonas em nossa vida

Os aldeídos e as cetonas mais importantes são os mais simples: o aldeído fórmico, o aldeído acético e a acetona.

a) Aldeído fórmico

Modelo molecular do aldeído fórmico. (Representação esquemática sem escala; cores-fantasia.)

ADILSON SECCO

O **aldeído fórmico** (**formaldeído** ou **metanal**) é um gás (PE = −21 °C) incolor, de cheiro característico e irritante e bastante solúvel em água. A solução aquosa, contendo cerca de 40% de formaldeído, é vendida com o nome de "formol" ou "formalina".

É produzido, industrialmente, por oxidação do metanol:

$$2\ CH_3OH + O_2\ (ar) \xrightarrow[Pt]{\Delta} 2\ \boxed{HCHO} + 2\ H_2O$$

O aldeído fórmico é usado como desinfetante, na conservação de cadáveres e de peças anatômicas, na fabricação de plásticos (baquelite), de medicamentos (urotropina), de explosivos (ciclonite) etc.

Serpentes da Mata Atlântica, conservadas em formol. (Parque Estadual Carlos Botelho, SP, 2006.)

FABIO COLOMBINI

Urotropina
(diurético)

Ciclonite
(explosivo)

b) Aldeído acético

Modelo molecular do aldeído acético. (Representação esquemática sem escala; cores-fantasia.)

ADILSON SECCO

O **aldeído acético** (**acetaldeído** ou **etanal**) pode ser gás ou líquido, dependendo da temperatura ambiente (PE = 21 °C). Tem cheiro forte e é solúvel em água. É preparado a partir do acetileno:

É um dos responsáveis pela "ressaca" decorrente da ingestão de bebidas alcoólicas e também pelo cheiro irritante que emana dos automóveis movidos a álcool ao lhes darmos a partida. É considerado, ainda, um dos piores poluentes produzidos por esses veículos.

O aldeído acético é usado na produção de ácido acético, anidrido acético, resinas etc. e, também, como redutor da prata na fabricação de espelhos comuns.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

c) Acetona

A **acetona comum** ou **propanona** é um líquido incolor, inflamável, de cheiro agradável e solúvel em água e em solventes orgânicos. Ela é preparada **industrialmente** por hidratação do propeno ou por oxidação do cumeno.

É usada como solvente (de tintas, vernizes etc.), na extração de óleos de sementes vegetais, na fabricação de anidrido acético, na produção de medicamentos etc.

Forma-se em nosso organismo devido à decomposição incompleta de gorduras. Em alguns casos de doenças, como o diabetes melito e o hipertiroidismo, há aumento de concentração de acetona no sangue, podendo-se detectá-la na urina e até mesmo no hálito da pessoa.

O grupo — CO —, característico dos aldeídos e das cetonas, aparece também em muitos compostos naturais, como essências, perfumes e fixadores, extraídos de vegetais e de animais. Por exemplo:

EDUARDO SANTALIESTRA/CID

A acetona foi usada, por muito tempo, como removedor de esmaltes.

Jasmona
(do óleo de jasmin)

Aldeído cinâmico
(essência de canela)

Muscona
(óleo do veado almiscareiro)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Questões Registre as respostas em seu caderno

a) A cetona mais simples é utilizada como solvente, na extração de alguns óleos vegetais, na fabricação de medicamentos etc.
- Dê a fórmula estrutural dessa cetona.
- Qual o nome, segundo a Iupac, desse composto?
- Qual seu nome usual?

b) Um composto orgânico que contém o grupo funcional carbonila possui 4 carbonos e 8 hidrogênios.
- Qual a fórmula molecular desse composto?
- Qual sua fórmula estrutural?
- Qual o nome, segundo a Iupac, do composto?
- Esse composto pode ser considerado um aldeído? Justifique.

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

32. Dê os nomes, segundo a Iupac, dos seguintes aldeídos:

a) $CH_3 — CH_2 — CHO$

b) $CH_3 — CH(C_2H_5) — CH_2 — CH_2 — CHO$

33. Quais são as fórmulas estruturais dos seguintes compostos:

a) pentanal?

b) 3,5-dimetil-hexanal?

34. Dê os nomes das seguintes cetonas:

a) $CH_3 — CH_2 — C(=O) — CH_2 — CH_3$

b) $CH_3 — CH_2 — CH_2 — C(=O) — CH_2 — CH_3$

c) $CH_3 — CH_2 — C(=O) — C(CH_3)_2 — CH_3$

35. Quais são as fórmulas estruturais dos compostos:

a) cetona dimetílica?

b) cetona etil-p-toluílica?

c) 4-metil-hexan-2-ona?

36. (Unesp) Por motivos históricos, alguns compostos orgânicos podem ter diferentes denominações aceitas como corretas. Alguns exemplos são o álcool etílico (C_2H_6O), a acetona (C_3H_6O) e o formaldeído (CH_2O). Esses compostos podem também ser denominados, respectivamente, como:

a) hidroxietano, oxipropano e oximetano.

b) etanol, propanal e metanal.

c) etanol, propanona e metanal.

d) etanol, propanona e metanona.

e) etanol, propanal e metanona.

37. (Uerj) Para que a "cola de sapateiro" não seja utilizada como droga e também devido à presença de uma substância cancerígena, o tolueno (ou metil-benzeno), uma das propostas sugeridas foi a adição de pequena quantidade de formol (ou solução aquosa a 40% de metanal), que, em virtude de seu cheiro forte e irritante, desestimularia a inalação do produto. As substâncias orgânicas citadas, o tolueno e o metanal, apresentam, respectivamente, as seguintes fórmulas moleculares:

a) C_7H_{10} e CH_3O.

b) C_7H_{10} e CH_2O.

c) C_7H_8 e CH_3O.

d) C_7H_8 e CH_2O.

38. (ESPM-SP) Identifique as funções orgânicas que estão presentes na molécula de glicose:

39. (Unesp-Modificado) Qual das moléculas apresentadas possui fórmula mínima diferente das demais?

a) butan-2-ol.

b) 2-buten-1-ol.

c) 3-buten-1-ol.

d) Butanal.

e) Butanona.

Exercícios complementares

Registre as respostas em seu caderno

40. (Cesgranrio-RJ) O aroma natural de baunilha, encontrado em doces e sorvetes, deve-se ao composto de nome vanilina, cuja fórmula estrutural está reproduzida a seguir.

Em relação à molécula da vanilina, é correto afirmar que as funções químicas encontradas são:

a) álcool, éter e éster.

b) álcool, ácido e fenol.

c) aldeído, álcool e éter.

d) aldeído, éster e fenol.

e) aldeído, éter e fenol.

41. (Unifor-CE) Certo composto tem fórmula molecular C_3H_8O. Ele pode ser um:

a) álcool ou um éter.

b) aldeído ou uma cetona.

c) álcool ou uma cetona.

d) éter ou um aldeído.

e) álcool ou um aldeído.

42. (Unifor-CE) Um professor de Química escreveu na lousa a fórmula C_3H_6O e perguntou a 3 estudantes que composto tal fórmula representava. As respostas foram:

estudante 1 — propanona (acetona)

estudante 2 — propanal

estudante 3 — álcool propílico (propanol)

O professor considerou certa a resposta dada **somente** por:

a) 1. b) 2. c) 3. d) 1 e 2. e) 2 e 3.

43. (UFG-GO) A equação química de conversão do citronelol em citronela é mostrada a seguir.

Nessa reação, tem-se a conversão de um:

a) fenol em aldeído.

b) álcool em aldeído.

c) fenol em cetona.

d) álcool em cetona.

e) aldeído em cetona.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

44. (UFMG) Certas frutas — a banana e a maçã, por exemplo — escurecem em contato com o ar quando são descascadas. Isso ocorre devido à conversão da substância orto-hidroquinona em *orto*-benzoquinona, catalisada por uma enzima.

orto-hidroquinona (cor clara) — **orto-benzoquinona** (cor escura)

Considerando-se essas substâncias e suas moléculas, é **incorreto** afirmar que:

a) a orto-hidroquinona apresenta duas hidroxilas fenólicas.
b) a orto-benzoquinona apresenta duas carbonilas em suas moléculas.
c) a orto-benzoquinona apresenta moléculas saturadas.
d) a orto-hidroquinona sofre oxidação na conversão apresentada.

6 Ácidos carboxílicos

6.1. Definição

Ácidos carboxílicos ou **carboxilácidos** são compostos orgânicos com um ou mais grupos $-C\begin{matrix}=O\\-OH\end{matrix}$ – ou, abreviadamente, — COOH – ligados à cadeia carbônica.

O grupo funcional dos ácidos carboxílicos é denominado **carboxila** (**carbo**nila + hidro**xila**). Sendo monovalente, a carboxila só pode aparecer em extremidades de cadeias ou de ramificações. A carboxila representa também o **estado mais oxidado** (oxigenado) **do carbono** numa cadeia carbônica:

Os ácidos podem ser classificados em:

- **alifáticos e aromáticos**

Ácido acético (alifático) — Ácido benzoico (aromático)

- **monocarboxílicos (monoácidos), dicarboxílicos (diácidos) etc.**, conforme o número de carboxilas presentes na molécula:

Ácido acético (monoácido) — Ácido oxálico (diácido)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O odor dos ácidos carboxílicos

Os ácidos carboxílicos têm cheiro pronunciado e, em geral, desagradável. Assim, por exemplo:

- C_3H_7COOH ácido butírico (do latim *butirum*, "manteiga" – com cheiro de manteiga rançosa)
- C_4H_9COOH ácido valérico (do latim *valere*, "planta valeriana" – é o que dá o cheiro ao queijo *roquefort*)
- $C_5H_{11}COOH$ ácido caproico
- $C_7H_{15}COOH$ ácido caprílico
- $C_9H_{19}COOH$ ácido cáprico

  (do latim *caper*, "cabra" – dão o cheiro característico das cabras)
- $C_{17}H_{35}COOH$ ácido esteárico (do latim *stear*, "sebo" – cheiro de sebo)

MICHAEL GRAND/STOCKFOOD-KEYSTONE

Queijo *roquefort*.

CHAZ/CAMERA PRESS/OTHER IMAGES

De modo geral, os ácidos monocarboxílicos, de cadeia longa e não ramificada, saturados ou insaturados, são chamados de **ácidos graxos**, pois são encontrados em **óleos e gorduras**.

O odor de nossa transpiração – o chamado "cheiro de corpo" – é também devido, em parte, aos ácidos carboxílicos. De fato, nosso suor elimina muitas substâncias orgânicas, que são decompostas por bactérias existentes em nossa pele em compostos de odor desagradável, por exemplo:

$$CH_3-CH_2-CH_2-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{C}}=CH-COOH$$

Ácido 3-metil-2-hexenoico

É para **neutralizar** esses ácidos – e, portanto, seu odor – que muitos talcos e desodorantes contêm bicarbonato de sódio, ou outro componente de caráter **alcalino**.

É interessante também lembrar que um cão reconhece seu dono pelo cheiro, pois o faro apurado do animal permite-lhe distinguir uma pessoa de outra.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

6.2. Nomenclatura dos ácidos carboxílicos

A **nomenclatura Iupac** dos ácidos carboxílicos possui a terminação **OICO**. A cadeia principal é a **mais longa que inclui a carboxila**, e a numeração é feita **a partir do carbono da própria carboxila** (utiliza-se também uma antiga nomenclatura com as letras α, β, γ... a partir do primeiro carbono após a carboxila).

A **nomenclatura usual** consagrou nomes antigos, que lembram produtos naturais nos quais os ácidos são encontrados. Exemplos:

$H-COOH$

Ácido metanoico ou ácido fórmico

(lembrando "formiga")

CH_3-COOH

Ácido etanoico ou ácido acético

(do latim *acetum*, vinagre)

$CH_3-CH_2-CH_2-COOH$

Ácido butanoico ou ácido butírico

(do inglês *butter*, manteiga)

$$\overset{\delta}{\overset{5}{CH_3}}-\overset{\gamma}{\overset{4}{\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}}}-\overset{\beta}{\overset{3}{CH_2}}-\overset{\alpha}{\overset{2}{CH_2}}-\overset{1}{COOH}$$

Ácido 4-metil-pentanoico ou ácido γ-metil-pentanoico

Ácido benzoico

Como há ácidos carboxílicos de cadeias muito longas, é comum abreviar suas fórmulas. Por exemplo:

$$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-COOH$$

Ácido esteárico

$$C_{17}H_{35}-COOH \quad \text{ou} \quad CH_3-(CH_2)_{16}-COOH$$

Fórmulas abreviadas

Os grupos obtidos dos ácidos pela "subtração" da hidroxila do grupo carboxila são denominados **grupos acil** (ou **acila**).

Metanoíla ou formila

Etanoíla ou acetila

Benzoíla

6.3. Dois ácidos carboxílicos importantes

a) Ácido fórmico

Modelo molecular do ácido fórmico. (Representação esquemática sem escala; cores-fantasia.)

ADILSON SECCO

É um líquido incolor, cáustico, de cheiro forte e irritante. Seu nome deriva do fato de ser encontrado em certas formigas vermelhas. É o que nos causa inchaço e coceira quando somos picados por elas. **Industrialmente**, é preparado pela reação:

$$CO + NaOH \xrightarrow[200\ °C]{10\ atm} \underbrace{H-COONa}_{\text{Formiato de sódio}} \xrightarrow{H_2SO_4} \underbrace{H-COOH}_{\text{Ácido fórmico}}$$

O ácido fórmico é usado no tingimento de tecidos, na produção de outros compostos orgânicos, como desinfetante etc.

Examinando a estrutura do ácido fórmico, percebemos que ele tem uma "parte" semelhante aos aldeídos . Isso lhe confere uma reatividade especial e diferente da dos demais ácidos:

- oxidação fácil (é redutor) por meio de $KMnO_4$ ou $K_2Cr_2O_7$:

$$H-COOH \xrightarrow{[O]} H_2O + CO_2$$

- decomposição por aquecimento:

$$H-COOH \xrightarrow{H_2SO_4\ (concentrado)} H_2O + CO$$

(Esta última reação pode ser usada para preparar CO em laboratório.)

- decomposição ao ser tratado por $PC\ell_5$:

$$H-COOH \xrightarrow{PC\ell_5} \underbrace{\left[H-C(=O)-C\ell\right]}_{\text{Cloreto de formila (instável)}} \longrightarrow CO + HC\ell$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

b) Ácido acético

ADILSON SECCO

Modelo molecular do ácido acético. (Representação esquemática sem escala; cores-fantasia.)

IVANIA SANT'ANNA/KINO

Frasco de vinagre.

É um líquido incolor, de cheiro penetrante, de sabor azedo e solúvel em água, álcool e éter. É o responsável pelo sabor azedo do vinagre (*acetum* = vinagre).

Quando puro (e isento de água), o ácido acético congela a 16,7 °C, tomando o aspecto de gelo. Daí o nome de **ácido acético glacial** dado ao ácido acético puro. O ácido acético é preparado:

- **por oxidação do álcool etílico**

$$CH_3—CH_2OH + O_2\,(ar) \longrightarrow CH_3—COOH + H_2O$$

Essa oxidação pode ser obtida:

- com auxílio de catalisadores (V_2O_5) – é o processo industrial;
- por fermentação, com auxílio do *Mycoderma aceti* – é o que se faz na obtenção do vinagre, que contém de 6% a 10% de ácido acético.

CLAVER CARROLL/AGE/AGB

A reação acima é também a responsável pelo fato de um vinho "azedar" (se transformar em vinagre); decorre daí a recomendação de guardar garrafas de vinho **deitadas** (foto ao lado), o que umedece a rolha, dificultando a entrada de ar (oxigênio) na garrafa e retardando, em consequência, a oxidação do vinho.

- **a partir do metanol** (processo industrial)

$$CH_3OH + CO \xrightarrow[\text{Catalisadores}]{200\ °C/30\ atm} CH_3—COOH$$

- **a partir de derivados do petróleo** (nafta, butano etc.)

Trata-se de um **processo industrial**:

$$C_4H_{10} \xrightarrow{[O]} CH_3—COOH + CO + CO_2 + 3\,H_2O$$

Além de ser usado na alimentação (vinagre), o ácido acético é usado na produção de **acetato de vinila** (do qual se obtém o plástico PVA), de **anidrido acético** e de **cloreto de acetila** (importantes para as sínteses orgânicas), de **ésteres** (solventes, essências, perfumes etc.), de **acetato de celulose** (fibras têxteis), de **acetatos inorgânicos** etc.

6.4. A presença dos ácidos carboxílicos em nossa vida

Além dos ácidos fórmico e acético já citados, os ácidos carboxílicos constituem uma família muito grande, de reatividade acentuada e que produzem derivados também importantes, como os sais, os ésteres, os anidridos e os cloretos de ácidos.

Na natureza, os ácidos carboxílicos estão presentes principalmente nos ésteres que constituem os óleos e as gorduras, tanto de origem vegetal como de origem animal.

Industrialmente, os ácidos carboxílicos se prestam à fabricação de solventes, perfumes, inseticidas, plásticos, fibras têxteis etc.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Outro uso importante dos ácidos carboxílicos e de seus derivados é a produção de **filtros**, **protetores** ou **bloqueadores solares**, dos quais os mais eficazes são os produzidos com óxidos metálicos, como ZnO ou TiO_2 (que resultam numa pintura branca como a usada pelos palhaços de circo). A ciência já produziu várias substâncias orgânicas que protegem a pele ao mesmo tempo que permitem o bronzeamento, como, por exemplo, o ácido p-aminobenzoico (PABA), que é a mais antiga.

Ácido p-aminobenzoico (PABA)

A eficácia de um protetor solar é medida em **FPS (fator de proteção solar)**. Assim, quando se diz que o **FPS** é 15, significa dizer que ele **reduz em 15 vezes** a influência dos **raios ultravioleta**, ou, em outras palavras, que, com o protetor, teremos, após 15 horas, o mesmo efeito sobre a pele que teríamos em 1 hora sob o Sol sem o protetor.

Questões

Registre as respostas em seu caderno

a) O ácido carboxílico encontrado em certos tipos de formiga é também o ácido carboxílico de menor massa molecular.
- Qual a fórmula estrutural desse ácido?
- Qual seu nome, segundo a Iupac?
- Qual o nome usual desse composto?

b) Um ácido carboxílico possui um anel aromático e tem fórmula molecular $C_7H_6O_2$.
- Qual a fórmula estrutural desse ácido?
- Qual seu nome usual?

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

45. Dê os nomes Iupac dos seguintes ácidos:

a) $CH_3 — CH_2 — COOH$

b) $CH_3 — CH_2 — CH(COOH) — CH_2 — CH_2 — CH_2 — CH_3$

c)

46. Quais são as fórmulas estruturais dos compostos:
a) ácido metil-propanoico?
b) ácido 5-metil-hexanoico?
c) ácido fenil-acético?

47. (UFPA-Modificado) Considere as substâncias abaixo:
I. CH_3CH_2OH
II. CH_3CH_2COOH
III. $CH_3CH_2CH_2COCH_3$
IV. CH_3COH

A nomenclatura Iupac de I, II, III e IV, respectivamente, é:
a) etanal, propan-1-ol, butanona e etanol.
b) etanol, propanoico, pentan-2-ona e etanal.
c) etanol, ácido acético, metil-propil-éter e etanaldeído.
d) etanol, ácido propiônico, butil-metil-éter e etanal.
e) álcool etílico, propanoico, pentan-2-ona e etanaldeído.

48. (Mackenzie-SP) As vagens da baunilha contêm vanilina, uma substância utilizada como aromatizante de alimentos.

De fórmula estrutural

, a vanilina apresenta as seguintes funções orgânicas:

a) ácido carboxílico, aldeído e cetona.
b) fenol, éster e aldeído.
c) cetona, álcool e éter.
d) cetona, aldeído e éster.
e) fenol, éter e aldeído.

49. (Mackenzie-SP) Usado na fabricação de protetores solares, o composto 2-hidróxi-4-metóxi-benzofenona está representado a seguir.

Dessa substância, fazem-se as afirmações:
I. Apresenta os grupos funcionais fenol, éter e cetona.
II. Possui dois anéis aromáticos em sua estrutura.
III. É um hidrocarboneto aromático ramificado.

Das afirmações feitas:
a) I, II e III estão corretas.
b) somente II está correta.
c) somente I e III estão corretas.
d) somente III está correta.
e) somente I e II estão corretas.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

50. (FEI-SP) Dadas as fórmulas moleculares dos compostos I e II:

I. C_3H_6O II. C_3H_8O

a) O composto I pode ser um ácido carboxílico e o composto II, um álcool.
b) O composto I pode ser uma cetona e o composto II pode ser um éter.
c) O composto II pode ser um ácido carboxílico e o composto I pode ser um álcool.
d) O composto II pode ser um aldeído e o composto I pode ser um ácido carboxílico.
e) O composto I pode ser um aldeído e o composto II pode ser um éster.

51. (Unisinos-RS) O ácido fórmico, oficialmente conhecido como ácido metanoico, de fórmula bruta CH_2O, é o responsável pela irritação causada na pele humana, provocada pela picada das formigas. Qual das substâncias abaixo poderia ser aplicada na pele a fim de atenuar esse efeito irritante?

a) $Mg(OH)_2$ b) $C_2H_5—OH$ c) $NH_4C\ell$ d) H_3PO_4 e) H_2SO_4

52. (UFPE) Quando uma garrafa de vinho é deixada aberta, o conteúdo vai se transformando em vinagre por uma oxidação bacteriana aeróbica representada por:

$$CH_3CH_2OH \longrightarrow CH_3CHO \longrightarrow CH_3COOH$$

O produto intermediário da transformação do álcool do vinho no ácido acético do vinagre é:

a) um éster. b) uma cetona. c) um éter. d) um aldeído. e) um fenol.

53. (Enem-MEC) A pele humana é sensível à radiação solar, e essa sensibilidade depende das características da pele. Os filtros solares são produtos que podem ser aplicados sobre a pele para protegê-la da radiação solar. A eficácia dos filtros solares é definida pelo fator de proteção solar (FPS), que indica quantas vezes o tempo de exposição ao Sol, sem o risco de vermelhidão, pode ser aumentado com o uso do protetor solar. A tabela seguinte reúne informações encontradas em rótulos de filtros solares.

Sensibilidade	Tipo de pele e outras características	Proteção recomendada	FPS recomendado	Proteção a queimaduras
extremamente sensível	branca, olhos e cabelos claros	muito alta	FPS $\geqslant$ 20	muito alta
muito sensível	branca, olhos e cabelos próximos do claro	alta	12 $\leqslant$ FPS $<$ 20	alta
sensível	morena ou amarela	moderada	6 $\leqslant$ FPS $<$ 12	moderada
pouco sensível	negra	baixa	2 $\leqslant$ FPS $<$ 6	baixa

ProTeste, ano V, nº 55, fev. 2007 (com adaptações).

As informações acima permitem afirmar que:

a) as pessoas de pele muito sensível, ao usarem filtro solar, estarão isentas do risco de queimaduras.
b) o uso de filtro solar é recomendado para todos os tipos de pele exposta à radiação solar.
c) as pessoas de pele sensível devem expor-se 6 minutos ao Sol antes de aplicarem o filtro solar.
d) pessoas de pele amarela, usando ou não filtro solar, devem expor-se ao Sol por menos tempo que pessoas de pele morena.
e) o período recomendado para que pessoas de pele negra se exponham ao Sol é de 2 a 6 horas diárias.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exercícios complementares

Registre as respostas em seu caderno

54. (Udesc) A testosterona é um hormônio sexual masculino, responsável, entre outras coisas, pelas alterações sofridas pelos rapazes na puberdade. Já a progesterona é um hormônio sexual feminino, indispensável à gravidez.

Abaixo são representadas as respectivas estruturas:

Testosterona Progesterona

Qual das alternativas indica **corretamente** as funções orgânicas presentes nas duas substâncias acima?

a) Na testosterona, temos a função fenol e cetona, e, na progesterona, a função cetona.
b) Na testosterona, temos a função ácido e cetona, e, na progesterona, a função aldeído.
c) Na testosterona, temos a função álcool e cetona, e, na progesterona, a função aldeído.
d) Na testosterona, temos a função fenol e cetona, e, na progesterona, a função ácido.
e) Na testosterona, temos a função álcool e cetona, e, na progesterona, a função cetona.

55. (UFMT) As fragrâncias características dos perfumes foram obtidas durante muito tempo exclusivamente a partir de óleos essenciais extraídos de flores, plantas, raízes e de alguns animais selvagens. Esses óleos receberam o nome de óleos essenciais, porque continham a essência, ou seja, aquilo que confere à planta seu odor característico.

Embora os óleos essenciais sejam ainda obtidos a partir dessas fontes naturais, têm sido substituídos cada vez mais por compostos sintéticos. Os exemplos abaixo mostram dois compostos, sendo um natural, outro artificial:

Composto I
Fragrância artificial do óleo de laranjeira e de jacinto.

Composto II
Óleo de rosas (natural).

Julgue os itens.

(0) O composto II é o 2-fenil etanol.
(1) O composto I é o ácido fenilacético.
(2) O composto I possui fórmula molecular $C_6H_8O_3$.
(3) Por definição, nas cetonas a carbonila deve estar entre dois carbonos. Já nos aldeídos, ela deve estar ligada a um hidrogênio e, portanto, precisa ficar na ponta da cadeia.

56. (PUC-PR) Sobre o **ácido 3-fenil propanoico**, é correto afirmar que:

a) possui fórmula molecular $C_9H_{10}O_2$.
b) possui átomo de carbono quaternário.
c) possui 3 átomos de hidrogênio ionizáveis.
d) não é um composto aromático.
e) é um composto saturado.

57. (UFMG) O ácido p-cumárico, encontrado em grãos de soja, apresenta significativa atividade antioxidante em alimentos. As moléculas desse ácido caracterizam-se pela presença de um anel benzênico, um grupo hidroxila e um grupamento carbonílico de 3 átomos — incluindo o carbono da carboxila terminal — com uma dupla ligação entre os dois primeiros carbonos. A fórmula molecular e o número de insaturações do ácido p-cumárico são, respectivamente:

a) $C_9H_6O_2$ e 1.
b) $C_8H_4O_3$ e 3.
c) $C_9H_8O_2$ e 3.
d) $C_8H_4O_3$ e 4.
e) $C_9H_8O_3$ e 4.

58. (UFPE) Um ácido carboxílico sofre combustão completa de acordo com a equação:

ácido carboxílico + $5\ O_2 \longrightarrow 4\ CO_2 + 4\ H_2O$.

Qual das estruturas abaixo corresponde a esse ácido?

a) $CH_3 — CH_2 — CH_2 — COOH$
b) $CH_3 — CH_2 — COOCH_3$
c) $CH_3 — C(CH_3)_2 — CH_2COOH$
d) $OCH — CH_2 — CH_2 — CHO$
e) $(CH_3)_3C — COOH$

59. (Enem-MEC) Os níveis de irradiância ultravioleta efetiva (IUV) indicam o risco de exposição ao Sol para pessoas de pele do tipo II — pele de pigmentação clara. O tempo de exposição segura (TES) corresponde ao tempo de exposição aos raios solares sem que ocorram queimaduras de pele. A tabela mostra a correlação entre riscos de exposição, IUV e TES.

Riscos de exposição	IUV	TES (em minutos)
Baixo	de 0 a 2	Máximo 60
Médio	de 3 a 5	de 30 a 60
Alto	de 6 a 8	de 20 a 30
Extremo	Acima de 8	Máximo 20

Uma das maneiras de se proteger contra queimaduras provocadas pela radiação ultravioleta é o uso dos cremes protetores solares, cujo Fator de Proteção Solar (FPS) é calculado da seguinte maneira:

$$FPS = \frac{TPP}{TPD}$$

TPP = tempo de exposição mínima para produção de vermelhidão na pele protegida (em minutos)

TPD = tempo de exposição mínima para produção de vermelhidão na pele desprotegida (em minutos)

O FPS mínimo que uma pessoa de pele do tipo II necessita para evitar queimaduras ao se expor ao Sol, considerando TPP o intervalo das 12 às 14 h, num dia em que a irradiância efetiva é maior que 8, de acordo com os dados fornecidos, é:

a) 5. b) 6. c) 8. d) 10. e) 20.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

7 Derivados dos ácidos carboxílicos

Os principais derivados dos ácidos carboxílicos são:

Sais

Ésteres

Anidridos

Cloretos de ácido

7.1. Sais orgânicos

Assim como acontece com os ácidos inorgânicos, os ácidos carboxílicos também formam **sais**. Essa formação pode ocorrer por meio de uma **reação de salificação**, exatamente como vimos na Química geral.

Por exemplo:

$$\underbrace{CH_3-COOH}_{\text{Ácido carboxílico}} + \underbrace{NaOH}_{\text{Base}} \longrightarrow \underbrace{CH_3-COONa}_{\text{Sal orgânico}} + \underbrace{H_2O}_{\text{Água}}$$

(Ácido acético) (Hidróxido de sódio) (Acetato de sódio)

Veja que até a nomenclatura desses sais é análoga à que já aprendemos na Química geral.

Por exemplo:

$(CH_3-COO)_2Ca$ — Acetato de cálcio

CH_3-CH_2-COOK — Propionato de potássio

Os **sais** dos ácidos carboxílicos estão presentes em medicamentos, em aditivos alimentares, em soluções fotográficas, em fixadores de corantes nos tecidos, no tingimento de couros etc. Os **sabões e sabonetes** são sais (em geral de sódio) de ácidos graxos (ácidos carboxílicos de cadeia longa), como, por exemplo, $C_{15}H_{31}-COONa$.

7.2. Ésteres

Ésteres orgânicos são compostos formados pela troca do hidrogênio presente na carboxila dos ácidos carboxílicos por um grupo alquila ou arila (*Ar*).

Seus nomes são semelhantes aos dos sais. Por exemplo:

$CH_3COOC_2H_5$ — Etanoato de etila ou acetato de etila

$H-COOC_4H_9$ — Metanoato de butila ou formiato de butila

Benzoato de metila

Acetato de fenila

Um exemplo muito importante é o dos **triglicéridos** – triésteres da glicerina – formadores de óleos e gorduras indispensáveis à nossa alimentação.

Glicerina (É um triálcool.) — Triéster da glicerina (Quando *R* é longo, resulta um óleo ou gordura.)

Os ésteres cíclicos são chamados de **lactonas**. Por exemplo:

4-butanolactona (ou γ-butirolactona)

5-hexanolactona (δ-caprolactona)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Os **ésteres** são também de grande importância prática. Ésteres mais simples aparecem no perfume das flores e no aroma e sabor dos frutos. Atualmente, as indústrias produzem grandes quantidades de ésteres, que são usados como **sabores e aromas artificiais** em doces, balas, sorvetes etc. (foto A). Ésteres de moléculas maiores constituem os **óleos** e as **gorduras**, de origem tanto vegetal como animal (foto B). Ésteres de moléculas muito grandes aparecem nas ceras vegetais e no organismo dos animais. São também muito importantes os plásticos denominados **poliésteres**, usados, por exemplo, na fabricação de velas de barcos (foto C).

PHOTODISC/GETTY IMAGES

DORLING KINDERSLEY/ GETTY IMAGES

THOMAS LEHNE/ALAMY/OTHER IMAGES

Devemos ainda mencionar a existência de **ésteres inorgânicos**, que são formados por álcoois e ácidos inorgânicos, como, por exemplo:

Nitrato de metila

Sulfato ácido de etila

Sulfato de etila

Trinitrato de glicerina
(É o explosivo chamado de "trinitroglicerina".)

7.3. Anidridos orgânicos

Assim como ocorre com os oxiácidos inorgânicos, os ácidos carboxílicos também formam **anidridos**, por eliminação de água. Por exemplo:

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Podemos ter três tipos de anidridos:

Anidrido acético
(anidrido normal ou simétrico)

Anidrido-acético-propiônico
(anidrido misto)

Anidrido succínico
(anidrido cíclico)

A principal aplicação dos anidridos é na substituição dos ácidos correspondentes, em suas reações. Devemos assinalar que os anidridos são mais reativos que os próprios ácidos carboxílicos.

O anidrido mais importante é o **anidrido acético**, que é preparado industrialmente por um método especial.

7.4. Cloretos dos ácidos carboxílicos

Os **cloretos de ácido** ou **cloretos de acila** derivam dos ácidos carboxílicos pela troca da hidroxila da carboxila pelo cloro. Seus nomes são formados pela **palavra "cloreto", seguida do nome do grupo acila**:

Cloreto de etanoíla ou cloreto de acetila

Cloreto de benzoíla

Na verdade, os cloretos de ácido não constituem uma função puramente oxigenada, pois, além de carbono, hidrogênio e oxigênio, eles contêm cloro. No entanto, costuma-se citá-los entre os derivados dos ácidos, porque substituem os ácidos carboxílicos em muitas de suas reações e ainda com vantagem, pois são mais reativos que os próprios ácidos.

Questões Registre as respostas em seu caderno

a) O composto orgânico utilizado como um dos flavorizantes de rum é também o éster que apresenta menor massa molecular.
- Qual a fórmula estrutural desse composto?
- Qual o seu nome?

b) Um composto orgânico produzido a partir de dois ácidos carboxílicos, com eliminação de água, é formado por 5 átomos de carbono, 8 átomos de hidrogênio e 3 átomos de oxigênio.
- Qual a fórmula estrutural desse composto?
- A que classe funcional ele pertence?
- Qual o seu nome?
- Quais os ácidos carboxílicos que deram origem a esse composto?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

60. (Acafe-SC) A vanilina possui a fórmula estrutural abaixo.

Os grupos funcionais, ligados ao anel aromático, pertencem às funções:

a) álcool – éter – éster.
b) fenol – éter – cetona.
c) fenol – éter – aldeído.
d) fenol – éter – ácido carboxílico.
e) fenol – éster – ácido carboxílico.

61. (Uema) A função e a nomenclatura, segundo a Iupac, dos compostos *X* e *Y*, representados abaixo, são, respectivamente:

a) éster; 3-metil-butanoato de metila e ác. carboxílco; ác. heptanoico.
b) éster; 2-metil-butanoato de metila e aldeído; pentanal.
c) éter; 2-metil-butóxi-metano e aldeído; heptanal.
d) éster; 3-metil-butanoato de metila e aldeído; heptanal.
e) éter; 3-metil-butóxi-metano e ác. carboxílico; ác. pentanoico.

62. (UFF-RJ) As moléculas orgânicas podem apresentar, em sua estrutura, um ou mais grupos funcionais que lhes conferem propriedades físicas e químicas características.

Na estrutura representada a seguir, os grupos funcionais presentes são:

a) éter, cetona e alqueno.
b) alquino, ácido e álcool.
c) alquino, éster e álcool.
d) alqueno, álcool e ácido.
e) alqueno, álcool e éster.

63. (Unisinos-RS) Considere os compostos a seguir:

Composto *A*

Composto *B*

Composto *C*

Composto *D*

Qual a alternativa que relaciona a nomenclatura correta dos compostos *A*, *B*, *C* e *D*, respectivamente?

a) Álcool benzílico — tolueno — ácido fenoico — benzoato de metila.
b) Benzol — metilbenzeno — ácido benzílico — metanoato de benzila.
c) Álcool benzílico — metilbenzeno — ácido benzoico — benzoato de metila.
d) Benzol — xileno — ácido benzoico — fenoato de metila.
e) Álcool fenílico — tolueno — ácido benzílico — fenoato de metila.

64. (Mackenzie-SP) O etanoato de sódio, encontrado na forma de cristais incolores, inodoros e solúveis em água, é utilizado na fabricação de corantes e sabões. As fórmulas das substâncias que podem ser usadas para obtê-lo são:

a)

e NaOH.

b)

e Na.

c)

e NaOH.

d)

e NaOH.

e)

e Na.

65. (UCS-RS) Os odores da transpiração humana advêm da presença de alguns tipos de ácidos carboxílicos liberados no suor.

Produtos de higiene pessoal, como sabonetes, talcos e desodorantes, contêm bicarbonato de sódio, o qual reage com esses ácidos, diminuindo, pela formação de um sal orgânico, o odor da transpiração.

A alternativa que contém a representação química da transformação do ácido carboxílico em sal é:

a) $RCO_2H + NaCO_3 \longrightarrow RCO_2Na + H_2CO_3$.
b) $RCO_2H + NaHCO_3 \longrightarrow RCO_2Na + CO_2 + H_2O$.
c) $RCH_2OH + NaCO_3 \longrightarrow RCH_2ONa + H_2CO_3$.
d) $RCO_2H + NaCO_3 \longrightarrow RCO_2 + NaHCO_3$.
e) $RCOH + NaHCO_3 \longrightarrow RCOCO_2 + NaOH$.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

66. (Unifor-CE) O composto orgânico resultante da reação representada a seguir é o anidrido do ácido etanoico:

Sendo assim, o composto representado por deve ser o anidrido de um ácido:

a) monocarboxílico com cadeia carbônica saturada.
b) monocarboxílico com cadeia carbônica insaturada.
c) tricarboxílico hidratado.
d) dicarboxílico com cadeia carbônica insaturada.
e) dicarboxílico com cadeia carbônica saturada.

Exercícios complementares

Registre as respostas em seu caderno

67. (PUC-RS) Em uma aula de Química orgânica, o professor escreveu no quadro a fórmula

$$C_4H_8O$$

e perguntou a quatro alunos que composto tal fórmula poderia representar. As respostas foram:

Aluno	Composto
1	butanal
2	butanoato de metila
3	butanona
4	ácido butanoico

O professor considerou certas as respostas dadas pelos alunos:

a) 1 e 2.
b) 1 e 3.
c) 2 e 4.
d) 3 e 4.
e) 1, 2 e 3.

68. (FFFCMPA-RS) Os ésteres do ácido ftálico, conhecidos como ftalatos, são utilizados como aditivos em produtos industriais tais como plásticos (cheirinho de carro novo), perfumes, lubrificantes, *spray* de cabelo, esmaltes etc. Apesar da importância industrial, um alto nível de exposição a certos ftalatos pode causar problemas à saúde humana, especialmente quando em brinquedos plásticos, ao público infantil. Um exemplo de éster do ácido ftálico é representado pela estrutura:

I II III

IV V

a) I.
b) II.
c) III.
d) IV.
e) V.

69. (U. F. Viçosa-MG) A alternativa que apresenta um nome possível para um composto de fórmula molecular $C_5H_{10}O$ é:

a) pentan-2-ol.
b) ácido pentanoico.
c) etoxipropano.
d) etanoato de propila.
e) pentan-2-ona.

70. (UFRRJ) Dê a nomenclatura dos seguintes compostos:

I.

III.

II.

IV.

Identifique abaixo a alternativa **verdadeira**:

a) I — anidrido acético, II — metil-benzeno, III — ácido acético, IV — álcool n-butílico.
b) I — ácido butanoico, II — benzeno, III — ácido metanoico, IV — ácido butanoico.
c) I — ácido butandioico, II — tolueno, III — ácido acético, IV — álcool propílico.
d) I — anidrido acético, II — benzeno, III — etanol, IV — álcool butílico.
e) I — anidrido acético, II — fenil, III — etanol, IV — álcool butílico.

71. (UFRJ) Os mais famosos violinos do mundo foram fabricados entre 1600 e 1750 pelas famílias Amati, Stradivari e Guarneri. Um dos principais segredos desses artesãos era o verniz, tido como responsável pela sonoridade única desses instrumentos. Os vernizes antigos eram preparados a partir de uma mistura de solventes e resinas, em diferentes proporções. Uma receita datada de 1650 recomendava a mistura de resina de pinheiro, destilado de vinho e óleo de lavanda. O quadro a seguir ilustra as principais substâncias presentes nos ingredientes da receita.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Ingrediente	Substâncias principais
Resina de pinheiro	
Destilado de vinho	
Óleo de lavanda	

a) Identifique as funções das principais substâncias encontradas no verniz.
b) Dê a fórmula molecular do composto III.

8 Resumo das funções oxigenadas

As funções oxigenadas que acabamos de estudar podem ser resumidas na seguinte tabela:

Funções		Grupos funcionais	Exemplos	Fórmulas gerais
	Álcool	**— OH** (ligado a carbono saturado)	$CH_3—CH_2—OH$	$R—OH$
	Fenol	**— OH** (ligado a carbono aromático)		$Ar—OH$
	Éter	**— O —**	$CH_3—O—CH_2—CH_3$	$R—O—R'$
Compostos carbonílicos	**Aldeído**			
Compostos carbonílicos	**Cetona**			
	Ácido			ou $R—COOH$
Derivados dos ácidos	**Éster**			
Derivados dos ácidos	**Anidrido**			
Derivados dos ácidos	**Cloreto de ácido** (é função oxi-halogenada)			

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

LEITURA

PERFUMES E FLAVORIZANTES

MICHAEL A. KELLER/MASTERFILE/OTHER IMAGES

As funções oxigenadas estão intimamente ligadas ao perfume, ao sabor e ao aroma dos produtos que usamos em nosso dia a dia. Nesta leitura, daremos uma visão geral desse assunto.

PERFUMES

Os perfumes acompanham a humanidade há longo tempo. Vasos contendo óleos perfumados foram encontrados em túmulos de faraós. Diz-se que Cleópatra aperfeiçoou vários tipos de perfumes. Os alquimistas também se preocuparam com a sua produção, e mercadores árabes os distribuíam pelo mundo. Desde o século XVIII até hoje, Paris vem sendo considerada a capital do perfume. É também desde aquela época que vem sendo preparada em Colônia (Alemanha) a chamada **água-de-colônia**, que originou o nome **colônia**.

Ao longo dos séculos, o perfume tem sido associado a emoções agradáveis, como o amor, e, sem dúvida, nosso olfato tem a capacidade de recordar experiências passadas.

Mas o que é um perfume? A fragrância de um perfume resulta de uma mistura complexa de substâncias originalmente extraídas de plantas e flores e de alguns animais selvagens.

Obter a essência natural das flores é um processo delicado e caro. O jasmim, por exemplo, pesa muito pouco, e suas pétalas precisam ser tratadas logo após a colheita. A fabricação de um quilo de essência de jasmim requer 5 milhões de flores de jasmim. A perfumaria trabalha com aproximadamente 10 mil essências básicas, das quais apenas mil são encontradas na natureza.

Atualmente, os químicos conseguem produzir compostos sintéticos que substituem os aromas naturais. Com isso, consegue-se baratear o preço do perfume e evitar a extinção de muitas espécies vegetais e animais.

Do ponto de vista químico, algumas substâncias encontradas nos perfumes são:

- **hidrocarbonetos terpênicos**

Mirceno
(essência de verbena)

- **aldeídos**

Citral
(essência de limão)

- **álcoois**

Geraniol
(essência de rosas)

- **cetonas**

Civetona
(Extraída de glândulas de um gato originário do Egito.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

HAGAR **Chris Browne**

2008 KING FEATURES/INTERCONTINENTAL PRESS

FLAVORIZANTES

Ao saborear uma fruta, deliciamo-nos com seu **sabor** e **aroma**. Essas duas sensações estão resumidas na palavra inglesa ***flavor***, que significa, ao mesmo tempo, "sabor" e "aroma". Daí surgiu a palavra **flavorizante**, que significa "substância que confere ou intensifica o sabor e o aroma de alimentos ou bebidas".

O sabor é percebido pelas papilas gustativas existentes na língua, que na verdade só conseguem registrar quatro sabores diferentes: azedo, doce, salgado e amargo. O aroma é percebido por células especiais, existentes em nossas narinas, que podem identificar uma variedade enorme de odores. É interessante notar que esses dois sentidos — o paladar e o olfato — sempre agem em conjunto. De fato, o "aroma" da comida de que gostamos nos dá "água na boca" e a sensação de que já a estamos saboreando. Pelo contrário, quando estamos resfriados (e, portanto, com o olfato comprometido), torna-se mais difícil apreciar o sabor dos alimentos.

PEACE/AMANAIMAGES/CORBIS/LATINSTOCK

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Nas frutas e, de um modo geral, nos alimentos naturais, o sabor é dado por centenas de compostos químicos diferentes, como açúcares (sabor doce), ácidos (sabor azedo) etc. O odor é dado por centenas de substâncias voláteis, como ésteres, aldeídos, cetonas etc.

Em alimentos produzidos industrialmente, como bolos, doces, balas, refrigerantes etc., a soma sabor + odor é dada por extratos naturais de frutos, folhas etc. ou, então, por meio de misturas de **flavorizantes artificiais**, que são mais baratos e procuram imitar o sabor e o aroma desejados. Dentre esses compostos sintéticos, destacam-se os ésteres, como vemos na tabela abaixo:

Nome	Fórmula	Flavor
Acetato de etila	$CH_3COOC_2H_5$	Maçã
Acetato de isopentila	$CH_3COOCH_2CH_2CH(CH_3)_2$	Banana
Acetato de octila	$CH_3COO(CH_2)_7CH_3$	Laranja
Butanoato de etila	$CH_3CH_2CH_2COOC_2H_5$	Abacaxi
Butanoato de butila	$CH_3CH_2CH_2COO(CH_2)_3CH_3$	Morango

O campo de pesquisa dos aditivos alimentares é muito grande e frequentemente aparecem novos caminhos para prepará-los.

Questões sobre a leitura

Registre as respostas em seu caderno

72. Explique por que a Química tem papel importante na preservação de espécies animais e vegetais usadas na fabricação de perfumes.

73. (Uerj) As fragrâncias características dos perfumes são obtidas a partir de óleos essenciais.
Observe as estruturas químicas de três substâncias comumente empregadas na produção de perfumes.

Fragrância de canela

Fragrância de jasmim

Fragrância de espinheiro-branco

O grupo funcional comum às três substâncias corresponde à seguinte função orgânica:
a) éter. b) álcool. c) cetona. d) aldeído.

74. (U. São Judas-SP) No carrinho de compras de supermercado de uma dona de casa, existem cinco produtos alimentícios. Todos possuem uma substância flavorizante (= sabor + aroma).

Produtos	Flavorizantes artificiais
1 pacote de balas de maçã	Pentanoato de isopentila
1 pote de sorvete de abacaxi	Hexanoato de etila
1 caixinha de gelatina de framboesa	Formiato de isobutila
1 lata de refrigerante sabor laranja	Acetato de octila
1 litro de iogurte de morango	Etanoato de propila

Qual dos produtos alimentícios acima citados apresenta a fórmula estrutural abaixo?

a) As balas.
b) A gelatina.
c) O iogurte.
d) O refrigerante.
e) O sorvete.

75. (PUC-PR) A presença de certos grupos funcionais em alguns compostos é responsável pelas sensações ardente, adstringente e refrescante, também denominadas sabores, que sentimos quando ingerimos determinados alimentos. A estrutura a seguir refere-se ao gingerol, substância encontrada no gengibre, responsável pela sensação ardente, quando ingerida.

Qual das funções abaixo não está presente no gingerol?
a) álcool b) fenol c) éster d) éter e) cetona

76. (PUC-MG) A essência de morango tem fórmula:

Os substituintes ligados ao grupo funcional do composto são:
a) etil e butil.
b) metil e isobutil.
c) metil e sec-butil.
d) etil e isobutil.
e) metil e terc-butil.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO

4 Funções orgânicas nitrogenadas

Cerca de 80% do ar é composto de nitrogênio. Apesar de abundante na natureza, o N_2 é um gás muito estável (inerte) que necessita de complexas reações para formar os **compostos nitrogenados** nos seres vivos. No corpo humano, esses compostos estão presentes nos aminoácidos, hormônios, enzimas e neurotransmissores, entre outros.

TÓPICOS DO CAPÍTULO

1 INTRODUÇÃO
2 AMINAS
3 AMIDAS
4 NITRILAS
5 NITROCOMPOSTOS
6 RESUMO DAS FUNÇÕES NITROGENADAS

LEITURA: *EXPLOSIVOS*

Efeitos do fumo

Das mais de 4.700 substâncias presentes no cigarro, a nicotina é a que dispara as sensações agradáveis que escravizam o corpo e a mente.

A nicotina é um composto orgânico nitrogenado. A lista das reações encadeadas que provoca no corpo é imensa, todas prejudiciais de algum modo.

No DNA
Da metabolização da nicotina surgem substâncias que se ligam ao DNA das células, causando mutagênese, um dos princípios do surgimento do câncer.

Nos tecidos
Afeta o formato e o encaixe das células, deixa os tecidos esburacados causando rugas, lesões nos alvéolos pulmonares e arteriosclerose.

No sistema nervoso periférico
A nicotina estimula gânglios da medula e glândulas dos rins a liberar substâncias vasoconstritoras, causando aumento da pressão arterial e da frequência cardíaca, desgaste das paredes arteriais e acúmulo de gordura, efeitos envolvidos em acidentes vasculares e infartos.

ILUSTRAÇÕES: GABRIEL SILVEIRA

No cérebro
A nicotina conecta-se aos receptores dos **neurônios,** alterando a emissão de neurotransmissores. Também provoca a síntese de novos receptores, causando tolerância e a necessidade de aumentar a dose.

Nos dentes
Fumar causa deterioração, amarelamento e tártaro, aumentando em 50% a chance de perda de dentes.

No sistema cardiovascular
Fumar aumenta a pressão arterial, altera a formação de plaquetas deixando o sangue viscoso e com placas de gordura. O CO contido na fumaça toma o lugar do oxigênio na hemoglobina, sobrecarregando o coração.

No pulmão
Fumar aumenta em até 22 vezes as chances de câncer e ainda causa enfisema, a degradação dos alvéolos pulmonares, reduzindo a capacidade respiratória.

No estômago
Alterando o pH do estômago, o fumo contribui para o surgimento de úlceras.

No intestino
O pH alterado nas vísceras interfere no funcionamento intestinal. Esse e outros efeitos do fumo contribuem com problemas que vão de uma diarreia ou uma prisão de ventre até um câncer.

Com nicotina
Sem nicotina

1 A nicotina eleva a produção de diversos neurotransmissores, estimulando o metabolismo e a atividade cerebral.

2 Com o tempo, os neurônios se adaptam ao aumento de neurotransmissores, criando mais neurorreceptores. Isso desenvolve tolerância à droga e a necessidade de doses cada vez maiores.

3 Em poucas horas a nicotina perde o efeito. A produção normal de neurotransmissores não sacia mais o organismo viciado, que pode sentir irritação, ansiedade e depressão.

REFLETINDO

Evitar vícios e ter uma boa alimentação são fundamentais para a saúde do ser humano. Além da nicotina, que causa séria dependência química, existem outras drogas tão ou muito mais perigosas para o organismo, como a anfetamina, a heroína, a morfina, entre outras. Qual é a relação aparente entre esses compostos? Explique.

ILUSTRAÇÕES: GABRIEL SILVEIRA

1 Introdução

O nitrogênio é um elemento fundamental para a vida na Terra. De fato, no chamado **ciclo do nitrogênio** na natureza, constata-se o trajeto desse elemento (livre ou na forma de inúmeros compostos) no ar, nos vegetais, nos animais e nas bactérias presentes no solo.

OSVALDO SANCHES SEQUETIN

Ilustração elaborada a partir de ODUM, E. P. *Ecologia*. Rio de Janeiro: Guanabara, 1983. (Representação sem escala; cores-fantasia.)

Compostos nitrogenados mais complexos desempenham funções **biológicas** muito importantes, pois aparecem em aminoácidos, proteínas, hormônios, enzimas etc.

Na indústria, o nitrogênio é utilizado para fabricar diversos produtos sintéticos, como medicamentos, explosivos, plásticos etc.

Neste capítulo estudaremos as funções orgânicas nitrogenadas mais simples e também mais importantes: **aminas**, **amidas**, **nitrilas**, **isonitrilas** e **nitrocompostos**.

Lembramos que são comuns funções contendo, simultaneamente, nitrogênio e oxigênio. Afinal, como já dissemos, **carbono**, **hidrogênio**, **oxigênio** e **nitrogênio** são chamados **elementos organógenos** por serem os principais formadores dos compostos orgânicos.

2 Aminas

2.1. Definição

Aminas são compostos teoricamente derivados do NH_3, pela substituição de um, dois ou três hidrogênios por grupos **alquila** ou **arila**.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Surge daí a classificação das aminas em **primárias**, **secundárias** ou **terciárias**:

Amina primária

Amina secundária

Amina terciária

Outra classificação usual é: **aminas alifáticas** (R — NH_2) e **aminas aromáticas** (Ar — NH_2). Por exemplo:

Amina alifática

Amina aromática

Por fim, as aminas também podem ser classificadas em: **monoaminas**, **diaminas**, **triaminas** etc., conforme o número de grupos amina na molécula. Por exemplo:

Monoamina

Diamina

Triamina

2.2. Nomenclatura das aminas

Os nomes das aminas são formados com a terminação **AMINA**. No entanto, são usados nomes especiais, principalmente para aminas aromáticas:

Metilamina

Trimetilamina

Etil-metil-propil-amina

Fenilamina ou anilina

Metil-fenilamina ou N-metil-anilina

(Neste último exemplo, a letra N indica que o grupo metila está ligado ao nitrogênio.)

Em compostos mais complexos, pode-se considerar o grupo NH_2 como uma ramificação da cadeia carbônica principal, indicando-o pelo prefixo **AMINO**. Neste caso, considera-se como cadeia principal a mais longa possível, iniciando-se a numeração a partir da extremidade mais próxima do grupo amina.

2-amino-4-fenil-2,3-dimetil-pentano

Ácido amino-acético

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

OBSERVAÇÕES

- Compostos do tipo $R-CH=NH$ são denominados **iminas**. Sua estrutura lembra uma amina secundária, exceto pelo fato de que as duas valências do nitrogênio se ligam ao mesmo carbono. Por exemplo:

$$CH_3-CH=NH \quad \text{Etilidenoimina}$$

- A hidrazina (H_2N-NH_2) e a hidroxilamina (H_2N-OH) são compostos semelhantes às aminas e dão origem a derivados também importantes, como:

Dimetil-hidrazina

Esse composto foi usado como combustível do módulo que desceu ao solo lunar na missão Apolo.

2.3. A presença das aminas em nossa vida

A função amina está presente nos **aminoácidos**, que são os formadores das **proteínas** – componentes fundamentais dos seres vivos (aminoácidos e proteínas são os temas do capítulo 16 deste livro):

Aminoácido → Proteína

Decorre daí a presença de aminas na decomposição de animais mortos:

Trimetilamina
(odor de peixe podre)

1,4-diamino-butano
(putrescina)

1,5-diamino-pentano
(cadaverina)

A trimetilamina é o principal componente do forte cheiro do peixe podre. A putrescina e a cadaverina se formam na decomposição de cadáveres humanos.

Industrialmente, as aminas são usadas em certos tipos de sabão, na vulcanização da borracha e em inúmeras sínteses orgânicas. Em particular, as aminas aromáticas são importantíssimas na fabricação de corantes. Exemplos:

Anilina
(usada para a fabricação de corante)

Ácido p-aminobenzoico (PABA)
(protetor solar)

Acetaminofeno
(analgésico e antitérmico)

TASSO MARCELO/AGÊNCIA ESTADO

Mortandade de peixes. (Lagoa Marapendi, Barra da Tijuca, RJ, 2005.)

Muito importantes são também as **aminas cíclicas**, pois dão origem a um número enorme de **compostos heterocíclicos**. Por exemplo:

Piridina
(tem caráter aromático)

Piperidina
(não tem caráter aromático)

Pirrol
(tem caráter aromático)

Pirrolidina
(não tem caráter aromático)

Esses anéis heterocíclicos aparecem, por exemplo, nos chamados **alcaloides**, que são de origem vegetal e geralmente exercem uma forte ação sobre nosso organismo, como veremos a seguir.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

a) As anfetaminas

Nossas glândulas suprarrenais produzem um hormônio chamado **adrenalina**, cuja função principal é controlar os batimentos cardíacos, a pressão arterial e a concentração de açúcar no sangue. Quando levamos um susto, ou estamos em perigo, a concentração de adrenalina no sangue se eleva, aumentando, como consequência, nossos batimentos cardíacos e nossa pressão arterial. Esse é um mecanismo de defesa natural do organismo, proporcionando-nos mais energia para correr ou enfrentar o perigo que nos ameaça.

Adrenalina

Procurando imitar a natureza, os cientistas inventaram as **anfetaminas** – um conjunto de substâncias com estrutura e efeitos semelhantes aos da adrenalina. O primeiro composto produzido foi a **benzedrina** (1932). As anfetaminas são usadas nas guerras, para afastar a fadiga dos soldados e mantê-los acordados. Atualmente, elas são vendidas em farmácias somente mediante receita médica. No entanto, o uso ilegal das chamadas "bolinhas", nome popular dado às anfetaminas, tem sido muito grande, por motoristas de caminhão que não querem dormir ao volante, por estudantes que passam a noite inteira estudando etc. O uso prolongado das anfetaminas gera **dependência química** (isto é, faz com que a pessoa se torne viciada) e acaba produzindo palpitações, dores de cabeça, aumento crônico da pressão arterial etc.

Benzedrina

b) Os alcaloides

Os alcaloides são aminas cíclicas que apresentam anéis heterocíclicos contendo nitrogênio. Por serem aminas, os alcaloides são básicos ou alcalinos – o que originou o nome **alcaloides**, que significa "semelhantes aos álcalis".

Os alcaloides são substâncias naturais de origem vegetal ou animal. Nas plantas, têm a função de defesa contra insetos e animais predadores. Em nosso organismo, alguns alcaloides podem causar **dependência química** e, algumas vezes, levar a pessoa à morte. Vejamos alguns exemplos:

- A **nicotina** é a substância que causa o vício de fumar. É um estimulante do sistema nervoso central, provoca aumento da pressão arterial e da frequência dos batimentos cardíacos.

Nicotina

- A **cafeína**, existente no café, no chá preto e em outras bebidas, também é estimulante do sistema nervoso central.

Cafeína

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

- A **morfina**, extraída da flor da papoula, é usada há séculos como medicamento, tanto para induzir o sono (seu nome é derivado de Morfeu, deus grego do sono) como para aliviar dores intensas, como a dos pacientes com câncer em estágio terminal.

$(C_{17}H_{19}NO_3)$

Morfina

Flor da papoula (*Papaver somniferum*).

- A **coniina** é um dos componentes da planta venenosa chamada **cicuta**. O filósofo grego Sócrates, condenado à morte por suas ideias, foi obrigado a ingerir um chá feito com cicuta.

$(C_8H_{17}N)$

Coniina

***A morte de Sócrates*, óleo sobre tela de Jacques Louis David (1787).**

- A **cocaína** é extraída da folha da **coca** – vegetal cultivado principalmente na Colômbia, no Peru e na Bolívia. Os nativos dos altiplanos dos Andes mastigam folhas de coca para combater a fome e o cansaço. No início do século XX, a cocaína foi usada como medicamento e até na composição de algumas bebidas. Infelizmente, tornou-se uma das maiores tragédias do mundo atual. Seu consumo tem levado muitos jovens à degradação total e até à morte, além de sustentar um comércio ilegal que movimenta bilhões de dólares por ano.

$(C_{17}H_{21}NO_4)$

Cocaína

A forma mais estável da cocaína é a do cloridrato. Desse sal, a cocaína pode ser deslocada por meio de bases fracas, como o bicarbonato de sódio ($NaHCO_3$). Pois é exatamente a mistura de cocaína e bicarbonato que constitui o ***crack***, que produz efeitos ainda mais devastadores do que a cocaína.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

VOCÊ JÁ PAROU PARA PENSAR

O *ecstasy*

O ***ecstasy*** é uma droga **muito perigosa**. A substância que define o *ecstasy* é o MDMA, sigla que significa **metilenodioximetanfetamina**.

$(C_{11}H_{15}NO_2)$

3,4-metilenodioximetanfetamina

Muitas vezes a droga é confundida com as anfetaminas ou metanfetaminas, estimulantes sintéticos que deixam as pessoas "ligadas". O MDMA tem parte da molécula semelhante à de um alucinógeno. No entanto, o MDMA não chega a produzir as alucinações do ácido lisérgico (LSD) nem os efeitos estimulantes da cocaína, mas sim uma mistura moderada dos efeitos das duas substâncias.

A droga atua sobre os receptores dos neurotransmissores serotonina, dopamina e a noradrenalina. A serotonina é o neurotransmissor mais atingido pelo *ecstasy*. Controla nossas emoções e também regula os domínios sensorial e motor, e a capacidade associativa do cérebro. Como a serotonina também regula a temperatura do corpo, um dos riscos de quem toma o *ecstasy* é o da hipertermia (superaquecimento do organismo). Muitas mortes associadas ao *ecstasy* são decorrentes da elevação da temperatura do corpo acima de 41 °C. A partir dessa temperatura, o sangue pode coagular, produzindo convulsões e parada cardíaca.

Questões

Registre as respostas em seu caderno

a) Sobre a amina de menor massa molecular, pergunta-se:
- Qual a fórmula estrutural dessa amina?
- Qual sua fórmula molecular?
- Qual o nome dessa substância?
- Esse composto é uma amina primária, secundária ou terciária?

b) Uma amina aromática e secundária possui fórmula C_7H_9N.
- Qual a fórmula estrutural dessa amina?
- Qual o nome desse composto?

c) Verifique no texto a fórmula da nicotina e responda:
- A nicotina é uma amina alifática?
- A nicotina é uma amina primária, secundária ou terciária?

Pesquisa

Registre as respostas em seu caderno

O que é ciclo do nitrogênio e qual a importância dele para os seres vivos?

Por que se utilizam fertilizantes no solo?

O que significa fixação industrial do nitrogênio?

Referência:

O nitrogênio e o ciclo do nitrogênio: <http://naeg.prg.usp.br/puni/modulos/quimica_mod2.pdf>.

Acesso em: mar. 2010.

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

1. Dê os nomes das seguintes aminas:

a) $CH_3 — CH_2 — NH_2$

b) $CH_3 — NH — CH_3$

c) $CH_3 — NH — CH_2 — CH_3$

d) $CH_3 — CH(CH_3) — CH_2 — NH_2$

e)

2. Quais são as fórmulas estruturais dos compostos:

a) metil-isopropilamina?

b) N-etil-anilina?

3. (PUC-PR) Relacione a coluna da direita com a da esquerda:

- Anilina
- Ácido fórmico
- Acetona
- Fenol comum

(1)

(2)

(3) $H_3C — C(=O) — CH_3$

(4)

A ordem correta é:

a) 2, 1, 3, 4.
b) 3, 1, 2, 4.
c) 1, 2, 3, 4.
d) 4, 1, 3, 2.
e) 3, 1, 4, 2.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

4. (Uepa) A cafeína é um estimulante presente no café, que pode ser o suposto fator viciante dessa bebida. A cafeína aumenta a eliminação do cálcio e, em altas doses, pode levar a abortos. Sua estrutura está representada ao lado.

Considerando a estrutura da cafeína, é correto afirmar que sua fórmula molecular é:

a) $C_8H_{10}N_4O_2$
b) $C_3H_9N_4O_2$
c) $C_6H_9N_4O_2$
d) $C_6H_{10}N_4O_2$
e) $C_5H_9N_4O_2$

5. (PUC-Campinas-SP-Modificado) Considere a estrutura da tirosina:

Há grupos característicos das funções:

a) amina, álcool e fenol.
b) nitrila, fenol e aldeído.
c) álcool, éter e ácido carboxílico.
d) amida, álcool e cetona.
e) amina, fenol e ácido carboxílico.

6. (Mackenzie-SP) Considere as seguintes fórmulas estruturais:

A alternativa que apresenta, respectivamente, os nomes das funções correspondentes a essas fórmulas é:

a) álcool, amina, aldeído, éster.
b) álcool, amina, cetona, ácido carboxílico.
c) aldeído, amina, cetona, éster.
d) éter, amida, aldeído, ácido carboxílico.

7. (UFMG) A ergonovina é um alcaloide natural encontrado em alguns fungos parasitas.

Considerando-se a estrutura desse produto, é **incorreto** afirmar que a ergonovina apresenta:

a) um grupo carbonila.
b) um grupo hidroxila.
c) dois anéis benzênicos.
d) dois grupos amino.

Exercícios complementares

Registre as respostas em seu caderno

8. (UFF-RJ) O estimulante cafeína é um alcaloide de fórmula estrutural:

Quando uma pessoa bebe duas xícaras de café expresso, nos 140 miligramas de cafeína que ela consome a massa de hidrogênio presente é, aproximadamente:

a) 7,2 mg.
b) 14,8 mg.
c) 23,0 mg.
d) 40,0 mg.
e) 70,0 mg.

(Dados: massas molares, em g/mol: H = 1; C = 12; N = 14; O = 16.)

9. (Uerj) O aromatizante artificial antranilato de metila é utilizado por alguns fabricantes de gelatina de uva. Essa substância deriva do ácido antranílico, que possui as seguintes características:

- é um ácido carboxílico aromático;
- apresenta um grupo amino na posição orto;
- possui fórmula molecular $C_7H_7NO_2$.

Dê a fórmula estrutural plana desse aromatizante e cite a função química a que ele pertence.

10. (UFSM-RS) Na Copa do Mundo, a FIFA submeteu os atletas a rigoroso controle de dopagem, também adotado pelo comitê dos jogos olímpicos da Austrália.

Entre as várias substâncias proibidas, está, na classe dos estimulantes, a cafeína, caso seja detectada, na urina, em concentração superior a $12 \cdot 10^{-6}$ g/L de urina (12 μg/L).

Cafeína

Essa concentração corresponde a uma solução de cafeína de, aproximadamente:

a) $6 \cdot 10^{-8}$ mol/L.
b) $12 \cdot 10^{-6}$ mol/L.
c) $1 \cdot 10^{-8}$ mol/L.
d) $1{,}95 \cdot 10^{-8}$ mol/L.
e) $1{,}95 \cdot 10^{-6}$ mol/L.

(Dados: massas molares, em g/mol: H = 1; C = 12; N = 14; O = 16.)

11. (PUC-SP) Peixes mortos têm cheiro desagradável devido à formação de substâncias provenientes da decomposição de proteínas. Uma dessas substâncias é a metilamina, que, em presença de água, apresenta o seguinte equilíbrio:

$$H_3C-NH_2 + H_2O \underset{2}{\overset{1}{\rightleftharpoons}} H_3C-NH_3^+ + OH^-$$

Para diminuir o cheiro desagradável da metilamina, o mais adequado é adicionar ao sistema:

a) sabão porque dissolve a amina.
b) cal porque fornece íons OH^-.
c) salmoura porque reage com a amina.
d) limão porque desloca o equilíbrio no sentido 2.
e) vinagre porque desloca o equilíbrio no sentido 1.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

3 Amidas

3.1. Definição

Amidas são compostos derivados teoricamente do NH_3 pela substituição de **um** hidrogênio por um grupo **acila**.

A fórmula geral de uma amida é:

, onde *R* pode ser H, alquila (*R*) ou arila (*Ar*).

O grupo funcional de uma amida primária é, pois, ou, abreviadamente, $-CONH_2$.

Por exemplo:

Ao contrário das aminas, não são comuns amidas com dois ou três grupos acila **no mesmo nitrogênio** (que seriam, então, amidas secundárias e terciárias). No entanto, são comuns amidas com substituinte alquila ou arila no nitrogênio:

Amida N-monossubstituída

Amina N,N-dissubstituída

Esses são compostos mistos, **em parte amida**, **em parte amina**. A letra **N** (maiúscula) que aparece no nome indica **nitrogênio**.

São comuns também amidas secundárias cíclicas, denominadas **imidas**:

Succinimida

Ftalimida

3.2. Nomenclatura das amidas

Os nomes das amidas derivam dos ácidos correspondentes, trocando-se a terminação **OICO** (da nomenclatura oficial dos ácidos carboxílicos) ou **ICO** (da nomenclatura usual dos ácidos carboxílicos) por **AMIDA**. Exemplos:

Etanamida
ou acetamida

2-metil-propanamida
ou 2-metil-propionamida

N-metil-propanamida
ou N-metil-propionamida

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

3.3. A presença das amidas em nossa vida

A amida mais importante no cotidiano é a **ureia**, que é uma diamida do ácido carbônico:

Ácido carbônico (instável)

Monoamida de ácido carbônico ou ácido carbâmico (instável)

Diamida do ácido carbônico ou ureia (estável)

A ureia é um sólido branco, cristalino, solúvel em água e constitui um dos produtos finais do metabolismo dos animais, sendo eliminada pela urina.

Muito importante, a ureia é largamente usada como adubo, na alimentação do gado, como estabilizador de explosivos e na produção de resinas e medicamentos (sedativos, hipnóticos etc.).

DELFIM MARTINS/PULSAR IMAGENS

JOÃO WAINER/FOLHA IMAGEM

(A) Aplicação mecânica de adubo. (Itiquira, MT, 2001.)
(B) Gado comendo ração. (Governador Valadares, MG, 2001.)

Historicamente, a síntese da ureia, por Wöhler, em 1828, é considerada o marco inicial da Química orgânica.

Atualmente, a ureia é produzida industrialmente a partir do CO_2 e do NH_3:

A ureia tem caráter básico um pouco mais forte que as amidas comuns. Também sofre hidrólise na presença de ácidos ou bases fortes ou sob ação da enzima **urease**:

(Essa reação é a que produz o cheiro forte da urina.)

Aquecida a seco, a ureia produz o biureto, que é usado como indicador de sais cúpricos, com os quais produz uma cor vermelha muito intensa:

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Vários derivados da ureia são importantes na Medicina:

Ácido barbitúrico
(Seus derivados, chamados barbiturados, são sedativos e hipnóticos.)

Ácido úrico
(Existe na urina humana, e seu excesso no organismo causa gota reumática.)

UM POUCO DE HISTÓRIA

A tragédia de Bhopal

Na cidade de Bhopal, situada na Índia Central e com 800.000 habitantes na década de 1980, existia uma fábrica de inseticidas, cujo processo se baseava na seguinte reação:

Na ocasião, a fábrica estava fechada para reformas, mas mantinha um estoque excessivamente alto de matérias-primas em seus tanques. Na madrugada do dia 3 de dezembro de 1984, devido a uma série de falhas, ocorreu o vazamento de uma grande quantidade de isocianato de metila, gás extremamente tóxico. Milhares de pessoas saíram pelas ruas, cambaleantes, com dificuldade de respirar, vomitando sangue e com os olhos queimando; muitas delas morreram naquela noite e nos dias seguintes (a nuvem letal demorou dias para se dissipar na atmosfera); e, nos meses seguintes, aumentou o número de abortos e de natimortos.

AFP/GETTY IMAGES

Pessoas que perderam a visão em decorrência do acidente de Bhopal, Índia, 1984.

Como balanço final, calculou-se que cerca de 5 mil pessoas morreram, 50 mil ficaram com graves sequelas (de ordem respiratória, motora e visual) e outras 200 mil foram atingidas em menor grau. Foi, sem dúvida, o maior "desastre químico" que o mundo já conheceu.

Como conclusão, devemos, mais uma vez, refletir sobre os custos e os benefícios de nossa civilização: por um lado, o progresso exige quantidades cada vez maiores de produtos químicos, que serão usados em nossos alimentos, vestuário, veículos, moradia etc.; por outro, cada etapa da produção, da armazenagem e do transporte de produtos perigosos é mais um risco que estamos correndo. Sendo assim, somente submetendo os avanços tecnológicos aos princípios da cidadania, da ética, do respeito ao próximo e ao ambiente é que poderemos aliar o desenvolvimento material da sociedade com a qualidade de vida que desejamos para nós e para as futuras gerações.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Questões

Registre as respostas em seu caderno

Um mol de um dos compostos presentes na urina humana, em solução aquosa, reage com um mol de água formando um mol de gás carbônico e dois mols de amônia.

a) Qual o nome desse composto?

b) Qual a função química dessa substância?

c) Qual sua fórmula estrutural?

d) Qual sua fórmula molecular?

e) Equacione a reação química citada.

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

12. Dê os nomes dos seguintes compostos:

a)

b) $CH_3 — CH_2 — CONH_2$

c)

d)

13. Quais são as fórmulas dos compostos:

a) 3-metil-pentanamida?

b) o-metil-benzamida?

c) N-metil-benzamida?

14. (PUC-PR-modificado) Associe as estruturas listadas na coluna da esquerda com os nomes das substâncias listadas na coluna da direita.

1) • Propanoato de isopropila

2) • Butanona

3) $H_5C_6 — COOH$ • Butanodial

4) • Propanamida

5) $HOC — CH_2 — CH_2 — COH$ • Ácido benzoico

15. (Uepa) A ureia é uma substância presente na urina dos mamíferos. A decomposição da ureia, em solução aquosa, libera amônia, gás de odor desagradável, que é um dos responsáveis pelo cheiro característico dos banheiros mal lavados. Considerando a estrutura da ureia mostrada abaixo, podemos afirmar que a ureia pertence à função:

a) nitrocomposto.

b) cetona.

c) éster.

d) amida.

e) ácido carboxílico.

16. (Unesp) Em agosto de 2005 foi noticiada a apreensão de lotes de lidocaína que teriam causado a morte de diversas pessoas no Brasil, devido a problemas de fabricação. Este fármaco é um anestésico local muito utilizado em exames endoscópicos, diminuindo o desconforto do paciente. Sua estrutura molecular está representada a seguir:

e apresenta as funções:

a) amina secundária e amina terciária.

b) amida e amina terciária.

c) amida e éster.

d) éster e amina terciária.

e) éster e amina secundária.

17. (UFRN) Em pacientes com suspeita de dengue, não é recomendada a utilização de antitérmicos e analgésicos à base de ácido acetilsalicílico, por causar aumento do risco de hemorragia. Um medicamento substituto é o paracetamol, um composto polifuncional, cuja fórmula é:

Nessa estrutura, podem-se identificar os grupos funcionais:

a) álcool e amida.

b) fenol, amina e cetona.

c) álcool, amina e cetona.

d) fenol e amida.

18. (UFRGS-RS) Considere a fórmula abaixo:

Ela corresponde ao medicamento de nome propanolol, indicado no tratamento de doenças do coração. Em sua estrutura estão presentes as funções orgânicas:

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

a) éter aromático, álcool e amina alifática.
b) fenol, éter, álcool e amina aromática.
c) éster, fenol e amida.
d) éster alifático, álcool e amida.
e) éter alifático, fenol e amina.

19. (Fatec-SP) As três substâncias indicadas abaixo são usadas em remédios para gripe, devido a sua ação como descongestionantes nasais:

Neo-sinefrina

Propadrina

Benzedrex

Essas três substâncias apresentam em comum, em suas estruturas, o grupo funcional:

a) benzeno.
b) fenol.
c) álcool.
d) amida.
e) amina.

20. (UFRRJ-adaptado) Observe as estruturas abaixo:

Paracetamol

Procaína

Os grupos funcionais presentes nas moléculas de paracetamol (droga analgésica) e procaína (anestésico local) são:

a) amida, fenol, amina e éster.
b) álcool, amida, amina e éter.
c) álcool, amina, haleto, éster.
d) amida, fenol, amina e ácido carboxílico.
e) éster, amina, amida e álcool.

Exercícios complementares

Registre as respostas em seu caderno

21. (Uniderp-MS) A mostarda de nitrogênio, uma arma química, causadora de náuseas e irritação da pele, dos olhos e dos pulmões, pode ser representada pela fórmula estrutural: $C\ell CH_2CH_2N(CH_3)CH_2CH_2C\ell$

que possui o grupo funcional:

a) amida.
b) carboxílico.
c) éter.
d) hidroxila.
e) amina.

22. (UFSCar-SP) O aspartame, estrutura representada abaixo, é uma substância que tem sabor doce ao paladar. Pequenas quantidades dessa substância são suficientes para causar a doçura aos alimentos preparados, já que esta é cerca de duzentas vezes mais doce do que a sacarose.

Aspartame

As funções orgânicas presentes na molécula desse adoçante são, apenas:

a) éter, amida, amina e cetona.
b) éter, amida, amina e ácido carboxílico.
c) aldeído, amida, amina e ácido carboxílico.
d) éster, amida, amina e cetona.
e) éster, amida, amina e ácido carboxílico.

23. (PUC-MG) A função que não está presente na estrutura do antibiótico tetraciclina é:

Tetraciclina

a) álcool.
b) amida.
c) cetona.
d) aldeído.
e) fenol.

(Enem-MEC) Texto para as duas questões seguintes:

Aumento de produtividade

Nos últimos 60 anos, verificou-se grande aumento da produtividade agrícola nos Estados Unidos da América (EUA). Isso se deveu a diversos fatores, tais como expansão do uso de fertilizantes e pesticidas, biotecnologia e maquinário especializado. O gráfico a seguir apresenta dados referentes à agricultura desse país, no período compreendido entre 1948 e 2004.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Scientific American Brasil, jun. 2007, p. 19 (com adaptações).

24. Com base nas informações dadas, pode-se considerar fator relevante para o aumento da produtividade na agricultura estadunidense, no período de 1948 a 2004:

a) o aumento do uso da terra.
b) a redução dos custos de material.
c) a redução do uso de agrotóxicos.
d) o aumento da oferta de empregos.
e) o aumento do uso de tecnologias.

25. A respeito da agricultura estadunidense no período de 1948 a 2004, observa-se que:

a) o aumento da produtividade foi acompanhado da redução de mais de 70% dos custos de mão de obra.
b) o valor mínimo dos custos de material ocorreu entre as décadas de 1970 e 1980.
c) a produtividade total da agricultura dos EUA apresentou crescimento superior a 200%.
d) a taxa de crescimento das despesas de capital manteve-se constante entre as décadas de 1970 e 1990.
e) o aumento da produtividade foi diretamente proporcional à redução das despesas de capital.

4 Nitrilas

4.1. Definição

Nitrilas (ou **cianetos**) são compostos que contêm o grupo funcional $-C\equiv N$.

O próprio **ácido cianídrico** ($H-C\equiv N$) pode ser considerado a nitrila mais simples, o que originou o nome **cianetos** para as demais.

Os nomes são feitos ou com a terminação **nitrila** ou com a palavra **cianeto**:

$H-C\equiv N$

Metanonitrila ou cianeto de hidrogênio ou gás cianídrico

$CH_3-C\equiv N$

Etanonitrila ou acetonitrila ou cianeto de metila

Uma nitrila insaturada importante é a **acrilonitrila** ($CH_2=CH-CN$), muito usada na fabricação de polímeros acrílicos, como as lãs sintéticas, apropriadas para a confecção de agasalhos e cobertores.

5 Nitrocompostos

5.1. Definição

Nitrocompostos são substâncias que contêm um ou mais grupos $-NO_2$ na molécula.

Os nitrocompostos são isômeros dos nitritos ($R-O-NO$). A classificação mais importante é a que os divide em **alifáticos** ($R-NO_2$) e **aromáticos** ($Ar-NO_2$), cujas preparações e propriedades são bem diferentes.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Os nomes são obtidos com o prefixo **nitro**:

Nitrometano

Nitrobenzeno

Os nitroalcanos, dos quais o nitrometano é o exemplo mais simples, são líquidos incolores, polares e usados como solventes e intermediários em sínteses orgânicas. Os nitroaromáticos, dos quais o nitrobenzeno é o mais simples, são mais importantes devido ao grande uso na fabricação de corantes e explosivos (o aumento do número de grupos NO_2 numa molécula torna-a explosiva).

É oportuno também lembrar que o grupo — NO é denominado **nitroso**, e dá origem aos compostos nitrosos: *R* — NO.

6 Resumo das funções nitrogenadas

As funções que acabamos de estudar podem ser resumidas na seguinte tabela:

Funções	Grupos funcionais	Exemplos	Fórmulas gerais
Amina	$-NH_2$	$CH_3-CH_2-NH_2$	$R-NH_2$
	$-NH-$	$CH_3-CH_2-NH-CH_3$	$R-NH-R'$
	$-N-$	$CH_3-N(CH_3)-CH_3$	$R-N(R')-R''$
Amida	$-C(=O)-NH_2$	$CH_3-C(=O)-NH_2$	$R-C(=O)-NH_2$
Nitrila (ou **cianeto**)	$-C\equiv N$	CH_3-CH_2-CN	$R-CN$
Nitrocomposto	$-N(=O)-O$	CH_3-NO_2	$R-NO_2$

Questões

Registre as respostas em seu caderno

a) A nitrila de menor massa molecular também é considerada um composto inorgânico.
- Qual a fórmula molecular desse composto?
- Qual o nome dessa nitrila?
- Qual o nome dessa substância, considerando-a uma substância inorgânica quando em solução aquosa?

b) Um nitrocomposto alifático possui 2 carbonos e 5 hidrogênios.
- Qual a fórmula molecular desse composto?
- Qual sua fórmula estrutural?
- Qual o nome dessa substância?

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

26. Dê os nomes dos seguintes compostos:
a) CH_3-CH_2-CN
b) $CH_3-CH_2-NO_2$

27. Dê as fórmulas estruturais dos seguintes compostos:
a) p-nitro-tolueno;
b) pentanonitrila.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

LEITURA

EXPLOSIVOS

A evolução da Química orgânica deu origem a muitas indústrias importantes. Um exemplo é a fabricação de explosivos. Considera-se como **explosivo** toda substância capaz de se decompor rapidamente, com expansão súbita de gases e grande liberação de energia. Do ponto de vista químico, é interessante notar que a grande maioria dos explosivos modernos são substâncias orgânicas que contêm o elemento nitrogênio.

No século IX, os chineses inventaram a **pólvora** — uma mistura de aproximadamente 65% de salitre ($NaNO_3$), 20% de carvão e 15% de enxofre, em massa. Inicialmente, eles a usavam apenas para produzir fogos de artifício.

Foi provavelmente o alemão Berthold Schwarz (1310-1384) quem inventou o canhão, trazendo a pólvora para as operações bélicas.

Apesar de várias melhorias, como a substituição da pólvora pulverulenta pela pólvora granulada, em 1425, podemos dizer que a pólvora foi o único explosivo eficiente de que a humanidade dispôs durante vários séculos.

Em 1838, começa a era moderna dos explosivos, quando o químico francês Théophile Jules Pelouse (1807-1867) conseguiu preparar a **nitrocelulose**. Em 1846, o químico alemão Christian Schönbein verificou que a celulose trinitrada é altamente explosiva. A **celulose** é um polímero natural, cuja estrutura é a repetição da unidade $C_6H_{10}O_5$, que mostramos abaixo. Em cada uma dessas unidades existem três hidroxilas. O ácido nítrico pode reagir com uma, duas ou três hidroxilas, originando vários tipos de nitrocelulose, cujo caráter inflamável e explosivo aumenta com a elevação do teor de nitrogênio na molécula.

Em 1847, o químico italiano Ascanio Sobrero (1812-1888) preparou a **nitroglicerina**, a partir da glicerina, que é um subproduto abundante da fabricação do sabão. Ele verificou, então, que a nitroglicerina é um líquido que explode com extrema facilidade por aquecimento ou por uma simples pancada. A aplicação desse explosivo retardou-se por vários anos, devido a explosões violentas com mortes e ferimentos de pessoas que tentavam fabricá-lo, estocá-lo e utilizá-lo.

Nitroglicerina (ou melhor, trinitrato de glicerina)

Finalmente, em 1867, o químico sueco Alfred Bernhard Nobel conseguiu uma forma segura de usar a nitroglicerina ao inventar a **dinamite** — uma mistura de 75% de nitroglicerina e 25% de terra diatomácea (terra diatomácea ou terra infusória é um pó proveniente de algas unicelulares providas de paredes silicosas). Na ocasião, Nobel inventou também a espoleta de fulminato de mercúrio, $Hg(ONC)_2$, para provocar a explosão da dinamite. Com essas inovações, a produção de nitroglicerina passou de 11 toneladas no ano de 1867 para 1.350 toneladas em 1872.

Alfred Bernhard Nobel nasceu em Estocolmo (Suécia) em 1833 e faleceu em San Remo (Itália) em 1896. Seu pai era engenheiro, inventor e se dedicava à fabricação de explosivos. Como consequência de várias explosões, o pai de Nobel perdeu alguns auxiliares, seu filho mais novo e sua fortuna. Perseguido em seu país, fugiu para a Rússia com a família. Lá reconquistou a fortuna, produzindo explosivos para a guerra da Crimeia e explorando petróleo no Cáucaso. Com isso, o filho Alfred Nobel conseguiu estudar na Rússia e depois nos Estados Unidos e na França, especializando-se em explosivos.

AKG/LATINSTOCK

Alfred Bernhard Nobel, em foto de 1883.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Após a invenção da dinamite em 1867, Nobel inventou em 1875 a **dinamite gelatinosa** ou **gelatina explosiva** — uma mistura de nitroglicerina, nitrocelulose e solventes. Em 1889, chegou a um tipo de **pólvora sem fumaça**, misturando nitroglicerina, nitrocelulose, solventes e geleia de petróleo. Na época, o consumo de explosivos aumentou muito, devido à crescente construção de túneis, ferrovias etc. Com suas fábricas de explosivos, com os rendimentos de suas patentes e com a exploração de petróleo na Rússia, Nobel acumulou enorme fortuna. No final da vida, entristecido com o crescente uso bélico dos explosivos que havia inventado, deixou toda sua fortuna, em testamento, para a Fundação Nobel, instituindo por meio dela o **Prêmio Nobel**. Esse prêmio é concedido anualmente, desde 1901, às pessoas que "tragam o maior benefício à humanidade nos campos da Física, da Química, da Medicina, da Literatura e da Paz Mundial" (a partir de 1969, foi acrescido o Prêmio Nobel de Economia).

No final da vida, sofrendo de angina e com vários ataques cardíacos, Nobel foi medicado (ironia do destino) com nitroglicerina, que até hoje é usada como vasodilatador coronário.

No início do século XX, principalmente em função da Primeira Guerra Mundial, foram inventados novos e mais poderosos explosivos, como o **TNT**, o **tretil** e o **RDX**:

Trinitrotolueno (TNT)

N-metil-2,4,6-trinitro--fenil-nitramina (tretil)

Ciclotrimetileno--trinitro-amina (RDX)

Os explosivos são usados em todos os tipos de armas civis e militares. Mas o uso pacífico também é muito extenso: em pedreiras, na abertura de túneis e canais, na construção de rodovias e ferrovias, no aprofundamento de portos, na prospecção sísmica etc.

No Brasil, existem mais de 20 fábricas que produzem explosivos, mas todas sob o controle do Exército.

YAWAR NAZIR/SCOOPT/GETTY IMAGES

Explosivo sendo colocado em uma pedreira. (Índia, 2008.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Na pirotecnia, há os fogos de artifício e os fogos de sinalização, empregados em buscas marítimas ou terrestres. Na produção desses fogos sempre se utilizam misturas de: **oxidantes**, como nitratos, cloratos, percloratos, peróxidos etc.; **combustíveis** (redutores) orgânicos ou inorgânicos, como sulfetos, hidrocarbonetos, carboidratos etc.; e **substâncias que produzem cores variadas**, como compostos de cobre (cor azul), compostos de estrôncio (cor vermelha) etc.

Deve-se lamentar que ainda hoje pequenos fabricantes clandestinos de fogos de artifício sofram, frequentemente, com explosões vitimando pessoas envolvidas ou não na produção desses fogos.

ROGÉRIO REIS/TYBA

Além de combustíveis e comburentes, os fogos de artifício contêm substâncias que produzem cores variadas. (Rio de Janeiro, RJ, 2008.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A LEGIÃO **Bill Rechin & Don Wilder**

2008 KING FEATURES/INTERCONTINENTAL PRESS

Questões sobre a leitura

Registre as respostas em seu caderno

28. Quais são as características químicas principais de um explosivo?

29. Pesquise o que deve ser observado para que o armazenamento de explosivos seja seguro.

30. (ITA-SP) Qual das substâncias abaixo não é empregada na fabricação da pólvora negra?

a) trinitrotolueno
b) enxofre
c) carvão
d) nitrato de sódio
e) nitrato de potássio

31. (Unicenp-PR) As explosões químicas se caracterizam pela quebra espontânea de moléculas, resultando fragmentos que se recombinam para dar os produtos finais. O resultado é a liberação quase instantânea de grandes quantidades de gases aquecidos, que iniciam uma devastadora onda de impacto, ao se expandirem a altas velocidades.

O primeiro autoexplosivo comercialmente importante foi a nitroglicerina, preparada pela reação da glicerina com o ácido nítrico na presença de ácido sulfúrico.

Glicerina **"Nitroglicerina"**

Baseado nas informações acima, identifique a proposição **correta**:

a) A glicerina é uma amina.
b) A nitroglicerina não é um explosivo.
c) A reação ocorreu em meio básico.
d) A glicerina é um álcool de nome propanotriol.
e) A glicerina é um mono-álcool terciário.

32. (Uespi) O composto trinitrotolueno (TNT) é um explosivo usado para fins militares e em demolições. Nesse composto o número de átomos de nitrogênio, hidrogênio e oxigênio por molécula é:

a) 3, 5 e 6.
b) 3, 9 e 6.
c) 3, 5 e 9.
d) 3, 7 e 6.
e) 3, 5 e 3.

33. (UFG-GO) Na tabela a seguir, representam-se reações químicas de decomposição, que ocorrem com explosivos:

Explosivo	Fórmula	Produtos por mol de reagente
Nitrocelulose	$C_{24}H_{29}O_9(NO_3)_{11}$	$20{,}5\ CO + 3{,}5\ CO_2 + 14{,}5\ H_2O + 5{,}5\ N_2$
Nitroglicerina	$C_3H_5(NO_3)_3$	$3\ CO_2 + 2{,}5\ H_2O + 1{,}5\ N_2 + 0{,}25\ O_2$
Nitrato de amônio	NH_4NO_3	$2\ H_2O + N_2 + 0{,}5\ O_2$
TNT	$C_7H_5(NO_2)_3$	$6\ CO + C + 2{,}5\ H_2 + 1{,}5\ N_2$

Na explosão de 1 mol de cada um desses explosivos, mantidos nas CNTP:

1. o que ocorre é a combustão das substâncias.
2. o TNT é o que produz resíduo sólido.
3. o inorgânico é o que produz menor volume gasoso.
4. a nitrocelulose é a que produz maior volume gasoso.

34. (UFC-CE) Quando a nitroglicerina, $C_3H_5N_3O_9$, explode, todos os produtos são gases.

Utilizando a equação da reação dada abaixo e os dados a seguir apresentados, calcule o volume total de gases, em litros, produzido nas condições normais de temperatura e pressão, quando 454 g de nitroglicerina explodem (dados: massa molar de $C_3H_5N_3O_9$ = 227 g/mol; volume molar nas CNTP = 22,4 L).

Equação:

$$4\ C_3H_5N_3O_9\ (\ell) \longrightarrow 12\ CO_2\ (g) + 6\ N_2\ (g) + 10\ H_2O\ (g) + O_2\ (g)$$

A opção que apresenta o cálculo correto do volume solicitado é:

a) 22,4 L
b) 44,8 L
c) 156,8 L
d) 324,8 L
e) 649,6 L

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO

5 Outras funções orgânicas

Além dos elementos H, O e N, nas cadeias carbônicas, a presença de outros elementos, como os halogênios ou o enxofre, dá origem a várias outras funções orgânicas.

TÓPICOS DO CAPÍTULO

1 INTRODUÇÃO
2 COMPOSTOS SULFURADOS
3 HALETOS ORGÂNICOS
4 COMPOSTOS HETEROCÍCLICOS
5 COMPOSTOS ORGANOMETÁLICOS
6 COMPOSTOS COM FUNÇÕES MÚLTIPLAS
7 COMPOSTOS COM FUNÇÕES MISTAS
8 ESQUEMA GERAL DA NOMENCLATURA ORGÂNICA
9 SÉRIES ORGÂNICAS

LEITURA: *DDT – HERÓI OU VILÃO?*

Gás do choro

A presença do enxofre nas cadeias carbônicas leva à formação de produtos com forte odor. Na prateleira do supermercado a cebola é inofensiva, mas quando cortada formam-se gases – compostos sulfurados – que nos fazem chorar.

Nas células da cebola estão presentes várias substâncias sulfuradas. Encontramos também vacúolos com enzimas (catalisadores biológicos) chamadas alinases.

No corte, quando as enzimas entram em contato com os compostos sulfurados, forma-se uma substância volátil chamada óxido de tiopropionaldeído, que irrita os olhos.

ILUSTRAÇÕES: ALLAN SIEBER

ILUSTRAÇÕES: ALLAN SIEBER

REFLETINDO

A cozinha e a Química são semelhantes em vários procedimentos. Usando linguagem química, explique as razões para os procedimentos descritos nos três bilhetes afixados.

1 Introdução

Nos dois capítulos anteriores, estudamos as funções orgânicas oxigenadas e as nitrogenadas, seus usos e suas propriedades. Agora vamos estudar mais algumas funções orgânicas formadas pela inclusão de outros elementos químicos nas cadeias orgânicas.

Sabemos que os elementos químicos situados em uma **mesma coluna** da Tabela Periódica têm propriedades químicas semelhantes e **formam compostos com fórmulas e nomes semelhantes**. Esse fato continua sendo verdadeiro na Química orgânica e irá facilitar a compreensão de outras famílias de compostos orgânicos. Assim, por exemplo, na Tabela Periódica, o silício está logo abaixo do carbono e forma as **siliconas**, com propriedades semelhantes às dos compostos orgânicos. O uso dessas "semelhanças" será muito útil no estudo deste capítulo.

2 Compostos sulfurados

Vamos começar com algumas funções orgânicas contendo o elemento **enxofre**. Na Tabela Periódica, o enxofre encontra-se logo abaixo do oxigênio. Como era de se esperar, o enxofre forma, então, compostos orgânicos **semelhantes aos do oxigênio**.

ADILSON SECCO

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exemplos:

Troca-se o oxigênio pelo enxofre

- CH_3-O-H — metanol — é um **álcool**.
- CH_3-S-H — metano**tiol** — é um **tioálcool**, tiol ou mercaptana.

- CH_3-O-CH_3 — éter dimetílico — é um **éter** (semelhante a um óxido).
- CH_3-S-CH_3 — sulfeto de dime**ti**la — é um **tioéter** (semelhante a um sulfeto).

- $CH_3-C(=O)-CH_3$ — propanona — é uma **cetona**.
- $CH_3-C(=S)-CH_3$ — propano**ti**ona — é uma **tiocetona**.

Veja que o nome dessas funções sulfuradas é semelhante aos dos grupos oxigenados correspondentes, com a inclusão do termo **tio**.

Os tióis têm odor muito desagradável e, por esse motivo, os mais simples são misturados, em pequena porcentagem, a gases comerciais inodoros, para denunciar vazamentos (costuma-se dizer que o CH_3SH – metanotiol ou metil-mercaptano – tem um dos piores cheiros do mundo). Como exemplo, lembramos que pequenas quantidades de $CH_3 — CH_2 — CH_2 — CH_2 — SH$ (butano-1-tiol) são misturadas ao gás de cozinha, para que seu cheiro denuncie eventuais vazamentos em encanamentos, fogões etc.

CAETANO BARREIRA/OLHAR IMAGEM

Depósito de botijões de gás de cozinha. (São Paulo, SP, 2006.)

Outros compostos sulfurados importantes são os derivados do ácido sulfúrico e do ácido sulfuroso:

- derivados do ácido sulfúrico (H_2SO_4)

- derivados do ácido sulfuroso (H_2SO_3)

Voltando à Tabela Periódica, deve-se esperar a existência de compostos orgânicos do **selênio** e do **telúrio** semelhantes aos do oxigênio (o elemento polônio tem pouco interesse). De fato, esses compostos existem, mas são pouco importantes na prática. Por exemplo:

$CH_3 —$ Se $H —$ metano-selenol
$CH_3 —$ Te $H —$ metano-telurol
} semelhantes aos álcoois

$CH_3 —$ Se $— CH_3$ – seleneto de dimetila
$CH_3 —$ Te $— CH_3$ – telureto de dimetila
} semelhante aos éteres

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Por outro lado, na coluna 4A (C, Si, Ge, Sn e Pb) temos uma exceção: afora o carbono, nenhum dos outros quatro elementos tem a capacidade de produzir cadeias longas e variadas. Em consequência, nenhum deles produz tantos compostos quanto o carbono. Ainda assim, como era de se esperar, o silício (o mais próximo ao carbono, na coluna 4A) é o elemento que mais se aproxima dessa característica especial do carbono. Como exemplos desse fato, podemos citar compostos do tipo:

Tetrametilsilano
(do grupo dos **silanos**, usados em análises orgânicas)

Polidimetilsiloxano
(do grupo das **siliconas**, usadas como graxas, resinas, borrachas e plásticos)

2.1. Os compostos sulfurados em nossa vida

- Os **tioéteres**, por exemplo $CH_3 — CH_2 — S — CH_2 — CH_3$, são conhecidos como **sulfetos**, de modo que o composto anterior pode ser chamado de **sulfeto de dietila**. Um de seus derivados – o **gás mostarda** ($C\ell CH_2 — CH_2 — S — CH_2 — CH_2C\ell$) – foi usado em batalhas, na Primeira Guerra Mundial. Além de intoxicar, esse gás produz bolhas dolorosas em todo o corpo dos atingidos.
- Os **dissulfetos**: a oxidação branda dos sulfetos produz os chamados dissulfetos, como o dissulfeto de dimetila ($CH_3 — S — S — CH_3$), um dos responsáveis pelo odor das trufas negras. Note que nos dissulfetos existe a ponte — S — S —, semelhante à ponte — O — O — dos peróxidos. Essa ponte tem enorme importância biológica, pois une as longas moléculas de proteínas.
- O **cheiro do alho e da cebola** – no alho, na cebola e na cebolinha existe a substância:

Quando o alho é cortado (foto ao lado) ou amassado, enzimas nele existentes transformam essa substância em:

Alicina
(que confere odor ao alho)

PROFIMEDIA INTERNATIONAL S.R.O/ ALAMY/OTHER IMAGES

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Por seus efeitos medicinais, o alho e seus preparados têm sido usados, há muito tempo, no combate a gripes e resfriados, e no passado até no combate à disenteria, ao tifo e à cólera. Sabe-se atualmente que o alho baixa o nível de colesterol no sangue e reduz as probabilidades de se contrair câncer gástrico.

- As **sulfonas** fazem parte de muitos medicamentos, como o piroxicam, usado no tratamento da artrite.

Piroxicam

• Os **detergentes** estão relacionados com os ácidos sulfônicos. Por exemplo:

Ácido p-dodecil-benzeno-sulfônico

p-dodecil-benzeno-sulfonato de sódio (componente dos detergentes)

2.2. Resumo das funções orgânicas sulfuradas

Funções sulfuradas (Troca o oxigênio pelo enxofre)	Grupos funcionais	Exemplos	Fórmulas gerais
Tioácool ou **tiol** ou **mercaptana**	— **SH**	$CH_3 — CH_2 — SH$	$R — SH$
Tioéter ou **sulfeto**	— **S** —	$CH_3 — S — CH_2 — CH_3$	$R — S — R'$
Sulfóxido	— **S** — ↓ **O**	$CH_3 — S — CH_3$ ↓ O	$R — S — R'$ ↓ O
Sulfona	**O** ↑ — **S** — ↓ **O**	O ↑ $CH_3 — S — CH_3$ ↓ O	O ↑ $R — S — R'$ ↓ O
Ácido sulfônico	**O** ↑ — **S** — **OH** ↓ **O**	$CH_3 — CH_2 — SO_3H$	$R — SO_3H$

Questões

Registre as respostas em seu caderno

a) O aditivo utilizado para dar cheiro ao gás liquefeito de petróleo (GLP) é o butan-1-tiol. Dê a fórmula estrutural desse composto.

b) O ácido para-dodecil-benzeno-sulfônico é um dos intermediários na fabricação de detergente. Dê a fórmula estrutural desse composto. Dado: dodecil é um grupo com 12 carbonos ($H_{25}C_{12}$ —).

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

1. Dê os nomes dos seguintes compostos:

a) $CH_3 — CH_2 — SH$

b) $CH_3 — C(=S) — CH_2 — CH_2 — CH_3$

c) $CH_3 — SO_3H$

2. Quais são as fórmulas estruturais dos compostos:

a) dietil-sulfona?

b) sulfeto de dietila?

c) dissulfeto de dimetila?

3. O mau cheiro do gambá é produzido pelo 3-metilbutan-1-tiol. Qual é a fórmula estrutural desse composto?

4. (UFPI) Os hidrocarbonetos de baixo "peso" molecular são gases extremamente inflamáveis. A fim de evitar incêndios ou explosões, pequenas quantidades de mercaptana, composto orgânico volátil de odor desagradável que contém enxofre, são adicionadas ao gás de cozinha para alertar os usuários sobre o escapamento indevido dos gases. A alternativa que apresenta dois componentes do gás de cozinha é:

a) $CH_3CH_2CH_3$ + $(CH_3)_4Si$

b) $CH_3CH_2CH_3$ + H_2S

c) $CH_3CH_2CH_2CH_3$ + CH_3CH_2SH

d) $CH_3CH_2CH_2CH_3$ + H_2Se

e) $CH_3CH_2CH_2CH_3$ + SO_2

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

5. (UFPel-RS-Modificado) O odor típico do alho é devido a um composto de enxofre chamado alicina, que é produzido pela ação de uma enzima do alho sobre a substância denominada aliina.

Aliina (sulfóxido de S-alicisteína)

(GRISWOLD, Ruth M. *Estudo experimental dos alimentos*, p. 146.)

Sobre a aliina, é correto afirmar que:

a) tem cadeia homogênea, alifática e saturada.
b) tem fórmula molecular $C_6H_{11}O_3NS$.
c) tem o substituinte propil ligado ao enxofre.
d) tem, na sua estrutura, carbonos terciários e quaternários.
e) tem o oxigênio e o nitrogênio como heteroátomos.

6. (Fatec-SP) A destruição em massa por armas químicas constitui-se num dos maiores temores da sociedade civilizada atual. Entre os mais temidos agentes químicos destacam-se o VX, de propriedades semelhantes às do Sarin, porém mais tóxico, e o gás mostarda, também letal. A denominação "gás mostarda" foi dada devido à cor semelhante do condimento e a seu efeito picante sobre a pele. A atuação desse gás se deve, entre outras coisas, à sua reação com a água, produzindo HCℓ, o responsável pela irritação da pele, dos olhos e do sistema respiratório. Assim, com base na equação:

e supondo um rendimento 100% no processo, o volume de gás clorídrico, nas condições ambiente, obtido a partir de 1 tonelada de gás mostarda, é aproximadamente:

Dados: volume molar, nas condições ambiente = 24,5 L/mol
massa molar do gás mostarda = 159 g/mol

a) $1,5 \cdot 10^5$ L.
b) $3,1 \cdot 10^5$ L.
c) $6,5 \cdot 10^5$ L.
d) $3,2 \cdot 10^7$ L.
e) $2,8 \cdot 10^4$ L.

3 Haletos orgânicos

3.1. Introdução

Os halogênios (F, Cℓ, Br, I) formam outra importante família de elementos químicos e são encontrados na coluna 7A (17) da Tabela Periódica (o astato é raro).

ADILSON SECCO

Os halogênios formam muitos compostos orgânicos com **fórmulas e nomes semelhantes entre si** e de importantes aplicações práticas. Podemos dizer que:

> **Haletos orgânicos** são substâncias derivadas dos compostos orgânicos pela troca de um ou mais hidrogênios por halogênios – F, Cℓ, Br, I.

Por exemplo:

Nos haletos, o halogênio representa o **grupo funcional**; dele dependem as propriedades químicas da função, e costuma-se representá-lo simbolicamente pela letra *X*.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Podemos classificar os haletos em fluoretos, cloretos, brometos, iodetos ou mistos, conforme o(s) halogênio(s) presente(s) na molécula.

Podemos também classificá-los em mono-haletos, di-haletos, tri-haletos etc., conforme o número de átomos de halogênio existente na molécula.

Devido, porém, à grande diferença de reatividade, a classificação mais importante é a que os divide em:

a) **Haletos de alquila ou alcoíla (*R* — *X*)**, quando o halogênio está ligado a um carbono saturado de um hidrocarboneto acíclico (alifático):

Os haletos de alquila podem ser subdivididos em: **haletos primários**, **secundários** e **terciários**, conforme o halogênio esteja ligado a um **carbono primário**, **secundário** ou **terciário**, respectivamente. É o que acontece com o primeiro, o segundo e o terceiro exemplos anteriores.

b) **Haletos de arila (*Ar* — *X*)**, quando o halogênio está ligado **diretamente** a um anel benzênico:

OBSERVAÇÃO

O composto abaixo, apesar de ter um anel benzênico, é um haleto de alquila ou alcoíla, pois o halogênio não está diretamente ligado ao anel.

(Veja que este **não** é haleto de arila.)

3.2 Nomenclatura dos haletos

Na nomenclatura Iupac, o halogênio é considerado apenas uma **ramificação** presa à cadeia principal. Por exemplo:

Cloro-metano | Dicloro-metano | Dicloro-diflúor-metano | 2-bromo-propano | Iodo-benzeno

Continuam sendo obedecidas as regras gerais de nomenclatura que foram dadas para os hidrocarbonetos: a cadeia carbônica deve ser sempre a mais longa possível e sua numeração deve seguir a **regra dos menores números**, ou seja, começa-se a numerar os carbonos a partir da extremidade mais próxima ao halogênio.

Por exemplo:

2-cloro-butano

1,4-dicloro-2-iodo-pentano

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Na nomenclatura comum, usam-se as palavras **cloreto**, **brometo** etc., seguidas do **nome do grupo orgânico**:

$$CH_3 — CH_2 — C\ell$$

Cloreto de etila

$$\begin{array}{c} CH_3 — CH — CH_3 \\ \quad\quad\;\; | \\ \quad\quad\;\; Br \end{array}$$

Brometo de isopropila

3.3. A presença de haletos em nossa vida

Os haletos aparecem com muita frequência em nossa vida. Dentre os exemplos mais importantes podemos citar: **solventes**, como o tetraclorocarbono ($CC\ell_4$); **inseticidas**, como o BHC ($C_6H_6C\ell_6$); **plásticos**, como o PVC $(...—CH_2—CHC\ell—...)_n$ e o politetrafluoretileno $(...—CF_2—CF_2—...)_n$; **gases de refrigeração**, como os freons ($CC\ell_3F$, $CC\ell_2F_2$ etc.); **anestésicos**, como o halotano ($CF_3—CHBrC\ell$); **medicamentos**, como a cloromicetina ($C_{11}H_{12}O_5N_2C\ell_2$); e até **sangue artificial**, como a perfluordecalina ($C_{10}F_{18}$).

ADEMIR ALMEIDA/DIÁRIO MS/AGÊNCIA ESTADO

Funcionário da Vigilância Sanitária fazendo pulverização para combater a dengue em Dourados, MS, 2007.

Em geral, os haletos são tóxicos e, por esse motivo, muitas de suas aplicações foram abandonadas.

Por exemplo:

- o **clorofórmio** ($CHC\ell_3$) começou a ser usado como anestésico em 1847, na Inglaterra, mas com o tempo foi gradativamente abandonado, devido à sua toxidez;
- os **freons** ($CC\ell_3F$, $CC\ell_2F_2$ etc.) foram introduzidos, na década de 1930, como gases de refrigeração e, na década de 1960, como propelentes para aerossóis de perfumes e inseticidas; posteriormente, verificou-se que os freons prejudicavam a camada de ozônio, o que levou vários acordos internacionais a determinar a redução progressiva de sua produção;
- o **inseticida DDT** ($C_{14}H_9C\ell_5$) foi vital na Segunda Guerra Mundial. Com ele foi possível debelar um surto de tifo em Nápoles, em 1944, quando as forças aliadas invadiram a Itália. Após a constatação de que o DDT se acumula em tecidos gordurosos do organismo humano e dos animais, prejudicando órgãos como o fígado, sua produção foi proibida em muitos países;
- o **inseticida BHC** ($C_6H_6C\ell_6$), também tóxico e cancerígeno;
- as **dioxinas**, nome de vários compostos relacionados entre si, dos quais o mais comum é representado ao lado. São subprodutos na fabricação de inseticidas clorados, estão presentes em resíduos da fabricação de papel e resultam também da queima de compostos clorados. A dioxina é uma substância cancerígena que se acumula no meio ambiente, podendo ser encontrada, em doses mínimas, até em alimentos.

Questões Registre as respostas em seu caderno

Um haleto de alquila secundário é formado por 3 átomos de carbono, 7 átomos de hidrogênio e um átomo de flúor.

a) Qual a fórmula molecular desse composto?

b) Qual sua fórmula estrutural?

c) Qual o nome desse composto?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Pesquisa

Registre as respostas em seu caderno

Você sabe o que são praguicidas ou pesticidas?

Quais são os tipos de praguicidas?

Como os praguicidas são classificados quimicamente?

O que são praguicidas organoclorados?

Por que o uso dos praguicidas é tão questionado?

Referências:

Em <http://www.sucen.sp.gov.br/> acesse "*downloads*", "manual de segurança química em controle de vetores", e pesquise o capítulo 1: praguicidas.

ROSA, A. H.; ROCHA, J. C. Fluxos de matéria e energia no reservatório de solo: da origem à importância para a vida. *Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola*, n. 5, novembro 2003, p. 7-17. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/cadernos/05/fluxos_de_materia_e_energia_no_solo.pdf>.

Acessos em: abr. 2010.

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

7. Dê os nomes dos seguintes compostos, segundo a lupac:

a) $CH_3-\underset{\underset{C\ell}{|}}{CH}-CH_2-CH_3$

b) $CH_3-\underset{\underset{C\ell}{|}}{CH}-\underset{\underset{CH_3}{|}}{CH}-CH_2-CH_3$

c) $CH_3-\underset{\underset{Br}{|}}{CH}-\underset{\underset{I}{|}}{CH}-CH_3$

d)

8. Dê os nomes lupac e os comuns dos seguintes haletos:

a) $CH_3-CHC\ell-CH_3$

b) $CH_2=CH-Br$

c)

d) $\underset{\underset{C\ell}{|}}{CH_2}-\underset{\underset{C\ell}{|}}{CH_2}$

9. Quais são as fórmulas estruturais dos compostos:

a) brometo de metila?

b) cloro-ciclopentano?

c) 2-cloro-pen-2-eno?

d) p-bromo-tolueno?

10. (UFMT) No princípio do século XVIII, os teatros e outras construções públicas em Londres eram iluminados por um gás fabricado a partir do óleo da baleia. Quando esse gás era comprimido para a distribuição em tanques, um líquido volátil se separava. O famoso cientista Michael Faraday examinou esse líquido por volta de 1825 e constatou que continha apenas carbono e hidrogênio, em proporções iguais, e que era um componente do alcatrão destilado do carvão na produção do coque. A alternativa que apresenta os nomes das estruturas monossubstituídas, dadas abaixo, desse composto, respectivamente, é:

a) bromotilbenzeno, clorotilbenzeno, nitrotilbenzeno e metilbenzeno.
b) bromobenzeno, clorobenzeno, nitrobenzeno e etilbenzeno.
c) brometobenzeno, clorobenzeno, nitricobenzeno e etilbenzeno.
d) bromobenzeno, clobenzeno, nitrogenobenzeno e dimetilbenzeno.
e) bromobenzeno, clorobenzeno, nitrabenzeno e metilbenzeno.

11. (UCS-RS) Um aluno, ao estudar a nomenclatura dos compostos orgânicos relacionada com a função orgânica dos mesmos, fez as seguintes anotações:

I. Acetato de etila é um éter.
II. Butanal é um aldeído.
III. Butanona é uma cetona.
IV. Ciclo-hexanol é um álcool.
V. Cloreto de etanoíla é um éster.
VI. Cloreto de etila é um haleto de alquila.
VII. Tolueno é um fenol.

Dessas anotações:

a) 5 são corretas e 2 incorretas.
b) 4 são corretas e 3 incorretas.
c) 3 são corretas e 4 incorretas.
d) 2 são corretas e 5 incorretas.
e) 1 é correta e 6 são incorretas.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

12. (UFRRJ) Alguns medicamentos apresentam em sua composição substâncias que podem causar reações de natureza alérgica, provocando, por exemplo, a asma brônquica, especialmente em pessoas sensíveis ao ácido acetilsalicílico (A.A.S.).

A equação abaixo representa a reação de formação do A.A.S.

a) Qual é a fórmula molecular do ácido salicílico?
b) Que função química, além do ácido carboxílico, está presente no A.A.S.?
c) Qual é o nome oficial do haleto de acila e do ácido salicílico?

13. (PUC-MG) No final da década de 1920-30, procurava-se um gás inodoro, inócuo, não corrosivo, não inflamável e barato, para substituir o gás NH_3, então utilizado como gás de refrigeração.

O cientista americano Thomas Midgley Jr., observando a Tabela Periódica, verificou que somente elementos à direita na Tabela originavam compostos voláteis, que a inflamabilidade para os compostos diminuía da esquerda para a direita no período e que a toxidez diminuía de baixo para cima na coluna.

Com base nessas observações, foram sintetizados gases, revolucionando, assim, a indústria de refrigeração. Esses gases são sintetizados do elemento:

a) neônio. b) hélio. c) nitrogênio. d) flúor. e) bromo.

14. (Fuvest-SP)

> A contaminação por benzeno, clorobenzeno, trimetilbenzeno e outras substâncias utilizadas na indústria como solventes pode causar efeitos que vão da enxaqueca à leucemia. Conhecidos como compostos orgânicos voláteis, eles têm alto potencial nocivo e cancerígeno e, em determinados casos, efeito tóxico cumulativo.
>
> *O Estado de S. Paulo,* 17 de agosto de 2001.

Pela leitura do texto, é possível afirmar que:

I. certos compostos aromáticos podem provocar leucemia.
II. existe um composto orgânico volátil com nove átomos de carbono.
III. solventes industriais não incluem compostos orgânicos halogenados.

Está correto apenas o que se afirma em:

a) I. b) II. c) III. d) I e II. e) I e III.

Exercícios complementares

Registre as respostas em seu caderno

15. (Fatec-SP) Durante a Guerra do Vietnã, o chamado "agente-laranja", que atuava como desfolhante nas árvores da floresta, foi destaque, pois essa substância é altamente cancerígena.

Agente-laranja

As funções presentes na molécula desse composto são:

a) éster, ácido carboxílico e hidrocarboneto.
b) éter, haleto orgânico e ácido carboxílico.
c) tiocomposto, cetona e álcool.
d) amina, ácido carboxílico e amida.
e) ácido carboxílico, éter e nitrocomposto.

16. (Uepa-Modificado) A nomenclatura Iupac dos compostos abaixo é:

a) iso-pentano, 2-cloro-propano, álcool sec-butílico.
b) 2-metil-butano, 2-cloro-propano, butan-2-ol.
c) iso-pentano, 2-cloro-propil, metil-propil-carbinol.
d) 2-metil-butano, cloreto de isopropila, butan-2-ol.
e) iso-pentil, 2-cloro-propano, álcool butílico.

17. (UFRGS-RS) Os LCDs são mostradores de cristal líquido que contêm em sua composição misturas de substâncias orgânicas. A substância DCH-2F é um cristal líquido nemático utilizado na construção de mostradores de matriz ativa de cristais líquidos. Sua estrutura está representada abaixo.

A substância DCH-2F é um:

a) isocianeto aromático.
b) cianeto aromático.
c) haleto orgânico.
d) alcano saturado.
e) hidrocarboneto aromático.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

18. (Cesgranrio-RJ) Em julho de 1996, os jornais noticiaram que a população de baixa renda fez uso de um óleo encontrado em um depósito junto a transformadores de alta tensão. Esse óleo, denominado ASCAREL, é uma mistura de compostos do tipo policloreto de bifenilo (PCB). Tais substâncias sintéticas contêm entre 20% e 70% de cloro e, no ser humano, podem causar doenças irreversíveis do fígado, bronquites crônicas e irritação da pele. Suas sínteses podem ser feitas através da cloração do bifenilo, como demonstra a equação abaixo:

$$+ \; n\,C\ell_2 \xrightarrow{Fe} PCB + n\,HC\ell$$

O número de átomos de cloro por molécula existente em um PCB de massa molecular = 361, que contenha 59% em massa de cloro, é:

a) 3.
b) 4.
c) 5.
d) 6.
e) 7.

(Dados: massas molares, em g/mol: H = 1; C = 12; Cℓ = 35,5.)

19. (Unirio-RJ) Em 1985, os cientistas verificaram que o teor de ozônio na estratosfera da Antártida diminuiu 50% na primavera. Esse "buraco" na camada de ozônio foi creditado aos cloro-flúor-hidrocarbonetos, como o freon-12, gás encontrado em refrigeradores. O $CC\ell_2F_2$ se decompõe em átomos de Cℓ, atacando o ozônio. O processo termina com a formação de HCℓ e $C\ell ONO_2$. De acordo com a reação final, HCℓ reage com $C\ell ONO_2$, na presença das nuvens polares, formando $C\ell_2$ e HNO_3. Com isso, o processo de ataque ao ozônio se reinicia.

$$HC\ell + C\ell ONO_2 \xrightarrow[\text{das nuvens polares}]{\text{Superfície}} C\ell_2 + HNO_3$$

A massa formada, em g, de HNO_3, a 0 °C e 760 mmHg, a partir de 80 g de HCℓ e 195 g de $C\ell ONO_2$, é:

a) 63.
b) 69.
c) 126.
d) 138.
e) 264.

(Dados: massas molares, em g/mol: H = 1; N = 14; O = 16; Cℓ = 35,5.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

4 Compostos heterocíclicos

São compostos orgânicos que apresentam ciclos ou anéis contendo átomos diferentes do carbono (heteroátomos). Exemplos:

1,4 dioxano

Tiofeno

5 Compostos organometálicos

São compostos orgânicos que apresentam um ou mais **átomos de metais** em suas moléculas, ligados diretamente a átomos de carbono. Por exemplo:

- CH_3Li – **metil-lítio**, importante reagente para a preparação de outros compostos orgânicos;
- $CH_3 — CH_2 — Zn — CH_2 — CH_3$ – **dietil-zinco**, usado na conservação de livros;
- $(CH_3 — CH_2)_2Pb(CH_2 — CH_3)_2$ – **chumbo-tetraetila**, que já foi usado como antidetonante na gasolina e, atualmente, é probido em vários países por ser poluidor atmosférico;
- $CH_3HgC\ell$ – **cloreto de metil-mercúrio**, usado como fungicida na preservação de sementes. Compostos desse tipo resultam também do mercúrio que os garimpeiros despejam em muitos rios do Brasil. Como são compostos altamente tóxicos, representam um sério perigo para a saúde das populações ribeirinhas desses rios.

Uma família muito importante de compostos organometálicos é a dos chamados **compostos de Grignard**, que obedecem à seguinte fórmula geral: $R — Mg — X$. Por exemplo: $CH_3 — CH_2 — MgBr$, brometo de etil-magnésio.

Ao contrário de outros compostos orgânicos, que são, em geral, pouco reativos, os compostos de Grignard são bastante reativos e, por esse motivo, prestam-se à preparação de praticamente todas as demais funções orgânicas. Reações com compostos de Grignard serão estudadas no capítulo 13.

Devemos lembrar também que os metais estão presentes em compostos orgânicos de grande importância biológica, por exemplo, o **magnésio** na clorofila dos vegetais e o **ferro** na hemoglobina do sangue humano.

6 Compostos com funções múltiplas

São compostos que apresentam **duas ou mais vezes a mesma função** (portanto, **duas ou mais vezes o mesmo grupo funcional**).

Por exemplo:

$CH_2 = CH - CH = CH_2$ — Esse composto é "duas vezes" alceno, pois apresenta duas duplas ligações. Ele pertence à classe dos **alcadienos** (ou simplesmente **dienos**).

Esse composto é "duas vezes" ácido, pois apresenta duas carboxilas. Ele pertence à classe dos **diácidos**.

Esse composto é "três vezes" álcool, pois apresenta três oxidrilas ligadas a carbonos saturados. Ele pertence à classe dos **triálcoois** (ou **tríois**).

Generalizando essa ideia, é fácil perceber que podemos ter uma infinidade de funções múltiplas: di, tri, tetra... fenóis; di, tri, tetra... cetonas; e assim por diante.

Quando a nomenclatura Iupac é feita com uma terminação especial, antepõem-se a essa terminação os prefixos **di**, **tri**, **tetra**... para indicar quantas vezes o grupo funcional aparece no composto, e numera-se a posição desses grupos funcionais.

No primeiro exemplo dado anteriormente, temos: $CH_2 = CH - CH = CH_2$

Buta-1,3-dieno

Veja que o nome foi montado com a palavra **butano**, pois o composto tem quatro carbonos, e com a terminação **eno**, que tem duplas ligações. A terminação eno foi precedida do prefixo **di** para indicar que são **duas** duplas ligações; e os números 1 e 3 são colocados **antes da terminação dieno** para indicar as posições das duplas ligações.

No segundo exemplo dado anteriormente, temos:

Ácido etanodioico

- **etano:** cadeia saturada com dois carbonos
- **di:** dois
- **oico:** terminação característica dos ácidos

No terceiro exemplo dado anteriormente, temos:

Propan-1, 2,3-triol (glicerina)

- **propano:** cadeia saturada com três carbonos
- **tri:** três
- **ol:** terminação característica dos álcoois
- **1, 2, 3:** indicando a posição das hidroxilas

(Na verdade, a numeração nesse caso é desnecessária, pois um álcool só pode ter uma hidroxila por carbono, como será visto mais tarde.)

A glicerina é um dos exemplos mais comuns de compostos orgânicos com funções múltiplas.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Algumas aplicações da glicerina são apresentadas a seguir.

FOTOS: EDUARDO SANTALIESTRA/CID

A glicerina (A) é utilizada na produção de alguns tipos de velas (B), sabonetes (C), cosméticos (D) e umectantes (que mantêm o alimento úmido e macio) no coco ralado (E).

Questões

Registre as respostas em seu caderno

a) Uma das substâncias que podem ser utilizadas em processos de preservação de papéis antigos e manuscritos é o dietilzinco.

- Qual é a fórmula molecular desse composto?
- Qual sua fórmula estrutural?
- Segundo sua função, como esse composto pode ser classificado?

b) É dada a fórmula:

- Qual é o nome desse composto, segundo a Iupac?
- Qual seu nome usual?

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

20. Dê nomes aos seguintes compostos:

a)

b)

c) $H_2N - CH_2 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - NH_2$

d)

e)

f)

21. Quais são as fórmulas estruturais dos compostos:

a) hexan-1,3,5-trieno?
b) ciclo-hexano-1,4-diona?
c) propano-diamida?

22. (UFMT) A matéria-prima para a fabricação de silicone – muito usado atualmente nas próteses mamárias – é o diclorodimetilsilano $(CH_3)_2SiC\ell_2$. Esse composto é obtido pela reação entre o silício em pó, a cerca de 300 °C, com o $CH_3C\ell$ na presença de um catalisador de cobre. A alternativa que apresenta a equação da reação corretamente balanceada é:

a) $2\ CHC\ell\ (g) + Si\ (s) \xrightarrow[\Delta]{Cu} (CH_3)_2SiC\ell\ (\ell)$

b) $CH_3C\ell\ (g) + Si\ (s) \xrightarrow[\Delta]{} 2\ (CH_3)_2SiC\ell\ (\ell)$

c) $2\ (CH_3)_2SiC\ell_2\ (\ell) \xrightarrow[\Delta]{Cu} CH_3C\ell\ (g) + Si\ (s)$

d) $2\ CH_3C\ell\ (g) + Si\ (s) \longrightarrow 2\ (CH_3)_2SiC\ell\ (\ell)$

e) $2\ CH_3C\ell\ (g) + Si\ (s) \xrightarrow[\Delta]{Cu} (CH_3)_2SiC\ell_2\ (\ell)$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

7 Compostos com funções mistas

São compostos que apresentam **duas ou mais funções diferentes** (portanto, dois ou mais grupos funcionais diferentes). Por exemplo:

Nos alimentos, podemos encontrar diversos compostos com funções mistas, como glicídios, lipídios, aminoácidos, proteínas etc.

Evidentemente, nesses casos a nomenclatura Iupac torna-se mais complexa. Uma das funções presentes é considerada a **função principal**. Desse modo, considera-se:

- como cadeia principal a mais longa que inclui essa função principal;
- como numeração da cadeia principal a que atribui o menor número possível a essa função principal;
- que a terminação do nome do composto deve obedecer a essa função principal.

(As demais funções serão consideradas "secundárias", isto é, apenas como ramificações da cadeia em que está a função principal.)

Segundo a Iupac, a ordem de preferência na escolha da **função principal** é a seguinte:

Ácido — Amida — Aldeído — Cetona — Álcool — Amina — Éter — Haleto

Desse modo, o primeiro exemplo dado acima terá o seguinte nome:

4-hidróxi-butan-2-ona
(a **cetona** é a função principal e o **álcool** é a função secundária)

Para o segundo exemplo dado acima:

Ácido 2-amino-butanoico ou ácido α-amino-butanoico
(o **ácido** é a função principal e a **amina** é a função secundária)

OBSERVAÇÃO

Em certos casos (principalmente quando há ligações duplas e/ou triplas na molécula), o nome do composto pode ter **duas terminações**. Por exemplo:

But-3-in-1-ol

Nesse exemplo: o nome **but** foi dado pelo fato de a cadeia ter **quatro** átomos de carbono; por apresentar uma **ligação tripla**, temos a terminação **in** característica dos alcinos; por se tratar de um **álcool**, foi dada a termi-

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

nação **ol**; a numeração foi iniciada no carbono ligado à oxidrila, para que o nome tenha os **menores números possíveis**; e, por fim, os números 3 e 1 foram colocados para indicar as posições da ligação tripla e da oxidrila, respectivamente. É importante notar que, segundo a Iupac, **cada número deve preceder a terminação da função que ele está localizando**.

Enfim, você já percebeu que, na nomenclatura Iupac, procura-se **montar o nome do composto orgânico** (juntando nomes, prefixos, sufixos e números) de tal modo que **o nome já nos dê a ideia da estrutura da molécula do composto**. Por exemplo:

Ácido hexan-2,4-dien-1,6-dioico

Decompondo esse nome, podemos entender que:

a) **hexa** ..... há **seis** átomos de carbono;

b) **2,4-di/en** ..... existem **duas** (**di**) **ligações duplas** (**en**), nas posições 2 e 4 da molécula;

c) **1,6-di/oico** ..... existem **dois** (**di**) **grupos ácidos** (**oico**), nas posições 1 e 6 da molécula.

Sem dúvida, **o nome fica longo**; mas é o preço que devemos pagar para termos um nome **lógico** e **coerente**.

8 Esquema geral da nomenclatura orgânica

Agora que já vimos vários casos particulares de nomes de compostos orgânicos, podemos resumir a nomenclatura Iupac para os compostos orgânicos mais simples na seguinte tabela, em que salientamos que os **prefixos** (mono, di, tri...) sempre indicam **quantidades** de ramificações, de insaturações, de funções etc. Os **números** (1, 2, 3...) indicam as **posições** em que essas ramificações, insaturações, funções etc. estão situadas na cadeia principal.

Ramificações			Cadeia principal							
		Nome do(s) grupo(s)	Prefixo (número de carbonos)			Intermediário (saturação da cadeia)			Sufixo (função)	
Números (1, 2, 3...) indicam posições	Prefixos (mono, di, tri...) indicam quantidades	metil	C_1	met	Números (1, 2, 3...) indicam posições	Prefixos (mono, di, tri...) indicam quantidades	an	Cadeia saturada	o	Hidrocarbonetos
		– – – – – –	C_2	et					ol	Álcool
		cloro	C_3	prop			en	Ligação dupla	al	Aldeído
		– – – – – –	C_4	but					ona	Cetona
		hidróxi	C_5	pent			in	Ligação tripla	oico	Ácido carboxílico
		– – – – – –	C_6	hex					– – – – – –	
			C_7	hept						
			C_8	oct						
			C_9	non						
			C_{10}	dec						
			(precedido de CICLO em comp. cíclicos)							

4,5-dimetil-octa-3,5-dien-2,7-diol

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Questões

Registre as respostas em seu caderno

a) A alanina é um aminoácido utilizado pelos organismos vivos na síntese de proteínas.

Indique as classes funcionais presentes na alanina.

Alanina

b) O hormônio tiroxina é produzido pela glândula tireoide. A tiroxina participa na regulação do metabolismo e do crescimento. A falta de iodo na dieta alimentar interfere na produção de tiroxina e provoca o bócio.

Indique as classes funcionais presentes na tiroxina.

Tiroxina

c) Visto a enorme diversidade de compostos orgânicos, crie seu próprio composto (função múltipla ou mista); dê suas fórmulas molecular e estrutural.

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

23. Dê nomes aos seguintes compostos:

a) $CH_3-\underset{\underset{Cl}{|}}{CH}-CH_2-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-H$

b) $CH_3-CH_2-\underset{\underset{OH}{|}}{CH}-COOH$

c) $CH_3-\underset{\underset{Br}{|}}{CH}-CH_2-\underset{\underset{O}{\|}}{C}-CH_3$

d) $CH_3-\underset{\underset{O}{\|}}{C}-CH_2-CH=CH-CH_3$

24. Quais são as fórmulas estruturais dos compostos:

a) ácido-hidróxi-acético?
b) 1-amino-pentan-2-ol?
c) butan-3-ona-1-al?

25. (USC-SP) Ácido acrílico líquido de cheiro irritante, solúvel em água e em solventes orgânicos é empregado na síntese de resinas acrílicas, cuja fórmula:

$$CH_2=CH-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-O-H$$

também conhecida com o nome de "ácido acroleico", possui o nome oficial:

a) ácido propenoico-3.
b) ácido propenoico-2.
c) ácido propenoico-1.
d) ácido propenol.
e) ácido propiônico.

9 Séries orgânicas

A classificação dos compostos orgânicos em funções, que acabamos de ver, facilita extraordinariamente o estudo da Química orgânica. O número enorme de compostos orgânicos, contudo, exige a criação de outras subdivisões. É o que vamos considerar agora.

9.1. Série homóloga

Série homóloga é uma sequência de compostos pertencentes à mesma função orgânica e que diferem entre si por um ou mais grupos CH_2.

Por exemplo, nos hidrocarbonetos, temos as séries homólogas dos:

- **alcanos** – hidrocarbonetos acíclicos e saturados:

CH_4 ---------- CH_4 + CH_2

CH_3-CH_3 ---------- C_2H_6 + CH_2

$CH_3-CH_2-CH_3$ ---------- C_3H_8 + CH_2

$CH_3-CH_2-CH_2-CH_3$ ---------- C_4H_{10}

⋮

Fórmula geral: C_nH_{2n+2}

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

(A última fórmula é chamada **fórmula geral dos alcanos**, pois representa qualquer alcano, bastando *n* ser igual a um número inteiro.)

- **alcenos** – hidrocarbonetos acíclicos com uma ligação dupla:

$$CH_2{=}CH_2 \text{ ---- } C_2H_4 \quad + \; CH_2$$
$$CH_2{=}CH{-}CH_3 \text{ ---- } C_3H_6 \quad + \; CH_2$$
$$CH_2{=}CH{-}CH_2{-}CH_3 \text{ ---- } C_4H_8$$
$$\vdots$$

Fórmula geral: C_nH_{2n}

- **alcinos** – hidrocarbonetos acíclicos com uma ligação tripla:

$$CH{\equiv}CH \text{ ---- } C_2H_2 \quad + \; CH_2$$
$$CH{\equiv}C{-}CH_3 \text{ ---- } C_3H_4 \quad + \; CH_2$$
$$CH{\equiv}C{-}CH_2{-}CH_3 \text{ ---- } C_4H_6$$
$$\vdots$$

Fórmula geral: C_nH_{2n-2}

E assim por diante. Podemos imaginar uma infinidade de séries homólogas de hidrocarbonetos – com cadeias saturadas ou insaturadas (com duas, três ou mais ligações duplas e/ou triplas), com cadeias acíclicas ou cíclicas (incluindo o próprio anel aromático).

Podemos imaginar também séries homólogas dentro de outras funções orgânicas. Por exemplo, uma série de ácidos acíclicos e saturados:

$$H{-}COOH \text{ ---- } CH_2O_2 \quad + \; CH_2$$
$$CH_3{-}COOH \text{ ---- } C_2H_4O_2 \quad + \; CH_2$$
$$CH_3{-}CH_2{-}COOH \text{ ---- } C_3H_6O_2 \quad + \; CH_2$$
$$CH_3{-}CH_2{-}CH_2{-}COOH \text{ ---- } C_4H_8O_2$$
$$\vdots$$

Fórmula geral: $C_nH_{2n}O_2$

Os compostos formadores de uma série homóloga são denominados **homólogos** entre si. Suas **propriedades químicas são semelhantes**, pois pertencem à mesma função química, e suas **propriedades físicas vão variando gradativamente**, à medida que aumenta o tamanho da cadeia carbônica.

9.2. Série isóloga

Série isóloga é uma sequência de compostos que diferem entre si por um ou mais H_2.

Por exemplo:

$$CH_3{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_3 \text{ ---- } C_4H_{10} \quad - \; H_2$$
$$CH_2{=}CH{-}CH_2{-}CH_3 \quad \text{ou} \quad \begin{array}{c} H_2C{-}CH_2 \\ | \quad\; | \\ H_2C{-}CH_2 \end{array} \text{ ---- } C_4H_8 \quad - \; H_2$$
$$CH{\equiv}C{-}CH_2{-}CH_3 \quad \text{ou} \quad \begin{array}{c} HC{-}CH_2 \\ \| \quad\; | \\ HC{-}CH_2 \end{array} \text{ ---- } C_4H_6$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Os compostos formadores de uma série isóloga são denominados **isólogos** entre si. Eles diferem pela saturação ou pela ciclização. Em geral suas **propriedades físicas são semelhantes**, pois as massas moleculares são próximas. Suas **propriedades químicas, porém, são bem diferentes**, pois a estrutura molecular vai mudando.

9.3. Série heteróloga

> **Série heteróloga** é um conjunto de compostos de funções diferentes contendo, porém, o mesmo número de átomos de carbono.

Nos exemplos seguintes, todos os compostos têm **dois** átomos de carbono:

$CH_3 — CH_3$ (hidrocarboneto) ⟶ C_2H_6

$CH_3 — CH_2OH$ (álcool) ⟶ C_2H_6O

(aldeído) ⟶ C_2H_4O

(ácido) ⟶ $C_2H_4O_2$

Suas propriedades físicas e químicas são diferentes.

Questões

Registre as respostas em seu caderno

Considere os seguintes compostos orgânicos: metilamina, etilamina, propilamina, propano, propan-2-ol, propanal, ácido propiônico, metanoato de metila, propeno, metóxi-etano e propino.

a) Quais desses compostos constituem uma série homóloga?

b) Quais dos compostos constituem uma série isóloga?

c) Quais dos compostos constituem uma série heteróloga?

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

26. Qual das sequências dos compostos abaixo constitui uma série isóloga?

a) C_6H_6; C_7H_8; C_8H_{10}; C_9H_{12}
b) C_3H_5OH; C_4H_7OH; C_5H_9OH; $C_6H_{11}OH$
c) C_6H_{14}; C_6H_{12}; C_5H_{10}; C_5H_8
d) C_6H_{12}; C_5H_{10}; C_4H_8; C_3H_6
e) C_4H_{10}; C_4H_8; C_4H_6; C_4H_4

27. (PUC-MG) Com relação aos compostos abaixo:

C_2H_6	C_2H_4	C_2H_2
C_3H_8	C_3H_6	C_3H_4
C_4H_{10}	C_4H_8	C_4H_6

é correto afirmar que as horizontais e verticais representam, respectivamente, séries:

a) heterólogas, isólogas.
b) heterólogas, homólogas.
c) homólogas, isólogas.
d) isólogas, heterólogas.
e) isólogas, homólogas.

28. (UFPE) Dentre os compostos: **1** (CH_4); **2** (C_2H_6); **3** (C_2H_4); **4** (C_3H_8); **5** (C_2H_2); **6** (C_4H_{10}); **7** (C_3H_6); **8** (C_3H_4); **9** (C_5H_{12}); **10** (C_4H_8), quais os que pertencem a uma série homóloga?

a) 1, 3, 5, 7, 9.
b) 2, 4, 6, 8, 10.
c) 3, 4, 5, 9, 10.
d) 1, 2, 4, 6, 9.
e) 4, 5, 6, 7, 8.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

LEITURA

DDT — HERÓI OU VILÃO?

A polêmica sobre as vantagens e desvantagens dos inseticidas já se arrasta por muitos anos, envolvendo cientistas, fabricantes, políticos, ambientalistas etc.

A história do DDT é um exemplo dessa polêmica.

Nome Iupac:
1,1,1-tricloro-2,2-bis (4-clorofenil)-etano
Nome usual:
dicloro-**d**ifenil-**t**ricloroetano
Sigla: DDT

- em 1874, o químico alemão Othmer Zeidler sintetizou o DDT;
- em 1939, o médico suiço Paul Hermann Müller (1899-1965) descobriu a ação do DDT como inseticida;
- em 1944, no final da Segunda Guerra Mundial, foram vencidas várias batalhas contra surtos de tifo, malária e febre amarela com o uso do DDT;
- sendo de produção fácil e barata, o uso do DDT generalizou-se rapidamente, tanto no combate àquelas doenças como no combate a vários insetos prejudiciais à agricultura; além disso, o DDT abriu caminho para a pesquisa e produção de outros inseticidas;
- em 1948, Paul Hermann Müller ganhou o Prêmio Nobel de Medicina e Fisiologia, devido principalmente a seus trabalhos na busca de um bom inseticida para combater o mosquito *Anopheles*, transmissor da malária;
- em 1962, a bióloga estadunidense Rachel Carson (1907-1964) alertou o mundo sobre os problemas ecológicos causados pelo DDT, por meio de seu livro *Primavera silenciosa*, considerado uma das obras mais influentes do século XX.

Quais são esses problemas? Verificou-se que o DDT não é biodegradável; assim, depois de aplicado no meio ambiente, ele permanece no solo e nas águas dos rios, lagos e oceanos por muitos anos. Como consequência, o DDT entra na cadeia alimentar dos seres vivos e vai se acumulando nos animais — dos menores para os maiores — até chegar ao ser humano, contaminando todos os ecossistemas. Essa progressão pode ser vista no esquema a seguir:

OSVALDO SANCHES SEQUETIN

Efeito cumulativo.
A figura mostra um exemplo de como a concentração de DDT aumenta segundo os quatro níveis da cadeia alimentar. Os números são valores representativos da concentração de DDT e seus derivados nos tecidos (em partes por milhão, ppm). (Ilustração sem proporção real.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Sabe-se, atualmente, que o DDT fixa-se nos tecidos gorduroso do organismo humano e dos animais. Dada a sua eliminação lenta, vai se acumulando nos seres vivos. Isso já tem causado:

- mortandade em cardumes de peixes;
- ovos de aves com casca muito fina, que se quebram ao serem chocados;
- casos de doenças no fígado e nos rins, disfunções nos sistemas nervoso e hormonal etc. nos seres humanos.

Considerando que, até hoje, não há provas definitivas de quão prejudicial à saúde humana é o DDT, fica aberta a polêmica sobre as vantagens e as desvantagens de seu uso — a vantagem de combater doenças, ao proteger a produção agrícola, e a desvantagem do envenenamento do meio ambiente e dos seres vivos.

GEORGE SILK/TIME LIFE PICTURES/GETTY IMAGES

Ovos de íbis (ave pernalta) danificados pela aplicação do pesticida DDT. (Golfo do México, EUA, 1970.)

Os Estados Unidos chegaram a aplicar cerca de um bilhão de toneladas de DDT em sua agricultura, até 1972, quando o inseticida foi proibido naquele país. No entanto, cerca de 17 países em desenvolvimento continuam usando o DDT, principalmente no combate à malária. Outro aspecto perverso do problema é que, por seleção natural, estão surgindo mosquitos resistentes ao DDT, o que vem causando o recrudescimento da malária em várias regiões do mundo.

Em 2004, a proibição quase total do DDT foi adotada mundialmente pela chamada Convenção sobre Poluentes Orgânicos Persistentes (POP). Algumas agências de ajuda financeira recusavam-se a financiar programas envolvendo o DDT. Uma cláusula, no entanto, permitia a fabricação da substância para uso em controle de doenças.

A malária mata mais de um milhão de pessoas a cada ano, muitas delas crianças na África — a despeito do fato de que a doença pode ser evitada e tratada. Cerca de 40% da população mundial corre riscos, a maioria nos países mais pobres do globo, segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS). Sobretudo alguns países africanos continuaram a utilizar o DDT, embora a maioria tenha procurado mudar de inseticida ou adotado a estratégia de distribuir apenas mosquiteiros de cama impregnados com a substância. A África do Sul, por exemplo, foi um país que abandonou o DDT, mas teve de retomar seu uso dez anos depois, quando os mosquitos haviam desenvolvido resistência a compostos alternativos.

Em 2006, a OMS voltou a recomendar o DDT no combate à malária, revendo assim uma diretriz de 30 anos.

OS BICHOS **Fred Wagner**

2008 TRIBUNE MEDIA/IPRESS

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Questões sobre a leitura

Registre as respostas em seu caderno

29. Explique o que significa dizer que o DDT não é biodegradável e se acumula no decorrer da cadeia alimentar.

30. Pesquise quais são os efeitos do DDT sobre a saúde humana.

31. (UniSantos-SP) O DDT (dicloro difenil tricloroetano), composto que atua como inseticida, foi sintetizado em 1874 pelo químico alemão Othmer Zeidler. A fórmula estrutural do DDT apresenta:

a) 02 anéis aromáticos, 05 átomos de cloro e 12 átomos de carbono.
b) 02 anéis aromáticos, 05 átomos de cloro e 14 átomos de carbono.
c) 01 anel aromático, 03 átomos de cloro e 14 átomos de carbono.
d) 01 anel aromático, 05 átomos de cloro e 14 átomos de carbono.

32. (FGV-SP) Os inseticidas organoclorados são extremamente nocivos e sua utilização é controlada — em alguns casos, proibida — por serem muito estáveis e permanecerem por anos nos ecossistemas. Em consequência, considerando-se a cadeia alimentar:

capim → gafanhoto → lagarto → cobra → gavião,

é certo que a maior concentração desses inseticidas por unidade de massa do organismo seja encontrada:

a) no gavião.
b) na cobra.
c) no lagarto.
d) no gafanhoto.
e) no capim.

(Mackenzie-SP) As duas questões seguintes referem-se ao texto abaixo:

Organoclorados

Defensivos agrícolas para as indústrias. Agrotóxicos para os defensores da natureza. Pontos de vista diferentes sobre substâncias usadas para controlar ou matar determinadas pragas. Sua utilização pode oferecer ou não perigo para o ser humano, dependendo da toxicidade do composto, do tempo de contato com ele e do grau de contaminação que pode ocorrer. Insolúveis em água, possuem efeito cumulativo, chegando a permanecer por mais de trinta anos no solo. Um dos mais tóxicos e já há algum tempo proibido, o DDT virou verbo: dedetizar.

33. Do texto, depreende-se que os defensivos agrícolas:

a) nunca oferecem perigo para o ser humano.
b) não contaminam o solo, pois são insolúveis em água.
c) são substâncias totalmente diferentes daquelas chamadas de agrotóxicos.
d) se usados corretamente, trazem benefícios.
e) têm vida residual curta.

34. $x\ C_6H_5C\ell + C_2HC\ell_3O \longrightarrow C_{14}H_9C\ell_5 + H_2O$

Em relação à equação acima, que representa a obtenção do DDT ($C_{14}H_9C\ell_5$), é **incorreto** afirmar que:

(Dadas as massas molares (g/mol): H = 1, O = 16, C = 12, Cℓ = 35,5.)

a) o coeficiente *x* que torna a equação corretamente balanceada é igual a 2.
b) o DDT é um composto orgânico oxigenado.
c) se o $C_2HC\ell_3O$ for um aldeído, sua fórmula estrutural será .
d) cada molécula de DDT contém 5 átomos de cloro.
e) a massa de 1 mol de moléculas de água é igual a 18 g.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO

6 Estrutura e propriedades físicas dos compostos orgânicos

O tipo de som depende do tamanho e da forma dos tambores. Analogamente, nos **compostos orgânicos**, o tamanho, a forma e a estrutura molecular regem suas propriedades.

TÓPICOS DO CAPÍTULO

1 ESTRUTURA DAS MOLÉCULAS ORGÂNICAS

2 ESTRUTURA DA LIGAÇÃO SIMPLES C — C

3 ESTRUTURA DA LIGAÇÃO DUPLA C = C

4 ESTRUTURA DOS DIENOS

5 ESTRUTURA DA LIGAÇÃO TRIPLA C ≡ C

6 ESTRUTURA DOS COMPOSTOS CÍCLICOS SATURADOS

7 ESTRUTURA DO ANEL BENZÊNICO

8 PONTO DE FUSÃO, PONTO DE EBULIÇÃO E ESTADO FÍSICO DOS COMPOSTOS ORGÂNICOS

9 SOLUBILIDADE DOS COMPOSTOS ORGÂNICOS

10 DENSIDADE DOS COMPOSTOS ORGÂNICOS

LEITURA: *A ARQUITETURA DA NATUREZA E A ARQUITETURA DAS MOLÉCULAS*

(1) prato de ataque; **(2)** tom-tons; **(3)** prato de condução; **(4)** chimbal; **(5)** caixa; **(6)** bumbo; **(7)** surdo.

Ao toque do tambor

O som dos tambores é o resultado de sua ação na vibração do ar. Para afiná-los, é preciso considerar suas dimensões, o material de que são feitos e a tensão da sua pele.

A estrutura e o som
A **caixa** tem menor profundidade, mas seu diâmetro largo garante um timbre específico, mais agudo. Além disso, suas ondas reverberam em uma esteira de metal.

ILUSTRAÇÕES E FOTOS: PAULO MANZI

Estruturas e suas propriedades

A profundidade dos tambores interfere diretamente na sua potência, e o diâmetro na sua afinação. Isso altera a amplitude e a duração das ondas de som, determinando seu timbre.

A densidade e o som

A ressonância – capacidade de um corpo de vibrar em certas frequências – é responsável pelo som característico de cada instrumento e varia conforme sua estrutura física e o material usado. Tambores "leves" precisam de menos força para vibrar que os "pesados". Madeiras mais densas têm melhor ressonância.

Cada tamanho, um som

Os **tom-tons** ficam pareados; para diferenciar seus sons é bom que tenham entre si ao menos 5 cm de diferença no diâmetro e/ou na profundidade.

A geometria e o som

O **surdo**, como os outros tambores, pode ser afinado variando-se a tensão da pele, que é presa com aros de metal fixados por parafusos. Quanto mais se apertam os parafusos, mais esticada fica a pele e mais seco fica o som.

A quantidade de massa e o som

O **bumbo** é o mais potente; a massa de ar que se move quando tocado é grande. A vibração da sua pele emite ondas de dimensões variadas e desorganizadas, que reverberam por seu corpo; assim, apresenta um som grave mais explosivo que melódico.

ILUSTRAÇÕES E FOTOS: PAULO MANZI

REFLETINDO

Compare as situações do cotidiano e pense no mundo microscópico:

- O gás de cozinha (C_4H_{10}) e a gasolina (C_8H_{18}) são hidrocarbonetos; à temperatura ambiente, o primeiro é um gás e o segundo um líquido.
- Comparando agora o etano (C_2H_6) com o etanol (C_2H_5OH), à temperatura ambiente temos respectivamente um gás e um líquido.

Que teorias podem explicar os fatos acima?

1 Estrutura das moléculas orgânicas

1.1. Introdução

Já vimos que existem milhões de compostos orgânicos diferentes. Isso acontece porque o carbono tem uma grande versatilidade para formar **cadeias** – curtas, longas, ramificadas ou não, saturadas, insaturadas, cíclicas etc. Além disso, a participação de outros elementos químicos (oxigênio, nitrogênio, halogênios etc.) cria uma grande variedade de novas **funções**, aumentando ainda mais a quantidade de compostos orgânicos conhecidos.

Neste capítulo vamos mostrar que a **geometria espacial das moléculas orgânicas** também apresenta uma grande variedade. É importante notar que a composição, o tamanho e a estrutura geométrica das moléculas influem consideravelmente nas propriedades físicas – ponto de fusão, ponto de ebulição, solubilidade, densidade etc. – dos compostos orgânicos. Felizmente há uma variação lógica e gradativa dessas propriedades físicas, ao longo de cada função e de cada série homóloga dos compostos orgânicos.

FERNANDO FAVORETTO/CRIAR IMAGEM

Líquidos apolares, como o óleo de cozinha, **não são miscíveis em líquidos polares**, como a água.

Conhecer e prever as **propriedades físicas** dos compostos orgânicos é **fundamental** para o desenvolvimento de **pesquisas** e **processos de produção industrial**. No cotidiano, o conhecimento das propriedades físicas é **importante** para **saber** se um solvente limpa a mancha, se um plástico é resistente ao calor ou se um medicamento será adequadamente absorvido pelo organismo.

Do ponto de vista histórico, o primeiro passo importante para o esclarecimento da estrutura geométrica das moléculas orgânicas foi dado em 1858 por Kekulé, que estabeleceu alguns princípios fundamentais, dizendo que:

a) o carbono tem quatro valências (é tetravalente);

b) as quatro valências do carbono são iguais;

c) os átomos de carbono formam cadeias, ligando-se uns aos outros.

Durante boa parte do século XIX imaginava-se que as quatro valências do carbono estariam situadas num mesmo plano. Em 1874, Le Bel e van´t Hoff introduziram a ideia do **carbono tetraédrico**, dizendo que:

> O átomo de carbono ocupa o centro de um tetraedro regular imaginário e dirige suas valências para os quatro vértices desse tetraedro.

Consequentemente, devemos pensar na molécula do metano como uma estrutura tridimensional, em que o átomo de carbono está no centro e tem ao seu redor os quatro átomos de hidrogênio, igualmente separados uns dos outros e formando ângulos de 109°28′. Os modelos a seguir expressam melhor essa ideia:

O metano "plano" (imaginário)

O metano "tetraédrico" (real)

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Modelo gráfico (ou **de cunha e traço**), em que vale a convenção:
——— valências situadas no plano do papel;
- - - - - valência que "vai para trás";
▬ valência que "vem para a frente" do plano do papel.

Modelo de pino e bolas (feitos de madeira ou de plástico), que representa a molécula espacialmente. (Representação esquemática sem escala; cores-fantasia.)

Modelo de Stuart (ou **de preenchimento espacial**), com bolas que se encaixam e reproduzem a geometria da molécula da maneira mais próxima possível da realidade. (Representação esquemática sem escala; cores-fantasia.)

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Outro passo importante no esclarecimento da estrutura das moléculas foi dado em 1916 por Lewis, que introduziu a **Teoria Eletrônica da Valência**. Como já vimos na Química geral, essa teoria explica os dois tipos mais importantes de ligação entre os átomos:

- a **ligação iônica**, em que um átomo **cede** elétrons definitivamente para outro. Por exemplo:

(O NaCℓ é um composto iônico.)

- a **ligação covalente,** em que os átomos passam a **compartilhar** um par de elétrons. Por exemplo:

(O HCℓ é um composto covalente.)

Nos compostos orgânicos, as ligações entre os átomos de carbono são **covalentes**. Daí a importância desse conceito no estudo da estrutura das moléculas orgânicas.

1.2. A geometria molecular

A ideia do carbono tetraédrico trouxe, para a Química, a preocupação com a geometria das moléculas (ou **geometria molecular**), isto é, o estudo da arrumação tridimensional dos átomos no interior das moléculas.

Hoje sabemos que poucas moléculas, e apenas as mais simples, são planas, como H_2, O_2, HCℓ, H_2O etc.

A maior parte das moléculas é tridimensional. Com o passar do tempo, constatou-se também que a geometria das moléculas influi bastante nas propriedades físicas e químicas dos compostos orgânicos. Como decorrência, surgiu a **estereoquímica** (estéreo = espaço), que estuda os fenômenos físicos e químicos do ponto de vista da estrutura espacial das moléculas.

A explicação mais simples para a estrutura espacial das moléculas foi dada em 1957 pelo cientista Ronald J. Gillespie (1924-) em sua **Teoria da Repulsão dos Pares Eletrônicos da Camada de Valência** (também conhecida pela sigla VSEPR, do inglês *valence shell electron pair repulsion*), segundo a qual:

> Ao redor do átomo central, **os pares eletrônicos ligantes** (que se ligam aos outros átomos) e **os não ligantes** (pares eletrônicos livres) da camada de valência **se repelem**, tendendo a ficar tão afastados quanto possível.

Com esse **afastamento máximo**, a **repulsão** entre os pares eletrônicos será **mínima** e, portanto, a **estabilidade** da molécula como um todo será a **máxima** possível.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Essas ideias coincidem perfeitamente com a do **carbono tetraédrico**, no qual temos o **afastamento máximo** (109°28′) entre as quatro valências do carbono, fato este que repercute na estrutura do metano. Podemos obter uma analogia interessante, enchendo quatro balões de borracha (de festas de aniversário) e amarrando-os pelo bico. Notaremos que os balões se orientam **espontaneamente** seguindo a forma tetraédrica. Esta corresponde à disposição mais "cômoda" e mais "folgada", ou seja, mais estável, dos balões no espaço. O mesmo ocorre entre os pares eletrônicos de ligação e os correspondentes átomos de hidrogênio, ao redor do carbono no metano (CH_4).

ADILSON SECCO

Visualize melhor

Monte um tetraedro representando o metano: corte, em papel cartolina; o modelo representado abaixo (sempre **respeitando as proporções entre as medidas**); dobre seguindo as linhas e cole as extremidades.

ADILSON SECCO

Linhas para dobrar

Áreas para colar

Construindo mais dois ou três modelos iguais, você poderá visualizar melhor as estruturas explicadas nos próximos itens.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Questões

Registre as respostas em seu caderno

a) Represente, por meio do modelo gráfico, as moléculas de triclorometano e metanol.

b) Qual a geometria do carbono nas duas moléculas anteriores?

Pesquisa

Registre as respostas em seu caderno

Pesquise no *site* sugerido a seguir ou em outras fontes e responda:

O que é modelagem molecular? Qual seu domínio de atuação?

SANTOS, H. F. O conceito da modelagem molecular. *Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola*, n. 4, maio 2001, p. 4-5. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/cadernos/04/modelag.pdf>.

Acesso em: abr. 2010.

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

1. (Udesc) Na metade do século passado, foram desenvolvidas duas teorias estruturais importantes, relativas ao elemento químico carbono. São elas:

A. Teoria de Kekulé
B. Teoria de Le Bel e van't Hoff

Relacione corretamente as teorias acima com as afirmativas abaixo:

- O carbono é tetravalente e situa-se no plano.
- O carbono é tetraédrico e situa-se no espaço.
- As quatro valências do carbono são equivalentes.
- O carbono tem suas quatro valências representadas pelos vértices de um tetraedro regular.
- O carbono forma cadeias.

A alternativa que relaciona corretamente, de cima para baixo, as teorias com as afirmativas é:

a) B, A, B, A, B
b) A, B, B, B, A
c) B, A, A, A, B
d) A, B, A, B, A
e) B, A, A, B, A

(Uniderp-MS) Use o enunciado abaixo para responder às duas questões seguintes.

Apesar de usado como estimulante do sistema nervoso, em casos de dor de cabeça de origem nervosa, de esgotamento físico e intelectual, nas doenças gastrointestinais e ainda como diurético, a pasta de guaraná é mais utilizada na preparação de bebida refrigerante.

O princípio químico ativo do guaraná é a cafeína, um alcaloide representado pela fórmula estrutural abaixo.

2. A estrutura da cafeína apresenta:

a) anel benzênico.
b) cadeia insaturada.
c) cadeia homogênea.
d) cadeia alifática.
e) cadeia acíclica.

3. O carbono da estrutura da cafeína, assinalado com o (*), apresenta ângulos de ligação, aproximadamente, iguais a:

a) 45°.
b) 75°.
c) 90°.
d) 109°.
e) 120°.

4. (Univali-SC) A ureia (CH_4N_2O) é o produto mais importante de excreção do nitrogênio pelo organismo humano. Na molécula da ureia, formada por oito átomos, o carbono apresenta duas ligações simples e uma dupla; o oxigênio, uma ligação dupla; cada átomo de nitrogênio, três ligações simples; e cada átomo de hidrogênio, uma ligação simples. Átomos iguais não se ligam entre si.

A respeito desse composto, é correto afirmar que:

a) as ligações dentro das moléculas são do tipo covalentes e iônicas.
b) apresenta ligações exclusivamente covalentes.
c) os elementos constituintes da molécula ocupam a região central da tabela.
d) todos tendem a receber elétrons para adquirir configuração eletrônica de gás nobre.
e) conduz bem a corrente elétrica no estado sólido.

5. (Fuvest-SP) As figuras abaixo representam moléculas constituídas de carbono, hidrogênio e oxigênio.

ADILSON SECCO

(Representações esquemáticas sem escala; cores-fantasia.)

Elas são, respectivamente:

a) etanoato de metila, propanona e 2-propanol.
b) 2-propanol, propanona e etanoato de metila.
c) 2-propanol, etanoato de metila e propanona.
d) propanona, etanoato de metila e 2-propanol.
e) propanona, 2-propanol e etanoato de metila.

1.3. Polaridade das ligações covalentes

Vamos imaginar uma ligação covalente formada por dois átomos iguais, como, por exemplo, na molécula de hidrogênio (H_2 ou H⁘H). Nesse caso, o par eletrônico fica **equidistante** dos dois átomos de hidrogênio, ou seja, podemos dizer que os núcleos dos dois átomos exercem a mesma atração sobre o par eletrônico. Dizemos, então, que a ligação H⁘H é **não polar** ou é **apolar**.

Agora, no caso de uma molécula covalente, formada por dois átomos diferentes, como, por exemplo, o HCℓ (H — Cℓ ou H⁘Cℓ), o cloro atrai (puxa) o par eletrônico para seu lado, ou seja, o núcleo do cloro exerce maior atração sobre o par eletrônico. Dizemos, então, que o cloro é mais **eletronegativo** que o hidrogênio e que a ligação H⁘Cℓ é uma **ligação polar**. É costume escrever $\overset{\delta+}{H} — \overset{\delta-}{Cℓ}$ para indicar que o "lado" da molécula onde está o cloro é mais eletronegativo que o do hidrogênio (ou que o "lado" do cloro tem maior **densidade eletrônica** que o do hidrogênio).

A molécula de HCℓ comporta-se, então, como um **dipolo elétrico permanente**.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Pelo que foi exposto, notamos que, no estudo da polaridade das ligações, é importante conhecer a eletronegatividade dos elementos químicos. Por definição, dizemos que:

> **Eletronegatividade** é a capacidade que um átomo tem de atrair para si o par eletrônico que ele compartilha com outro átomo em uma ligação covalente.

Baseando-se em medidas experimentais, o cientista Linus Pauling (1901-1994) criou uma escala de eletronegatividade, que representamos a seguir num esquema da Tabela Periódica (esses valores não têm unidades):

ADILSON SECCO

Os elementos mais eletronegativos são os **halogênios** (especialmente o flúor, de eletronegatividade igual a 4,0), o **oxigênio** e o **nitrogênio**. Os elementos da coluna B da Tabela Periódica têm eletronegatividades que variam de 1,2 a 2,4.

Para finalizar, dizemos que a medida da polaridade das ligações (e das moléculas) é feita pelo chamado **momento dipolar** (μ).

> **Momento dipolar** (μ) é o produto do módulo da carga parcial (δ) pela distância entre os dois extremos de um dipolo.

$$\mu = \delta \cdot d$$

ADILSON SECCO

1.4. Polaridade das moléculas

Uma molécula com ligações covalentes polares pode ser polar ou apolar. Tudo irá depender de sua geometria e da consequente **soma (resultante)** de todos os **vetores momento dipolar** nela existentes.

Por exemplo: a molécula de água tem a forma geométrica de **V**, e as ligações O — H são polares. Somando os vetores momento dipolar μ_1 e μ_2, teremos, segundo o esquema abaixo, o **vetor resultante** (μ). Consequentemente: a molécula de água é **polar** (μ = 1,84 D); o "lado" onde estão os hidrogênios é o mais eletropositivo ($\delta+$); o "lado" do oxigênio é o mais eletronegativo ($\delta-$).

Vetores polaridade na água — **Cálculo do vetor resultante** — **Molécula de H_2O. (Representação esquemática sem escala; cores-fantasia.)**

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Uma comparação interessante é entre o $CH_3C\ell$ e o $CC\ell_4$:

Molécula de $CH_3C\ell$

A molécula de $CH_3C\ell$ é **polar**, pois não há equilíbrio entre os quatro vetores que representam suas ligações polarizadas. Em consequência, a molécula fica com uma extremidade **positiva** (δ^+), e outra **negativa** (δ^-), isto é, torna-se um **dipolo**.

Molécula de $CC\ell_4$

A molécula de $CC\ell_4$ é **apolar**, apesar de suas quatro ligações serem polarizadas. Na verdade, o que ocorre é um equilíbrio entre os quatro vetores polaridade, resultando em um momento dipolar igual a zero.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

1.5. Forças ou ligações intermoleculares

Chamamos de forças ou ligações intermoleculares as forças de atração existentes entre as moléculas. Elas dependem da estrutura e da polaridade das próprias moléculas. Há três casos mais importantes, explicados a seguir.

a) Forças (ou ligações) dipolo-dipolo

Quando uma molécula é polar (como por exemplo o $HC\ell$), ela apresenta uma extremidade mais eletropositiva e outra mais eletronegativa. Dizemos, então, que ela é um **dipolo elétrico permanente**, que pode ser representado como se ilustra ao lado.

Molécula $HC\ell$

Evidentemente, o **lado positivo** de uma molécula atrai o **lado negativo** da molécula vizinha, e assim sucessivamente. Essas forças de coesão recebem o nome de **forças** (ou **ligações**) **dipolo-dipolo**.

(Representações esquemáticas sem escala; cores-fantasia.)

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

b) Ligações (ou pontes) de hidrogênio

Um caso extremo de atração dipolo-dipolo ocorre quando temos o **hidrogênio** ligado a átomos relativamente pequenos e extremamente eletronegativos, sobretudo o **flúor**, o **oxigênio** e o **nitrogênio**. A forte atração que se estabelece entre o hidrogênio e esses elementos chama-se **ligação de hidrogênio** (ou **ponte de hidrogênio**) e existe fundamentalmente nos estados sólido e líquido.

No esquema abaixo, representamos a estrutura da água no estado líquido, na qual as ligações de hidrogênio estão indicadas por linhas tracejadas. Por esse motivo, alguns químicos sugerem que a água deveria ser representada por $(H_2O)_n$, o que indica um agrupamento de *n* moléculas de água.

Representações das ligações de hidrogênio existentes na estrutura da água líquida

Representação molecular (sem escala; cores-fantasia.)

Representação molecular

ADILSON SECCO

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

c) Forças (ou ligações) de van der Waals (ou de London) ou dipolo instantâneo-dipolo induzido

Logicamente, tudo que acabamos de explicar não se aplica às **moléculas apolares**, como, por exemplo, H_2, F_2, $C\ell_2$, O_2, CO_2, $CC\ell_4$ etc. (nem aos gases nobres, que são formados por átomos isolados). Não havendo atração elétrica entre essas moléculas, elas deveriam permanecer sempre afastadas, o que equivale a dizer: **no estado gasoso**. No entanto, muitas substâncias apolares são líquidas, e mesmo quando gasosas (como H_2, F_2, $C\ell_2$ etc.) elas podem ser liquefeitas e solidificadas em temperaturas muito baixas. Surge, então, a pergunta: qual é a força que mantém unidas as moléculas apolares? São as chamadas **forças de van der Waals** ou **forças de dispersão de London**, que são cerca de dez vezes mais fracas que as forças dipolo-dipolo e resultam do seguinte: mesmo sendo apolar, a molécula é formada por muitos elétrons, que se movimentam rapidamente. Pode acontecer, num dado instante, de uma molécula estar com **mais elétrons de um lado que do outro**; essa molécula estará, então, momentaneamente polarizada (**dipolo momentâneo**) e, por **indução elétrica**, irá provocar a polarização de uma molécula vizinha (**dipolo induzido**), resultando uma atração fraca entre ambas, que constitui exatamente a força de van der Waals ou força de London ou, ainda, o **dipolo instantâneo-dipolo induzido**.

(Representação esquemática sem escala; cores-fantasia.)

Questões

Registre as respostas em seu caderno

a) Indique a polaridade de cada uma das seguintes moléculas: triclorometano, iodo, água, etanol, tetracloreto de carbono.

b) Quais as ligações intermoleculares predominantes entre as moléculas citadas na questão anterior?

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

6. (Unip-SP) Considere as seguintes moléculas:

I. O = C = O
Linear

II. F — B (F, F)
Plana trigonal

III. C(Cℓ)(Cℓ)(Cℓ)—C—Cℓ
Tetraédrica

IV. Cℓ — C₆H₄ — Cℓ
Plana

V. C(Cℓ)(Cℓ)(H)—C—H
Tetraédrica

A molécula mais polar é:

a) I. b) II. c) III. d) IV. e) V.

7. (FCC-BA) Para exemplificar moléculas polares, foram citadas as de:

I. metano;
II. monoclorometano;
III. diclorometano;
IV. triclorometano;
V. tetraclorometano.

Na realidade, são polares apenas as moléculas designadas por:

a) I e IV. b) II e IV. c) III e V. d) I, III e V. e) II, III e IV.

8. Das duas substâncias, CH_4 e $CH_3C\ell$, qual apresenta maiores atrações intermoleculares? Por quê?

9. (Unifor-CE) Todos os compostos representados pelas fórmulas abaixo são formados por moléculas, que no estado líquido estão unidas entre si por pontes de hidrogênio, exceto:

a) CH_4 b) H_2O c) CH_3OH d) C_2H_5OH e) CH_3COOH

10. (UFRGS-RS) O gás metano (CH_4) pode ser obtido no espaço sideral pelo choque entre os átomos de hidrogênio liberados pelas estrelas e o grafite presente na poeira cósmica. Sobre as moléculas do metano pode-se afirmar que o tipo de ligação intermolecular e sua geometria são, respectivamente:

a) ligações de hidrogênio e tetraédrica.
b) força de van der Waals e trigonal plana.
c) covalentes e trigonal plana.
d) força de van der Waals e tetraédrica.
e) ligações de hidrogênio e trigonal plana.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

2 Estrutura da ligação simples C — C

Vimos, no início deste capítulo, a Teoria do Carbono Tetraédrico de Le Bel e van´t Hoff. De acordo com essa teoria, a molécula do metano (CH_4) é tridimensional, estando o átomo de carbono no centro de um tetraedro regular imaginário e os quatro átomos de hidrogênio nos vértices desse tetraedro, conforme a figura **A**, abaixo.

(Representação esquemática sem escala; cores-fantasia.)

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

EDUARDO SANTALIESTRA/CID

Passemos agora do metano (CH_4) para o homólogo seguinte – o etano (C_2H_6 ou $CH_3—CH_3$). Na concepção de Le Bel e van´t Hoff, a forma da molécula do etano pode ser representada pela união de dois tetraedros por um vértice. Esta ligação é denominada ligação σ (sigma) – figura **B**. Nessa estrutura, admite-se que os tetraedros possam girar ao longo do eixo que passa pelos dois átomos de carbono (você poderá visualizar melhor essa molécula com o auxílio de seu modelo em cartolina). Os modelos abaixo também nos dão uma boa ideia da estrutura do etano:

(Representações esquemáticas sem escala; cores-fantasia.)

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

As estruturas dos demais alcanos acompanham a ideia dada para o etano. Por exemplo, no caso do butano normal ($CH_3—CH_2—CH_2—CH_3$), teremos:

(Representações esquemáticas sem escala; cores-fantasia.)

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Veja que, em virtude dos ângulos de 109°28′ existentes entre as valências do carbono, as moléculas dos alcanos superiores têm estrutura em zigue-zague. É por esse motivo que as moléculas dos alcanos são representadas, simplificadamente, por meio de uma linha em zigue-zague. O próprio butano poderia ser representado apenas desta forma:

Questões

Registre as respostas em seu caderno

Considere a molécula de um alcano, representada a seguir:

a) Qual a fórmula molecular desse alcano?

b) Qual seu nome, segundo a Iupac?

c) Qual é o ângulo formado entre as ligações de carbono?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

3 Estrutura da ligação dupla C = C

Vamos comentar a estrutura do eteno ou etileno ($CH_2 = CH_2$), pois ela servirá para todas as demais ligações duplas.

Segundo a **Teoria do Carbono Tetraédrico**, de Le Bel e van't Hoff, a estrutura espacial do eteno é a de dois tetraedros regulares, **unidos por uma aresta**, conforme a figura abaixo.

ADILSON SECCO

EDUARDO SANTALIESTRA/CID

(Você poderá visualizar melhor essa molécula com o auxílio de seu modelo em cartolina.)

A molécula do eteno segue o modelo espacial representado abaixo.

(Representação esquemática sem escala; cores-fantasia.)

ADILSON SECCO

No tocante à **ligação dupla**, é importante salientar que as duas ligações **não são equivalentes entre si**. De fato, comprova-se termodinamicamente que:

- uma das ligações – chamada de **ligação** σ (sigma) – é mais "forte", uma vez que exige 348 kJ/mol para ser quebrada (no caso do eteno);
- a outra ligação – chamada de **ligação** π (pi) – é mais "fraca", pois exige apenas 267 kJ/mol para ser rompida (no caso do eteno). É exatamente essa ligação π que será quebrada com mais facilidade nas **reações de adição**, que são as reações mais características dos alcenos.

Outro fato importante a ser considerado é que, ao contrário da ligação simples (vide página 179), a ligação dupla não permite a rotação dos dois átomos de carbono da molécula em torno do eixo que os une. Esse fato também influi no comportamento dos alcenos, como veremos logo adiante.

A ligação simples permite a rotação.

A ligação dupla impede a rotação.

OBSERVAÇÃO

A ligação dupla C = O é muito importante na Química orgânica, pois aparece nos aldeídos, nas cetonas, nos ácidos carboxílicos e seus derivados. Na ligação dupla C = O ocorre o mesmo que na ligação dupla C = C. **A carbonila é plana**; no plano estão as ligações σ, separadas por ângulos de 120°; acima e abaixo do plano está a ligação π.

Devido à maior eletronegatividade do oxigênio, a carbonila está **permanentemente** polarizada, havendo então maior densidade eletrônica sobre o oxigênio. Medidas do momento dipolar revelam que os aldeídos e as cetonas têm uma polaridade intermediária entre os álcoois (polares) e os éteres (apolares).

ADILSON SECCO

(Representações esquemáticas sem escala; cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

4 Estrutura dos dienos

Conforme a distância que separa as duas ligações duplas, os dienos classificam-se em:

- **dienos acumulados** ou **alênicos**, em que as duas duplas ligações estão no mesmo carbono; o caso mais simples é o $CH_2{=}C{=}CH_2$ (nomenclatura Iupac: propa-1,2-dieno; nomenclatura usual: **aleno**);

- **dienos conjugados** ou **eritrênicos**, em que as ligações duplas estão separadas por **uma única ligação simples**; o caso mais simples é o $CH_2{=}CH{-}CH{=}CH_2$ (nomenclatura Iupac: buta-1,3-dieno; nomenclatura usual: **eritreno**). Os **dienos conjugados** são os de maior importância industrial por terem boa estabilidade e reatividade especial;

- **dienos isolados**, em que as duas ligações duplas estão isoladas, isto é, separadas por duas ou mais ligações simples; o caso mais simples é o $CH_2{=}CH{-}CH_2{-}CH{=}CH_2$ (nomenclatura Iupac: penta-1,4-dieno).

Propa-1,2-dieno

Buta-1,3-dieno

Penta-1,4-dieno

(Representações esquemáticas sem escala; cores-fantasia.)

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Um fato importante a salientar nos dienos conjugados é a distância entre seus átomos de carbono. De fato, quando se mede o comprimento de uma ligação simples entre dois átomos de carbono, encontra-se o valor 1,54 Å (1 Å = 1 angstrom = 10^{-10} metro); a ligação dupla, por sua vez, mede 1,34 Å. Consequentemente, no buta-1,3-dieno, deveríamos ter: $CH_2{=}CH{-}CH{=}CH_2$

1,34 Å | 1,54 Å | 1,34 Å

Entretanto, medidas feitas em laboratório nos revelam que: $CH_2{=}CH{-}CH{=}CH_2$

1,34 Å | 1,48 Å | 1,34 Å

Por que a ligação central (ligação simples) é menor (1,48 Å) que o esperado (1,54 Å)? A explicação para esse fenômeno vem da mobilidade do par de elétrons da ligação π, que sofre os seguintes deslocamentos:

$$CH_2{=}CH{-}CH{=}CH_2 \longleftrightarrow \overset{+}{C}H_2{-}CH{=}CH{-}\overset{-}{C}H_2 \quad \text{ou}$$

$$CH_2{=}CH{-}CH{=}CH_2 \longleftrightarrow \overset{-}{C}H_2{-}CH{=}CH{-}\overset{+}{C}H_2$$

(Esse fenômeno é denominado **ressonância**; as estruturas escritas acima são chamadas **formas de ressonância**; e o sinal ⟷ é específico para a indicação da ressonância. Voltaremos a esse assunto na página 185.)

Como consequência, dizemos que as ligações duplas estão **deslocalizadas**, isto é, distribuídas ao longo da molécula. Por esse motivo, costuma-se representar a molécula do buta-1,3-dieno pelo esquema abaixo:

$$CH_2 \cdots CH \cdots CH \cdots CH_2$$

O fenômeno da ressonância explica muitas propriedades físicas e químicas dos dienos conjugados e, de modo geral, dos polienos conjugados.

Questões Registre as respostas em seu caderno

Dados os compostos butano, but-1-eno e buta-1,3-dieno, pede-se:

a) Quais as fórmulas estruturais dos compostos?

b) Qual das moléculas apresenta carbonos apenas com ligações σ?

c) Qual das moléculas apresenta carbonos com ligação σ e π?

d) Qual das moléculas apresenta ressonância?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

11. Quais os ângulos reais α, β e γ respectivamente indicados na figura abaixo?

12. (UEPB) Foram os químicos van't Hoff e Le Bel os primeiros cientistas a estudarem as geometrias reais do carbono e mostrarem como estes átomos estariam dispostos no espaço. Outros cientistas como Planck, Einstein, Rutherford e Bohr contribuíram efetivamente na elaboração de novos conceitos no campo das estruturas atômicas e moleculares. Analise a estrutura do composto a seguir:

Com relação à geometria de cada carbono, podemos afirmar que na substância apresentada existem:

a) 4 carbonos trigonais, 2 carbonos tetraédricos.
b) 2 carbonos trigonais e 4 tetraédricos.
c) 2 carbonos trigonais, 2 carbonos tetraédricos e 2 carbonos lineares.
d) 3 carbonos trigonais, 2 carbonos tetraédricos e 1 carbono linear.
e) 1 carbono trigonal, 1 carbono tetraédrico e 4 carbonos lineares.

13. (UFU-MG) O sabor artificial de laranja pode ser conseguido com acetato de octila. Em relação a esse composto, as seguintes afirmativas estão corretas, **exceto**:

a) As ligações químicas presentes na molécula de acetato de octila são covalentes, do tipo σ e π.
b) O acetato de octila pertence à função orgânica éster.
c) Todos os átomos de carbono na molécula de acetato de octila têm geometria tetraédrica.
d) A molécula de acetato de octila tem fórmula molecular $C_{10}H_{20}O_2$.

5 Estrutura da ligação tripla C ≡ C

Vamos detalhar a estrutura do acetileno (H — C ≡ C — H), pois ela servirá de modelo para todos os compostos com ligações triplas.

Segundo a concepção de Le Bel e van't Hoff, a estrutura espacial do acetileno é a de dois tetraedros regulares, **unidos por uma face**, conforme a figura **A** abaixo (aqui também você poderá visualizar melhor essa molécula, com o auxílio de seu modelo em cartolina).

A figura **B** nos mostra o modelo de preenchimento espacial do acetileno. Note que os dois modelos indicam que, na molécula do acetileno, **os quatro átomos estão em linha reta**. Além disso, a medida dos comprimentos das ligações carbono-carbono (distância entre dois átomos de carbono) nos revela que:

Ligação simples (C — C): 1,54 Å > **Ligação dupla** (C ═ C): 1,34 Å > **Ligação tripla** (C ≡ C): 1,20 Å

ADILSON SECCO

EDUARDO SANTALIESTRA/CID

ADILSON SECCO

Assim como acontece com as ligações duplas, é importante salientar que, nas ligações triplas, as três ligações **não são equivalentes entre si**; há **uma ligação σ**, mais "forte", e **duas ligações π**, mais "fracas"; estas serão rompidas ou "quebradas" com maior facilidade, possibilitando inúmeras reações de adição.

Assim como as ligações duplas, as ligações triplas também não permitem a rotação em torno do eixo que une os dois átomos de carbono.

Questões

Registre as respostas em seu caderno

Considerando a molécula de but-2-ino, pede-se:

a) Qual a fórmula estrutural desse composto?
b) Quantas ligações σ e quantas ligações π apresenta a molécula?
c) Qual é o ângulo formado entre os carbonos insaturados?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

14. (UFV-MG) Considere a fórmula estrutural ao lado.

São feitas as seguintes afirmativas:

I. O átomo de carbono 5 forma 4 ligações σ (sigma).
II. O átomo de carbono 3 forma 3 ligações σ (sigma) e 1 ligação π (pi).
III. O átomo de carbono 2 forma 3 ligações π (pi) e 1 ligação σ (sigma).
IV. O total de ligações π (pi) na estrutura é igual a 3.

Qual a alternativa correta?

a) Apenas as afirmativas I e IV são corretas.
b) Apenas as afirmativas II e III são corretas.
c) Apenas as afirmativas I, II e IV são corretas.
d) Todas as afirmativas são corretas.
e) Apenas as afirmativas I e II são corretas.

15. (FMIt-MG) Analise o hidrocarboneto seguinte:

Os ângulos formados pelas ligações entre os carbonos 1-2-3 e 3-4-5 são, respectivamente:

a) 90° e 180°.
b) 120° e 109°28′.
c) 90° e 120°.
d) 120° e 180°.
e) 109°28′ e 109°28′.

16. (UFRGS-RS) Na molécula representada abaixo

a menor distância interatômica ocorre entre os carbonos de números:

a) 1 e 2.
b) 2 e 3.
c) 3 e 4.
d) 4 e 5.
e) 5 e 6.

6 Estrutura dos compostos cíclicos saturados

Vamos considerar o caso dos cicloalcanos ou ciclanos, cujos anéis são formados exclusivamente por ligações simples.

Até o século XIX imaginava-se que os compostos cíclicos fossem **planos**; por exemplo, os ciclanos seriam assim:

Ou, representando de forma simplificada:

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Veja que os ângulos internos dessas figuras diferem do ângulo normal (109°28') formado entre as valências do carbono nas ligações simples. Essa observação talvez justificasse o fato de a série dos ciclo-alcanos apresentar certas propriedades químicas diferentes das dos alcanos. Em 1885, Baeyer criou a **Teoria das Tensões nos Anéis**, que é resumidamente a seguinte:

> Nos ciclanos, as valências devem ser entortadas ou flexionadas para fechar o anel, e isso cria uma tensão que torna o anel instável (ou seja, de fácil ruptura).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja o exemplo do ciclo-propano na figura **A** ao lado. Cada valência é flexionada de um ângulo α, que pode ser calculado deste modo:

$$\alpha = \frac{109°28' - 60°}{2} \Rightarrow \boxed{\alpha = 24°44'}$$

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Analogamente:

$\alpha = 9°44'$ $\alpha = 0°44'$ $\alpha = -5°16'$

Segundo Baeyer, o anel mais estável seria o do ciclopentano, que apresenta o valor mínimo para o ângulo α. No ciclo-hexano, o valor negativo de α indica que as valências deveriam ser flexionadas "para fora"; aqui recomeçaria a instabilidade dos anéis, que iria aumentando para anéis com mais de seis carbonos. Baeyer acreditava até que anéis muito grandes nem poderiam existir, dada a grande instabilidade causada pela tensão das valências.

Posteriormente, medidas termodinâmicas de estabilidade (por exemplo, entalpias de combustão e de hidrogenação) revelaram que o ciclo-hexano é mais estável que o ciclopentano. Mais tarde foram obtidos anéis com mais de trinta átomos de carbono.

Onde estava, então, o erro de Baeyer?

Em admitir todos os anéis planos.

Em 1890, Sachse e Mohr admitiram que **os anéis de seis ou mais carbonos não seriam planos**. Hoje sabemos que o ciclo-hexano apresenta duas configurações extremas:

Configuração cadeira (mais estável)

Configuração barco (menos estável)

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

7 Estrutura do anel benzênico

Já fizemos os primeiros comentários sobre a estrutura do anel benzênico na página 76. Naquela ocasião, dissemos que Kekulé propôs, em 1865, a ideia de um anel hexagonal, com um par de estruturas em equilíbrio apresentando alternância das ligações duplas (ao lado).

Posteriormente, a ideia do equilíbrio acima foi substituída pela da **ressonância** dos elétrons em ligações π existentes nas ligações duplas. De fato, já dissemos (página 180) que a ligação dupla é formada por uma ligação σ, mais forte, e uma ligação π, mais fraca e mais "solta". No caso do anel benzênico, temos **três** ligações duplas (isto é, **três** pares de elétrons π), que podem se movimentar com muita facilidade, dando origem a várias formas eletrônicas. A figura a seguir nos dá uma ideia dessa movimentação ou "passeio" dos elétrons π ao longo do anel benzênico. Siga esse "passeio",

acompanhando as setas em vermelho e lembrando que ⬡ equivale a ⬡, uma vez que cada traço (—) representa um par de elétrons:

Formas de ressonância

Como vimos (página 181), o sinal indicativo da ressonância é a seta dupla (⟷). Entre as formas mostradas acima, a primeira e a última são predominantes por não apresentarem cargas. No entanto, nenhuma delas representa o benzeno satisfatoriamente. Na verdade, o benzeno é o **híbrido** (estado intermediário) dessa ressonância toda. É por esse motivo que se costuma dizer que, no anel benzênico, as **ligações duplas não estão localizadas** ou que são **duplas deslocalizadas**. Surge, assim, a melhor e mais simples representação do anel benzênico:

O fenômeno da ressonância foi proposto por Linus Pauling, em 1930, e pode ser assim definido:

> **Ressonância** é a existência de várias disposições dos elétrons dentro de uma dada molécula, sem que haja mudança na posição dos átomos.

Medidas feitas por raios X demonstram que o anel do benzeno é um **hexágono plano e regular**. No benzeno, todas as ligações têm o mesmo comprimento (1,39 Å), muito embora saibamos que o comprimento da ligação simples é 1,54 Å e o da dupla é 1,34 Å. Resultam, então, os modelos abaixo:

(Representações esquemáticas sem escala; cores-fantasia.)

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Esse anel é muito estável, isto é, resiste à ação de vários reagentes, como veremos mais adiante. Apenas como exemplo, diremos que:

- enquanto o ciclo-hexeno é facilmente transformado em ciclo-hexano:

$\Delta H_1 = -120$ kJ/mol

- o benzeno só irá reagir em condições drásticas:

$\Delta H_2 = -208$ kJ/mol

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O fato de só reagir em condições drásticas já demonstra que o **anel benzênico é estável**. Além disso, se a **única** ligação dupla do ciclo-hexeno libera 120 kJ/mol, as **três** ligações duplas do benzeno deveriam liberar 3 · 120 = 360 kJ/mol. No entanto, a liberação de apenas 208 kJ/mol também indica que o **nível energético do benzeno é menor** que o esperado, isto é, o **benzeno é mais estável que o esperado**. É o que podemos ver no gráfico seguinte. A diferença entre o nível **teórico** de 360 kJ/mol e o nível **real** de 208 kJ/mol, exigido pela hidrogenação das três ligações duplas do benzeno, isto é, 360 − 208 = 152 kJ/mol, é a chamada **energia de ressonância** do benzeno e reflete a grande estabilidade de seu anel.

ADILSON SECCO

A partir do que acabamos de explicar, entende-se por que o anel benzênico é considerado uma das estruturas mais simétricas, equilibradas e estáveis da Química orgânica.

Questões

Registre as respostas em seu caderno

Considerando os compostos benzeno e ciclobutano, pergunta-se:

a) Qual dos compostos apresenta carbonos com orientação espacial tetraédrica?

b) Qual dos compostos é mais estável?

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

17. (Mackenzie-SP)

Sobre o limoneno, substância obtida do óleo de limão, representada acima, é **incorreto** afirmar que:

a) Apresenta uma cadeia cíclica e ramificada.
b) Apresenta duas ligações covalentes pi.
c) Apresenta um carbono quaternário.
d) Sua fórmula molecular é $C_{10}H_{16}$.
e) Apresenta três carbonos terciários.

18. (UFRGS-RS) O hidrocarboneto que apresenta todos os átomos de carbono com orientação espacial tetraédrica é o:

a) $H_2C = CH_2$
b)
c) $HC \equiv CH$
d) $H_2C = C = CH_2$
e) $H_3C - CH(CH_3) - CH_3$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

8 Ponto de fusão, ponto de ebulição e estado físico dos compostos orgânicos

A temperatura de fusão, a de ebulição e o consequente estado físico de um composto orgânico dependem fundamentalmente de dois fatores:

- das **forças intermoleculares** existentes entre as moléculas do composto;
- do **tamanho** (e portanto da **massa molecular**) das moléculas do composto.

8.1. Os pontos de fusão e de ebulição dos compostos apolares

A série homóloga dos alcanos constitui um bom exemplo da família de compostos apolares. As moléculas dos alcanos são unidas umas às outras apenas pelas fracas forças de van der Waals. Devido à pequena atração entre suas moléculas, os alcanos apresentam pontos de fusão e de ebulição baixos. Como consequência, verifica-se que, nas condições ambientes, os alcanos são: do CH_4 ao C_4H_{10}, gasosos; do C_5H_{12} ao $C_{17}H_{36}$, líquidos; e do $C_{18}H_{38}$ em diante, sólidos.

Detalhando um pouco mais, podemos dizer que, nos alcanos de cadeia normal, as **temperaturas de ebulição** aumentam gradativamente, com o aumento de suas massas moleculares, conforme o gráfico abaixo:

Fonte: LIDE, D. R. *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. 85. ed. Boca Raton: CRC Press, 2005.

ADILSON SECCO

Veja que, na temperatura ambiente (20 °C), os quatro primeiros alcanos – metano, etano, propano e butano normais – encontram-se no estado gasoso. A partir do pentano (C_5H_{12} e P.E. = 36,1 °C), já encontramos alcanos no estado líquido, em pressão normal e temperatura ambiente (25 °C).

É interessante ainda notar que, dentre vários alcanos de igual massa molar, o ponto de ebulição, em geral, diminui com o aumento de ramificações; assim, por exemplo, o hexano normal (C_6H_{14}) ferve a 68,7 °C, enquanto o 2,2-dimetil-butano (C_6H_{14}) ferve a 49,7 °C. Isso acontece porque (veja figura abaixo), entre cadeias normais, há mais "pontos de atração" (pontos de aplicação das forças de van der Waals) que facilitam a atração recíproca, ao contrário do que acontece entre cadeias ramificadas.

Maior atração entre duas cadeias normais (maior ponto de ebulição).

Menor atração entre duas cadeias ramificadas (menor ponto de ebulição).

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

As **temperaturas de fusão** dos alcanos de cadeia normal também aumentam com o aumento do tamanho das moléculas, como podemos ver pelo gráfico a seguir:

ADILSON SECCO

Fonte: LIDE, D. R. *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. 85. ed. Boca Raton: CRC Press, 2005.

Pelo gráfico, vemos que estarão no estado sólido, em temperatura ambiente (25 °C), os alcanos acima de $C_{18}H_{38}$ (P.F. = 28,2 °C), que possuem moléculas bastante grandes. Devemos lembrar também que os alcanos, quando se solidificam, formam uma "massa branca", que é a conhecida **parafina** – trata-se de um **sólido** do tipo **amorfo**, isto é, não cristalino.

Finalizando, diremos que as variações dos pontos de fusão, de ebulição e os estados físicos das demais séries de hidrocarbonetos – alcenos, dienos, alcinos, ciclanos e aromáticos – acompanham as mesmas ideias que acabamos de apresentar para os alcanos.

TY MILFORD/AURORA/GETTY IMAGES

A parafina é muito utilizada pelos surfistas, pois aumenta a aderência de seus pés à prancha.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

8.2. Os pontos de fusão e de ebulição dos compostos polares

Um exemplo importante desse caso é o da série dos **haletos orgânicos**. Ao contrário dos hidrocarbonetos, que são apolares, as moléculas dos haletos são polares, devido à maior eletronegatividade dos halogênios em relação ao carbono. O "lado" da molécula onde está o halogênio terá, então, maior densidade eletrônica, como mostramos na figura ao lado. Isso é atestado pela medida do momento dipolar (μ) do $CH_3C\ell$, que é igual a 1,87 debyes.

ADILSON SECCO

Desse modo, as moléculas dos haletos **se atraem com maior intensidade** (é a força dipolo-dipolo já vista), o que influi consideravelmente nas propriedades físicas e químicas dos haletos. Assim, por exemplo, **seus pontos de fusão e de ebulição são mais altos** que o dos hidrocarbonetos correspondentes, como mostramos na tabela ao lado. Note também que o ponto de ebulição aumenta rapidamente com o aumento da massa atômica do halogênio. Em consequência, os haletos mais simples (CH_3F, $CH_3C\ell$, CH_3Br e $C_2H_5C\ell$) são gases; os de massa molecular intermediária são líquidos incolores e de cheiro agradável, e os de massa molecular elevada são sólidos.

Composto	P.E. (°C)
CH_4	−161,5
CH_3F	−78,2
$CH_3C\ell$	−23,8
CH_3Br	+4,5
CH_3I	+42,4

Evidentemente, o que acabamos de dizer sobre os haletos valerá também para outros compostos cujas moléculas sejam polares; por exemplo, os **aldeídos**, as **cetonas** e os **ácidos carboxílicos**.

8.3. Os pontos de fusão e de ebulição dos compostos com ligações de hidrogênio

Um bom exemplo deste caso é dado pela família dos **álcoois**. As moléculas dos álcoois unem-se entre si por meio de ligações de hidrogênio, que representam as forças mais intensas que podem unir as moléculas covalentes.

Em virtude das ligações de hidrogênio, os álcoois apresentam pontos de fusão e de ebulição bem superiores, por exemplo, aos dos alcanos correspondentes, como podemos ver pela tabela abaixo.

Álcool	Ponto de ebulição (°C) a 760 mmHg	Alcano	Ponto de ebulição (°C) a 760 mmHg
CH_3OH (metanol)	+64,60	CH_4 (metano)	−161,48
$CH_3 — CH_2OH$ (etanol)	+78,29	C_2H_6 (etano)	−88,60
$CH_3 — CH_2 — CH_2OH$ (propan-1-ol)	+97,20	C_3H_8 (propano)	−42,10
$CH_3 — (CH_2)_2 — CH_2OH$ (butan-1-ol)	+117,73	C_4H_{10} (butano)	−0,50
$CH_3(CH_2)_3CH_2OH$ (pentan-1-ol)	+137,98	C_5H_{12} (pentano)	+36,06
$CH_3(CH_2)_4CH_2OH$ (hexan-1-ol)	+157,60	C_6H_{14} (hexano)	+68,73

Fonte: LIDE, D. R. *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. 85. ed. Boca Raton: CRC Press, 2005.

Assim, os álcoois mais simples (CH_3OH, CH_3CH_2OH etc.) já são líquidos, em condições ambientes.

Fatos idênticos ocorrem com outras funções que apresentam ligações de hidrogênio entre suas moléculas. Um caso interessante é o que ocorre nos ácidos carboxílicos, que formam **ligações de hidrogênio duplas** entre duas moléculas, dando origem a um **dímero**, como esquematizamos abaixo.

Por esse motivo, os pontos de ebulição dos ácidos carboxílicos são ainda mais altos que os dos álcoois correspondentes, como podemos ver pela tabela abaixo.

Ácido	Ponto de ebulição (°C) a 760 mmHg	Álcool	Ponto de ebulição (°C) a 760 mmHg
H — COOH (metanoico)	101,00	CH_3OH (metanol)	64,60
CH_3 — COOH (etanoico)	117,90	$CH_3 — CH_2OH$ (etanol)	78,29
$CH_3 — CH_2$ — COOH (propanoico)	141,15	$CH_3 — CH_2 — CH_2OH$ (propan-1-ol)	97,20

Fonte: LIDE, D. R. *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. 85. ed. Boca Raton: CRC Press, 2005.

Para finalizar, veja no resumo abaixo como as forças intermoleculares influem nas constantes físicas de substâncias de massas molares relativamente próximas.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Questões

Registre as respostas em seu caderno

a) Considere o etano, o etanol, o ácido etanoico e o éter dimetílico.

- Qual é a fórmula estrutural de cada um dos compostos?
- Qual o tipo de interação intermolecular predominante em cada um dos compostos?
- Qual a polaridade dessas moléculas?
- Coloque os compostos em ordem crescente de ponto de ebulição.

b) Apesar de o pentano e o dimetil-propano apresentarem a mesma fórmula molecular e, consequentemente, a mesma massa molar, seus pontos de ebulição são bem diferentes. Um deles apresenta ponto de ebulição quatro vezes maior que o outro.

- Qual é a fórmula estrutural dos compostos citados?
- Qual o tipo de ligação intermolecular predominante nesses compostos?
- Qual dos compostos apresenta maior ponto de ebulição? Explique.

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

19. (Fatec-SP) O gráfico a seguir mostra a temperatura de ebulição à pressão de 1 atm em função da massa molar de alguns alcanos.

Com base nesse gráfico, pode-se prever que o ponto de ebulição do butano, à pressão de 1 atm, é, aproximadamente:

Massa molar (g/mol): C = 12; H = 1

a) 100 °C
b) 69 °C
c) 58 °C
d) 0 °C
e) −20 °C

20. (UFG-GO) O gráfico a seguir representa a variação dos pontos de fusão e ebulição de alcanos de cadeia linear, em função do número de átomos de carbono.

Analisando as informações presentes nesse gráfico, julgue as proposições a seguir, identificando as corretas.

(1) Os hidrocarbonetos saturados, que possuem de 7 a 12 átomos de carbono, são líquidos a 50 °C.
(2) O heptano e o nonano são sólidos a −100 °C.
(3) Os alcanos que possuem de 3 a 5 átomos de carbonos são gases a 0 °C.
(4) Com o decréscimo da massa molecular, aumenta-se o valor do ponto de ebulição.

21. (UFPI) A eficiência da "queima" da gasolina nos motores de automóveis está relacionada à volatilidade da mistura de hidrocarbonetos que compõem esse combustível. A volatilidade desses hidrocarbonetos, por sua vez, está relacionada com seus pontos de ebulição, e esses pontos de ebulição dependem de suas respectivas estruturas. Em relação aos pontos de ebulição dos hidrocarbonetos I, II e III, representados abaixo, qual a alternativa correta?

I

II

III

a) I tem maior ponto de ebulição que II e II maior que III.
b) I tem maior ponto de ebulição que III e III maior que II.
c) III tem maior ponto de ebulição que II e II maior I.
d) II tem maior ponto de ebulição que III e III maior que I.
e) II tem maior ponto de ebulição que I e I maior que III.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

22. Há alguns anos, anunciou-se que o Brasil atingiu a autossuficiência na produção do petróleo, uma importantíssima matéria-prima que é a base da moderna sociedade tecnológica. O petróleo é uma complexa mistura de compostos orgânicos, principalmente hidrocarbonetos. Para a sua utilização prática, essa mistura deve passar por um processo de separação denominado destilação fracionada, em que se discriminam frações com diferentes temperaturas de ebulição. O gráfico a seguir contém os dados dos pontos de ebulição de alcanos não ramificados, desde o metano até o decano.

ADILSON SECCO

Com base no gráfico acima, considere as seguintes afirmativas:

1. CH_4, C_2H_6, C_3H_8 e C_4H_{10} são gasosos à temperatura ambiente (cerca de 25 °C).
2. O aumento da temperatura de ebulição com o tamanho da molécula é o reflexo do aumento dipolar da molécula.
3. Quando se efetua a separação dos referidos alcanos por destilação fracionada, destilam-se inicialmente os que têm moléculas maiores.
4. Com o aumento do tamanho da molécula, a magnitude das interações de van der Waals aumenta, com o consequente aumento da temperatura de ebulição.

A alternativa correta é:

a) Somente as afirmativas 1 e 4 são verdadeiras.
b) Somente as afirmativas 1 e 3 são verdadeiras.
c) Somente as afirmativas 2, 3 e 4 são verdadeiras.
d) Somente as afirmativas 1 e 2 são verdadeiras.
e) Somente as afirmativas 2 e 3 são verdadeiras.

23. (UCSal-BA) Analise a seguinte tabela:

Substância líquida	Polaridade relativa da molécula	Ligações moleculares por pontes de hidrogênio
Éter etílico $C_2H_5—O—C_2H_5$	Baixa	Não tem
Acetona CH_3COCH_3	Alta	Não tem
n-propanol CH_3CH_2OH	Média	Tem

Com os dados acima pode-se prever que, sob mesma pressão, os pontos de ebulição dessas substâncias devem aumentar na sequência:

a) éter — álcool — cetona.
b) álcool — cetona — éter.
c) álcool — éter — cetona.
d) éter — cetona — álcool.
e) cetona — éter — álcool.

24. (UPF-RS) Os álcoois, em geral, apresentam ponto de ebulição **maior** do que os éteres correspondentes devido ao fato de:

a) serem pouco polares em relação aos éteres.
b) fazerem ligações de hidrogênio entre suas moléculas.
c) apresentarem, basicamente, interações dipolo induzido-dipolo induzido.
d) apresentarem sempre uma massa molecular maior.
e) apresentarem grupo funcional —COOH que é muito polar.

Exercícios complementares

Registre as respostas em seu caderno

25. (UPF-RS) Ao proceder a uma separação dos compostos abaixo por destilação fracionada, você espera que:

a) o composto C seja separado por último na destilação, porque apresenta menor ponto de ebulição.
b) o composto A seja o primeiro a ser destilado, já que deve ter ponto de ebulição menor do que B e C.
c) o composto C seja o primeiro a ser destilado, já que é o mais volátil de todos.
d) vai ser difícil separar os compostos A e B, porque devem ter ponto de ebulição muito similar.
e) o composto C seja destilado por último, uma vez que, por ser ramificado, tem maior ponto de ebulição.

26. (Cesgranrio-RJ) Cinco frascos de reagentes, numerados de 1 a 5, contêm líquidos de fórmula geral C_nH_{2n+2}, em que $5 \leqslant n \leqslant 9$. Sabe-se que os compostos apresentam cadeia normal e que os pontos de ebulição são dados a seguir.

Frascos	Pontos de ebulição (°C)
1	36
2	151
3	98
4	126
5	69

Com essas informações, pode-se afirmar que o líquido existente no frasco número 4 é o:

a) *n*-octano.
b) *n*-nonano.
c) *n*-heptano.
d) *n*-pentano.
e) *n*-hexano.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

27. (PUC-SP) Foram determinadas as temperaturas de fusão e de ebulição de alguns compostos aromáticos encontrados em um laboratório. Os dados obtidos e as estruturas das substâncias estudadas estão apresentados a seguir.

Amostras	*t* de fusão (°C)	*t* de ebulição (°C)
1	−95	110
2	−26	178
3	43	182
4	122	249

Ácido benzoico — Benzaldeído — Fenol — Tolueno

A análise das temperaturas de fusão e ebulição permite identificar as amostras 1, 2, 3 e 4 como sendo, respectivamente:

a) ácido benzoico, benzaldeído, fenol e tolueno.
b) fenol, ácido benzoico, tolueno e benzaldeído.
c) tolueno, benzaldeído, fenol e ácido benzoico.
d) benzaldeído, tolueno, ácido benzoico e fenol.
e) tolueno, benzaldeído, ácido benzoico e fenol.

28. (UCSal-BA) Benzeno, tolueno e p-xileno são hidrocarbonetos aromáticos que não reagem com água (mesmo aquecida) e insolúveis na mesma. São líquidos na temperatura e pressão ambientes:

	ponto de ebulição (°C) sob 1 atm
benzeno	80
tolueno	110
p-xileno	138

Amostras desses hidrocarbonetos foram adicionadas, aos poucos, a um béquer contendo água mantida aquecida a 90 °C sob pressão de 1 atm. Feito isto, deverá restar no béquer somente:

a) água e tolueno.
b) água, benzeno e tolueno.
c) água, p-xileno e tolueno.
d) água e p-xileno.
e) água e benzeno.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

9 Solubilidade dos compostos orgânicos

A **solubilidade** de um sólido em um líquido ou a **miscibilidade** entre líquidos depende principalmente das **forças intermoleculares** existentes. Daí a afirmação de que:

- substâncias **polares** se dissolvem em líquidos **polares**;
- substâncias **apolares** se dissolvem em líquidos **apolares**.

Ou, como se diz, de forma resumida, "semelhante dissolve semelhante".

Como consequência, verifica-se que a maioria das substâncias orgânicas (que são **apolares**) são pouco solúveis na água (que é um líquido **polar**). Pelo contrário, as substâncias orgânicas são, em geral, solúveis nos chamados **solventes orgânicos**, como os hidrocarbonetos, éteres, haletos etc., que são **apolares** (ou pouco polares).

Um caso interessante a considerar é o dos álcoois. Os monoálcoois mais simples são totalmente miscíveis com a água, como vemos na tabela seguinte.

Álcool	Solubilidade em água (gramas/100 g de água)
metanol	infinita
etanol	infinita
propan-1-ol	infinita
butan-1-ol	7,9
pentan-1-ol	2,2
hexan-1-ol	0,6

Por que ocorre essa variação?

A gasolina, que é um líquido apolar, não se mistura com a água, que é um líquido polar.

A solubilidade é devida, nesse caso, às ligações de hidrogênio formadas entre as moléculas do álcool e as da água:

No entanto, à medida que **aumenta** a cadeia carbônica, os monoálcoois saturados tornam-se líquidos viscosos e cada vez menos solúveis em água e mais solúveis em solventes orgânicos. Acima de $C_{12}H_{25}OH$, eles são sólidos semelhantes à parafina. Para compreender esses fatos, basta lembrar que um álcool é formado por um **grupo orgânico (*R*), apolar**, e pelo **grupo OH**, **altamente polar**.

Pentan-1-ol

(Representação esquemática sem escala; cores-fantasia.)

ADILSON SECCO

Tomando o etanol como exemplo, temos:

É o fato de o etanol e a gasolina se misturarem em quaisquer proporções que permite o funcionamento dos atuais **carros flex**.

Estendendo essas ideias para álcoois mais complexos, verifica-se que, dependendo do predomínio da cadeia carbônica ou dos grupos OH, prevalecerá o caráter apolar da cadeia carbônica ou o caráter polar dos grupos OH. Podemos comprovar esse fato, por exemplo, em poliálcoois de cadeia carbônica grande, que possuem muitas hidroxilas – esses compostos são polares e solúveis em água, como é o caso do açúcar chamado **glicose**.

Glicose

Uma **propriedade fisiológica** interessante a ser comentada é que o aumento do número de hidroxilas, numa cadeia carbônica, confere ao composto um sabor adocicado. Por exemplo, a glicerina – $C_3H_5(OH_3)$ – com três hidroxilas na molécula, é levemente adocicada; já o açúcar comum – $C_{12}H_{14}O_3(OH)_8$ –, com oito hidroxilas, é bastante doce.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

UM POUCO DE BIOQUÍMICA

O uso e o abuso de vitaminas

A questão da solubilidade é muito importante do ponto de vista biológico. Veja o caso das vitaminas. Elas são indispensáveis à nossa alimentação, pois regulam muitos processos vitais em nosso organismo. Quanto à solubilidade, as vitaminas se dividem em:

- **hidrossolúveis:** são as que se **dissolvem na água** e não se dissolvem em substâncias orgânicas, como, por exemplo, as "gorduras" existentes em nosso organismo. É o caso da vitamina C:

A presença de vários grupos OH garante que a vitamina C seja solúvel em água (hidrossolúvel).

- **lipossolúveis** (lipo = gordura): são as que **não se dissolvem na água**, mas se dissolvem nas "gorduras". É o caso da vitamina A:

A predominância da cadeia carbônica e o fato de ter apenas um grupo OH fazem com que a vitamina A não seja solúvel em água, mas solúvel em compostos gordurosos (lipossolúvel).

A vitamina C é encontrada em frutas cítricas, brócolis, tomate etc. A **falta** dessa vitamina pode ocasionar, por exemplo, o **escorbuto**, doença que vitimou muitos marinheiros na época das grandes navegações e dos descobrimentos (viagens de Vasco da Gama, Pedro Álvares Cabral etc.). O **excesso** de vitamina C parece não ser prejudicial ao organismo, pois, sendo ela **hidrossolúvel**, qualquer excesso será rapidamente eliminado pela urina.

A vitamina A é encontrada no fígado do boi, nos peixes e também na gema de ovos, no espinafre etc. A **falta** dessa vitamina pode causar a **cegueira noturna**, pele seca, baixa resistência a infecções etc. O **consumo excessivo** de vitamina A pode também ser prejudicial, pois, sendo lipossolúvel, ela é **retida** no organismo, principalmente no fígado, produzindo dores de cabeça, insônia, perda de cabelos etc.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

10 Densidade dos compostos orgânicos

A **densidade** das substâncias depende principalmente de suas **massas moleculares**. Os **alcanos**, por exemplo, são **menos densos** que a água. É o que constatamos ao verificar que a gasolina, o óleo *diesel*, a parafina etc. flutuam na água.

O gráfico ao lado nos mostra que a **densidade** dos alcanos de cadeia normal aumenta com o tamanho (e portanto com a massa) das moléculas, sem contudo ultrapassar a densidade da água (d = 1 g/mL).

Uma justificativa para a menor densidade dos alcanos em relação à água é a seguinte: os alcanos são formados por átomos mais leves – carbono (massa atômica 12 u) e hidrogênio (massa atômica 1 u) – e suas moléculas permanecem mais espaçadas (devido às fracas forças de van der Waals). A água, pelo contrário, é formada por um átomo mais pesado – oxigênio (massa atômica 16 u) –, além do hidrogênio, e suas moléculas permanecem menos espaçadas (devido às pontes de hidrogênio).

Essa diferença de densidades tem várias consequências na vida diária. Por exemplo:

- nos acidentes de vazamento de petróleo no mar, verifica-se que o petróleo flutua sobre a água, pois é **imiscível** e **menos denso** que a água do mar;
- os incêndios com gasolina, óleo *diesel* etc. **não devem ser combatidos com água**, pois, se fossem, as chamas iriam "correr" sobre a água, espalhando o fogo e agravando o incêndio.

Outros compostos orgânicos, formados apenas por carbono, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio, continuam sendo, em geral, menos densos que a água. Um caso interessante, porém, é o dos **haletos orgânicos**. As massas atômicas do flúor (19 u), cloro (35,5 u), bromo (80 u) e iodo (127 u) já são bem maiores que as do carbono e do hidrogênio. Como consequência, os haletos líquidos são mais densos que a água, como mostramos na figura abaixo; o $CC\ell_4$, por exemplo, tem densidade igual a 1,59 g/mL, e o CH_2I_2 é o líquido mais denso da Química orgânica (d = 3,32 g/mL).

DENIS FERREIRA NETTO/FUTURA PRESS

Vazamento de óleo causado pela explosão do navio chileno Vicuña atingiu as ilhas e praias do litoral paranaense, em novembro de 2004.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

(Representação esquemática sem escala; cores-fantasia.)

Viscosidade

Devemos ainda observar que as forças intermoleculares influem em outras propriedades físicas das substâncias. Assim, por exemplo, os **óleos lubrificantes** usados em automóveis (foto ao lado) e máquinas em geral devem ter **viscosidade** apropriada.

A viscosidade é a maior ou menor capacidade que um líquido tem de **fluir**, por exemplo, de um recipiente para outro. Isso é decorrência direta da maior ou menor atração existente entre as moléculas da substância. E note que os óleos lubrificantes são misturas de hidrocarbonetos, em que as forças intermoleculares são relativamente fracas.

MARCELO JUSTO/FOLHA IMAGEM

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Questões

Registre as respostas em seu caderno

a) Considere os compostos: propanona, água, benzeno e tetracloreto de carbono.

- Qual a polaridade de cada um desses compostos?
- Quais misturas formarão uma solução?
- Quais misturas serão heterogêneas?

b) Vitaminas que não se dissolvem bem em água, quando em excesso, acumulam-se na parte gordurosa do organismo, podendo causar a hipervitaminose.
Dadas as estruturas das vitaminas A e B_6:

Vitamina A

Uma das formas da vitamina B_6 (piridoxal)

- Qual das vitaminas apresentadas deve ser hidrossolúvel? Justifique.
- Qual das vitaminas pode causar hipervitaminose?

c) Considerando a mistura tetracloreto de carbono, água e óleo de cozinha, desenhe no seu caderno a mistura com três fases, indicando o composto presente em cada uma.

Atividade prática

Registre as respostas em seu caderno

ATENÇÃO

Jamais cheire ou coloque na boca substâncias utilizadas em experimentos.

Ação da água sobre embalagens

Material

- Pedaços de papel (não encerrado: guardanapo, folha de caderno, saco de papel de padaria etc.) de 10 cm × 10 cm
- Pedaços de papel encerado de 10 cm × 10 cm
- Pedaços de saco plástico (sacola plástica) de 10 cm × 10 cm

Procedimento

- Coloque os diferentes pedaços de papel e de saco plástico lado a lado.
- Pingue algumas gotas de água sobre cada um deles e espere alguns minutos. Observe quais materiais absorvem água e se houve diferença na velocidade de absorção.
- Construa uma tabela para anotar os resultados.

Fonte: CURI, D. Polímeros e interações intermoleculares. *Química Nova na Escola*, n. 23, maio 2006, p. 19-22.

Perguntas

a) Comparando-se as estruturas da celulose, do polietileno (substância presente nas sacolas e sacos plásticos) e da água, explique por que o papel é capaz de absorver água, mas o plástico, não. (Pense em termos de interações entre os materiais e a molécula da água.)

Polietileno

Celulose

b) Sabendo-se que ceras são formadas por hidrocarbonetos, por que o papel encerado não absorve água?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

29. Qual dos compostos abaixo é solúvel em água?

a) pentano
b) éter comum
c) metanol
d) tetracloreto de carbono
e) benzeno

30. (Ufes) O etanol se mistura com a água em qualquer proporção. Outra característica do etanol é que ele apresenta uma parte apolar em sua molécula e, por isso, também se dissolve em solventes apolares.

Dados os álcoois:

I. 2-butanol; II. n-hexanol; III. n-propanol; IV. n-octanol, a opção que representa corretamente a ordem crescente de solubilidade em água dos álcoois acima é:

a) II, IV, III, I
b) III, I, II, IV
c) III, II, I, IV
d) IV, II, I, III
e) IV, II, III, I

31. (PUC-SP) Sobre os compostos butano, 1-butanol e ácido butanoico foram feitas as seguintes afirmações:

I. Suas fórmulas moleculares são respectivamente C_4H_{10}, $C_4H_{10}O$ e $C_4H_8O_2$.
II. A solubilidade em água do butano é maior do que a do 1-butanol.
III. O ponto de ebulição do ácido butanoico é maior do que o do 1-butanol.
IV. O ponto de fusão do butano é maior do que o ácido butanoico.

Estão **corretas** as afirmações:

a) I, III e IV.
b) II e IV.
c) I e III.
d) III e IV.
e) I e II.

32. (UFRRJ) Um dos critérios utilizados pelos químicos para classificar as substâncias leva em consideração, principalmente, o tipo de elemento e o número de átomos desse elemento. Muitas propriedades são decorrentes dessas combinações. A tabela abaixo contém propriedades de algumas substâncias.

Substâncias	P.F. (°C)	P.E. (°C)	d (g/mL)	Solubilidade em H_2O
Glicerina	20	290	1,26	Muito solúvel
Eugenol	−7,5	253	1,07	Insolúvel
Etanodiol	−144	35	0,84	Pouco solúvel

a) Em que estado físico se encontra a glicerina num dia muito frio, com a temperatura próxima a 0 °C?
b) Uma mistura de eugenol e glicerina pode ser separada por adição de água? Justifique.

33. (Ulbra-RS) Analise as afirmações abaixo, em relação à mistura de benzeno, tolueno e orto-xileno (1,2-dimetilbenzeno):

I. São separados por um processo de destilação.
II. O benzeno possui ponto de ebulição maior que o tolueno.
III. A ordem crescente de ponto de ebulição é benzeno < tolueno < orto-xileno.
IV. O orto-xileno possui ponto de ebulição menor que o tolueno.
V. Formam uma mistura heterogênea.

São corretas as afirmações:

a) I e II.
b) I e III.
c) I e IV.
d) I, II e IV.
e) V e IV.

34. (Fatec-SP) Há três frascos (**A**, **B** e **C**) com sólidos brancos à temperatura ambiente. Por descuido, os frascos não estão identificados, encontrando-se ao lado deles três etiquetas: em uma está escrito naftaleno, em outra, ácido benzoico e na terceira, glicose.

Para tentar identificar os conteúdos dos frascos algumas propriedades foram determinadas, e os resultados encontram-se na tabela a seguir.

Substância contida no frasco	Ponto de fusão (°C)	Ponto de ebulição (°C)	Solubilidade em água a 20°C
A	122	250	pouco solúvel
B	80	218	praticamente insolúvel
C	146	decompõe	solúvel

Sabendo-se que o naftaleno é um hidrocarboneto, o ácido benzoico é um ácido orgânico e a glicose é um açúcar, os frascos **A**, **B** e **C** contêm, respectivamente:

a) ácido benzoico, naftaleno e glicose.
b) ácido benzoico, glicose e naftaleno.
c) naftaleno, ácido benzoico e glicose.
d) glicose, naftaleno e ácido benzoico.
e) glicose, ácido benzoico e naftaleno.

35. (UFRGS-RS) Em vazamentos ocorridos em refinarias de petróleo, que extravasam para rios, lagos e oceanos, verifica-se a utilização de barreiras de contenção para evitar a dispersão do óleo. Nesses casos, observa-se a formação de um sistema heterogêneo onde o petróleo fica na superfície desses recursos hídricos. Sobre o sistema acima descrito é correto afirmar que a água e o petróleo não se misturam porque:

a) se apresentam em estados físicos diferentes.
b) apresentam densidades diferentes, e o petróleo fica na superfície devido à sua maior densidade.
c) apresentam moléculas com polaridades diferentes, e o petróleo fica na superfície devido à sua menor densidade.
d) a viscosidade da água é maior que a do petróleo.
e) a elevada volatilidade do petróleo faz com que este fique na superfície.

36. (UFG-GO) Quando uma pessoa inala benzeno, seu organismo dispara um mecanismo de defesa que o transforma no catecol, uma substância hidrossolúvel, como representado, a seguir:

a) Por que o catecol é mais solúvel em água que o benzeno?
b) Explique por que, à temperatura ambiente e a 1 atm, o oxigênio é gás, o benzeno é líquido e o catecol é sólido.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exercícios complementares

Registre as respostas em seu caderno

37. (Vunesp) Têm-se os seguintes pares de substâncias:

I. n-octano e tetracloreto de carbono;
II. água e benzeno;
III. cloreto de hidrogênio gasoso e água.

a) Quais desses três pares formam misturas homogêneas?
b) Explique, em termos de interações entre moléculas, por que os pares indicados formam misturas homogêneas.

38. (UFC-CE) A atividade bactericida de determinados compostos fenólicos deve-se, em parte, à atuação desses compostos como detergentes, que solubilizam e destroem a membrana celular fosfolipídica das bactérias. Quanto menor for a solubilidade dos compostos fenólicos em água, maior será a ação antisséptica. Com relação às solubilidades dos compostos fenólicos I, II e III, em água, identifique a opção correta.

a) I é mais solúvel que II e II é mais solúvel que III.
b) I é menos solúvel que II e II é menos solúvel que III.
c) II é menos solúvel que I e I é menos solúvel que III.
d) II é mais solúvel que I e I é mais solúvel que III.
e) I, II e III têm, individualmente, a mesma solubilidade.

39. (UFSC) Examine as estruturas moleculares do álcool benzílico e do etilbenzeno abaixo representadas.

Quais a(s) proposição(ões) **correta(s)**?

(01) O ponto de ebulição do etilbenzeno deve ser menor que o do álcool benzílico.
(02) O álcool benzílico deve ser menos solúvel em água do que o etilbenzeno, ambos à mesma temperatura.
(04) O álcool benzílico deve ter uma pressão de vapor maior que aquela do etilbenzeno, ambos sob as mesmas condições.
(08) As interações intermoleculares existentes no álcool benzílico são do tipo dipolo permanente-dipolo permanente.
(16) As interações intermoleculares existentes no etil-benzeno são, basicamente, do tipo dipolo induzido-dipolo induzido.

40. (UFRJ) A solubilidade dos compostos é um conhecimento muito importante em química.

Sabe-se que, de forma geral, substâncias polares dissolvem substâncias polares e substâncias apolares dissolvem substâncias apolares.

Em um laboratório, massas iguais de tetracloreto de carbono, água e etanol foram colocadas em três recipientes idênticos, conforme se vê na figura a seguir.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

a) Mostre, por meio de desenhos semelhantes ao apresentado, como fica a mistura de I e II, identificando cada substância, e como fica a mistura de II e III.
b) A graxa lubrificante utilizada em automóveis é uma mistura de hidrocarbonetos pesados derivados de petróleo com aditivos diversos.
Indique qual, dentre os três solventes apresentados, é o mais adequado para remover uma mancha de graxa em uma camisa. Justifique sua resposta.

41. (Fuvest-SP) Alguns alimentos são enriquecidos pela adição de vitaminas, que podem ser solúveis em gordura ou em água. As vitaminas solúveis em gordura possuem uma estrutura molecular com poucos átomos de oxigênio, semelhante à de um hidrocarboneto de longa cadeia, predominando o caráter apolar. Já as vitaminas solúveis em água têm estrutura com alta proporção de átomos eletronegativos, como o oxigênio e o nitrogênio, que promovem forte interação com a água. Abaixo estão representadas quatro vitaminas:

Dentre elas, é adequado adicionar, respectivamente, a sucos de frutas puros e a margarinas, as seguintes:

a) I e IV.
b) II e III.
c) III e IV.
d) III e I.
e) IV e II.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

LEITURA

A ARQUITETURA DA NATUREZA E A ARQUITETURA DAS MOLÉCULAS

A arquitetura espacial dos compostos orgânicos, especialmente dos existentes nos seres vivos, costuma ser bastante complexa (e às vezes até bonita).

Há exemplos relativamente simples:

KITCH BAIN/AGE/AGB

Compostos com um anel (monocíclicos), como o limoneno

Compostos com dois anéis (bicíclicos), como a cânfora

LUCIANO BANEZA/CID

O limoneno é um hidrocarboneto cíclico, insaturado e volátil, existente nas cascas da laranja e do limão, e responsável pelo odor característico dessas frutas.

A cânfora é muito utilizada para o tratamento de contusões musculares.

Há exemplos mais complexos:

Colesterol
(causador das obstruções das coronárias)

Ácido cólico
(um dos ácidos biliares produzidos pelo fígado)

E alguns exemplos da natureza são ainda mais complexos:

Clorofila

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A **clorofila** é o principal composto que realiza a **síntese clorofiliana**, por meio da qual as plantas fixam o CO_2 e liberam o O_2 para o ar. A síntese da clorofila a partir de compostos orgânicos relativamente simples foi realizada em 1960 por R. B. Woodward (1917-1979), que recebeu o Prêmio Nobel de Química em 1965, por suas contribuições na síntese de compostos orgânicos.

Os cientistas já criaram estruturas até curiosas, por exemplo:

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Cubano (C_8H_8) — um cubo com um grupo CH em cada vértice.

Dodecaedrano ($C_{20}H_{20}$) — um dodecaedro com um grupo CH em cada vértice.

Nanokid ($C_{39}H_{42}O_2$) — estrutura representando o corpo humano.

Com a evolução crescente da **nanotecnologia**, os cientistas estão criando estruturas cada vez mais "sob medida". Isso é feito por vários caminhos. Um deles consiste em juntar átomo a átomo até criar estruturas especiais, como engrenagens, rotores etc. em escala atômica.

NORBERT SPEICHER/ALAMY/OTHER IMAGES

Modelo molecular de um nanotubo de carbono, que pode conduzir eletricidade.

ALFRED PASIEKA/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

Modelo molecular computadorizado de nanoengrenagem.

(Representações esquemáticas sem escala; cores-fantasia.)

Outra aplicação importante é a produção de nanopartículas "inteligentes" que transportam medicamentos até pontos específicos de um organismo doente, e assim por diante.

Outro caminho interessante que vem sendo tentado em nanotecnologia é o da produção de moléculas de estruturas apropriadas capazes de "reconhecer" e "atrair" seletivamente outras moléculas de modo a formar estruturas cada vez maiores (este é o campo da chamada Química Supramolecular). O sonho é "imitar" reações químicas que se processam nos próprios seres vivos.

Por fim, é importante relembrar que as aplicações da nanotecnologia crescem dia a dia: cosméticos, protetores solares, tintas, películas antirrefletivas para vidros, tecidos à prova de sujeira.

MEDI-MATION/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

Nanopartículas como a desta representação artística poderão ser utilizadas no transporte de medicamentos até pontos específicos do corpo humano durante um tratamento médico. (Representação esquemática sem escala; cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Questões sobre a leitura

Registre as respostas em seu caderno

42. (UFG-GO) Superfícies de vidro podem ser modificadas pelo tratamento com clorotrimetilsilano, como representado a seguir:

Em qual superfície, se utilizada como janelas, a água escoaria mais rapidamente? Justifique.

43. (UFMG) Observe as formas de uma gota de água e de uma gota de dodecano, $CH_3(CH_2)_{10}CH_3$, colocadas sobre uma superfície de polietileno, um polímero de fórmula $\text{-}(CH_2CH_2)\text{-}_n$, mostradas nesta figura:

ADILSON SECCO

a) Considerando as interações intermoleculares entre a água e a superfície do polietileno e as interações das moléculas de água entre si, **justifique** o fato de a gota de água apresentar uma pequena área de contato com o polietileno.
b) Considerando as interações intermoleculares entre o dodecano e a superfície do polietileno e as interações das moléculas de dodecano entre si, **justifique** o fato de a gota de dodecano apresentar uma grande área de contato com o polietileno.
c) Na figura abaixo, está representada uma gota de água depositada sobre uma superfície de vidro limpo:

ADILSON SECCO

Indique se, nesse caso, a superfície do vidro apresenta características polares ou apolares.

44. (UFRJ) Os corantes utilizados para tingir tecidos possuem em suas estruturas um grupamento denominado cromóforo (representado em lilás nas figuras abaixo), ao qual, por sua vez, estão ligados diversos grupos funcionais ($-OH$, $-NH_2$, $-SO_3^-$ etc.), denominados auxocromos. Esses grupamentos, além de influenciar na cor, são responsáveis pela fixação do corante no tecido, através de interações químicas entre as fibras e o próprio corante. No caso do algodão, tais interações se dão com as hidroxilas livres da celulose e podem ser de dois tipos: no primeiro, mais barato, o corante é simplesmente adicionado ao tecido (Figura 1) e, no segundo, mais caro, é provocada uma reação entre a fibra e o corante (Figura 2).

Figura 1

Figura 2

a) Quais os tipos de ligações químicas que ocorrem entre as fibras e os corantes em cada caso?
b) Explique por que os tecidos de algodão tingidos pelo segundo processo (Figura 2) desbotam menos quando são usados, lavados, expostos ao sol, do que os tingidos pelo primeiro processo.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO

7 Isomeria em Química orgânica

Na Química orgânica, a **versatilidade** estrutural das cadeias carbônicas e seus diferentes **arranjos espaciais** propiciam uma infinidade de compostos com propriedades específicas.

TÓPICOS DO CAPÍTULO

INTRODUÇÃO

1ª PARTE: ISOMERIA PLANA (OU CONSTITUCIONAL)

1 ISOMERIA DE CADEIA (OU DE NÚCLEO)

2 ISOMERIA DE POSIÇÃO

3 ISOMERIA DE COMPENSAÇÃO (OU METAMERIA)

4 ISOMERIA DE FUNÇÃO (OU FUNCIONAL)

2ª PARTE: ISOMERIA ESPACIAL (ESTEREOQUÍMICA)

1 ISOMERIA CIS–TRANS (OU GEOMÉTRICA)

2 ISOMERIA ÓPTICA

LEITURA: *A NATUREZA É QUIRAL*

Questão de ordem

*Um dos jogos linguísticos mais antigos é o dos anagramas, que consiste em usar as **mesmas letras** de uma palavra ou frase para formar **outra palavra** ou frase.*

Algumas sequências de letras formam anagramas com uma simples inversão, revelando outro significado quando lidas de trás para frente.

ROMERO CAVALCANTI

ROMERO CAVALCANTI

Essas quatro letras na camiseta da menina permitem 24 **combinações**, algumas com sentido, como ROMA, AMOR, RAMO e MORA, e outras sem sentido, como OAMR ou MRAO, por exemplo.

Anagramas químicos

Assim como as mesmas letras podem formar vários anagramas (palavras cujo significado varia conforme a ordem das letras), os **mesmos átomos** podem formar **diferentes estruturas** moleculares, com propriedades distintas, de acordo com o arranjo dos elementos – fenômeno chamado **isomeria**.

REFLETINDO

O ponto de ebulição é uma propriedade específica de cada substância. Ao analisar duas substâncias diferentes no laboratório, um químico determinou que seus pontos de ebulição são 68,7 °C e 49,7 °C. No entanto, ao determinar suas fórmulas moleculares, descobriu que as duas substâncias possuem fórmula C_6H_{14}. Explique como esse fato é possível.

Introdução

Na Química orgânica é muito comum que os mesmos átomos se agrupem de formas diferentes, produzindo estruturas moleculares distintas e, consequentemente, substâncias também distintas. Por exemplo: os 20 átomos de carbono da fórmula $C_{20}H_{42}$ apresentam 366.319 "arrumações" diferentes. Esse fenômeno, denominado **isomeria**, é muito frequente e importante na Química orgânica e, mais ainda, na Bioquímica, uma vez que enzimas e hormônios vegetais e animais, em geral, só têm atividade biológica quando seus átomos estão arrumados em uma estrutura bem definida. Uma consequência direta desse fato é que certos medicamentos só beneficiam nosso organismo se suas moléculas têm também uma arrumação bem definida de seus átomos.

No capítulo anterior, estudamos as estruturas espaciais dos compostos orgânicos e vimos como a estrutura influi em várias propriedades desses compostos. Neste capítulo vamos estudar os vários casos de **isomeria**, aprofundando assim nosso conhecimento sobre as relações entre a estrutura e as propriedades dos compostos orgânicos.

Vamos considerar, de início, um exemplo simples. Existem duas substâncias, que chamaremos de ***A*** e ***B***, com a mesma fórmula molecular (C_2H_6O):

- a **substância *A*** é um líquido incolor, que ferve a 78,5 °C e apresenta uma certa reatividade química;
- a **substância *B*** é um gás incolor, que se liquefaz somente a 23,6 °C abaixo de zero e tem reatividade química muito baixa.

ADILSON SECCO

Como são possíveis diferenças tão grandes, se *A* e *B* têm a mesma fórmula C_2H_6O? Simplesmente porque esses átomos estão arrumados diferentemente:

- a **substância *A*** é um álcool: $CH_3 — CH_2 — OH$;
- a **substância *B*** é um éter: $CH_3 — O — CH_3$.

Dizemos que ***A*** e ***B*** são **isômeros** e chamamos esse fenômeno de **isomeria**.

> **Isômeros** são compostos de mesma fórmula molecular que apresentam propriedades diferentes devido a fórmulas estruturais diferentes.

A palavra **isômero** vem do grego – *isos*, igual; *mero*, parte. O fenômeno da isomeria, na Química, é semelhante à formação de anagramas, em que a simples permutação de letras dá origem a palavras diferentes, por exemplo, AMOR e ROMA.

A isomeria é um fenômeno muito comum na Química orgânica. Exemplos:

- com a fórmula C_5H_{12} existem 3 isômeros;

$$CH_3 — CH_2 — CH_2 — CH_2 — CH_3 \qquad CH_3 — \underset{\underset{CH_3}{|}}{CH} — CH_2 — CH_3 \qquad CH_3 — \overset{\overset{CH_3}{|}}{\underset{\underset{CH_3}{|}}{C}} — CH_3$$

- com a fórmula $C_{10}H_{22}$ existem 75 isômeros;
- com a fórmula $C_{20}H_{42}$ existem 366.319 isômeros;
- com a fórmula $C_{40}H_{82}$ são possíveis 62.491.178.805.831 isômeros.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O próprio "nascimento" da Química orgânica ocorreu por meio da isomeria, pois a síntese de Wöhler, que citamos à página 20, é uma **reação de isomerização**:

Na indústria petroquímica, por exemplo, as reações de isomerização, que transformam alcanos normais em ramificados, são empregadas para melhorar a qualidade das gasolinas:

Atualmente, a indústria farmacêutica produz uma variedade cada vez maior de medicamentos. Em muitos casos, moléculas com geometria molecular bem definida são necessárias para que sejam eficazes no combate a certas enfermidades, como vamos detalhar no final deste capítulo.

De modo amplo, a isomeria pode ser dividida em:

- **isomeria plana** ou **constitucional**, que depende da localização dos átomos na molécula e pode ser explicada por **fórmulas estruturais planas**;
- **isomeria espacial** ou **estereoisomeria** (do grego *stereos*, espacial), que depende da orientação dos átomos no espaço e só pode ser explicada por **fórmulas estruturais espaciais**.

1ª PARTE: ISOMERIA PLANA (OU CONSTITUCIONAL)

Isomeria plana (ou **constitucional**) ocorre quando a diferença entre os isômeros pode ser explicada por fórmulas estruturais planas.

Os casos mais comuns de isomeria plana são:

- isomeria de cadeia (ou de núcleo);
- isomeria de posição;
- isomeria de compensação (ou metameria);
- isomeria de função (ou funcional);
- tautomeria.

1 Isomeria de cadeia (ou de núcleo)

Isomeria de cadeia (ou **de núcleo**) é aquela em que os isômeros têm cadeias (ou núcleos) diferentes.

1º exemplo: C_4H_{10}

2º exemplo: C_5H_{10}

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

3º exemplo: $C_4H_8O_2$

Esses isômeros diferem entre si pelo fato de a cadeia (ou núcleo) aumentar ou diminuir, havendo uma compensação na quantidade e tamanho das ramificações (veja o 1º e o 3º exemplos). Nesse caso, pode ocorrer também a isomeria entre um composto acíclico e um cíclico, como no 2º exemplo.

2 Isomeria de posição

Isomeria de posição ocorre quando os isômeros têm a mesma cadeia carbônica, mas diferem pela **posição** de ramificações ou de ligações duplas ou triplas.

1º exemplo: C_3H_8O

2º exemplo: C_4H_8

3º exemplo: $C_4H_6C\ell_2$

Nesse tipo de isomeria, os isômeros também pertencem sempre à mesma função química.

3 Isomeria de compensação (ou metameria)

Isomeria de compensação (ou **metameria**) ocorre quando os isômeros diferem pela posição de um heteroátomo na cadeia carbônica.

1º exemplo: $C_4H_{10}O$

Veja que o heteroátomo (no caso, o oxigênio) mudou da posição 2 para a posição 3. Disso sempre resulta um encurtamento da cadeia carbônica de um lado do heteroátomo, com o consequente alongamento da cadeia do lado oposto. Veja também que, nesse caso, os dois isômeros pertencem à mesma função (função éter), sendo chamados de **metâmeros** (do grego: *meta*, mudança).

2º exemplo: $C_4H_{11}N$

Nesse caso, a isomeria decorre da mudança de posição do heteroátomo nitrogênio.

3º exemplo: $C_3H_6O_2$

Nesse exemplo é mais fácil enxergar o alongamento e encurtamento da cadeia carbônica, antes e depois do grupo funcional

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

4 Isomeria de função (ou funcional)

Isomeria de função (ou **funcional**) ocorre quando os isômeros pertencem a funções químicas diferentes.

Os casos mais comuns de isomeria de função ocorrem entre:

- álcoois e éteres;
- álcoois aromáticos, éteres aromáticos e fenóis;
- aldeídos e cetonas;
- ácidos carboxílicos e ésteres.

Vamos exemplificar cada um desses casos:

1º exemplo: C_2H_6O

Álcool — Éter

2º exemplo: C_7H_8O

Álcool aromático — Éter aromático — Fenol

3º exemplo: C_3H_6O

Aldeído — Cetona

4º exemplo: $C_3H_6O_2$

Ácido — Éster

4.1. Tautomeria

Tautomeria é o caso particular de isomeria funcional em que os dois isômeros ficam em equilíbrio químico dinâmico.

Os casos mais comuns de tautomeria ocorrem entre:

- aldeído e enol;
- cetona e enol.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Consideremos como 1º exemplo o caso do etanal ou aldeído acético ($CH_3 — CHO$):

Equilíbrio aldo-enólico

Como 2º exemplo citamos o caso de equilíbrio entre uma cetona e um enol que, na verdade, é idêntico ao caso anterior:

Equilíbrio ceto-enólico

Questões

Registre as respostas em seu caderno

a) Dois frascos diferentes, *A* e *B*, contêm, separadamente e não necessariamente nesta ordem, butan-1-ol e éter dietílico. O ponto de ebulição de *B* é 118 °C e o de *A* é 35 °C.

- Qual a fórmula molecular dos compostos citados?
- Quais as fórmulas estruturais desses compostos?
- Qual dos compostos está presente no frasco *A*? Justifique.
- Os dois compostos são isômeros? Justifique.
- Qual o tipo de isomeria apresentada por esses compostos?

b) Considere os seguintes compostos: butano, metil-propano, butan-1-ol, butan-2-ol, dietil-éter, metil-propil-éter, etanal e etenol.

Indique quais apresentam isomeria de cadeia; posição; metameria; função; tautomeria.

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

1. (PUC-Minas) Analise os compostos a seguir.

1. CH_3COCH_3
2. CH_3COOCH_3
3. CH_3CH_2CHO
4. CH_3CH_2COOH
5. $CH_3CH_2CH_2OH$
6. $CH_3OCH_2CH_3$

São isômeros os pares:

a) 1 e 5; 2 e 4.
b) 2 e 4; 3 e 5.
c) 1 e 3; 2 e 4.
d) 3 e 6; 1 e 5.
e) 2 e 4; 3 e 6.

2. (PUC-RS) Considere as fórmulas das seguintes substâncias:

I. $CH_3 — CH_2 — CH_3$

II. $CH_3 — CH(CH_3) — CH_3$

III. $CH_3 — CH_2 — CH = CH_2$

IV. $CH_3 — CH_2 — CH_2(CH_3)$

V. $CH_3 — CH_2 — CH(CH_3) — CH_3$

Pela análise, pode-se afirmar que a fórmula correspondente a um isômero do butano é:

a) I.
b) II.
c) III.
d) IV.
e) V.

3. (PUC-RJ) A 2-pentanona é isômera do(a):

a) 2-metil-butanoico.
b) 2,2-dimetil-butanol.
c) 3-metil-2-butanona.
d) 2-metil-propanol.
e) 2-metil-2-butanona.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

4. (Mackenzie-SP) Entre os compostos

$H_3C — CH_2 — CH_2 — CH_2 — NH_2$ e

$H_3C — CH_2 — CH(NH_2) — CH_3$,

ocorre isomeria de:

a) metameria.
b) posição.
c) função.
d) cadeia.
e) tautomeria.

5. (UFMA) Os seguintes compostos

apresentam:

a) isomeria de compensação.
b) isomeria de cadeia.
c) isomeria funcional.
d) isomeria de posição.
e) tautomeria.

6. (Fesp-PE) Num frasco contendo acetona, temos moléculas de propanona e de 2-propenol em equilíbrio, como:

Trata-se, pois, de um fenômeno de:

a) isomeria de compensação ou metameria.
b) tautomeria.
c) isomeria geométrica.
d) isomeria óptica.
e) isomeria de posição.

7. (Mackenzie-SP) As substâncias a seguir formuladas são todas isômeros planos do ácido butanoico

$(H_3C — CH_2 — CH_2 — C(=O)OH)$, **exceto**:

a) $H_3C — CH_2 — CH_2 — C(=O)H$

b) $H_3C — CH_2 — C(=O)O — CH_3$

c) $H_3C — CH(CH_3) — C(=O)OH$

d) $H_3C — C(=O)O — CH_2 — CH_3$

e) $HC(=O)O — CH_2 — CH_2 — CH_3$

8. (UFSM-RS) O ácido butírico (ácido butanoico) é um ácido carboxílico encontrado em queijo velho, manteiga rançosa e transpiração humana. Um dos seus isômeros funcionais é utilizado na indústria de alimentos, em mistura ou sozinho, para dar sabor de maçã.

Qual dos compostos a seguir, quando colocado na gelatina, tem esse sabor?

a) $H_3C — COOC_2H_5$
b) $H_3C — CH_2 — CH_2 — COOC_2H_5$
c) $H_3C — C(=O) — C(=O) — CH_3$
d) $H_3C — (CH_2)_2 — COOH$
e)

9. (Uerj) Na tentativa de conter o tráfico de drogas, a Polícia Federal passou a controlar a aquisição de solventes com elevado grau de pureza, como o éter (etóxi-etano) e a acetona (propanona). Hoje, mesmo as universidades só adquirem esses produtos com a devida autorização daquele órgão. Qual a alternativa que apresenta, respectivamente, isômeros funcionais dessas substâncias?

a) butanal e propanal.
b) 1-butanol e propanal.
c) butanal e 1-propanol.
d) 1-butanol e 1-propanol.

10. (UFRGS-RS-Modificado) A creolina, usada como desinfetante, contém cresóis, que são hidróxi-metil-benzenos de fórmula molecular C_7H_8O. Esses cresóis podem apresentar isomeria:

a) de função.
b) tautomeria.
c) de cadeia.
d) de posição.
e) metameria.

11. (Cesgranrio-RJ) A delicadeza de muitos sabores e fragrâncias naturais é devida a misturas complexas. Assim, por exemplo, mais de 100 substâncias contribuem para o sabor dos morangos frescos. Os aromatizantes artificiais de baixo preço, tais como os usados em balas, consistem em um só composto ou são, no máximo, misturas muito simples. O odor e o sabor do **etanoato de isopentila** são semelhantes aos da banana, e os do **propionato de isobutila**, aos do rum.

Essas duas substâncias representam isômeros:

a) geométricos.
b) de compensação.
c) de posição.
d) de função.
e) de cadeia.

12. (Mackenzie-SP) O número máximo de isômeros de fórmula molecular C_5H_{12} é:

a) 6
b) 5
c) 4
d) 3
e) 2

13. (FMTM-MG) O número total de isômeros com fórmula molecular $C_3H_6Br_2$ é igual a:

a) 2
b) 3
c) 4
d) 5
e) 6

14. (PUC-RJ) Dada a fórmula molecular C_5H_{10}, o número de isômeros planos contendo o anel ciclopropano é:

a) 2
b) 3
c) 4
d) 5
e) 6

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

15. (UMC-SP) MEK é a sigla usual da metiletilcetona, solvente muito usado na fabricação de tintas. Dê para o MEK:

a) a fórmula estrutural plana e o nome oficial.
b) a fórmula estrutural plana de um isômero de função com cadeia acíclica, saturada e ramificada.

16. (Fatec-SP) O álcool n-butílico (C_4H_9OH) e o éter dietílico ($C_2H_5OC_2H_5$) são duas substâncias isômeras. Nas condições ambientes, ambas são líquidos incolores.

Qual o procedimento que permite diferenciar uma amostra de álcool n-butílico de uma outra, de éter dietílico?

a) Determinar a massa molar das amostras: a massa molar do álcool n-butílico é maior que a do éter dietílico.
b) Determinar o ponto de ebulição das amostras: o ponto de ebulição do álcool n-butílico é maior que o do éter dietílico.
c) Determinar a fórmula mínima das amostras: a fórmula mínima do álcool n-butílico é $C_4H_{10}O$, e a do éter dietílico é C_2H_5O.
d) Misturar cloreto de sódio (NaCℓ) às amostras: o NaCℓ se dissolve bem no álcool n-butílico, mas não no éter dietílico.
e) Queimar as amostras: a combustão do álcool n-butílico produz CO_2 e H_2O, e a do éter dietílico produz C_2H_5O e O_3.

Exercícios complementares

Registre as respostas em seu caderno

17. (Ufes) Associe os pares de compostos da coluna à esquerda com o tipo de isomeria existente entre eles, na coluna à direita.

I. $CH_3 — S — CH_2 — CH_2 — CH_3$ e $CH_3 — CH_2 — S — CH_2 — CH_3$

II. e $CH_3 — CH_2 — CH_2 — C \equiv CH$

III. e

IV. e

1. Isomeria de função
2. Isomeria de compensação
3. Isomeria de cadeia
4. Isomeria de posição

Qual a alternativa que apresenta uma associação correta?

a) I – 3; II – 2; III – 4; IV – 1.
b) I – 3; II – 2; III – 1; IV – 4.
c) I – 2; II – 3; III – 1; IV – 4.
d) I – 2; II – 3; III – 4; IV – 1.
e) I – 1; II – 2; III – 3; IV – 4.

18. (Cesgranrio-RJ) Duas substâncias de odores bem distintos curiosamente têm fórmula molecular idêntica ($C_6H_{12}O_2$), o que caracteriza o fenômeno da isomeria. Os odores e as substâncias citadas são responsáveis, respectivamente, pelo mau cheiro exalado pelas cabras ($CH_3 — CH_2 — CH_2 — CH_2 — CH_2 — COOH$) e pela essência do morango

($CH_3 — COO — CH_2 — CHCH_3 — CH_3$).

O tipo de isomeria que se verifica entre as duas substâncias é:

a) de cadeia.
b) de função.
c) de posição.
d) de compensação.
e) tautomeria.

19. (UCDB-MS) O composto 2 metil pentano é isômero de cadeia do composto:

a) 2 metil, 3 etil pentano.
b) 3 etil pentano.
c) 2,3 dimetil butano.
d) metil ciclopentano.
e) dimetil propano.

20. (UEMG) Observa-se isomeria funcional em compostos de mesma fórmula molecular e funções químicas distintas, portanto propriedades físicas e químicas próprias.

Qual o par de compostos em que não se observa isomeria de função ou funcional?

a) álcool benzílico e metóxi-benzeno.
b) 1-hidróxi-2-metil benzeno e álcool benzílico.
c) ácido butanoico e etanoato de etila.
d) butanona e butanal.
e) anidrido etanoico e ácido butanodioico.

21. (UFV-MG) Considere os nomes dos hidrocarbonetos a seguir:

I. 2,2-dimetilbutano
II. 3-metilexano
III. 1,2-dimetilciclobutano
IV. cicloexano
V. hex-1-eno

A opção que relaciona **corretamente** isômeros é:

a) IV e V.
b) II e IV.
c) I e III.
d) I e IV.
e) II e V.

22. (Uerj) Isomeria é o fenômeno que se caracteriza pelo fato de uma mesma fórmula molecular representar diferentes estruturas.

Considerando a isomeria estrutural plana para a fórmula molecular C_4H_8, podemos identificar os isômeros dos seguintes tipos:

a) cadeia e posição.
b) cadeia e função.
c) função e compensação.
d) posição e compensação.

23. (Uece) A alternativa em que se propõem exemplos corretos para os seguintes conjuntos de compostos: 1 par de homólogos, 1 par de isólogos e 1 par de isômeros é:

	1 par de homólogos	1 par de isólogos	1 par de isômeros
a)	1-1butino e 1,3-butadieno	1-buteno e 2-buteno	isopentano e neopentano
b)	butano e isobutano	pentano e 1-penteno	ciclo-hexano e ciclo-hexeno
c)	butano e pentano	propeno e propino	pentano e metilbutano
d)	pentano e hexano	propino e 1-butino	ciclo-hexano e ciclopentano

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

24. (UFRJ) O ciclo-propano e o éter etílico (etóxi-etano) foram muito utilizados, no passado, como anestésicos de inalação.

a) Qual é a fórmula estrutural e o nome do isômero de cadeia do ciclopropano?

b) Qual é a fórmula estrutural e o nome do álcool terciário que é isômero do éter etílico?

25. (Mackenzie-SP) O isômero de função do aldeído que apresenta a menor cadeia carbônica ramificada e saturada tem fórmula estrutural plana:

a)

b)

c)

d)

e) $H_3C — CH_2 — CH_2 — OH$

26. (Unesp) Uma das principais frações obtidas nas colunas de destilação de uma refinaria de petróleo é aquela correspondente à gasolina. Essa fração é uma mistura composta de hidrocarbonetos $C_5 — C_{10}$ com faixa de ebulição de 38 a 177 °C. Para assegurar o funcionamento correto do motor de combustão interna, a gasolina tem que ter volatilidade (facilidade de vaporização) adequada, o que é obtido pela mistura de hidrocarbonetos convenientes. Sabe-se que um dos fatores que influem nos pontos de ebulição dos hidrocarbonetos é a massa molar. Considere dois componentes da gasolina, hidrocarbonetos I e II, cujas fórmulas estruturais estão representadas a seguir.

I. $H_3C — CH_2 — CH_2 — CH_2 — CH_2 — CH_3$

II. $H_3C — CH_2 — CH_2 — CH_2 — CH_3$

Identifique o hidrocarboneto que contribui para tornar mais volátil a gasolina, justificando sua resposta, e represente a fórmula estrutural de um isômero de cadeia do hidrocarboneto II.

27. (UFPR) Considere as estruturas a seguir:

A

B

C

D

I. Os compostos A e B são isômeros de posição e os compostos C e D são isômeros de função.

II. Os compostos A, B, C e D possuem carbono terciário.

III. Apenas os compostos A e B são aromáticos.

IV. Nenhum dos compostos possui cadeia ramificada.

V. Os compostos A e B são hidrocarbonetos, o composto C é um fenol e o composto D é um éter.

Qual a alternativa correta?

a) Somente as alternativas I e II são verdadeiras.

b) Somente as alternativas II e IV são verdadeiras.

c) Somente as alternativas I e IV são verdadeiras.

d) Somente as alternativas II e V são verdadeiras.

e) Somente as alternativas III e V são verdadeiras.

28. (UFRJ) Existem cinco compostos aromáticos diferentes, aqui representados pelas letras A, B, C, D e E, com a fórmula molecular C_7H_8O.

a) A, B e C são isômeros de posição. Identifique a função química desses compostos.

b) Dê a fórmula estrutural do composto D, sabendo que seu ponto de ebulição é maior que o de E.

2ª PARTE: ISOMERIA ESPACIAL (ESTEREOQUÍMICA)

Isomeria espacial (ou **estereoisomeria**) é aquela que somente pode ser explicada por meio de fórmulas estruturais espaciais.

Em outras palavras, isso significa que só iremos "enxergar" a diferença existente entre dois isômeros espaciais se fizermos uso de modelos moleculares espaciais.

A isomeria espacial divide-se em:

- isomeria cis-trans (ou geométrica);
- isomeria óptica.

1 Isomeria cis-trans (ou geométrica)

Pode ocorrer em dois casos principais, a saber:

- em compostos com duplas ligações;
- em compostos cíclicos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

1.1. Isomeria cis-trans em compostos com duplas ligações

A **ligação simples** C — C permite a rotação de seus dois átomos de carbono. No composto $CH_2C\ell$ — $CH_2C\ell$, por exemplo, podemos ter várias orientações para os átomos de carbono, como mostramos abaixo, mas **todas elas representam o mesmo composto**.

(Representações esquemáticas sem escala; cores-fantasia.)

Uma catraca roda em torno de seu eixo.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

A **ligação dupla** C = C já não permite a rotação dos átomos de carbono. Para o composto $CHC\ell = CHC\ell$, teremos então **apenas duas posições possíveis**, denominadas **cis** e **trans**.

Cis-1, 2-dicloro-eteno

Trans-1, 2-dicloro-eteno

(Representações esquemáticas sem escala; cores-fantasia.)

Uma catraca não poderia girar se tivesse dois eixos.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Repare na seguinte diferença:

- na estrutura da esquerda, **os dois átomos** de cloro **estão voltados para o mesmo lado**; essa é a chamada **forma cis** (do latim *cis*, aquém de);
- na estrutura da direita, **os dois átomos** de cloro **estão em lados opostos**; essa é a chamada **forma trans** (do latim *trans*, para além de).

Modelos de bolas permitem visualizar melhor essa diferença. (Representação sem escala; cores-fantasia.)

Modelo da molécula cis-1,2-dicloro-eteno.

Modelo da molécula trans-1,2-dicloro-eteno.

FOTOS: EDUARDO SANTALIESTRA/CID

Em decorrência de suas diferentes estruturas, os isômeros **cis** e **trans** têm propriedades físicas diferentes – polaridade, ponto de fusão, ponto de ebulição, densidade etc. Por exemplo:

O vetor polaridade resultante não é nulo ⇒ há polaridade. O cis-1,2-dicloro-eteno é polar.

O vetor polaridade resultante é nulo ⇒ não há polaridade. O trans-1,2-dicloro-eteno é apolar.

Até certas propriedades químicas acabam sendo diferentes entre dois isômeros cis-trans. Um exemplo interessante é o dos ácidos maleico e fumárico:

- o ácido maleico forma anidrido com facilidade, segundo a equação:

- o ácido fumárico, por sua vez, **não** forma anidrido, pois suas carboxilas estão em lados "opostos" da molécula:

Além disso, podemos observar as diferenças nas propriedades físicas:

Propriedade física	Ácido maleico	Ácido fumárico
Solubilidade em água (g/100 g de solução, 25 °C)	44,1	0,70
Ponto de fusão (°C)	139	287
Ponto de ebulição (°C)	—*	165**

* O ácido maleico se decompõe antes de entrar em ebulição.
** Temperatura de sublimação do ácido fumárico.
Fonte: LIDE, D. R. (Ed.) *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. 87. ed. Boca Raton: CRC Press, 2006.

Generalizando, podemos dizer que ocorre isomeria cis-trans em compostos contendo ligação dupla que apresentam a estrutura:

em que: $\begin{cases} R_1 \neq R_2 \\ R_3 \neq R_4 \end{cases}$

Note que R_1 (assim como R_2) pode ser igual ou diferente de R_3 e R_4.

1.2. Isomeria cis-trans em compostos cíclicos

Os compostos cíclicos apresentam um anel ou núcleo que é um **polígono plano ou reverso**. Conforme as ramificações (ou os substituintes) estejam **acima** ou **abaixo** desse polígono, podem surgir casos de isomeria cis-trans (aqui também chamada **isomeria baeyeriana**, em homenagem ao cientista Adolf von Baeyer).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Seja, por exemplo, o composto 1,2-dicloro-ciclo-propano. Ele poderá apresentar as seguintes estruturas:

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Modelo da molécula cis-1,2-dicloro-ciclo-propano.
(Representação esquemática sem escala; cores-fantasia.)

Modelo da molécula trans-1,2-dicloro-ciclo-propano.
(Representação esquemática sem escala; cores-fantasia.)

Na estrutura da esquerda, **os dois átomos** de cloro **estão acima do plano do anel**; na estrutura da direita, **um átomo** de cloro **está acima e o outro está abaixo do plano do anel**. **As duas estruturas não podem ser superpostas**, de modo que temos **dois isômeros diferentes** – o primeiro é o **cis**, e o segundo, o **trans**.

Questões

Registre as respostas em seu caderno

a) Três compostos com a mesma fórmula molecular, $C_2H_2C\ell_2$, apresentam propriedades físicas diferentes.

- Quais são as fórmulas estruturais dos compostos e os seus respectivos nomes?
- Qual o tipo de isomeria apresentada pelos compostos?

b) Considere os compostos but-2-eno e metil-propeno.

- Qual o tipo de isomeria existente entre eles?
- Qual composto apresenta isomeria cis-trans?

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

29. (UFRGS-RS) Entre os seguintes compostos, qual pode apresentar isomeria espacial?

a) $H_2C = CHC\ell$
b) $CH_2C\ell Br$
c) $CH_2C\ell - CH_2C\ell$
d) $CHC\ell = CHC\ell$
e) $CH_2C\ell - CH_2Br$

30. (UCDB-MS) Qual das seguintes substâncias

I. $(CH_3)_2C = CH_2$
II. $CH_3CH = C(CH_3)_2$
III. $CH_3BrC = CCH_3C\ell$
IV. $CH_3CH = CHC_2H_5$

apresenta isomerismo geométrico?

a) Somente II.
b) Somente III.
c) Somente I e II.
d) Somente I e III.
e) Somente III e IV.

31. (Unisinos-RS) As fórmulas de quatro compostos orgânicos são:

I. $H_2C = CHCH_3$
II. $C\ell HC = CHC\ell$
III. $(H_3C)_2HC - CH_3$
IV. H_2C — $CC\ell H$ — $CC\ell H$

O(s) que apresenta(m) isomeria geométrica ou cis-trans é(são):

a) I, II, III e IV.
b) apenas III.
c) apenas I e II.
d) apenas II e III.
e) apenas II e IV.

32. (PUC-SP) O hidrocarboneto acíclico mais simples que apresenta isomeria cis-trans é o:

a) eteno.
b) propeno.
c) buteno-1.
d) buteno-2.
e) penteno-1.

33. Indique qual dos seguintes compostos não apresenta isomerismo geométrico (cis-trans):

a) but-2-eno.
b) 1,2-dicloro-eteno.
c) pent-2-eno.
d) 1-cloro-propeno.
e) 2-metil-but-2-eno.

34. (Vunesp) Entre os compostos

I. C_2H_6O, II. C_3H_6O e III. $C_2H_2C\ell_2$

apresentam isomeria geométrica:

a) I, apenas.
b) II, apenas.
c) III, apenas.
d) I e II, apenas.
e) II e III, apenas.

35. Considerando os casos de isomeria plana e cis-trans, quantos isômeros existem com a fórmula $C_2H_2C\ell_2$?

36. (Furg-RS) Observe a estrutura dos compostos I e II.

I II

É correto afirmar que os compostos I e II são:

a) compostos diferentes.
b) isômeros de posição.
c) isômeros constitucionais.
d) idênticos.
e) isômeros geométricos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

37. (UFRGS-RS) Considere os seguintes compostos.

1 **2** **3**

Com relação a esses compostos, é correto afirmar que:

a) 1 e 2 são isômeros de posição.
b) 2 e 3 são apolares.
c) 2 e 3 são isômeros geométricos.
d) 1 é apolar.
e) 1 e 2 apresentam o mesmo ponto de ebulição.

38. (UFMG) Insetos indesejados podem ser eliminados usando-se armadilhas que contêm feromônios. Emitidas por indivíduos de determinada espécie, essas substâncias, funcionando como meio de comunicação entre eles, regulam o comportamento desses mesmos indivíduos.

Um desses feromônios é o 1-octen-3-ol, que tem esta estrutura:

Considerando-se a estrutura desse álcool, é **correto** afirmar que ele apresenta:

a) condutividade elétrica elevada em solução aquosa.
b) diastereoisomeria cis-trans.
c) massa molar igual à do 3-octen-1-ol.
d) temperatura de ebulição menor que a do 1-octeno.

Exercícios complementares

Registre as respostas em seu caderno

39. (PUC-SP) Qual alternativa contém apenas isômeros do 1-penteno (C_5H_{10})?

a) Pentano, cis-2-penteno e ciclo-penteno.
b) Trans-2-penteno, pentanol e cis-3-penteno.
c) 2-metil-1-penteno, trans-2-penteno e ciclo-pentano.
d) Cis-2-penteno, ciclo-pentano e 2-metil-1-buteno.
e) 2-metil-1-buteno, ciclo-pentano e 2-metil-1-butanol.

40. (UCS-RS) Isômeros são substâncias que têm a mesma fórmula molecular e diferem entre si pelo menos em uma propriedade, devido à diferente distribuição dos átomos nas moléculas. O número de estruturas de todos os isômeros planos e geométricos de fórmula molecular C_4H_8 é igual a:

a) 4
b) 5
c) 6
d) 7
e) 8

41. (UFMG) A primeira demonstração experimental da existência de isomeria geométrica envolveu o estudo dos ácidos maleico e fumárico:

Ácido maleico

Ácido fumárico

Considerando-se esses dois ácidos e suas estruturas, é **incorreto** afirmar que:

a) a molécula de ácido fumárico corresponde ao isômero trans.
b) a molécula de ácido maleico é menos polar que a de ácido fumárico.
c) ambos os ácidos podem realizar ligações de hidrogênio com a água.
d) apenas a molécula de ácido maleico tem dois grupos capazes de se ligar, um ao outro, por uma ligação de hidrogênio.

42. (Unifesp) Solubilidade, densidade, ponto de ebulição (P.E.) e ponto de fusão (P.F.) são propriedades importantes na caracterização de compostos orgânicos. O composto 1,2-dicloroeteno apresenta-se na forma de dois isômeros, um com P.E. 60 °C e outro com P.E. 48 °C. Em relação a esses isômeros, é correto afirmar que o isômero:

a) cis apresenta P.E. 60 °C.
b) cis é o mais solúvel em solvente não polar.
c) trans tem maior polaridade.
d) cis apresenta fórmula molecular $C_2H_4C\ell_2$.
e) trans apresenta forças intermoleculares mais intensas.

43. (UFPE) Um determinado jornal noticiou que "... a explosão foi causada pela substituição acidental do solvente trans-1,2-dicloroeteno pelo cis-1,2-dicloroeteno, que possui ponto de ebulição menor...". Sobre esta notícia podemos afirmar que:

a) é incorreta, pois esses dois compostos são isômeros, portanto possuem as mesmas propriedades físicas.
b) é correta, pois o trans-1,2-dicloroeteno é polar, portanto deve ter ponto de ebulição maior que o do cis-1,2-dicloroeteno, que é apolar.
c) é incorreta, pois o trans-1,2-dicloroeteno é apolar, portanto deve ter ponto de ebulição menor que o do cis-1,2-dicloroeteno, que é polar.
d) é correta, pois o trans-1,2-dicloroeteno é apolar, portanto deve ter ponto de ebulição maior que o do cis-1,2-dicloroeteno, que é polar.
e) é incorreta, pois esses dois compostos são tautômeros e possuem o mesmo momento dipolar, portanto possuem o mesmo ponto de ebulição.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

44. (Cesgranrio-RJ)

> Os nitritos são usados como conservantes químicos em alimentos enlatados e em presuntos, salsichas, salames, linguiças e frios em geral. Servem para manter a cor desses alimentos e proteger contra a contaminação bacteriana. O problema é que essas substâncias, no organismo, podem converter-se em perigosos agentes cancerígenos, as nitrosaminas...
>
> Revista *Veja*, set. 1998.

dibutilnitrosamina di-isobutilnitrosamina

Considerando-se as estruturas acima, da dibutilnitrosamina e da di-isobutilnitrosamina, pode-se afirmar que representam isômeros:

a) geométricos. b) de função. c) de cadeia. d) de posição. e) por metameria.

2 Isomeria óptica

2.1. Introdução

Inicialmente, vamos expor alguns conceitos e aspectos indispensáveis ao entendimento da isomeria óptica.

a) Luz natural e luz polarizada

A **luz comum** (ou **natural**) é formada por ondas eletromagnéticas, sendo que as ondas elétricas vibram em um plano e as magnéticas, em outro, perpendiculares entre si.

ADILSON SECCO

(Representação esquemática sem escala; cores-fantasia.)

Além disso, à medida que a luz "caminha", esses dois planos giram em torno de seu próprio eixo de propagação, de modo que, vendo a luz "de frente", se pudéssemos enxergar essas vibrações, iríamos ver algo parecido com a figura **A** abaixo.

Pelo contrário, **na luz polarizada, os planos de vibração elétrico e magnético não giram**, de maneira que, "vendo-a de frente", teríamos a figura **B**.

É comum representar a luz polarizada apenas por um dos planos (figura **C**).

Luz natural **Luz polarizada** **Representação da luz polarizada**

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

b) Como polarizar a luz?

A maneira mais simples é usar o material denominado "polaroide", no qual cristais de substâncias orgânicas complexas estão depositados sobre material plástico transparente. Por estarem convenientemente orientados, esses cristais polarizam a luz. Os polaroides são usados em óculos de sol, câmeras fotográficas etc.

Dois óculos polaroides superpostos ainda permitem a passagem de certa quantidade de luz.

A luz não atravessa dois polaroides colocados perpendicularmente (a 90°).

FOTOS: LUIZ ANTONIO/CID

No entanto, em trabalhos científicos que requerem maior precisão, costuma-se usar certas substâncias cristalinas, como o **espato da islândia**, que é uma variedade especial e transparente de $CaCO_3$. Com o espato da islândia são produzidos prismas especiais denominados **prismas de Nicol**, usados na construção dos **polarímetros** (dispositivos para medir a atividade óptica da substância em análise). Para entender o funcionamento de um polarímetro siga os exemplos a seguir.

No esquema abaixo, o **polarizador** e o **analisador** (que é um segundo polarizador) estão **alinhados** (na mesma direção). A luz atravessa todo o sistema, e o observador vê **luminosidade máxima** da luz **proveniente** da lâmpada.

(Representação esquemática sem escala; cores-fantasia.)

ADILSON SECCO

No esquema abaixo, o polarizador e o analisador estão **cruzados** (um perpendicular ao outro). A luz praticamente não atravessa o sistema, e o observador vê **luminosidade mínima** (o analisador fica totalmente escuro). Todo esse esquema é necessário porque nossos olhos não conseguem distinguir a luz polarizada da luz natural.

(Representação esquemática sem escala; cores-fantasia.)

ADILSON SECCO

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

No esquema abaixo, foi introduzido um tubo com a amostra em análise. O plano da luz polarizada sofre um desvio, provocado pela amostra, que é medido numa escala acoplada ao analisador.

ADILSON SECCO

(Representação esquemática sem escala; cores-fantasia.)

O polarímetro apresenta, portanto:

- a **fonte de luz**, normalmente de luz monocromática (por exemplo, uma lâmpada de sódio, que produz luz amarela);
- o **polarizador**, um prisma de Nicol que polariza a luz;
- o **tubo com a amostra**, onde fica a solução da substância a ser analisada;
- o **analisador**, um segundo prisma de Nicol, utilizado para medir a rotação (desvio) que o plano da luz polarizada sofre quando essa luz atravessa a substância em análise.

Vemos ao lado a foto de um polarímetro.

EDUARDO SANTALIESTRA/CID

Polarímetro rotacional.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

c) Substâncias opticamente ativas

A luz polarizada foi descoberta em 1808 pelo físico francês Étienne Louis Malus (1775-1812). Logo depois, Jean-Baptiste Biot (1774-1862) descobriu que **certos cristais de quartzo** desviam, ou melhor, fazem girar o plano de polarização da luz. Essas substâncias são chamadas **substâncias opticamente ativas**, ou seja, **têm atividade óptica**. É esse o fato que se pode observar colocando-se a substância opticamente ativa na posição do tubo do polarímetro que descrevemos.

Posteriormente, outros estudos comprovaram a existência de dois tipos de cristal de quartzo, com **formas geométricas assimétricas**, de tal maneira que **a forma de um deles é igual à imagem do outro num espelho plano**.

Cristais de quartzo assimétricos.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Para entendermos melhor a assimetria existente entre os cristais de quartzo, é interessante comparar esses cristais com pares de **objetos assimétricos** que possuam formas geométricas "opostas":

EDUARDO SANTALIESTRA/CID

EDUARDO SANTALIESTRA/CID

Compare cada letra do letreiro do caminhão do Corpo de Bombeiros com a imagem dessas mesmas letras no espelho retrovisor de um carro:

- as letras O, M, I são **idênticas** no caminhão e no retrovisor; dizemos então que elas são **simétricas** em relação ao espelho;
- as letras B, E, R, S estão **invertidas**; dizemos então que elas são **assimétricas** em relação ao espelho.

Podemos imaginar outras comparações, como, por exemplo, as nossas mãos, um par de sapatos, um par de luvas etc. Esses objetos **não são superponíveis**, isto é: colocando a mão direita sobre a mão esquerda, elas não coincidem; a luva da mão esquerda não se ajusta à mão direita (e vice-versa); do mesmo modo, os pares de sapatos obedecem à assimetria própria de nossos pés (não é possível calçar o sapato do pé direito no pé esquerdo ou vice-versa); e assim por diante.

FOTOS: EDUARDO SANTALIESTRA/CID

A imagem da mão direita em um espelho tem a mesma forma da mão esquerda.

Tentando superpor a mão direita sobre a esquerda, vemos que os polegares ficam em lados opostos.

A luva da mão direita não se encaixa na mão esquerda.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Esse tipo de assimetria é chamado de assimetria **quiral**, palavra que vem do grego *cheir*, que significa **mão** – a propósito, esse termo originou, na língua portuguesa, várias palavras, como **quiromancia** (leitura das mãos) e **cirurgia** (intervenção com as mãos).

Uma descoberta importantíssima para a ciência foi a seguinte: **enquanto um dos tipos de cristal de quartzo desvia a luz polarizada para a direita, o outro a desvia para a esquerda, com ângulos exatamente iguais**.

Surgiram da percepção desse fato as expressões **antípodas ópticos** ou **isômeros enantiomorfos** (do grego *enantios*, oposto; *morpho*, forma) ou, ainda, **enantiômeros**. A substância que desvia o plano da luz polarizada para a direita chama-se **dextrogira** (do latim *dexter*, direito); a que desvia para a esquerda chama-se **substância levogira** (do latim *laevus*, esquerdo).

Em 1815, Biot descobriu que certas substâncias da natureza (açúcar, cânfora etc.) têm atividade óptica **não apenas quando cristalizadas, mas também quando em solução**. Essa constatação tornou evidente a seguinte conclusão: essas substâncias devem ter, **dentro de suas próprias moléculas**, uma assimetria do tipo **quiral**. Generalizando, diremos que:

> A atividade óptica de uma substância resulta da assimetria de suas moléculas.

Estudaremos a seguir os casos mais comuns de assimetria molecular.

2.2. Isomeria óptica com carbono assimétrico (ou carbono quiral)

> **Carbono assimétrico** é o átomo de carbono que está ligado a quatro grupos diferentes entre si.

O exemplo clássico é o **ácido lático** (ou ácido α-hidróxi-propanoico ou ácido-2-hidróxi-propanoico), que é proveniente do leite:

Na representação acima as cunhas cheias (▬) indicam ligações para cima do plano da folha, e as linhas tracejadas (┅) indicam ligações para trás do plano da folha.

O carbono central é **assimétrico** (costuma-se indicar os carbonos assimétricos com um asterisco), pois a ele estão ligados quatro substituintes diferentes: H, CH_3, OH e COOH. Lembrando a estrutura tetraédrica do carbono, temos:

Modelo da molécula de ácido lático dextrogiro e sua imagem refletida num espelho plano. (Representação esquemática sem escala; cores-fantasia.)

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Abreviadamente:

Você poderá perceber que, se tentarmos "encaixar" uma molécula na outra, nunca haverá coincidência de todos os substituintes. São, pois, **moléculas diferentes** (para visualizar melhor esse fato, pode-se "montar" os modelos usando bolinhas de isopor coloridas espetadas em palitos):

- das duas moléculas, uma representa o **ácido lático dextrogiro**, e nós escrevemos **ácido d-lático** ou **ácido (+)-lático**;
- a outra é o **ácido lático levogiro**, e nós escrevemos **ácido ℓ-lático** ou **ácido (−)-lático**.

(Representação esquemática sem escala; cores-fantasia.)

ADILSON SECCO

Os dois ácidos láticos têm **todas as propriedades físicas iguais, exceto o desvio do plano da luz polarizada**.

	Ponto de fusão (°C)	Densidade (g/mL)	Rotação específica $[\alpha]_D^{20\,°C}$
Ácido (+)-lático	53	1,2060	+2,6°
Ácido (−)-lático	53	1,2060	−2,6°

Fontes: LIDE, D. R. (Ed.) *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. 87. ed. Boca Raton: CRC Press, 2006 e SHALLENBERGER, R. S. *Taste Chemistry*. Blackie Academic & Professional, 1993.

Diremos ainda que **racemato** ou **mistura racêmica** é a **mistura do isômero dextrogiro com seu antípoda levogiro, na proporção de 50% de cada um**. O racemato não desvia o plano da luz polarizada (isto é, tem $[\alpha]_D^{20\,°C}$ = zero), pois o desvio provocado por uma molécula é sempre neutralizado pelo desvio provocado por uma molécula antípoda. Dizemos, então, que **o racemato não tem atividade óptica**, ou que é **opticamente inativo**; com mais propriedade, dizemos que o racemato é inativo **por compensação externa**, já que o efeito produzido por uma molécula é compensado externamente por outra molécula. No exemplo do ácido lático, o racemato é representado por **ácido dℓ-lático** ou **ácido (±)-lático**. É curioso notar que o racemato tem propriedades físicas diferentes das dos enantiomorfos. O ácido lático racêmico, por exemplo, tem ponto de fusão igual a 16,8 °C, enquanto os enantiomorfos, como vimos na tabela anterior, têm ponto de fusão igual a 53 °C.

Consideremos agora o exemplo do ácido α-hidróxi-β-metil-succínico, com mais de um carbono assimétrico:

Temos nessa substância dois carbonos assimétricos considerados **diferentes entre si** porque os grupos ligados ao carbono 2 não são todos iguais aos grupos ligados ao carbono 3. Veja que no carbono 2, além do grupo COOH, temos o grupo OH, enquanto no carbono 3, além do grupo COOH, temos o CH_3.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Esse composto tem quatro isômeros opticamente ativos e distintos entre si, que podem ser representados esquematicamente do seguinte modo:

Ou representados de forma ainda mais simples pelas chamadas **projeções de Fischer**:

Repare que a diferença entre os quatro compostos é indicada pelas posições dos grupos OH e CH_3, que estão ora à esquerda, ora à direita da fórmula. Os isômeros *A* e *B* são antípodas ópticos: um será dextrogiro e o outro levogiro, com desvios iguais em valor absoluto. O mesmo podemos dizer de *C* e *D*. Temos também duas misturas racêmicas: *A* + *B* e *C* + *D*. Nesse caso, usamos ainda o termo **diastereoisômeros** para indicar os isômeros ópticos que **não são enantiomorfos entre si** – é o caso dos pares: *A* e *C*; *A* e *D*; *B* e *C*; e *B* e *D*.

Generalizando nossas conclusões, podemos dizer que, havendo 1, 2, 3, ... *n* carbonos assimétricos diferentes, teremos 2^1, 2^2, 2^3, ... 2^n isômeros ópticos diferentes entre si e, consequentemente, $2^n : 2 = 2^{n-1}$ misturas racêmicas diferentes entre si.

2.3. Isomeria óptica sem carbono assimétrico

Repetimos que, **nas substâncias orgânicas, a atividade óptica decorre da assimetria molecular**. A presença de carbonos assimétricos é, como vimos nos itens anteriores, um fator de assimetria, que, porém, não é o único. **Existem moléculas orgânicas que são assimétricas sem possuir carbonos assimétricos**. Vamos citar os dois casos mais comuns – o dos **compostos alênicos** e o dos **compostos cíclicos**.

a) Compostos alênicos

O aleno é o mais simples dos alcadienos:

Seus derivados apresentarão atividade óptica desde que:

$R_1 \neq R_2$
$R_3 \neq R_4$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Utilizando o modelo espacial de Le Bel e van't Hoff, temos:

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Ou fazendo uma representação abreviada:

Note que essa molécula é assimétrica e **não superponível** em relação à imagem que ela teria no espelho plano. Consequentemente, teremos o isômero **dextrogiro** e o **levogiro**, que podemos representar abreviadamente da seguinte maneira:

ADILSON SECCO

b) Compostos cíclicos

Seja, por exemplo, o composto 1,2-dicloro-ciclo-propano. Lembrando que o anel do ciclo-propano é plano, teremos as seguintes disposições:

ADILSON SECCO

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Esse é um caso interessante, em que surgem simultaneamente a isomeria geométrica e a óptica: o **isômero cis** é inativo; na forma **trans**, há isomeria óptica, aparecendo o isômero **dextrogiro** e o **levogiro**.

2.4. A preparação e a separação de compostos opticamente ativos

Os organismos vegetais e animais produzem seus compostos opticamente ativos já na forma (dextrogira ou levogira) adequada a seu metabolismo. No laboratório, porém, as reações comuns produzem misturas racêmicas.

A separação (ou desdobramento) de uma mistura racêmica não é fácil, pois, como vimos, dois enantiomorfos têm todas as propriedades físicas iguais, isto é, eles se fundem, fervem etc. na mesma temperatura, impossibilitando a separação por processos físicos usuais (fusão, destilação etc.). Quando, **por sorte**, os cristais de um dextrogiro e de um levogiro **são diferentes** e de **tamanho apreciável**, ainda poderemos catá-los como fez Pasteur, no século XIX, com o tartarato de sódio e amônio. Entretanto, esse método exige uma paciência enorme e, evidentemente, tem um rendimento baixíssimo.

FABIO COLOMBINI

Aspecto do bolor verde em pão de forma.

Outro processo de separação descoberto por Pasteur pode ser chamado de **processo biológico**. Ainda no século XIX, Pasteur verificou que, colocando no ácido tartárico racêmico o micro-organismo *Penicillium glaucum* (espécie de bolor verde que ocorre, por exemplo, no pão), **esse micro-organismo consumia, de preferência, a forma dextrogira, sobrando, então, a forma levogira**.

Há duas grandes dificuldades nesse processo biológico:

- encontrar o micro-organismo adequado, que "saiba" consumir apenas um dos isômeros;
- aceitar a perda de um dos isômeros, com o aproveitamento apenas do outro.

Atualmente, usa-se o **processo químico** de separação, que se baseia em reações químicas entre substâncias opticamente ativas.

Seja, por exemplo, um **ácido racêmico** (ácido dℓ) que desejamos desdobrar; para tanto, devemos possuir um **isômero puro** de uma base opticamente ativa, digamos, a **base dextrogira** (base d′). Executamos, então, a reação:

$$\text{Ácido d}\ell \quad + \quad \text{Base d}' \longrightarrow \text{Sal dd}' \quad + \quad \text{Sal }\ell\text{d}'$$

O sal dd′ e o sal ℓd′ são isômeros mas não são enantiomorfos, e sim diastereoisômeros; têm propriedades físicas diferentes, podem ser separados por cristalização e, após a separação, será fácil recuperar os ácidos iniciais.

$$\text{Sal dd'} \xrightarrow{\text{Ácido forte}} \text{Ácido d}$$

$$\text{Sal }\ell\text{d'} \xrightarrow{\text{Ácido forte}} \text{Ácido }\ell$$

Existem, atualmente, processos ainda mais modernos de separação, mas o mais importante a assinalar é que existem **reações estereosseletivas**, isto é, reações que, usando reagentes especiais, produzem **apenas um** dos isômeros ópticos. Tais reações são de grande importância para a indústria farmacêutica, pois normalmente só um dos isômeros tem ação medicamentosa.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

UM POUCO DE HISTÓRIA

Os inúmeros campos da Ciência

A evolução da Ciência só é possível com a visão perspicaz e o trabalho dedicado de inúmeros cientistas. Muitas vezes suas descobertas atingem vários campos do conhecimento humano. Um exemplo notável disso foram os trabalhos de Louis Pasteur, que contribuíram para o desenvolvimento da Química, da indústria alimentícia e da Medicina.

Químico e biólogo francês, Pasteur nasceu em Dôle, em 27 de dezembro de 1822, e faleceu em Chateau de Villeneuve l'Etang, em 28 de setembro de 1895.

Em 1842, obteve o título de bacharel em Ciências, em Besançon; em 1847, doutorou-se em Química e Física pela Escola Normal Superior de Paris. Foi professor em Estrasburgo (1848) e em Lille (1854). Foi eleito membro da Academia de Ciências (1862), da Academia de Medicina (1873) e da Academia Francesa (1881).

GARCIA PELAYO/CID

Louis Pasteur em gravura de 1863, de Schultz. (Biblioteca Nacional de Madrid.)

Em suas primeiras pesquisas científicas, estudando os sais do ácido tartárico, formados nos tonéis de vinho, Pasteur estabeleceu o paralelismo entre a forma externa dos cristais, sua constituição molecular e sua ação sobre a luz polarizada. Esses estudos foram a base da **Estereoquímica**.

Entre 1857 e 1863, Pasteur estudou o fenômeno da **fermentação**. Na época, acreditava-se na **geração espontânea**; imaginava-se até que as moscas poderiam nascer, por exemplo, da carne podre. Pasteur combateu essas ideias e provou que a fermentação resulta de micro-organismos que são gerados por micro-organismos idênticos. Uma consequência importante foi o desenvolvimento do processo de **pasteurização**, que consiste em se aquecer o leite, a cerveja, o vinho etc. até 50-60 °C, por alguns minutos, e depois resfriá-los rapidamente, a fim de matar os micro-organismos e evitar a decomposição desses produtos.

A partir de 1865, Pasteur dedicou-se ao problema das **doenças contagiosas** e concluiu que elas também eram devidas à ação de micro-organismos. Isso lhe permitiu descobrir a razão de certas doenças em animais, como bichos-da-seda, galinhas, carneiros, gado bovino etc. e como evitar essas enfermidades. Em debates memoráveis com membros da Academia de Medicina da França, Pasteur provou que muitas doenças que afligem a humanidade são causadas por micro-organismos. Surgiram daí cuidados higiênicos e profiláticos que salvaram muitas vidas. Uma das maiores contribuições de Pasteur para a Medicina foi a descoberta da **vacina contra a raiva**; uma data histórica é 5 de junho de 1885, quando vacinou e salvou a vida de Joseph Meister, um menino de nove anos que havia sido mordido por um cão raivoso.

Em 1888, foi inaugurado o **Instituto Pasteur** de Paris, que logo teria similares no mundo inteiro, para o incentivo ao estudo da Microbiologia.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Questões

Registre as respostas em seu caderno

Critique as afirmações abaixo:

a) Para identificar dois isômeros ópticos é necessário conhecer suas propriedades químicas, uma vez que suas propriedades físicas são idênticas.

b) Denominam-se "misturas racêmicas" aquelas que apresentam dois isômeros quaisquer e que não desviam a luz polarizada.

c) Explique a diferença entre os isômeros denominados cis e trans e os isômeros dextrogiro e levogiro.

Pesquisa

Registre as respostas em seu caderno

Pesquise no *site* sugerido ou em outras fontes e responda:

Como podem ser chamados os fármacos cuja estrutura apresenta um ou mais átomos, na maioria das vezes carbono, que têm orientação tridimensional muito bem definida? O que pode causar a modificação dessa orientação?

Considerando o efeito farmacológico, o que é importante saber sobre um fármaco que apresenta um centro quiral?

Como as legislações brasileira e internacionais, na área farmacêutica, lidam com a quiralidade?

COELHO, F. A. S. Fármacos e quiralidade. *Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola*, n. 3, maio 2001, p. 23-32. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/cadernos/03/quiral.pdf>. Acesso em: mar. 2010.

Atividade prática

Registre as respostas em seu caderno

ATENÇÃO

Não cheire nem experimente substância alguma utilizada nesta atividade.

A isomeria óptica

Materiais

- Balança
- Suporte universal
- Garras
- Erlenmeyer de 200 mL
- Sacarose
- Glicerina (obtida em farmácias)
- Água destilada
- Fonte de **luz monocromática** (pequenas lâmpadas coloridas, de potência entre 20 W e 40 W, adaptadas em soquetes e prontas para serem usadas em corrente elétrica). A lâmpada pode ser substituída por uma lanterna de luminosidade intensa, coberta com papel colorido, ou por um retroprojetor, coberto com cartolina preta com um furo circular de diâmetro conveniente, também coberto com papel colorido.
- Proveta de 100 mL com base de vidro (se possível com fundo bem plano), ou com base plástica removível. A proveta pode ser substituída por um tubo de vidro ou mesmo de plástico (tipo cano de PVC) de dimensões similares, fechado em uma das extremidades por uma placa de vidro colada com cola de silicone, certificando-se de que não haja vazamentos.
- Dois filtros polarizadores, de diâmetro superior ao da proveta. Tais filtros podem ser encontrados em lojas de materiais fotográficos.

Procedimento

- Monte o arranjo óptico conforme mostrado na figura ao lado, mantendo os filtros polarizadores inferior e superior perpendiculares ao eixo da proveta e ao feixe de luz. Eles devem ser presos com o uso das garras, fixando-se seu anel, mas permitindo sua livre rotação.
- Use fonte de luz monocromática.
- Prepare soluções de açúcar em água e de glicerina em água (comece com cerca de 50% em massa).
- Com a proveta inicialmente vazia e a lâmpada acesa, mantenha o filtro inferior em posição fixa e gire o filtro superior em torno de seu eixo perpendicular. Observe.
- Ajuste o polarizador superior para que o brilho observado seja máximo. A seguir, acrescente água destilada. Observe se ocorre algum efeito.
- Substitua por solução de glicerina e depois por solução de sacarose.
- Lave a proveta com água destilada entre cada solução.
- Em todos os casos, gire o filtro superior e observe o que acontece.
- Procure observar em especial se o ângulo de rotação necessário para manter o brilho máximo depende da substância em estudo.

BAGATIN, O.; SIMPLÍCIO, F. I.; SANTIN, S. M. O. & FILHO, O. S. Rotação da luz polarizada por moléculas quirais: uma abordagem histórica com proposta de trabalho em sala de aula. *Química Nova na Escola*, n. 21, maio 2005, p. 34-38.

Perguntas

a) Quando é atingido, inicialmente, o brilho máximo?

b) Em quais dos casos foi observado, também, brilho máximo?

c) O brilho máximo foi observado com a solução de açúcar? Explique.

ADILSON SECCO

(Representação sem escala; cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

45. (UCS-RS-Modificado) Um composto orgânico é representado pela seguinte estrutura:

Para que esse composto adquira assimetria molecular, os dois grupos *R* podem ser substituídos por:

a) dois grupos metil.
b) dois grupos etil.
c) um grupo metil e outro etil.
d) um grupo metil e outro n-propil.
e) um grupo etil e outro n-propil.

46. (UFRGS-RS) O ácido lático, encontrado no leite azedo, apresenta dois isômeros óticos. Sabendo-se que o ácido d-lático desvia a luz planopolarizada 3,8° no sentido horário, os desvios angulares provocados pelo ácido ℓ-lático e pela mistura racêmica são, respectivamente:

a) −3,8° e 0°
b) −3,8° e +3,8°
c) 0° e −3,8°
d) 0° e +3,8°
e) +3,8° e 0°

47. (UFSM-RS) Compostos orgânicos, mesmo tendo a fórmula estrutural igual, podem apresentar propriedades diferentes (isômeros) ou podem ser isolados de fontes diferentes, o que ocorre com o ácido lático, representado a seguir.

(I)

ℓ (+) ácido lático produzido no músculo humano (acúmulo causa câibras)

(II)

d (–) ácido lático isolado do soro do leite

É correto afirmar que as estruturas I e II são:

a) enantiômeras.
b) diastereoisômeras.
c) tautômeras.
d) mesoisômeras.
e) o mesmo composto.

48. (Mackenzie-SP) O composto que apresenta isômeros ópticos é:

a) $H_3C - CH_2 - CH_2 - CH_2(OH)$

b) $H_3C - CH(Cl) - CH_2 - Cl$

c) $H_2C(Cl) - CH_2 - CH_2(Cl)$

d) $H_3C - C(Cl)_2 - CH_3$

e) $(H)_2C = C(Cl)_2$

49. (Unifor-CE) A molécula de anfetamina

apresenta isomeria óptica, possuindo portanto um carbono com quatro diferentes substituintes. Na anfetamina, esse átomo de carbono está representado pelo:

a) C_1 b) C_6 c) C_7 d) C_8 e) C_9

50. (Unifor-CE) O composto $CH_3CH(OH)CH(NH_2)COOH$ tem molécula com dois carbonos assimétricos. São possíveis quatro estereoisômeros:

(I) **(II)** **(III)** **(IV)**

É assim que são enantiômeros (imagens especulares, um do outro) os compostos representados por:

a) I e II b) I e III c) I e IV d) II e III e) III e IV

51. (UFSC-Modificado) Escolha a(s) proposição(ões) **correta(s)** a respeito da cadeia carbônica de fórmula estrutural plana que segue:

$$H_3C - CH(CH_3) - CH_2 - NH_2$$

(01) representa uma cadeia carbônica acíclica heterogênea.
(02) é uma amida primária monossubstituída.
(04) é uma amina primária.
(08) o grupo orgânico ligado ao grupo amino ($-NH_2$) é uma alcoíla ou alquila.
(16) é isômero de cadeia da substância: $H_2N - CH_2 - CH_2 - CH_2 - CH_3$.
(32) possui um carbono assimétrico.
(64) todos os seus carbonos são saturados.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

52. (UFPA) HOOC — CH — CH — CH — COOH
| | |
CH_3 OH Cℓ

O número de isômeros ópticos possíveis para o composto acima, sem contar as misturas racêmicas, é:

a) 2. b) 4. c) 6. d) 8. e) 10.

53. (PUC-Minas) O composto

HOOC — CH — CH — COOH
| |
Cℓ Cℓ

apresenta isômeros opticamente ativos em número de:

a) 2. b) 4. c) 6. d) 8. e) 10.

54. (Feevale-RS) A alternativa que contém o número de isômeros ópticos ativos existentes no 3-metil-2-pentanol é a:

a) 1. b) 2. c) 4. d) 6. e) 8.

55. (UFSC) Os compostos orgânicos são conhecidos por apresentarem o fenômeno de isomeria. É **correto** afirmar que:

(01) O ácido lático H_3C — CH — COOH apresenta dois
|
OH
isômeros ópticos ativos.

(02) O 3-cloro-2-metil-pentano apresenta apenas 2 isômeros ópticos ativos.

(04) O álcool primário, de menor "peso" molecular, que apresenta isomeria óptica é o CH_3 — CH — OH
|
CH_3

(08) O hidrocarboneto mais simples, que apresenta isomeria óptica, é o 3-metil-1,4-pentenino.

(16) O 3-cloro-2-metil-pentano pode formar 2 misturas racêmicas.

56. (UFRGS-RS) Considere os seguintes pares de compostos orgânicos.

Os pares 1, 2 e 3 correspondem, respectivamente, a:

a) isômeros ópticos, compostos idênticos e isômeros de função.
b) isômeros de posição, enantiômeros e isômeros de cadeia.
c) isômeros de função, diastereoisômeros e isômeros de posição.
d) isômeros de cadeia, compostos idênticos e isômeros de função.
e) isômeros geométricos, enantiômeros e isômeros de posição.

57. (Uece) A seguir, encontram-se representadas quatro estereofórmulas (I, II, III e IV) vinculadas a uma mesma fórmula constitucional.

Analise as relações estereoquímicas que se encontram enunciadas nas alternativas a, b, c e d, e decida qual é a afirmação verdadeira a respeito dessas relações.

a) As estereofórmulas I e II representam o mesmo composto.
b) Os compostos representados pelas fórmulas II e III formam um par de diaestereoisômeros.
c) Uma mistura equimolecular dos compostos representados pelas fórmulas III e IV constitui uma mistura racêmica.
d) Os compostos representados pelas fórmulas I e IV formam um par de enantiômeros.

58. (Fuvest-SP) A molécula da vitamina C (ácido ℓ-ascórbico) tem a fórmula estrutural plana abaixo.

O número de grupos hidroxila ligados a carbono assimétrico é:

a) 0 b) 1 c) 2 d) 3 e) 4

Exercícios complementares

Registre as respostas em seu caderno

59. (UFF-RJ) Algumas substâncias têm a propriedade de desviar o plano de vibração da luz polarizada e são denominadas opticamente ativas. Essa propriedade caracteriza os compostos que apresentam isomeria óptica. A condição necessária para a ocorrência de isomeria óptica é que a substância apresente assimetria.

Considere as representações espaciais (Fischer) das estruturas a seguir:

Em relação às estruturas **I**, **II**, **III** e **IV** afirma-se, corretamente, que:

a) todas apresentam atividade óptica.
b) somente a I e a II apresentam atividade óptica.
c) somente a I e a III apresentam atividade óptica.
d) somente a III e a IV apresentam atividade óptica.
e) somente a II e a IV apresentam atividade óptica.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

60. (UFPI) A sensação de "suor frio", sentida pelas pessoas que praticam certas atividades (alpinismo, paraquedismo etc.) ou frequentam parques de diversões, surge devido à liberação do hormônio adrenalina pelas glândulas suprarrenais para o sangue.

Considere a molécula da adrenalina representada abaixo:

De acordo com a estrutura, é correto afirmar que:

a) os carbonos "*d*" e "*g*" são assimétricos.
b) somente o carbono "*g*" é assimétrico.
c) os carbonos "*a*", "*b*" e "*d*" são assimétricos.
d) os carbonos "*g*" e "*h*" são assimétricos.
e) não existem átomos assimétricos.

61. (UCDB-MS) Os α-aminoácidos são moléculas naturais que contêm um grupo amino e um grupo carboxílico ligados ao mesmo átomo de carbono. Na grande maioria dos aminoácidos esse átomo de carbono é quiral. Qual das estruturas abaixo representa um α-aminoácido com as características citadas acima?

a)

b)

c)

d)

e)

62. (PUC-RS) Dados os compostos

I

III

II

é(são) opticamente ativo(s):

a) somente I.
b) I e II.
c) I e III.
d) I, II e III.
e) II e III.

63. (UFPE) A fexofenadina é um anti-histamínico não sedativo que surgiu como um substituto para um outro medicamento que causava fortes efeitos colaterais. Esse composto apresenta a seguinte estrutura molecular:

Pode-se afirmar que esse composto possui:

a) dois carbonos quirais (assimétricos) e um grupo funcional ácido carboxílico.
b) um carbono quiral (assimétrico) e um grupo funcional fenol.
c) dois carbonos quirais (assimétricos) e dois grupos funcionais álcoois.
d) um carbono quiral (assimétrico) e um grupo funcional amina.
e) três carbonos quirais (assimétricos) e três grupos funcionais aromáticos.

64. (Unicamp-SP) As plantas necessitam se comunicar com insetos e mesmo com animais superiores na polinização, frutificação e maturação. Para isso, sintetizam substâncias voláteis que os atraem. Um exemplo desse tipo de substância é o 3-penten-2-ol, encontrado em algumas variedades de manga, morango, pêssego, maçã, alho, feno e até mesmo em alguns tipos de queijo como, por exemplo, o parmesão. Alguns dos seus isômeros atuam também como feromônios de agregação de certos insetos.

a) Sabendo-se que o 3-penten-2-ol apresenta isomeria cis-trans, desenhe a fórmula estrutural da forma trans.
b) O 3-penten-2-ol apresenta também outro tipo de isomeria. Diga qual é, e justifique a sua resposta utilizando a fórmula estrutural.

65. (UFRRJ) Os álcoois são substâncias orgânicas extremamente comuns, sendo alguns utilizados no cotidiano por todos nós. O etanol, por exemplo, além de ser usado como combustível, é encontrado em bebidas, em produtos de limpeza, em perfumes, cosméticos e na formulação de muitos medicamentos. Já o 2-propanol está presente em alguns produtos de limpeza.

Em relação aos **álcoois** que obedecem à fórmula molecular $C_4H_{10}O$, analise as afirmações a seguir:

I. Somente dois álcoois obedecem à fórmula acima.
II. Um dos álcoois que obedecem à fórmula acima possui uma insaturação.
III. Um dos álcoois que obedecem à fórmula acima apresenta um carbono assimétrico.
IV. Não há compostos cíclicos entre os álcoois que obedecem à fórmula acima.

São **corretas** somente as afirmações:

a) I, III e IV.
b) III e IV.
c) I e II.
d) I e IV.
e) II e III.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

LEITURA

A NATUREZA É QUIRAL

Os antípodas ópticos apresentam as mesmas propriedades químicas, mas, em geral, seus efeitos fisiológicos são diferentes. Os alimentos que ingerimos (pão, carne etc.), bem como a celulose dos tecidos e do papel que utilizamos, são formados por várias substâncias que contêm carbonos assimétricos (quirais). As proteínas que formam nossos tecidos e as enzimas e os hormônios que controlam nosso organismo são quase sempre substâncias quirais.

Em nosso organismo, ocorrem sucessões enormes de reações bioquímicas, nas quais cada substância deve se "encaixar", com precisão, na molécula (reagente) seguinte, dando origem a etapas bem definidas da reação global. No esquema a seguir, procuramos ilustrar essa ideia, mostrando como um isômero óptico consegue se "encaixar" em uma enzima, enquanto seu antípoda óptico não.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

(Representações esquemáticas sem escala; cores-fantasia.)

Um exemplo importante é o da "queima" dos alimentos em nosso organismo. Ao contrário da gasolina, que queima produzindo diretamente CO_2 e H_2O, os alimentos percorrem um longo caminho até a "queima completa", isto é, até a produção de CO_2 e de H_2O. Uma das últimas etapas é a produção do ácido lático (CH_3 — CHOH — COOH); lembramos porém que, tanto no sangue como nos músculos, está presente **apenas** o isômero dextrogiro, isto é, o ácido (+)-lático (a propósito, é esse ácido que provoca fortes dores musculares quando um atleta executa um grande esforço em um tempo muito curto).

Problemas podem surgir no uso de medicamentos. A maioria dos medicamentos que usamos atualmente é de origem sintética (isto é, foram fabricados pelos laboratórios farmacêuticos). As reações comuns dão origem a **misturas racêmicas**. Às vezes, um isômero é benéfico, mas o outro pode ter efeitos colaterais sérios. Um episódio muito doloroso envolvendo substâncias quirais foi o provocado pela **talidomida**. Esse medicamento foi lançado na Europa, na década de 1960, como tranquilizante e sonífero. Infelizmente, várias gestantes que o utilizaram tiveram bebês com mãos, braços, pés e pernas atrofiados (efeito teratogênico). Posteriormente, verificou-se que apenas a (−)-talidomida é teratogênica, enquanto a (+)-talidomida é a que tem efeito tranquilizante. O uso desse medicamento, porém, continua sendo contraindicado para gestantes, pois há o perigo de um isômero se transformar no outro em nosso organismo.

Talidomida

LEONARD MCCOMBE/LIFE MAGAZINE/TIME & LIFE/GETTY IMAGES

Criança vitimada pela talidomida. (O rosto da criança foi desfigurado em computador, a fim de preservar a identidade dela.)

A partir de fatos como esse, a indústria farmacêutica passou a aprimorar a produção de medicamentos quirais. Atualmente são usadas **sínteses estereosseletivas**, isto é, reações que levam apenas ao isômero desejado. Graças ao desenvolvimento dessas sínteses, em que se usa até **catálise assimétrica** (isto é, com catalisadores quirais), os químicos William S. Knowles, K. Barry Sharpless e Ryoji Noyori receberam o Prêmio Nobel de Química de 2001.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Todo esse desenvolvimento foi muito importante, pois cerca de 70% dos novos medicamentos aprovados nos Estados Unidos em 2007 pela Food & Drug Administration (FDA) contêm, no mínimo, um centro quiral. Evidentemente, isso dificulta e encarece as pesquisas no setor farmacêutico. Atualmente, apenas grandes empresas, em parceria com universidades, conseguem descobrir e aprovar novos medicamentos, cujas vendas mundiais são da ordem de bilhões de dólares. Devemos ainda lembrar que, após sua descoberta, um medicamento é longamente testado em animais e, se aprovado, testado em grupos específicos de pessoas, até que sua venda seja liberada. Mesmo assim, alguns medicamentos são retirados do mercado após anos de uso por apresentarem efeitos colaterais só percebidos tardiamente.

Questões sobre a leitura

Registre as respostas em seu caderno

66. Quais são os procedimentos tomados pela indústria farmacêutica para evitar problemas como os que surgiram com o uso da talidomida?

67. (Mackenzie-SP)

I. óleo de cravo

II. canela

III. óleo de rosas

IV. fragrância de flor de laranjeira

As fragrâncias características dos perfumes podem ser obtidas a partir de fontes naturais, como óleos essenciais extraídos de plantas, flores e animais ou por processos sintéticos. Dos quatro componentes de óleos essenciais, cujas fórmulas estão acima, é correto afirmar que:

a) as substâncias **III** e **IV** apresentam, entre si, isomeria de função.
b) as substâncias **II** e **III** são álcoois.
c) as quatro substâncias possuem cadeias carbônicas saturadas.
d) duas das substâncias são ácidos carboxílicos.
e) cada uma das substâncias possui grupo funcional oxigenado diferente do apresentado nas outras substâncias.

68. (UFPR) Capaz de combater uma variedade de micro-organismos aeróbicos e anaeróbicos, o cloranfenicol é um antibiótico de uso humano e animal, cuja estrutura é:

Cloranfenicol

Quanto à estrutura química do cloranfenicol, considere as seguintes afirmativas:

1. A substância apresenta um grupo amino ligado ao anel aromático.
2. Existe um grupamento álcool em carbono terciário na estrutura.
3. Esse composto apresenta 2 (dois) átomos de carbono assimétricos.
4. A molécula apresenta o grupo funcional cetona.
5. O anel aromático presente na estrutura é para-dissubstituído.

Qual a alternativa correta?

a) Somente a afirmativa 4 é verdadeira.
b) Somente as afirmativas 3 e 5 são verdadeiras.
c) Somente as afirmativas 1 e 2 são verdadeiras.
d) Somente as afirmativas 4 e 5 são verdadeiras.
e) Somente as afirmativas 1, 2 e 3 são verdadeiras.

69. (FGV-SP) A figura abaixo apresenta a estrutura química de dois conhecidos estimulantes.

Cafeína

Anfetamina

A cafeína, quase todas as pessoas a consomem diariamente ao tomarem um cafezinho. A anfetamina é considerada uma droga ilícita, e algumas pessoas fazem o uso dessa droga, como caminhoneiros, para provocar insônia, e jovens, obsessivos por sua forma física, para provocar perda de apetite e redução de "peso". A perda de apetite gerada pelo seu uso constante pode transformar-se em anorexia, um estado no qual a pessoa passa a sentir dificuldade para comer, resultando em sérias perdas de "peso", desnutrição e até morte.

A substância que apresenta carbono assimétrico e os grupos funcionais encontrados nas estruturas desses estimulantes, são, respectivamente:

a) anfetamina, amida e cetona.
b) anfetamina, amida e amina.
c) anfetamina, amina e cetona.
d) cafeína, amina e amida.
e) cafeína, amina e cetona.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO

8 Reações de substituição

Vamos estudar um **tipo comum** de reações orgânicas: as **reações de substituição**. Na Química orgânica, é usual lidar com moléculas pouco reativas e com a formação de subprodutos não desejáveis. Daí a importância da pesquisa em busca de novas reações orgânicas.

TÓPICOS DO CAPÍTULO

1 INTRODUÇÃO

2 A REATIVIDADE DOS COMPOSTOS ORGÂNICOS

3 CONCEITO GERAL DE REAÇÕES DE SUBSTITUIÇÃO

4 REAÇÕES DE SUBSTITUIÇÃO NOS ALCANOS

5 REAÇÕES DE SUBSTITUIÇÃO NOS HIDROCARBONETOS AROMÁTICOS

6 REAÇÕES DE SUBSTITUIÇÃO NOS HALETOS ORGÂNICOS

LEITURA: *UMA SÍNTESE DE SUCESSO – O ÁCIDO ACETILSALICÍLICO*

Sai um, entra outro

*Para o time **reagir** quando a coisa fica feia, o treinador troca um jogador por outro. Após a **substituição**, o time ganha novas características.*

A troca de jogadores altera o estilo das jogadas. Por exemplo, se sai um elemento da defesa e entra um do ataque, temos um time mais agressivo.

ILUSTRAÇÕES: BENNET

Nas reações de substituição ocorre algo semelhante. Na substância orgânica, um átomo é substituído por outro. Essa troca de elementos dá origem a uma nova substância, com outras propriedades.

O composto orgânico trocou um de seus hidrogênios com o cloro, formando um haleto orgânico chamado clorobenzeno. Esse novo composto apresenta novas características, trazidas pelo cloro, que nos permitem fazer previsões sobre o seu comportamento químico.

ILUSTRAÇÕES: BENNET

REFLETINDO

Imagine o clorobenzeno (acima) reagindo com o hidróxido de sódio. Represente a reação química e responda:

a) Quais são os produtos formados?

b) Como você fez sua previsão?

1 Introdução

Este e os próximos cinco capítulos serão dedicados ao estudo das principais reações orgânicas. Considerando que existem milhões de substâncias orgânicas, é fácil concluir que a quantidade de reações possíveis é também muito grande. Embora muito numerosas, as principais reações orgânicas seguem padrões bem definidos, o que facilita a previsão dessas reações. É oportuno também relembrar que as leis gerais da Química continuam valendo na Química orgânica. Por exemplo: moléculas polares reagem, em geral, melhor que as apolares; ácidos reagem com bases; oxidantes reagem com redutores; e assim por diante. Grandezas como o **comprimento** das ligações, a **energia** das ligações e o **ângulo formado** por ligações vizinhas também nos ajudam a compreender melhor as reações orgânicas. Esse conhecimento básico da reatividade das substâncias orgânicas é muito importante, pois tem reflexos diretos na Bioquímica, na indústria de produtos orgânicos etc.

Um problema a ser considerado nos dias atuais é o fato de que em muitas reações orgânicas são produzidos, além do composto desejado, **subprodutos não desejáveis**, em geral tóxicos, que causam problemas ambientais e reduzem o rendimento econômico. Daí a importância do desenvolvimento de novas reações orgânicas que formem produtos específicos e com a maior pureza possível.

Atualmente, a **Química fina** tornou possível produzir diversos **compostos especiais de alto valor agregado**, como, por exemplo: medicamentos, tecidos especiais e novos tipos de plástico. A pesquisa e o desenvolvimento desses compostos são um dos principais focos de interesse de universidades, empresas e governos em todo o mundo.

2 A reatividade dos compostos orgânicos

Normalmente, as reações na Química orgânica são **mais lentas e difíceis** que na Química inorgânica. Isso ocorre porque, em geral, as reações orgânicas são **moleculares**, enquanto as reações inorgânicas são **iônicas**.

As **reações iônicas** (isto é, as que ocorrem entre íons) são, em geral, **fáceis e rápidas**, pois os íons já estão "prontos" para reagir. Por exemplo:

$$AgNO_3 + NaC\ell \longrightarrow AgC\ell\downarrow + NaNO_3$$

Essa reação é **espontânea** e **instantânea** quando feita em solução aquosa em condições ambientes, e pode ser assim resumida:

$$Ag^+ + C\ell^- \longrightarrow AgC\ell\downarrow$$

Em outras palavras, resume-se simplesmente na união dos íons Ag^+ e $C\ell^-$, que já estavam separados (dissociados) em suas respectivas soluções. Muitas reações da Química inorgânica são rápidas justamente por serem reações iônicas.

As **reações moleculares** (isto é, as que ocorrem entre moléculas) são, em geral, **mais lentas e difíceis** que as reações iônicas – é o que acontece normalmente com as reações orgânicas. Nesses casos, a reação somente ocorre com a **quebra** de algumas ligações das moléculas iniciais e a **formação** de novas ligações, que irão constituir as moléculas finais. Por exemplo, a reação $CH_4 + C\ell_2 \longrightarrow CH_3C\ell + HC\ell$ pode ser assim esquematizada:

Como vemos, são quebradas duas ligações nas moléculas iniciais; os átomos de H e $C\ell$ **trocam de posição**; e, finalmente, esses átomos são "religados" em suas novas posições.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

É evidente que, se a quebra das ligações iniciais for fácil e o reatamento das ligações finais for propício, a própria reação será fácil e rápida; caso contrário, a reação será difícil, demorada e somente irá ocorrer com **ajuda externa**, isto é, com o auxílio de temperaturas altas, pressões elevadas, catalisadores especiais etc. Consequentemente, torna-se muito importante saber de que maneira os átomos se ligam às moléculas orgânicas e como essas ligações podem ser quebradas e reatadas. Para alcançar esse objetivo, é necessário conhecer as principais características físico-químicas das **ligações covalentes**, a saber: a energia da ligação, o comprimento da ligação, o ângulo formado entre duas ligações vizinhas e a polaridade da ligação. Consideremos dois exemplos:

1º exemplo

Vamos comparar as duas substâncias abaixo:

$H_3C — I$ → Energia desta ligação: 213,2 kJ/mol

$H_3C — C\ell$ → Energia desta ligação: 338,6 kJ/mol

Pelos valores dados, concluímos que a quebra da ligação C — I exige uma quantidade **menor** de energia (213,2 kJ/mol) do que a quebra da ligação C — Cℓ (338,6 kJ/mol). Consequentemente, a quebra da ligação C — I será **mais fácil** (ocorrendo, por exemplo, em uma temperatura menor) que a quebra da ligação C — Cℓ.

2º exemplo

Consideremos a reação:

$$CH_4 + C\ell_2 \longrightarrow CH_3C\ell + HC\ell$$

Trata-se de uma reação difícil, pois todas as ligações no CH_4 e no $C\ell_2$ são **apolares**.

Vejamos agora esta outra:

$$H_3CC\ell + H_3CMgC\ell \longrightarrow C_2H_6 + MgC\ell_2$$

Ao contrário da primeira, essa é uma reação fácil, pois as polaridades elétricas opostas (indicadas abaixo) facilitam a união dos dois grupos CH_3.

$$\overset{\delta+}{H_3C} \rightarrow \overset{\delta-}{C\ell} + \overset{\delta-}{H_3C} \leftarrow \overset{\delta+}{MgC\ell} \longrightarrow CH_3 — CH_3 + MgC\ell_2$$

Polaridades elétricas opostas

Por fim, é importante lembrar que qualquer reação tem **dupla utilidade** em nossa aprendizagem:

- no 1º membro da equação, aprendemos **como reagem as substâncias**, em outras palavras, estamos visualizando as **propriedades químicas** dos reagentes;
- no 2º membro da equação, aprendemos o **processo de preparação** dos produtos obtidos.

Para chamar a atenção do leitor para essa **dupla utilidade** das reações, indicaremos com **fundo cinza** ( ) o aspecto da **reatividade de um composto** e com **fundo verde** ( ) o **método de preparação** de um outro composto. Veja o exemplo abaixo. Com esse esquema, procuramos indicar que a reação citada nos mostra:

- um **tipo de reação** do hidrocarboneto aromático;
- e um **método de preparação** do nitrocomposto.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

3 Conceito geral de reações de substituição

Como o próprio nome diz:

> **Reações de substituição** são aquelas nas quais um átomo (ou grupo de átomos) da molécula orgânica é substituído por outro átomo (ou grupo de átomos).

Acompanhe os três exemplos abaixo:

I.

Nesta reação, o H do CH_4 foi **substituído** pelo Cℓ. É uma reação difícil, que somente se processa com a **ajuda** externa da luz.

II.

Aqui também o H foi **substituído** pelo Cℓ. É uma reação mais fácil que a anterior, mas necessita da **ajuda** de um catalisador ($FeC\ell_3$).

III.

Aqui o Cℓ do $CH_3C\ell$ foi **substituído** pelo CN, numa reação bastante fácil.

4 Reações de substituição nos alcanos

As reações de substituição mais importantes e comuns que ocorrem com os alcanos são:

- **halogenação:**

- **nitração:**

- **sulfonação:**

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

De modo geral, essas reações são difíceis e somente ocorrem com aumento de temperatura, auxílio de luz ultravioleta etc. – e, mesmo assim, são reações lentas. Por isso, diz-se que **os alcanos são poucos reativos**. Aliás, o próprio nome hidrocarboneto parafínico (do latim: *parum affinis*) significa pouca afinidade, o que implica baixa reatividade. Essa baixa reatividade é mais uma decorrência do fato de as moléculas dos **alcanos** serem **apolares**; em consequência, o outro reagente ($C\ell_2$, HNO_3, H_2SO_4 etc.) tem mais dificuldade de atacar o alcano.

No tocante às reações de halogenação, podemos ainda acrescentar que:

- o metano, com excesso de cloro e com o auxílio de calor e de luz ultravioleta, poderá sofrer a substituição dos demais hidrogênios, de modo a obtermos, sucessivamente:

$$\underbrace{CH_4}_{\text{Metano}} \xrightarrow[\text{U.V.}]{\Delta} \underbrace{CH_3C\ell}_{\text{Clorometano ou cloreto de metila}} \xrightarrow[\text{U.V.}]{\Delta} \underbrace{CH_2C\ell_2}_{\text{Diclorometano ou cloreto de metileno}} \xrightarrow[\text{U.V.}]{\Delta} \underbrace{CHC\ell_3}_{\text{Triclorometano ou clorofórmio}} \xrightarrow[\text{U.V.}]{\Delta} \underbrace{CC\ell_4}_{\text{Tetraclorometano ou tetracloreto de carbono}}$$

  Esses compostos clorados são muito utilizados como solventes **não inflamáveis**, o que representa uma grande vantagem, nos laboratórios e nas indústrias, visto que a maioria dos solventes orgânicos são inflamáveis, podendo causar diversos tipos de acidentes;

- usando-se halogênios diferentes, nota-se que o F_2 é o mais reativo deles e que a reatividade diminui na ordem $C\ell_2$, Br_2, I_2 (conforme previsto na Tabela Periódica); na verdade, o flúor reage tão violentamente que, em geral, destrói a substância orgânica (por exemplo: $CH_4 + 2\,F_2 \longrightarrow C + 4\,HF$); já o iodo nem chega a reagir; desse modo, a halogenação dos alcanos limita-se, via de regra, às **clorações** e às **bromações**;

- em alcanos maiores haverá **formação de isômeros**. Por exemplo:

$$CH_3-CH_2-CH_3 \xrightarrow{C\ell_2} \underbrace{\overset{\text{Carbono primário}}{CH_2}(C\ell)-CH_2-CH_3}_{43\%} \quad e \quad \underbrace{CH_3-\overset{\text{Carbono secundário}}{CH}(C\ell)-CH_3}_{57\%}$$

As formações de 43% do primeiro composto e 57% do segundo mostram que a reatividade dos hidrogênios depende de sua posição na cadeia carbônica. Verifica-se experimentalmente que a ordem de facilidade com que um hidrogênio é substituído é:

Carbono primário < Carbono secundário < Carbono terciário

Facilidade de saída do hidrogênio (H)

Nem sempre, porém, é fácil prever as porcentagens dos produtos formados. Na reação dada acima, temos, no alcano inicial ($CH_3-CH_2-CH_3$), um total de **seis** hidrogênios em carbonos primários e apenas **dois** em carbonos secundários. A probabilidade de um átomo de cloro "atingir" um hidrogênio em carbono primário é, portanto, **três vezes maior** que a de "atingir" um hidrogênio em carbono secundário.

Consequentemente, o **fator probabilidade**, nessa reação, está agindo contra o **fator cinético** da reação de substituição. Se assim não fosse, teríamos, talvez, uma porcentagem ainda maior de substituição no carbono secundário.

Questões

Registre as respostas em seu caderno

Considere a reação de monocloração do metil-propano.

a) Qual é a equação química correspondente? Indique quais são os isômeros planos formados na reação.

b) Dê o nome dos isômeros formados.

c) Indique qual isômero é formado mais rapidamente.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Pesquisa

Registre as respostas em seu caderno

O que são xenoestrogênios? O que é DDT? Os pesticidas organoclorados podem ser considerados xenoestrogênios? Como essas substâncias químicas são transmitidas para os recém-nascidos? Qual foi o objetivo da Convenção de Estocolmo sobre Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs)? Esse objetivo foi alcançado?

Você pode encontrar algumas informações nos seguintes artigos:

- TINOCO, J. Herança do mal. *Ciência Hoje on-line*, nov. 2006. Disponível em: <http://cienciahoje.uol.com.br/noticias/biologia/heranca-do-mal>
- Ministério do Meio Ambiente. *Convenção de Estocolmo*. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/sitio/index.php?ido=conteudo.monta&idEstrutura=143&idMenu=7729>

Acessos em: mar. 2010.

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

1. Dadas as energias de ligação C — C (83 kcal/mol), C — H (99 kcal/mol), C — Br (68 kcal/mol), preveja qual das ligações será quebrada em primeiro lugar, durante o aquecimento da substância $CH_3 — CH_2Br$.

2. (Cesgranrio-RJ) Qual é o número de produtos monoclorados obtidos pela substituição de qualquer átomo de hidrogênio em 2,4-dimetil-pentano por um átomo de cloro?

a) 2
b) 3
c) 4
d) 5
e) 6

3. (Fesp-SP) Quantos derivados monobromados se obtêm durante a bromação do 2-metil-pentano a 300 °C?

a) 2 b) 4 c) 3 d) 6 e) 5

4. (PUC-MG) Qual é o produto principal da reação de substituição?

a) cloreto de isopropila.
b) 1,1-dicloro-butano.
c) 1,2-dicloro-butano.
d) 2-metil-1-cloro-propano.
e) 2-metil-2-cloro-propano.

5. (Fesp-PE) Na halogenação do composto 3-metil-pentano, em reação de substituição, o átomo de **hidrogênio** mais facilmente substituível pelo **halogênio** se situa no carbono:

a) 1
b) 2
c) 3
d) 4
e) 5

6. (PUC-PR) A monocloração do 2-metilpentano pode fornecer vários compostos, em proporções diferentes. Dos compostos monoclorados, quantos apresentarão carbono quiral ou assimétrico?

a) 4
b) 5
c) 1
d) 2
e) 3

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

5 Reações de substituição nos hidrocarbonetos aromáticos

5.1. As substituições aromáticas mais importantes

As reações de substituição são mais fáceis nos hidrocarbonetos aromáticos do que as observadas nos alcanos, que vimos no item anterior.

Nos hidrocarbonetos aromáticos, as reações de substituição mais comuns e importantes são:

- **halogenação:**

- **nitração:**

- **sulfonação:**

- **alquilação de Friedel-Crafts:**

- **acilação de Friedel-Crafts:**

Detergentes

Um exemplo importante de aplicação dessas reações é a fabricação de detergentes:

Benzeno — Dodecil-benzeno — Ácido p-dodecil-benzeno sulfônico — p-dodecil-benzeno sulfonato de sódio (Detergente)

JOHN HESELTINE/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

O detergente é obtido a partir de reações de substituição.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

5.2. Influência de um grupo dirigente (*G*) já presente no anel

Quando já existe um grupo (*G*) ligado ao anel benzênico, ele influi em todas as substituições aromáticas descritas anteriormente. Ocorrem, então, duas situações bem distintas.

a) Certos grupos **facilitam** a reação e **orientam** a entrada de um segundo grupo para as posições **orto** e **para**. É o caso, por exemplo, do grupo CH_3 existente no tolueno:

b) Outros grupos **dificultam** a reação e **orientam** a entrada de um segundo grupo para a posição **meta**. É o caso, por exemplo, do grupo COOH existente no ácido benzoico:

Os grupos da classe (a) são denominados **ativantes** e **orto-para-dirigentes**; os da classe (b) são **desativantes** e **meta-dirigentes**.

São grupos **ativantes** e **orto-para-dirigentes** em ordem decrescente de intensidade:

São grupos **desativantes** e **meta-dirigentes** em ordem decrescente de intensidade:

Note que, frequentemente, esses grupos têm ligações duplas ou triplas ou dativas.

Um caso particular interessante é o dos halogênios (Cℓ, Br, I), que são **desativantes fracos**, porém **orto-para-dirigentes**.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

5.3. Reações em cadeias laterais

Um hidrocarboneto benzênico é formado pelo anel e por uma ou mais **ramificações acíclicas e saturadas** (alquilas), isto é, **ramificações semelhantes às dos alcanos** (veja ao lado os exemplos do tolueno e do etil-benzeno). As reações no anel foram vistas nos itens anteriores; agora, veremos que **as ramificações reagem como se fossem alcanos**. Veja abaixo:

Tolueno Etil-benzeno

Essa reação é idêntica à da cloração do metano, vista na página 237. Como naquele caso, ela pode prosseguir em presença de excesso de cloro:

Note, por fim, uma diferença importante:

O caminho duplo visto acima é um fato muito comum na Química orgânica: **mudando-se as condições da reação** (presença ou não de luz, calor ou catalisador), **muda também o produto formado**.

5.4. Reações em outros hidrocarbonetos aromáticos

Hidrocarbonetos polinucleares dão substituições aromáticas nos vários anéis. O naftaleno, por exemplo, como podemos verificar no desenho ao lado, apresenta dois tipos de hidrogênio:

- nas posições α (alfa);
- nas posições β (beta).

Naftaleno

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Os hidrogênios α são mais reativos; os β só reagem em condições mais enérgicas (temperaturas mais elevadas). Veja abaixo:

Questões

Registre as respostas em seu caderno

a) Por meio da alquilação de Friedel-Crafts, é possível para as indústrias de detergentes inserirem um grupo dodecil ($-C_{12}H_{25}$) no anel benzênico. A seguir, realizando uma sulfonação, tais indústrias obtêm o ácido para-dodecil-benzeno-sulfônico que, por sua vez, é neutralizado com NaOH (ou Na_2CO_3).
Quais são as equações químicas das reações citadas no texto?

b) Quais são as reações envolvidas na obtenção do meta-cloro-nitrobenzeno, quando se utiliza o benzeno como matéria-prima orgânica?

c) Em seu caderno, transcreva as equações abaixo e dê os produtos obtidos nas reações.

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

7. (Mackenzie-SP-Modificado) O ácido pícrico, ingrediente usado em pomadas para queimaduras, tem a fórmula estrutural plana a seguir.

A respeito dessa substância, fazem-se as afirmações:

I. Apresenta substituinte nitro nas posições orto e para.
II. Pode ser obtida por nitração do fenol.
III. 2,4,6-trinitro-fenol é o seu nome oficial.
IV. Possui grupo hidróxi ligado a anel aromático.
V. Possui grupo amino em sua estrutura.

Das afirmações feitas, estão corretas:

a) II, III e IV somente.
b) IV e V somente.
c) I e II somente.
d) III e IV somente.
e) I, II, III e IV somente.

8. (UFV-MG) Substâncias que apresentam anéis benzênicos em suas estruturas podem sofrer reações de substituição eletrofílica, conforme o exemplo abaixo, onde o $FeBr_3$ atua como catalisador:

Dentre as opções abaixo, qual delas corresponde aos compostos (I) e (II)?

a) (I) = Br_2 e (II) = $FeBr_2$
b) (I) = NaBr e (II) = NaH
c) (I) = HBr e (II) = H_2
d) (I) = HBr e (II) = H^+
e) (I) = Br_2 e (II) = HBr

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

9. (UFRJ) Os nitrotoluenos são compostos intermediários importantes na produção de explosivos.
Os mononitrotoluenos podem ser obtidos simultaneamente, a partir do benzeno, através da seguinte sequência de reações:

a) Qual é a fórmula estrutural do composto *A* e o nome do composto *B*?
b) Identifique o tipo de isomeria plana presente nos três produtos orgânicos finais da sequência de reações.

10. (UFPR) Dentre os hidrocarbonetos, cujas fórmulas são aqui apresentadas, qual daria somente um composto, se substituíssemos apenas um dos átomos de hidrogênio do anel?

a) 1 b) 2 c) 3 d) 4 e) 5

11. (FEQ-CE-Modificado) Na reação de nitração do etil-benzeno, obtém-se a mistura ao lado.
Pode-se, portanto, afirmar que o grupo etil é:

a) meta-dirigente.
b) orto e meta-dirigente.
c) orto e para-dirigente.
d) meta e para-dirigente.
e) orto, meta e para-dirigente.

12. (UEPB) Ao efetuar-se duas substituições em um anel aromático, verifica-se experimentalmente que a posição da segunda substituição no anel depende da estrutura do primeiro grupo substituinte, o qual determinará a posição preferencial para a segunda substituição. Esse fenômeno é conhecido por **dirigência** e os grupos responsáveis por essa dirigência são chamados de orto-para-dirigentes e meta-dirigentes. Considere os grupos I, II, III, IV e V a seguir:

I. $— SO_3H$
II. $— NO_2$
III. $— I$
IV. $— CH_3$
V. $— COOH$

Qual é a alternativa que contém, apenas, grupos orientadores meta-dirigentes?

a) III, IV e V.
b) II, IV e V.
c) I, II e IV.
d) I, II e V.
e) II, III e IV.

13. (UFRGS) Considere a seguinte rota sintética.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O reagente *A* e o produto *B* são, respectivamente:

a) $CH_4/A\ell C\ell_3$ e

b) $CH_3C\ell/A\ell C\ell_3$ e

c) $CH_3CH_3/A\ell C\ell_3$ e

d) $CH_3C\ell/A\ell C\ell_3$ e

e) $CH_4/A\ell C\ell_3$ e

14. (UFSM-RS) Observe as equações de reações de substituição eletrofílica em compostos aromáticos:

$$+ \; Br_2 \xrightarrow{FeBr_3} A + HBr$$

$$+ \; 3\,Br_2 \xrightarrow{H_2O/H^+} B + 3\,HBr$$

Os nomes corretos dos produtos *A* e *B* são, respectivamente:

a) 1,4-dibromobenzeno e 4-bromofenol.
b) 1,2,3-tribromobenzeno e 2-bromofenol.
c) 5-bromobenzeno e 2, 4-dibromofenol.
d) 1,2-dibromobenzeno e 1,1,3-tribromofenol.
e) bromobenzeno e 2,4,6-tribromofenol.

15. Transcreva as equações, em seu caderno, e dê os produtos formados nas seguintes reações envolvendo hidrocarbonetos aromáticos.

a)

$$+ \; C\ell_2 \xrightarrow{FeC\ell_3} \textit{produtos}$$

b)

$$+ \; C\ell_2 \xrightarrow{FeC\ell_3} \textit{produtos}$$

c)

$$+ \; CH_3C\ell \xrightarrow{A\ell C\ell_3} \textit{produtos}$$

16. (PUC-PR) O fenol reage com duas moléculas de ácido nítrico e fornece um dinitrocomposto. Dos produtos teoricamente possíveis abaixo relacionados, o mais provável é:

a)

b)

c)

d)

e)

17. (UFF-RJ) O tolueno é muito usado na indústria tanto como solvente quanto como intermediário químico na fabricação de explosivos.

Identifique o composto formado, preferencialmente, pela trinitração do tolueno, considerando as regras usuais de substituição aromática.

a)

b)

c)

d)

e)

18. (Cesgranrio-RJ) As reações de substituição do tolueno com $C\ell_2$ podem gerar diferentes produtos, dependendo das condições em que ocorram. No caso em que essa substituição é realizada com aquecimento e na presença de luz, o produto orgânico formado é:

a)

b)

c)

d)

e)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exercícios complementares

Registre as respostas em seu caderno

19. (PUC-PR) A monocloração do nitrobenzeno produz:

a) o-cloro-nitrobenzeno.
b) m-cloro-nitrobenzeno.
c) p-cloro-nitrobenzeno.
d) uma mistura equimolecular de o-cloro-nitrobenzeno e p-cloro-nitrobenzeno.
e) cloro-benzeno.

20. (UFF-RJ) O anel benzênico pode sofrer reação de substituição eletrofílica aromática com cloro e gerar clorobenzeno, e a subsequente cloração desse produto leva à formação de três isômeros dissubstituídos. Com base nessas informações:

a) represente a fórmula estrutural dos isômeros;
b) aponte os isômeros polares;
c) mencione os produtos principais da segunda reação.

21. (UCDB-MS) Na nitração de benzeno com diferentes substituintes *X*, podem ser formados os produtos 1, 2 e 3, segundo a reação abaixo:

Considere as seguintes afirmações a respeito dessa reação:

I. Trata-se de uma reação de substituição.
II. Quando $X = C\ell$, **1** e **3** são os produtos principais.
III. Quando $X = NO_2$, **2** é o produto principal.
IV. Quando $X = CH_3$, **1** e **3** são os produtos principais.
V. Nas mesmas condições, a reação é mais rápida quando $X = CH_3$ do que quando $X = C\ell$.

Qual é a alternativa correta?

a) Somente I está correta.
b) Somente III e IV estão corretas.
c) Somente I, III e IV estão corretas.
d) Somente I, II, III e IV estão corretas.
e) Todas estão corretas.

22. (Fuvest-SP) Quando se efetua a reação de nitração do bromobenzeno, são produzidos três compostos isoméricos mononitrados:

Efetuando-se a nitração do para-dibromobenzeno, em reação análoga, o número de compostos **mononitrados** sintetizados é igual a:

a) 1
b) 2
c) 3
d) 4
e) 5

23. (Cesgranrio-RJ) A substituição de quatro átomos de H do benzeno por quatro átomos de cloro fornece um número de isômeros de posição igual a:

a) 2
b) 3
c) 4
d) 5
e) 6

24. (PUC-PR) Dada a reação:

X pode ser:

a)

somente.

b)

somente.

c)

somente.

d)

somente.

e) uma mistura de orto-cloro-etilbenzeno e para-cloro-etilbenzeno.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

25. (PUC-SP) Em condições reacionais apropriadas, o benzeno sofre reação de substituição.

Grupos ligados ao anel benzênico interferem na sua reatividade. Alguns grupos tornam as posições orto e para mais reativas para reações de substituição e são chamados orto-para-dirigentes, enquanto outros grupos tornam a posição meta mais reativa, sendo chamados de meta-dirigentes.

Grupos orto-para-dirigentes: $-C\ell$, $-Br$, $-NH_2$, $-OH$.

Grupos meta-dirigentes: $-NO_2$, $-COOH$, $-SO_3H$.

Considerando as informações acima, o principal produto da reação do 4-nitrofenol com bromo (Br_2) na presença do catalisador $A\ell C\ell_3$ é:

a)

b)

c)

d)

e)

6 Reações de substituição nos haletos orgânicos

Os haletos alifáticos são muito reativos e, a partir deles, podemos sintetizar praticamente todas as demais funções orgânicas.

O maior inconveniente dessas reações reside no preço elevado dos haletos, que limita sua aplicação às reações de laboratório e a certos tipos de reações industriais, classificadas atualmente como reações de "Química fina", pois se destinam à fabricação de produtos de preço elevado, como medicamentos (foto A), corantes especiais (foto B), cosméticos (foto C) etc.

OLIVER BERG/NEWSCOM/LATINSTOCK

Produção de medicamento. (Alemanha, 2004.)

PHOTOTAKE/ALAMY/OTHER IMAGES

Operário retirando uma amostra de pigmento. (Alemanha, 2002.)

JOERN POLLEX/AFP/GETTY IMAGES

Produção de creme facial. (Alemanha, 2002.)

As reações mais comuns e importantes dos haletos orgânicos são:

$$\underbrace{CH_3Br}_{\text{Haleto}} + NaOH \longrightarrow \underbrace{CH_3OH}_{\text{Álcool}} + NaBr$$

$$\underbrace{CH_3Br}_{\text{Haleto}} + NaOCH_3 \longrightarrow \underbrace{CH_3-O-CH_3}_{\text{Éter}} + NaBr$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

$$\underbrace{CH_3Br}_{\text{Haleto}} + NaC{\equiv}C{-}CH_3 \longrightarrow \underbrace{CH_3{-}C{\equiv}C{-}CH_3}_{\text{Alcino}} + NaBr$$

$$\underbrace{CH_3Br}_{\text{Haleto}} + NaCN \longrightarrow \underbrace{CH_3{-}CN}_{\text{Cianeto ou nitrila}} + NaBr$$

$$\underbrace{CH_3Br}_{\text{Haleto}} + NH_3 \longrightarrow \underbrace{CH_3{-}NH_2}_{\text{Amina}} + HBr \longrightarrow [CH_3NH_3]^+\ Br^-$$

Note que as reações acima se assemelham a reações de dupla troca, em que o halogênio (*X*) é substituído por diferentes grupos, resultando em inúmeras funções orgânicas diferentes. É importante também notar que a retirada de H*X* ou de Na*X*, **compostos inorgânicos altamente estáveis**, favorece a formação de produtos, dando-lhes um **rendimento elevado**.

Nessas reações, a ordem de reatividade é:

Iodetos > Brometos > Cloretos > Fluoretos

A reatividade diminui dos iodetos para os fluoretos, porque do iodo para o flúor aumenta a energia da ligação C — *X*.

Os haletos de arila (aromáticos) são menos reativos que os haletos de alquila (alifáticos), devido à ressonância existente entre um par eletrônico livre do halogênio e o anel aromático.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Questão

Registre as respostas em seu caderno

Quais são as fórmulas dos reagentes que devem ser utilizadas para que propanoato de etila e cloreto de sódio sejam obtidos?

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

26. Quais são os produtos formados nas seguintes reações envolvendo haletos orgânicos?

a) $CH_3Br + CH_3{-}CH_2ONa$
b) $C_2H_5I + HC{\equiv}CNa$
c) $CH_3C\ell + NaCN$

27. (FEI-SP) A equação $CH_3CH_2Br + OH^- \longrightarrow CH_3CH_2OH + Br^-$ representa uma reação de:

a) ionização.
b) condensação.
c) eliminação.
d) substituição.
e) adição.

28. (PUC-SP) Das ligações abaixo, qual terá maior tendência para sofrer ruptura?

a) $CH_3 - H$
b) $CH_3 - CH_3$
c) $CH_3 - NO_2$
d) $CH_3 - NH_2$
e) $CH_3 - F$

29. Dê as equações referentes à obtenção dos compostos abaixo:

a) etanol a partir de cloreto de etila.
b) metoxi-etano a partir de brometo de metila.
c) hex-3-ino a partir de bromo-etano.
d) propanonitrila a partir de brometo de etila.
e) metilamina a partir de cloreto de metila.

LEITURA

UMA SÍNTESE DE SUCESSO — O ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

A história do ácido acetilsalicílico, que já tem mais de 100 anos, é um bonito exemplo do desenvolvimento da Química orgânica. Em linhas gerais, essa história é a seguinte:

- No antigo Egito, combatiam-se inflamações com um extrato obtido da casca do salgueiro (árvore do gênero *Salix*).

Assim como Hipócrates, Dioscórides, um dos mais notáveis médicos da Antiguidade, receitava emplastos feitos com cascas e folhas do salgueiro para o tratamento de dores reumáticas. À direita, temos o salgueiro e à esquerda, fragmentos de cascas do seu tronco.

- 400 a.C. — Hipócrates (460-377 a.C.), considerado o pai da Medicina, recomendava o mesmo tratamento.
- 1763 — O reverendo inglês Edmund Stone sugere o uso da casca do salgueiro branco (*Salix alba*) para o tratamento da febre e de calafrios.
- 1826 — Os químicos italianos Brugnatelli e Fontana anunciam que o princípio ativo da casca do salgueiro era a **salicina** (composto de estrutura complexa).
- 1838 — O químico italiano Raffaele Piria obtém o **ácido salicílico** a partir da salicina.

Ácido salicílico (função mista: ácido-fenol).

- 1859 — O químico alemão Hermann Kolbe determina a estrutura do ácido salicílico e, no ano seguinte, consegue uma síntese econômica do produto. A partir dessa época, o ácido salicílico passou a ser muito usado no combate à febre, às dores nas juntas, ao reumatismo e à artrite. No entanto, seu caráter ácido prejudicava o estômago, causando dores, sangramento e até úlceras.
- 1877 — O farmacêutico alemão Senator passa a indicar o sal de sódio do ácido salicílico (salicilato de sódio), que é menos irritante ao estômago, mas tem um gosto muito desagradável.

Salicilato de sódio (sal e fenol).

- 1897 — O químico alemão Felix Hoffmann sintetiza o ácido acetilsalicílico, que se revela bem menos irritante para a mucosa estomacal, embora mantenha as propriedades medicinais do ácido salicílico — veja que, às vezes, basta mudar uma parte da molécula (que está assinalada na fórmula abaixo) para melhorar as qualidades do medicamento (essa é uma das formas de trabalho da Química farmacêutica até hoje).

Fórmula estrutural do ácido acetilsalicílico (ácido e éster).

- 1899 — Uma empresa farmacêutica alemã patenteia o ácido acetilsalicílico para o combate às dores (analgésico), à febre (antipirético) e às inflamações (anti-inflamatório). Esse foi o primeiro medicamento a ser testado clinicamente, antes de seu lançamento.

O conhecimento da estrutura do ácido acetilsalicílico e de sua maneira de agir no organismo levou os químicos a criarem várias fórmulas novas de analgésicos, como o **p-acetoaminofenol** (conhecido genericamente como paracetamol):

O exemplo do ácido acetilsalicílico demonstra com clareza a importância dos processos de **análise** e **síntese** na Química. Veja que há milênios se conhecem as propriedades da planta do salgueiro. A curiosidade humana, porém, somada ao trabalho, ao conhecimento e a interesses diversos, levou os químicos a **analisarem** e a reconhecerem as características e a estrutura do ácido acetilsalicílico. Com esse conhecimento, conseguiu-se **sintetizar** a própria substância, além de várias outras mais adequadas aos objetivos desejados.

Foi por meio de processos como esses que descobertas foram feitas, empresas foram construídas e vidas foram salvas.

Muitas vezes, a descoberta de novos produtos é reflexo do modelo de consumo excessivo que está presente em diversas sociedades. O consumismo pode levar ao esgotamento dos recursos naturais e a desequilíbrios ambientais irreversíveis. Infelizmente, já podemos constatar tais fatos em relação a vários recursos naturais.

Assim, é sempre importante lembrar, nas escolhas e decisões diárias, nossas responsabilidades com o planeta.

Questões sobre a leitura

Registre as respostas em seu caderno

30. Qual é a fórmula e o nome do composto orgânico separado da salicina que responde pelos efeitos medicamentosos da casca do salgueiro?

31. Como o ácido salicílico foi transformado para produzir o medicamento amplamente utilizado atualmente?

32. Pesquise por que pessoas com dengue não podem utilizar medicamentos que contêm ácido acetilsalicílico.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO

9 Reações de adição

Outro importante grupo das reações orgânicas são as **reações de adição**. O composto orgânico sofre a adição de novos átomos em sua cadeia carbônica. Por exemplo, adicionam-se hidrogênios, haletos e até compostos inorgânicos, o que possibilita a síntese de diversos compostos orgânicos.

TÓPICOS DO CAPÍTULO

1 INTRODUÇÃO

2 ADIÇÕES À LIGAÇÃO DUPLA C = C

3 ADIÇÕES A LIGAÇÕES DUPLAS CONJUGADAS

4 ADIÇÕES À LIGAÇÃO TRIPLA C ≡ C

5 REAÇÕES DOS CICLANOS – ADIÇÃO OU SUBSTITUIÇÃO?

6 ADIÇÕES À CARBONILA C = O

LEITURA: *O USO PRÁTICO DAS REAÇÕES DE ADIÇÃO*

As polêmicas da margarina

A margarina surgiu em 1869, na França, para substituir a manteiga que estava muito cara, desaparecida tanto da mesa do povo como do pão do exército.

Preocupado, o governo francês ofereceu um prêmio a quem inventasse uma alternativa mais barata e conservável.

O químico Mège Mouriès observou que, mesmo sem comer, as vacas produziam leite. Percebeu que o leite é um produto da gordura.

Pensou então que, a partir do sebo animal, poderia refazer o processo, obtendo a nata.

Era preciso quebrar as moléculas do sebo para retirar óleo. Assim, adicionou suco gástrico de vaca e água acidificada ao sebo, conseguindo óleo líquido e óleo sólido.

ILUSTRAÇÕES: ROMERO CAVALCANTI

Mouriès misturou ao óleo líquido leite desnatado, enzimas e bicarbonato de sódio, criando uma pasta chamada margarina, que vem do termo grego que significa pérola, e ganhou o prêmio.

Mas os produtores de manteiga não gostaram da concorrência. Na Europa, a margarina ficou proibida por anos.

O mesmo fizeram alguns estados nos Estados Unidos.

Outros estados desse país impuseram taxas e até o uso de corantes rosa para restringir seu consumo.

A pasta estreou no Brasil em 1948, já feita de óleos vegetais e sem as restrições. Seu consumo disparou nos anos seguintes, com os alertas médicos sobre os males das gorduras animais.

Porém, entre os anos 1980 e 1990, descobriu-se que a **gordura trans** da margarina era pior que a gordura saturada animal.

Ela foi condenada por aumentar o risco de doenças cardiovasculares.

Novas técnicas reduziram a quantidade de gordura trans nos alimentos, mas os efeitos dessas alternativas na saúde ainda são estudados e as polêmicas continuam a surgir.

REFLETINDO

Considere os seguintes hidrocarbonetos:

$H_3C — CH_3$ Etano

$H_2C = CH_2$ Eteno

$HC \equiv CH$ Etino

a) Em qual deles a adição de hidrogênios é mais fácil?
b) Em qual deles a adição de hidrogênios é mais difícil?
Explique sua teoria para as respostas dadas.

ILUSTRAÇÕES: ROMERO CAVALCANTI

1 Introdução

As **reações de adição** formam outro grande grupo de reações orgânicas. Como o próprio nome diz, são aquelas nas quais um átomo ou grupo de átomos (orgânico ou inorgânico) se **adiciona** à molécula orgânica. Evidentemente essa adição só será possível se a molécula orgânica tiver "lugares vagos" em sua estrutura, como os representados pelas ligações duplas e triplas. Podemos então dizer que reações de adição são reações típicas das insaturações presentes nos **hidrocarbonetos insaturados**, como alcenos, dienos, alcinos etc., e também nos compostos com grupos **funcionais insaturados**, como aldeídos, cetonas, nitrilas, isonitrilas, nitrocompostos etc.

Daí a definição:

> **Reações de adição** ocorrem quando se adiciona um reagente a uma molécula orgânica.

Os casos mais comuns são as adições às ligações C = C, C ≡ C e C = O. Por exemplo:

Generalizando a ideia acima, temos:

em que *A* e *B* são denominados **adendos** e podem ser iguais ou diferentes um do outro.

Esse tipo de reação pode ser explicado lembrando-se que a ligação dupla é formada por uma ligação σ e uma ligação π. A ligação π é a mais fraca – isto é, pode ser quebrada com mais facilidade, permitindo, assim, a adição de átomos (ou grupos de átomos) aos carbonos que antes formavam a ligação dupla.

As **adições** à ligação dupla são as reações mais características dos **alcenos**. Como essas reações são fáceis, podemos dizer que os alcenos são bem mais reativos que os alcanos, vistos no capítulo anterior.

Essas reações são também importantes do ponto de vista industrial, destacando-se, nesse caso, vários processos de hidrogenação de hidrocarbonetos (na indústria petroquímica), de hidrogenação de óleos vegetais (na fabricação da margarina) etc.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

2 Adições à ligação dupla C = C

2.1. Adições mais comuns

a) Adição de hidrogênio (hidrogenação)

Essa reação é chamada de **hidrogenação catalítica** ou de **reação de Sabatier-Senderens**, que serve de base para a produção, por exemplo, de margarinas a partir de óleos vegetais. (Não é usual preparar alcanos por esse caminho, pois os alcenos são mais caros e menos abundantes que os alcanos.)

CC STUDIO/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

A margarina é obtida por meio de hidrogenação de óleos vegetais.

b) Adição de halogênios (halogenação)

Essa reação é espontânea e o 1,2-dicloro-etano (ou cloreto de etileno) formado é um líquido **oleoso** – o que deu origem ao nome de **olefina**, também dado aos alcenos (do latim: *oleum faciens*, "formador de óleo"). Dos vários halogênios, a ordem de reatividade é $C\ell_2 > Br_2 > I_2$. (Não falamos no F_2, pois sua alta reatividade geralmente provoca a destruição do composto orgânico.)

Teste de ligações duplas com bromo

A solução de bromo em $CC\ell_4$ tem cor vermelho-castanho, que é característica do bromo. Se essa cor desaparece ao adicionar algumas gotas dessa solução numa substância orgânica, isso indica que há **presença de ligações duplas** no composto orgânico analisado, devido à reação:

c) Adição de halogenidretos – HCℓ, HBr, HI (hidro-halogenação)

A ordem de reatividade é: $HI > HBr > HC\ell$, que é a própria ordem de força dos ácidos (capacidade para doar prótons).

d) Adição de água (hidratação)

2.2. A adição em alcenos superiores

Em todas as reações de adição apresentadas até agora, usamos o $CH_2 = CH_2$ como exemplo de alceno. Em alcenos superiores, isto é, com cadeias carbônicas maiores, vamos notar um comportamento interessante; por exemplo:

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Veja que, das duas opções mostradas no exemplo dado, o H se liga preferencialmente ao carbono 1, quase não se ligando ao carbono 2. Essa preferência é expressa pela **regra de Markownikoff**, segundo a qual "**o hidrogênio (ou o grupo mais eletropositivo) se adiciona ao carbono que já está mais hidrogenado**". Esse fato vale para as outras reações de adição, como a da água (H — O — H), a do ácido sulfúrico (H — HSO_4) etc. A única exceção é a da **adição de HBr em presença de peróxidos**, em que temos:

Em casos como este último, dizemos que houve uma **adição anti Markownikoff**, ou que ocorreu um **efeito peróxido** (ou **efeito Kharasch**).

2.3. As adições ao núcleo benzênico

As ligações duplas existentes no anel benzênico nos dão a primeira impressão de que deveriam ser fáceis as reações de adição, tal como acontece com os alcenos. Exemplos:

Ou então:

Isso, porém, **não é verdade**, porque:

- **a primeira reação só ocorre com catalisadores** (Ni ou Pt) **e em condições drásticas** (300 °C e 200 atm de pressão);
- **a segunda reação só ocorre com auxílio de luz ultravioleta e calor**.

Tudo isso indica que o **anel benzênico é muito estável e resiste às reações de quebra de suas duplas ligações** (veja as páginas 184 a 186).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Em hidrocarbonetos aromáticos ramificados, as ramificações seguem os padrões normais de reatividade observados nas olefinas. Assim, por exemplo, no estireno, a ligação dupla da ramificação sofre adições semelhantes às dos alcenos:

O **estireno** é muito importante, do ponto de vista industrial, pois é a matéria-prima na produção do plástico denominado **poliestireno**.

n moléculas de estireno → molécula longa de poliestireno

AARON HAUPT/PR/ LATINSTOCK

Muitos produtos são feitos à base de poliestireno.

Questões

Registre as respostas em seu caderno

Os alcenos podem sofrer reação de adição. Qual é a fórmula e o nome dos reagentes utilizados para se obter:

a) preferencialmente o propan-2-ol?

b) preferencialmente o 1-bromo-propano?

c) etanol por via petroquímica?

Pesquisa

Registre as respostas em seu caderno

Consulte o *site* sugerido a seguir ou outras fontes e responda:

a) Por que as indústrias petroquímicas são divididas em segmentos?

b) O que são indústrias de 1ª, 2ª e 3ª gerações?

c) Quais as matérias-primas para a obtenção do PVC (cloreto de polivinila)? Essas matérias-primas fazem parte de qual geração?

d) O que é MVC?

e) A indústria petroquímica está envolvida em todas as gerações?

Conselho Regional de Química 4ª Região — Petroquímica. *Química Viva*. Disponível em: <www.crq4.org.br>

Acesse "campos de atuação do profissional da química" e "petroquímica".

Acesso em: mar. 2010.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

1. Dê os produtos das seguintes reações envolvendo alcenos:

a) $CH_2 = CH - CH_3 + Br_2$

b) $CH_2 = C(CH_3) - CH_3 + HC\ell$

c) $CH_3 - CH = C(CH_3) - CH_3 + H_2O + H_2SO_4$ (cat.)

2. (UFC-CE) São apresentados, abaixo, quatro compostos pertencentes a várias funções orgânicas:

CH_3OH CH_3NH_2 $CH_2 = CH_2$

A alternativa que corresponde a dois compostos capazes de sofrer reação de adição é:

a) metanol e metilamina.
b) metilamina e eteno.
c) ciclo-hexeno e metilamina.
d) ciclo-hexeno e metanol.
e) eteno e ciclo-hexeno.

3. (Unip-SP) Os alcenos adicionam água na presença de H_2SO_4 como catalisador. A reação:

$$CH_2 = CH - CH_3 + H_2O \xrightarrow{H_2SO_4} A$$

tem *A* como produto principal. A alternativa que corresponde a esse produto é:

a) $CH_3 - CH_2 - CH_3 + H_2O_2$
b) $CH_2OH - CH_2 - CH_3$
c) $CH_3 - CHOH - CH_3$
d) $CH_2OH - CHOH - CH_3$
e) $CH_3 - O - CH_2 - CH_3$

4. (PUC-MG) Na reação do metilpropeno com $HC\ell$, há formação de:

a) 1-buteno.
b) isobutano.
c) 2-cloro-metilpropano.
d) 1-cloro-metilpropano.
e) 1-cloro-metilpropeno.

5. (UFRN) A adição de brometo de hidrogênio a 3, 4-dimetil-penteno-2 produz o seguinte composto:

a) 2-bromo-3,4-dimetil-pentano.
b) 2-bromo-3,4-metil-penteno-2.
c) 2,3-dibromo-3,4-dimetil-pentano.
d) 3-bromo-2,3-dimetil-pentano.
e) 4-bromo-3,4-dimetil-penteno-2.

6. (UFSM-RS) O eugenol tem a fórmula estrutural abaixo.

Com relação a esse composto, **não** é correto afirmar que:

a) descora a solução de bromo em $CC\ell_4$.
b) é uma substância insaturada.
c) apresenta função fenol.
d) apresenta função éter.
e) apresenta função álcool.

7. (Cesgranrio-RJ) Dois alcenos de fórmula molecular C_5H_{10} sofrem reações de hidratação em meio ácido. Os produtos principais gerados, respectivamente, são: 3-metil-2-butanol e 2-metil-2-butanol. O tipo de isomeria existente entre os alcenos reagentes e o tipo de isomeria encontrado entre os produtos acima citados são, respectivamente:

a) cadeia e posição.
b) cadeia e cadeia.
c) cadeia e função.
d) posição e posição.
e) função e posição.

8. (UFRGS-RS) Em 1887, Wislicenus determinou experimentalmente a existência de dois isômeros com fórmula estrutural plana $HOOC - CH = CH - COOH$.

O isômero cis foi denominado ácido maleico e o isômero trans ácido fumárico. Sobre estes ácidos é correto afirmar que:

a) ambos desviam a luz polarizada, porém em sentidos opostos.
b) ambos têm o mesmo ponto de fusão.
c) os ácidos maleico e fumárico não sofrem reação de desidratação.
d) formam um par de antípodas ópticos.
e) por adição de H_2, em presença de catalisador, ambos produzem o ácido butanodioico.

9. (Unifor-CE) A cloração do benzeno, por adição, produz:

a) $C_6C\ell_{12}$
b) $C_6CH_3C\ell_5$
c) $C_6H_5CH_2C\ell$
d) $C_6H_{10}C\ell_2$
e) $C_6H_6C\ell_6$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exercícios complementares

Registre as respostas em seu caderno

10. (Fuvest-SP) Hidrocarbonetos que apresentam ligação dupla podem sofrer reação de adição. Quando a reação é feita com um haleto de hidrogênio, o átomo de halogênio se adiciona ao carbono insaturado que tiver menor número de hidrogênios, conforme observou Markownikoff. Usando essa regra, dê a fórmula e o nome do produto que se forma na adição de:

a) HI a $CH_3CH{=}CH_2$

b) HCℓ a

11. (UFMS) Dois compostos *A* e *B*, quando submetidos a uma reação com HBr na presença de luz e peróxido orgânico, dão origem a 2-bromo-3-metil-pentano e 1-bromo-2-metil-propano, respectivamente.

Qual(is) é (são) a(s) alternativa(s) que indica(m) quais são os compostos de partida, *A* e *B*?

(01) *A* é o 3-metil-1-penteno.
(02) *A* é o 3-metil-2-penteno.
(04) *A* é o 3-metil-3-penteno.
(08) *B* é o 2-metil-2-propeno.
(16) *B* é o 2-metil-propeno.
(32) *B* é o 2-metil-propino.

12. (UFRGS-RS) Uma reação típica dos alcenos é a adição de halogênios à ligação dupla, formando compostos di-halogenados vicinais, conforme exemplificado abaixo:

Em relação a essa equação, podemos afirmar que:

a) o composto II apresenta dois carbonos assimétricos.
b) o nome do produto formado é 2,3-dibromo-3-metil-butano.
c) o nome do composto I é 2-metil-buteno-2.
d) o alceno pode apresentar isomeria geométrica.
e) o nome do produto formado é 2,3-dibromo-2-metil-propano.

13. (UFRJ) Um determinado alceno, por hidrogenação catalítica, produz o 2,3-dimetilpentano.

a) Apresente o nome e a fórmula estrutural desse alceno, sabendo que o mesmo possui isomeria geométrica (cis--trans).
b) Dê a fórmula estrutural de um isômero de posição do 2,3-dimetilpentano que apresenta um carbono quaternário.

14. (UFF-RJ) O material utilizado na confecção do grafite é constituído por solventes, que são derivados do petróleo e apresentam várias substâncias aromáticas extremamente tóxicas.

Uma forma de reduzir a toxicidade desses solventes é por meio da conversão dos hidrocarbonetos aromáticos em sistemas totalmente saturados, pela reação com o hidrogênio, alta pressão e catalisador. Dentre os aromáticos responsáveis pela toxicidade, pode-se destacar o benzeno, o tolueno e os xilenos que são totalmente hidrogenados nas condições reacionais.

Qual a opção que apresenta, respectivamente, as fórmulas moleculares dos produtos formados a partir da redução total das espécies acima?

a) C_6H_{12}; C_7H_{14}; C_8H_{16}
b) C_6H_{14}; C_7H_{16}; C_8H_{18}
c) C_5H_{10}; C_6H_{12}; C_7H_{14}
d) C_7H_{14}; C_6H_{12}; C_8H_{16}
e) C_6H_{12}; C_7H_{16}; C_8H_{16}

3 Adições a ligações duplas conjugadas

Ligações duplas são chamadas de **conjugadas** quando estão **separadas por apenas uma ligação simples**, como acontece no composto $CH_2{=}CH{-}CH{=}CH_2$ (buta-1,3-dieno).

Havendo **reagente em excesso**, esses **alcadienos** ou **dienos** darão reações em dobro, quando comparados com os alcenos. Por exemplo:

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

No entanto, se o **reagente** (no caso, o Br_2) **está em falta**, além da adição normal (**adição- 1,2**, isto é, nos carbonos 1 e 2), surge como novidade a chamada **adição-1,4** (isto é, nos carbonos 1 e 4):

Exemplificando:

Veja que, na verdade, ocorrem duas reações. Na primeira, temos os dois átomos de bromo nas posições 1 e 2 (daí o nome **adição-1,2**); na segunda (que é predominante), temos os bromos nas posições 1 e 4 (daí o nome **adição-1,4**). A adição-1,2 é normal. A grande novidade é o aparecimento da adição-1,4, em que **os átomos de bromo se ligam às extremidades da molécula e a ligação dupla passa para a posição central**.

A adição-1,4 é uma consequência direta do **fenômeno de ressonância** presente em ligações duplas conjugadas. De fato, o buta-1,3-dieno apresenta as seguintes formas de ressonância:

Como a adição do Br_2 se processa por um **mecanismo iônico**, as posições a serem atacadas são:

- 1 e 2 na 1ª forma de ressonância ⟶ resultando em adição-1,2.
- 1 e 4 na 2ª forma de ressonância ⟶ resultando em adição-1,4.

4 Adições à ligação tripla C ≡ C

4.1. Adições mais comuns

O ponto vulnerável dos alcinos é a **ligação tripla**. Embora sejam menos reativas que as ligações duplas, as triplas quebradas duas vezes darão **em dobro** as mesmas **reações de adição** vistas para os alcenos. O etino é o alcino mais simples e muito importante, industrialmente conhecido como **acetileno**.

a) Adição de hidrogênio (hidrogenação)

Nesse processo, a 2ª adição é mais lenta que a 1ª. Se é empregado um catalisador forte (Ni ou Pt), a reação produz diretamente o alcano; por outro lado, se é usado um catalisador mais fraco (Pd misturado com $BaSO_4$), a reação para no alceno.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

b) Adição de halogênios (halogenação)

c) Adição de halogenidretos (hidro-halogenação)

Note que, na 2ª adição dessa reação, **o hidrogênio ligou-se ao carbono mais hidrogenado**, ainda em obediência à regra de Markownikoff, vista nas páginas 253 e 254.

d) Adição de água (hidratação)

Nessa reação forma-se, de início, um composto que tem o nome genérico de **enol** – **en** (eno), para lembrar a dupla ligação (alceno), e **ol**, lembrando a terminação dos nomes dos álcoois. De modo geral, os **enóis são instáveis**: espontaneamente, um átomo de hidrogênio se desloca, no sentido indicado pela seta verde (veja na equação dada), e o enol se transforma no aldeído; dizemos então que houve um **rearranjo molecular**. A transformação, porém, não é total, de modo que o enol e o aldeído permanecem em equilíbrio dinâmico (com predominância do aldeído).

Veja que o enol e o aldeído, no exemplo dado, são **isômeros**. Esse é um caso especial de isomeria chamado **tautomeria**; por isso, dizemos que o enol e o aldeído são **tautômeros** (este caso de isomeria já foi mencionado na página 207).

As reações de hidratação de alcinos maiores que o acetileno são análogas à que apresentamos. Nesses casos, porém, não são produzidos aldeídos, mas sim **cetonas**, em decorrência da regra de Markownikoff:

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

5 Reações dos ciclanos – adição ou substituição?

Já vimos que os alcanos sofrem **reações de substituição**, porque suas cadeias já estão saturadas. Vimos também que os alcenos sofrem **reações de adição** em suas ligações duplas. O que deve acontecer então com os ciclanos? Note que os ciclanos possuem:

- por um lado, cadeias saturadas como a dos alcanos;
- por outro, fórmula geral (C_nH_{2n}), que lembra a "insaturação" dos alcenos.

Na verdade, podem ocorrer as duas hipóteses. Por exemplo:

Nesse caso, houve **quebra do anel** e a **adição** relativamente fácil do bromo.

Num segundo exemplo, temos:

Aqui **não há quebra do anel**, mas apenas a **substituição** de um átomo de hidrogênio por um átomo de bromo, auxiliada pela ação da luz.

A tabela a seguir nos dá um resumo das reações dos quatro primeiros ciclanos com reagentes já usados nos alcanos e alcenos – a saber, H_2, Br_2 (ou halogênios em geral) e HBr (ou halogenidretos em geral):

Reagente / Ciclano	H_2	Br_2	HBr
	$CH_3 — CH_2 — CH_3$ Adição (Ni; 120 °C)	$CH_2(Br) — CH_2 — CH_2(Br)$ Adição	$CH_2(H) — CH_2 — CH_2(Br)$ Adição
	$CH_3 — CH_2 — CH_2 — CH_3$ Adição (Ni; 200 °C)	$CH_2(Br) — CH_2 — CH_2 — CH_2(Br)$ Adição	$CH_2(H) — CH_2 — CH_2 — CH_2(Br)$ Adição
	$CH_3 — CH_2 — CH_2 — CH_2 — CH_3$ Adição (Pt; 300 °C)	+ HBr Substituição	Não há reação.
	$CH_3 — CH_2 — CH_2 — CH_2 — CH_2 — CH_3$ Adição muito difícil	+ HBr Substituição	Não há reação.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Chega-se, portanto, à conclusão de que os **anéis de três e quatro carbonos** quebram mais facilmente, dando **reações de adição**, enquanto os **anéis de cinco e seis carbonos** resistem melhor a uma eventual quebra do anel. Nesses anéis ocorrem preferencialmente as **reações de substituição**.

Isso está de acordo com a **Teoria das Tensões nos Anéis**, proposta por Baeyer e já vista nas páginas 183 e 184. Nos anéis de 3 e 4 átomos, as valências do carbono (normalmente com ângulos de 109°28') estão flexionadas, criando-se uma tensão que facilita a ruptura (quebra) do anel e a consequente **reação de adição**. Isso já não acontece nos anéis de 5 e 6 átomos de carbono que são estáveis, resultando então em maior probabilidade de uma **reação de substituição**.

Questões

Registre as respostas em seu caderno

a) Um composto de fórmula C_4H_6 reage com 1 mol de bromo, produzindo o 3,4-dibromo-butan-1-eno e 1,4-dibromo-butan-2-eno.

- Dê o nome e a fórmula estrutural desse composto.
- Qual é a equação química que representa o processo citado?
- Se fossem utilizados 2 mols de bromo, qual seria o nome e a fórmula estrutural do composto formado?

b) O acetileno é um composto importante na indústria carboquímica. Ele pode ser obtido aquecendo-se o calcário ($CaCO_3$), até conseguir um produto sólido que, por sua vez, é aquecido junto com o carvão, dando origem ao carbeto de cálcio (carbureto de cálcio – CaC_2). Este último, então, sofre hidrólise (reage com a água), produzindo o gás acetileno.

- Equacione as reações mencionadas no texto acima.
- O acetileno pode ser utilizado na obtenção de muitos materiais presentes em nosso cotidiano, como representado no esquema a seguir, em que *A*, *B*, *C*, *D*, *E*, *F* e *G* são reagentes:

Indique as fórmulas dos reagentes *A*, *B*, *C*, *D*, *E*, *F* e *G* e as respectivas proporções estequiométricas de reação, considerando 1 mol de acetileno.

c) Um composto, de fórmula C_4H_8, reage com o bromo, produzindo o 1,4-dibromo-butano.

- Dê o nome e a fórmula estrutural do composto.
- Qual é a equação química que representa o processo citado?
- Qual o tipo de reação química ocorrida no processo?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

15. (Mackenzie-SP) A adição-1,4 é uma reação característica de alcadienos conjugados, na qual se forma um composto insaturado. A fórmula do composto obtido na reação de 1,3-pentadieno com cloreto de hidrogênio é:

a) $H_3C-CH=CH-\overset{\overset{Cl}{|}}{CH}-CH_3$

b) $H_3C-CH=CH-CH_2-CH_3$

c) $H_2\underset{\underset{Cl}{|}}{C}-CH=CH-\underset{\underset{Cl}{|}}{CH}-CH_3$

d) $H_3C-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$

e) $H_2C=C=CH-CH_2-CH_3$

16. (Mackenzie-SP) Sobre um alcadieno, sabe-se que:

I. sofre adição-1,4;

II. quando hidrogenado parcialmente, produz, em maior quantidade, o hexeno-3.

O nome desse dieno é:

a) hexadieno-1,2.
b) hexadieno-1,3.
c) hexadieno-2,3.
d) hexadieno-1,4.
e) hexadieno-2,4.

17. (UFRGS-RS) O acetileno é matéria-prima para síntese de vários outros compostos.
Partindo de um mol de acetileno, observe as reações abaixo.

$$H-C\equiv C-H \xrightarrow[\text{(Catalisador)}]{1\ \text{mol}\ H_2} A \qquad H-C\equiv C-H \xrightarrow[\text{(Meio ácido)}]{1\ \text{mol}\ H_2O} B$$

Nas reações apresentadas, os produtos ***A*** e ***B*** são, respectivamente:

a) CH_3-CH_3 e $HO-CH=CH-OH$
b) CH_3-CH_3 e $CH_2=CH-OH$
c) $CH_2=CH_2$ e $HO-CH=CH-OH$
d) $CH_2=CH_2$ e CH_3-CHO
e) $CH_2=CH_2$ e CH_3-COOH

18. Nas reações apresentadas, identifique os produtos ***A***, ***B*** e ***C***:

a) $HC\equiv C-CH_3 + HCl$ (em falta) $\longrightarrow$ ***A***

b) $HC\equiv C-CH_3 + HCl$ (em excesso) $\longrightarrow$ ***B***

c) $CH_3-C\equiv C-CH_3 + H_2O \xrightarrow[HgSO_4]{H_2SO_4}$ ***C***

19. (UFRN) O produto da reação entre 2 mols de HBr e 1 mol de 1-butino em meio aquoso é:

a) 2-bromo-1-buteno.
b) 1-bromo-1-buteno.
c) 1,1-dibromo-buteno.
d) 2,2-dibromo-butano.
e) 1,2-dibromo-butano.

20. (Uespi) A adição de uma molécula de água a um alcino forma sempre um enol e um outro composto que, dependendo da posição da insaturação na cadeia, pode ser:

a) aldeído ou cetona.
b) álcool ou cetona.
c) álcool ou aldeído.
d) álcool ou alcano.
e) álcool ou um ácido carboxílico.

21. (UFSM-RS) Observe a reação de adição de água ao fenilacetileno:

Os produtos ***A*** e ***B*** são:

a) tautômeros de uma cetona.
b) aldeídos isômeros de posição.
c) álcoois isômeros de posição.
d) tautômeros de um aldeído.
e) um aldeído e uma cetona.

22. Quais são os produtos formados nas seguintes reações:

a) 1 $CH_2=CH-CH=CH_2$ + 1 Br_2

b) $H_2C<\overset{CH_2}{}>CH_2 + Cl_2$

23. (PUC-SP) Determine entre os processos abaixo o que não é uma reação de adição.

a) Ciclobuteno + Cloreto de hidrogênio.
b) Metilpropeno + Água.
c) Pentano + Cloro.
d) Etino + Brometo de hidrogênio.
e) Butadieno-1,3 + Cloro.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exercícios complementares

Registre as respostas em seu caderno

24. (Fuvest-SP)

Os compostos representados acima podem ser obtidos por reações de adição de substâncias adequadas ao:

a) metano.
b) eteno.
c) etino.
d) propeno.
e) 2-butino.

25. (FEI-SP) Qual das substâncias a seguir é produzida pela hidratação do acetileno?

a) etileno
b) etanol
c) acetona
d) acetaldeído
e) ácido acético

26. (UEPG-PR) O composto propino sofreu hidratação em meio ácido. O principal produto dessa reação é:

a) ácido acético.
b) 2,2-propanodiol.
c) propanaldeído.
d) 2-propanol.
e) propanona.

27. (PUC-RJ) O brometo de ciclo-pentila pode ser obtido pela reação de:

a) pentano + HBr.
b) ciclo-pentano + Br_2.
c) ciclo-pentano + HBr.
d) brometo de ciclo-propila + CH_3CH_2Br.
e) brometo de ciclo-butila + CH_3Br.

28. (Fuvest-SP) Dois hidrocarbonetos insaturados, que são isômeros, foram submetidos, separadamente, à hidrogenação catalítica. Cada um deles reagiu com H_2 na proporção, em mols, de **1 : 1**, obtendo-se, em cada caso, um hidrocarboneto de fórmula C_4H_{10}. Os hidrocarbonetos que foram hidrogenados poderiam ser:

a) 1-butino e 1-buteno.
b) 1,3-butadieno e ciclo-butano.
c) 2-buteno e 2-metil-propeno.
d) 2-butino e 1-buteno.
e) 2-buteno e 2-metil-propano.

6 Adições à carbonila C = O

A carbonila (grupo $>C=O$) está presente nos aldeídos, nas cetonas e nos ácidos carboxílicos e seus derivados (ésteres, anidridos e cloretos de ácidos). No entanto, as reações que serão vistas a seguir aplicam-se **apenas aos aldeídos e cetonas**. Esses compostos orgânicos são muito reativos, sendo os **aldeídos mais reativos que as cetonas**.

a) Adição de hidrogênio – H_2

Essa reação é considerada, na verdade, uma **reação de redução**. Com redutores mais fortes, o álcool final pode ser transformado no **alcano** correspondente.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

b) Adição de cianidreto – HCN

c) Adição de bissulfito de sódio – $NaHSO_3$

Tanto as cianidrinas quanto os compostos bissulfíticos são importantes na identificação dos aldeídos e das cetonas.

d) Adição de compostos de Grignard – *R*Mg*X*

Compostos do tipo desse brometo final são importantes, pois **reagem com a água** (isto é, sofrem **hidrólise**), produzindo álcoois:

É fácil perceber que, de acordo com a sequência apresentada pelas duas últimas equações químicas, teremos:

- a partir de **aldeído fórmico** ⟶ álcool primário;
- a partir de um **aldeído qualquer** ⟶ álcool secundário;
- a partir de uma **cetona** ⟶ álcool terciário.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Compostos organometálicos

Um tipo curioso de reação é a de adição de certos metais (Mg, Zn etc.) aos haletos orgânicos, como exemplificamos abaixo:

$$CH_3Br + Mg \xrightarrow{\text{Éter}} \underbrace{CH_3MgBr}_{\text{Brometo de metil-magnésio (composto de Grignard)}}$$

$$CH_3Br + Zn \xrightarrow{\text{Éter}} \underbrace{CH_3ZnBr}_{\text{Brometo de metil-zinco}}$$

Os compostos formados, chamados de **organometálicos**, são largamente empregados em sínteses orgânicas por apresentarem alta reatividade química. Por exemplo:

$$CH_3MgBr + \underbrace{CO_2}_{\text{Gás carbônico}} \longrightarrow CH_3 — COOMgBr \xrightarrow{+HC\ell} \underbrace{CH_3 — COOH}_{\text{Ácido carboxílico}} + MgBrC\ell$$

Na Química dos compostos organometálicos, um nome muito importante é o do cientista François Auguste Victor Grignard (1871-1935), que foi autor de mais de 170 publicações. Em 1935, no momento de sua morte, trabalhava arduamente na elaboração de uma obra que seria referência para a Química na língua francesa. Dois volumes de seu *Traité de Chemie Organique* (Tratado de Química Orgânica) já haviam sido publicados. Outros dois estavam prontos para a impressão, e ainda mais dois estavam em fase de edição. Estes foram finalizados por seus colaboradores.

BETTMANN/CORBIS/LATINSTOCK

François Auguste Victor Grignard.

Grignard trabalhou intensamente na síntese de muitos compostos orgânicos. Sua descoberta principal foi a preparação, em 1900, dos chamados **compostos de Grignard** (*R*Mg*X*), incluídos entre os mais úteis e versáteis reagentes da Química orgânica. Além disso, os compostos de Grignard serviram como exemplo para a preparação de vários outros compostos organometálicos de enorme utilidade na Química orgânica.

Para entendermos a importância dos compostos de Grignard, devemos lembrar que, em geral, os compostos orgânicos são pouco reativos por serem apolares. Nos casos dos haletos e dos compostos de Grignard, a situação é totalmente diferente. Observe, por exemplo, uma das sínteses de Grignard:

$$\overset{\delta+}{CH_3} — \overset{\delta-}{C\ell} + \overset{\delta-}{CH_3}\ \overset{\delta+}{MgC\ell} \longrightarrow CH_3 — CH_3 + MgC\ell_2$$

Vemos então que, no haleto, o grupo orgânico é mais **positivo**, enquanto, nos compostos de Grignard, a parte orgânica é mais **negativa** – é essa polaridade que facilita enormemente a reação.

Pela descoberta de um reagente totalmente novo, Grignard recebeu o Prêmio Nobel de Química de 1912, dividido com seu compatriota Paul Sabatier (1854-1941). Sabatier foi premiado por seus trabalhos de hidrogenação de compostos orgânicos, como já vimos na página 252 (Veja também a leitura da página 267).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Questões

Registre as respostas em seu caderno

a) Sobre a reação entre propanal e hidrogênio, na presença de catalisador e sob pressão e temperatura adequadas, pedem-se:

- A fórmula estrutural e o nome do composto formado.
- O tipo de reação ocorrida.
- A reação pode ser considerada de oxidação ou de redução? Justifique.
- Se, em vez de propanal, se utilizasse a propanona, sob as mesmas condições, qual seria o produto formado?

b) Observe a sequência de equações a seguir e identifique ***A*** e ***B***.

$$A + CH_3MgBr \xrightarrow{\text{Éter}} B$$

$$B + H_2O \longrightarrow H_3C-\underset{\underset{CH_3}{|}}{\overset{\overset{OH}{|}}{C}}-CH_3 + Mg(OH)Br$$

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

29. (Faap-SP-modificado) Dadas as reações abaixo:

1) alceno + HBr $\longrightarrow$ *produtos*
2) alcano + $C\ell_2$ $\xrightarrow{\Delta}$ *produtos*
3) benzeno + HNO_3 $\xrightarrow{H_2SO_4}$ *produtos*
4) aldeído + HCN $\longrightarrow$ *produtos*

identifique as reações de adição:

a) 1 e 2. b) 1, 2 e 4. c) 3 e 4. d) 1 e 4. e) 2 e 4.

30. Identifique os produtos ***A***, ***B***, ***C***, ***D*** e ***E*** das seguintes adições à carbonila:

a) $CH_3-\underset{\underset{O}{\|}}{C}-CH_3 + H_2 \xrightarrow[\text{Catalisador}]{P,\ T,} A$

b) $CH_3-C(=O)H + HCN \longrightarrow B$

c) $CH_3-CH_2-C(=O)H + CH_3MgBr \longrightarrow C \xrightarrow{H_2O} D + E$

31. (UFRO) Identifique, entre as alternativas, o produto principal da sequência de reações abaixo:

$$CH_3-\overset{\overset{CH_3}{|}}{C}=O \quad \begin{matrix}1)\ CH_3-Mg-C\ell \\ 2)\ H_2O/H^+\end{matrix}$$

a) n-butanol b) sec-butanol c) iso-butanol d) terc-butanol e) neo-butanol

32. (UFF-RJ) Por meio da reação de butanona com cloreto de metilmagnésio ($H_3C-MgC\ell$), obtém-se o composto *X* que, por sua vez, em reação com a água, origina o composto denominado:

a) 2-metil-2-butanol b) 2-pentanona c) pentanal d) 3-metil-2-butanol e) 2-pentanol

33. (PUC-MG) Compostos de Grignard podem-se adicionar ao anidrido carbônico formando composto intermediário que, tratado com H*X* (*X* = Cℓ, Br, I), dá origem a composto da função:

a) cetona. b) aldeído. c) éter. d) álcool. e) ácido carboxílico.

34. (Mackenzie-SP)

$$H_3C-MgC\ell$$

Dados: H (Z = 1), C (Z = 6), Mg (Z = 12), Cℓ (Z = 17)

Sobre as ligações existentes no cloreto de metilmagnésio, cuja fórmula é dada acima, é correto afirmar que:

a) todas as ligações são predominantemente covalentes.
b) a ligação entre o Mg e o C é predominantemente iônica.
c) somente as ligações entre os hidrogênios e o carbono são iônicas.
d) a ligação entre o Mg e o Cℓ é predominantemente iônica.
e) somente a ligação entre o Mg e o Cℓ é 100% covalente.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

LEITURA

O USO PRÁTICO DAS REAÇÕES DE ADIÇÃO

Se a reação de Sabatier-Senderens (vista à página 252) fosse apenas a transformação de um alceno num alcano, não teria importância prática. Realmente, os alcanos já são muito abundantes na natureza, e o processo seria antieconômico. No entanto, a **ideia geral** dessa reação é importantíssima: consiste em **adicionar hidrogênio** às ligações duplas (e também às triplas), transformando compostos **insaturados** em **saturados** — daí o nome **hidrogenação**, que também é dado a esse tipo de reação. Esse trabalho foi realizado, durante muitos anos, por Paul Sabatier (1854-1941) e seu discípulo Jean-Baptiste Senderens (1856-1936).

2005 ROGER-VIOLLET/TOPFOTO/KEYSTONE
Paul Sabatier

Por meio de reações de hidrogenação (que representa um fenômeno de redução), Sabatier conseguiu:

- transformar aldeídos e cetonas em álcoois:

$$R-O\begin{matrix}\diagup\!\!\!\!\diagdown O \\ \diagdown\!\!\!\!\diagup H\end{matrix} + H_2 \longrightarrow R-CH_2OH$$

- transformar nitrilas em aminas:

$$R-C\equiv N + 2\,H_2 \longrightarrow R-CH_2-NH_2$$

- transformar compostos aromáticos em cíclicos saturados:

- transformar óleos vegetais (líquidos) em gorduras sólidas, empregadas na fabricação da **margarina** (que estudaremos mais adiante), sendo esta a transformação que teve a maior repercussão econômica.

Essas reações não são fáceis de realizar, e um grande mérito de Sabatier foi o estudo aprofundado dos catalisadores usados nessas reações (além do emprego do calor e de pressões elevadas). Sabatier criou também novas técnicas para produzir metais (Ni, Pd, Pt etc.) já finamente divididos, que funcionam muito bem nas reações de hidrogenação e em várias outras. Com o uso de óxidos (SiO_2, $A\ell_2O_3$ etc.), conseguiu, ainda, reações "inversas", ou seja, a desidrogenação (retirada de hidrogênio) de muitos compostos orgânicos. As técnicas de Sabatier de micronização de catalisadores foram de grande valia para o desenvolvimento de todos os processos catalíticos na Química e até hoje estão sendo aprimorados pelas novas técnicas da nanotecnologia. Além disso, foram muito importantes suas pesquisas sobre a formação de **intermediários instáveis** para explicar o mecanismo das reações orgânicas.

Por suas inovações no ramo das **sínteses** orgânicas, Paul Sabatier recebeu o Prêmio Nobel de Química de 1912.

Questões sobre a leitura

Registre as respostas em seu caderno

35. Qual é a ideia geral da reação de Sabatier-Senderens?

36. O que ocorre na produção de margarinas?

37. O que auxiliou Sabatier e Senderens na execução de suas reações de hidrogenação?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO

10 Reações de eliminação

As reações de eliminação formam outro importante grupo de reações na Química orgânica. Ao se eliminarem átomos da cadeia carbônica, formam-se ligações duplas e triplas e compostos cíclicos. Nas indústrias, esses compostos são o ponto de partida para a produção de diversos plásticos, como os polietilenos.

TÓPICOS DO CAPÍTULO

1 INTRODUÇÃO

2 ELIMINAÇÃO DE ÁTOMOS OU GRUPOS VIZINHOS

3 ELIMINAÇÕES MÚLTIPLAS

4 ELIMINAÇÃO DE ÁTOMOS OU GRUPOS AFASTADOS

LEITURA: *A TRAGÉDIA DE MINAMATA*

Mil e uma utilidades do etileno

Produzido a partir de reações de eliminação em alcanos do petróleo, do álcool da cana e do gás natural, o etileno gera polímeros de várias densidades e propriedades conforme as condições das reações e os catalisadores usados na produção.

Pela facilidade com que é obtido de várias fontes orgânicas diferentes e pela versatilidade das cadeias que se podem formar com esse hidrocarboneto, o etileno é uma das mais importantes matérias-primas da indústria moderna.

PHOTODISC/GETTY IMAGES

Polietileno de Baixa Densidade (PEBD)

FERNANDO FAVORETTO/CID

CARLOS LUVIZARI/CID

Catalisadores
Radicais livres, principalmente o oxigênio.

Características
Flexível, resistente e transparente, é aplicado na produção de saquinhos de supermercado, embalagens industriais, agrícolas, para alimentos, produtos farmacêuticos e outros.

A estrutura polimérica do PEBD é altamente ramificada.

Polietileno de Alta Densidade (PEAD)

JAVIER JAIME/CID

Catalisadores
Compostos organometálicos, especialmente organo-alumínio.

Características
Translúcido, muito resistente, menos transparente e flexível que o PEBD, o PEAD é muito utilizado na fabricação de bacias, baldes, brinquedos, frascos de detergentes, caixas-d'água e outros produtos.

As cadeias do PEAD podem ser lineares ou pouco ramificadas.

JAVIER JAIME/CID

COREL/STOCK PHOTOS

COREL/STOCK PHOTOS

PHOTODISC/GETTY IMAGES

COREL/STOCK PHOTOS

PHOTODISC/GETTY IMAGES

FERNANDO FAVORETTO/CID

PAULO MANZI/CID

Polietileno Linear de Baixa Densidade (PELBD)

Catalisadores
Metais de transição.

Características
Maleável, muito resistente ao impacto e ao rasgamento, é muito utilizado em embalagens de alimentos, fraldas descartáveis, lonas, brinquedos, revestimentos de fios e cabos e artigos farmacêuticos.

Etileno

Frutas verdes amadurecem mais rápido se guardadas com uma fruta bem madura, pois ela exala bastante **etileno**. Esse gás de cheiro levemente adocicado é metabolizado pelas plantas como um hormônio que estimula o amadurecimento.

As cadeias do PELBD são essencialmente lineares, com ramificações curtas.

COREL/STOCK PHOTOS

Do plástico fóssil ao plástico verde

Dos diversos tipos de plásticos fabricados no mundo inteiro, 35% a 40% derivam do etileno. Quase todo esse etileno é fornecido pela indústria petroquímica, eliminando hidrogênio de alcanos, como o etano.

$$C_2H_6 \xrightarrow[\text{Calor}]{\text{Catalisador}} C_2H_4 + H_2$$

No Brasil, o desenvolvimento da indústria canavieira está viabilizando outra rota para a obtenção do etileno: a desidratação do etanol.

$$C_2H_5OH \xrightarrow[\text{Calor}]{\text{Catalisador}} C_2H_4 + H_2O$$

MASTERFILE/OTHER IMAGES

CARLOS LUVIZARI/CID

Polietileno de Ultra-Alto "Peso" Molecular (PEUAPM)

PAULO MANZI/CID

Catalisadores
Compostos sólidos de magnésio ou de titânio.

Características
Opaco, forte e muito resistente à abrasão e a uma ampla gama de produtos químicos (ácidos, combustíveis, oxidantes, detergentes etc). Por isso tem grande variedade de aplicações industriais como em peças especiais, bombas, válvulas, mancais, revestimentos antiaderentes e próteses ortopédicas.

O PEUAPM tem estrutura semelhante à do PEAD, mas com altíssimo "peso" molecular.

REFLETINDO

De acordo com as informações acima, determine que tipo de polietileno deve ser utilizado para as seguintes aplicações:
- lixeiras públicas;
- embalagens plásticas de latas de refrigerante;
- saquinhos de leite;
- peças móveis de alta durabilidade.

Explique suas escolhas baseando-se nas estruturas das cadeias carbônicas de cada polietileno.

1 Introdução

As **reações de eliminação** constituem mais um grande grupo de reações na Química orgânica. De certa forma, elas representam o **caminho inverso** das **reações de adição**, vistas no capítulo anterior. Nelas, átomos ou grupos de átomos são **eliminados** (retirados) da molécula orgânica, criando-se ligações duplas ou ligações triplas, ou fechando-se a cadeia carbônica com a formação de cadeias cíclicas ou anéis. Esse fechamento de cadeias cíclicas ou anéis, por exemplo, mostra como as reações da Química orgânica são interessantes, seguindo caminhos não imaginados à primeira vista.

A importância industrial das reações de eliminação é também muito grande, destacando-se, por exemplo, a produção de alcenos (matéria-prima para plásticos, como o polietileno) pela desidrogenação dos alcanos encontrados, abundantemente, no petróleo.

Podemos, então, dizer que:

> **Reações de eliminação** são aquelas nas quais alguns átomos ou grupos de átomos são eliminados da molécula orgânica.

Por exemplo:

Como já dissemos, **a reação de eliminação é a reação inversa à de adição**, que vimos no capítulo anterior.

2 Eliminação de átomos ou grupos vizinhos

As reações de eliminação mais comuns consistem na saída de dois átomos ou grupos vizinhos com a formação de uma ligação dupla.

a) Eliminação de hidrogênio (desidrogenação)

Essa reação tem grande importância na indústria petroquímica, pois a partir dos **alcanos** (existentes no petróleo) obtemos **alcenos** (compostos que têm muitas aplicações industriais, como o etileno).

b) Eliminação de halogênios (de-halogenação)

Veja que a eliminação dos halogênios (que são **eletronegativos**) é facilitada pela ação de um metal, no caso o zinco, que é **eletropositivo**.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

c) Eliminação de halogenidretos – HCℓ, HBr, HI (desidro-halogenação)

Essa eliminação é obtida por meio de KOH em solução alcoólica, o que é perfeitamente lógico, pois **nada melhor que uma base** (KOH) **para forçar a saída de um ácido** (HBr) de uma molécula orgânica.

Partindo-se de haletos de cadeias maiores, haverá maior tendência de o **hidrogênio sair do carbono menos hidrogenado**. Essa é a **regra de Saytzef**, que é, de certa forma, o inverso da **regra de Markownikoff**. Por exemplo, no haleto $CH_3 — CHBr — CH_2 — CH_3$, teremos duas possibilidades de eliminação:

Esta é a reação predominante.

Esta reação é secundária.

A competição entre a substituição e a eliminação

Na química dos haletos, é interessante notar a **competição entre as reações de eliminação e de substituição**, como esquematizamos abaixo:

De modo geral, verifica-se que a eliminação é facilitada pelo uso de bases fortes (KOH, NaOH etc.) em solução alcoólica, enquanto a substituição é facilitada pelo uso tanto de bases fracas (AgOH) quanto de bases fortes, porém em soluções aquosas e diluídas.

Além disso, para os haletos alifáticos, verifica-se também que:

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

d) Eliminação de água (desidratação)

$$H_2C-CH_2 \xrightarrow[H_2SO_4]{170\ °C} CH_2=CH_2 + H_2O$$

Álcool → Alceno

É uma reação de importância econômica, pois, partindo-se do etanol (da cana-de-açúcar), pode-se produzir o etileno e, daí, o polietileno.

Partindo-se de álcoois de cadeias maiores, haverá também obediência à **regra de Saytzef**, como vemos no exemplo abaixo:

$$CH_2-CH-CH-CH_3$$

ou

$$\rightarrow CH_3-CH=CH-CH_3 + H_2O$$ Reação predominante: sempre produz o alceno mais ramificado.

$$\rightarrow CH_2=CH-CH_2-CH_3 + H_2O$$ Reação secundária.

Na desidratação dos álcoois, é interessante ainda notar duas possibilidades (em temperaturas diferentes):

- a chamada **desidratação intramolecular**, quando a reação ocorre dentro da **própria molécula do álcool**, como, por exemplo:

$$CH_2-CH_2 \xrightarrow[H_2SO_4]{170\ °C} CH_2=CH_2 + H_2O$$

Álcool → Alceno

- e a chamada **desidratação intermolecular**, quando a reação se dá entre **duas moléculas de álcool** (e que é importante para a produção de éteres); por exemplo:

$$CH_3-CH_2-OH + HO-CH_2-CH_3 \xrightarrow[H_2SO_4]{140\ °C} CH_3-CH_2-O-CH_2-CH_3 + H_2O$$

Álcool + Álcool → Éter

A última reação é comum para álcoois primários. Álcoois secundários e principalmente terciários tendem a desidratar-se intramolecularmente, dando os alcenos correspondentes.

Desidratação de ácidos carboxílicos

Neste caso, há formação do anidrido do ácido correspondente:

$$\begin{matrix} R-COO & H \\ R-CO & OH \end{matrix} \xrightarrow[P_2O_5]{\Delta} \begin{matrix} R-C(=O) \\ O \\ R-C(=O) \end{matrix} + H_2O$$

Ácidos → Anidridos

Apenas o ácido fórmico não dá anidrido:

$$H-COOH \xrightarrow[P_2O_5]{\Delta} CO + H_2O$$

A reação acima serve como processo de laboratório para a produção do CO.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Diácidos podem formar anidridos cíclicos:

Os anidridos cíclicos mais estáveis são aqueles com 5 e 6 átomos de carbono, de acordo com a **Teoria das Tensões nos Anéis**, de Baeyer (páginas 183 e 184).

Desidratação de sais de amônio de ácidos carboxílicos

Lembrando que a **desidratação** e a **hidratação** são reações inversas, mostramos acima dois caminhos que podem ser considerados propriedades químicas ou **métodos de preparação** dos sais de amônio, das amidas e das nitrilas.

3 Eliminações múltiplas

Se a reação de eliminação ocorrer **duas vezes** na mesma molécula, **teremos a formação** de uma **ligação tripla** ou de **duas ligações duplas**, como vemos abaixo:

Fato semelhante ocorre na **desidrogenação**, feita nas indústrias petroquímicas:

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

4 Eliminação de átomos ou grupos afastados

Até agora falamos na eliminação de átomos ou grupos vizinhos. Se, no entanto, eles estiverem **afastados** um do outro na cadeia carbônica, teremos a **formação de um composto cíclico**:

Nesse caso, é mais fácil também a formação de anéis com 5 ou 6 átomos de carbono, que são os mais estáveis, de acordo com a **Teoria das Tensões nos Anéis** (páginas 183 e 184).

Questões

Registre as respostas em seu caderno

a) O éter dietílico, utilizado em laboratórios e hospitais, pode ser obtido industrialmente por meio de uma reação de eliminação, sob determinadas condições, do etanol.

- Qual é a equação química que representa esse processo?
- Pode-se afirmar que o único composto orgânico formado é o éter dietílico? Justifique por meio de uma equação química.

b) Qual a fórmula e o nome do produto orgânico predominante da reação de eliminação, em meio alcoólico de KOH, de 2-bromo-pentano?

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

1. (Cesgranrio-RJ) Considere as seguintes reações orgânicas:

I. $CH_2 = CH - CH = CH_2 + C\ell_2 \longrightarrow C\ell - CH_2 - CH = CH - CH_2 - C\ell$

II.

III. $CH_3 - CHC\ell - CH_3 + KOH \xrightarrow{\text{Álcool}} KC\ell + H_2O + CH_3 - CH = CH_2$

Podemos classificá-las, respectivamente, como:

a) adição, substituição, eliminação.
b) adição, eliminação, substituição.
c) eliminação, adição, substituição.
d) eliminação, substituição, adição.
e) substituição, adição, eliminação.

2. Dê os produtos das seguintes equações:

a) $CH_3 - CH_2 - CH_2OH \xrightarrow[\text{(Desidratação intramolecular)}]{H_2SO_4,\ \text{Calor}} A + H_2O$

b) $2\ CH_3 - CH_2 - CH_2OH \xrightarrow[\text{(Desidratação intermolecular)}]{H_2SO_4,\ \text{Calor}} B + H_2O$

c) $2\ CH_3 - CH_2 - COOH \xrightarrow[\text{(Desidratação intermolecular)}]{} C + H_2O$

d) $CH_3 - CN \xrightarrow[\text{(Hidratação)}]{H_2O} D \xrightarrow[\text{(Hidratação)}]{H_2O} E$

3. (Uece) O pioneiro no uso do etóxi-etano (éter comum) para fins anestésicos foi o Doutor Crawford Williamson Long, em 1842, quando usou essa substância para remover tumores do pescoço de um paciente. O etóxi-etano pode ser obtido:

a) Pela reação do álcool etílico e ácido acético.
b) Pela reação entre o etanoato de metila e o álcool etílico.
c) A partir da hidratação do ácido acético, por ação do ácido sulfúrico.
d) A partir da desidratação intermolecular do álcool etílico, por ação do ácido sulfúrico.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

4. (UFPE) Álcoois não são utilizados somente como combustíveis, mas também na produção de derivados do petróleo, como, por exemplo, alquenos. Qual dos álcoois abaixo produzirá propeno a partir da desidratação em meio ácido?

a) 2-metil-2-propanol.
b) etanol.
c) 2-propanol.
d) 2-butanol.
e) 2-metil-1-propanol.

5. (UFRRJ) A desidratação do 2-butanol é conseguida com o aquecimento do álcool a 170 °C e na presença do ácido sulfúrico concentrado, formando, principalmente, uma substância que possui isomeria geométrica.

a) Qual é a equação que representa a reação completa da desidratação do 2-butanol?
b) Dê a fórmula estrutural da forma cis da substância produzida.

6. (Unifor-CE) O 3-metil-1,3-butanodiol, por perda intramolecular de duas moléculas de água para cada molécula de reagente, produz um hidrocarboneto:

a) insaturado com duas ligações duplas.
b) saturado com cinco átomos de carbono.
c) insaturado com uma ligação dupla.
d) saturado com quatro átomos de carbono.
e) insaturado com uma ligação tripla.

7. (UFV-MG) Ao se fazer um churrasco de carne vermelha, percebe-se, a distância, um aroma característico. Isso se deve, em parte, à reação de decomposição do glicerol, com formação de acroleína, um líquido de forte odor.

Qual é a opção **incorreta**?

a) A acroleína é um aldeído.
b) A acroleína é uma substância insaturada.
c) A formação de acroleína necessita de aquecimento.
d) A acroleína tem temperatura de ebulição maior que a do glicerol.
e) O glicerol é um triol.

8. Na reação

$$CH_3CH_2C \equiv N \xrightarrow{H_2O} A \xrightarrow{H_2O} B \xrightarrow{HC\ell} C + X$$

temos que *A*, *B* e *C* são, respectivamente:

a) propanonitrila, propilamina, propanoato de amônio.
b) propilamina, propanoato de amônio, propanoico.
c) propanoato de amônio, propanonitrila, propilamina.
d) propanamida, propanoato de amônio, propanoico.

9. Identifique os produtos das seguintes equações:

a) $CH_3-C(CH_3)(OH)-CH_2-CH_3 \xrightarrow[H_2SO_4]{Calor} A + B$

b) $CH_3-CH(CH_3)-CH(Br)-CH_3 \xrightarrow[Álcool]{KOH} C + D$

c) $CH_3-CH_2Br \xrightarrow{AgOH} E + F$

d) $CH_3-CC\ell_2-CC\ell_2-CH_3 \xrightarrow[Álcool]{Zn} G + H$

e) $BrCH_2-CH_2-CH_2-CH_2Br \xrightarrow[Álcool]{Zn} I + J$

10. (UFJF-MG) Qual é a alternativa correta para os compostos orgânicos *A* e *B* envolvidos nas reações representadas no esquema abaixo?

$$A \xrightarrow[Álcool]{Zn} \text{ciclobutano} \xrightarrow{Br_2/CC\ell_4} B$$

a) *A* apresenta ligação hidrogênio (ponte de hidrogênio) intermolecular.
b) *A* apresenta cadeia carbônica insaturada.
c) *B* apresenta cadeia carbônica ramificada.
d) *B* apresenta cadeia carbônica insaturada.
e) *A* e *B* podem ser o mesmo composto.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exercícios complementares

Registre as respostas em seu caderno

11. (FEI-SP) É possível preparar etileno e éter etílico, a partir do álcool etílico, de acordo com o esquema:

Álcool etílico $\longrightarrow$ etileno + substância *X*

Álcool etílico $\longrightarrow$ éter etílico + substância *Y*

As substâncias *X* e *Y* representam, respectivamente:

a) água e água.
b) hidrogênio e hidrogênio.
c) água e hidrogênio.
d) oxigênio e hidrogênio.
e) oxigênio e água.

12. (Unifor-CE) Considere o esquema ao lado, que representa reações químicas de desidratação.

Os produtos *X* e *Y* devem ser, respectivamente:

a) etano e éter dietílico.
b) eteno e éter dimetílico.
c) eteno e éter dietílico.
d) éter dietílico e etano.
e) éter dimetílico e eteno.

13. (PUC-SP) O monocloro-etano produz etileno em um processo conhecido como de "eliminação" de HCℓ. Relativamente a tais reações de "eliminação", pedem-se:

a) a equação da transformação sofrida pelo monocloro-etano;
b) a explicação para o fato de a reação de "eliminação" de uma molécula de HCℓ, na substância 1,1,2-tricloro-etano, produzir dois isômeros.

14. (UFRRJ) O propanotriol, quando submetido a um aquecimento rápido, desidrata-se, formando a acroleína, que apresenta um cheiro forte e picante. Essa propriedade constitui um meio fácil e seguro de se diferenciarem as gorduras verdadeiras dos óleos essenciais e minerais, pois a gordura, quando é gotejada sobre uma chapa superaquecida, também desprende acroleína. Observe o que acontece com o propanotriol:

a) Quais as respectivas funções químicas existentes no propanotriol e na acroleína?
b) Indique, segundo a Iupac, a nomenclatura da acroleína.

15. (UFF-RJ) Em amostras coletadas, recentemente, no rio Guandu, constatou-se a presença do inseticida DDT (dicloro difenil tricloretano). Essa substância, quando utilizada na agricultura sem os devidos cuidados, pode causar problemas ao ser humano e ao meio ambiente.

Há insetos resistentes ao DDT, pois são capazes de transformá-lo em uma nova substância sem efeito inseticida — o DDE (dicloro difenil dicloroetileno).

Em laboratório, obtém-se o DDE partindo-se do DDT, por meio da reação:

Essa é uma reação específica classificada como:

a) redução.
b) substituição nucleofílica.
c) substituição eletrofílica.
d) eliminação.
e) adição.

16. (Mackenzie-SP) Identifique os produtos das equações dadas nas alternativas abaixo. Qual a única alternativa que mostra uma reação cujo produto apresenta isomeria geométrica ou cis-trans?

Dado: Zn (2B)

a) $H_3C-\underset{C\ell}{CH}-\underset{C\ell}{CH_2} + Zn\ (pó) \longrightarrow A + B$

b) $H_2C=CH_2 + HC\ell \longrightarrow C$

c) $H_3C-CH_2-CH_3 + C\ell_2 \xrightarrow{\lambda} D + E$

d) $1\ H_3C-CH_2-OH \xrightarrow[170\ °C]{H_2SO_{4\ (conc.)}} F + G$

e) $HC\equiv C-CH_3 + 1\ C\ell_2 \longrightarrow H$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

LEITURA

A TRAGÉDIA DE MINAMATA

Em 1908, uma indústria química foi construída próximo a uma vila de pescadores na Baía de Minamata, no Japão. Em 1935, essa fábrica já era responsável por 50% de toda a produção japonesa de acetaldeído e, em 1941, iniciou-se ali a produção de cloreto de vinila. Na fabricação desses dois compostos, eram utilizados, como catalisadores, o sulfato e o cloreto de mercúrio, respectivamente.

Em 1950, começaram a aparecer no mar os primeiros peixes mortos; as vítimas seguintes foram os pássaros; depois, os gatos do vilarejo. Nesse mesmo ano, uma menina foi levada ao hospital sem poder andar e dizendo frases sem sentido, com danos cerebrais. Em seguida, centenas de pessoas adoeceram gravemente, todas com problemas no sistema nervoso. Com a propagação da anomalia, ela passou a ser chamada de "Mal de Minamata".

Inicialmente confundida com uma moléstia infectocontagiosa, a doença levou vizinhos a desconfiarem uns dos outros e muitas casas foram desinfectadas. A despeito dessa providência, porém, a doença continuou se alastrando, atingindo milhares de pessoas e provocando o nascimento de muitas crianças defeituosas. Esse quadro perdurou até 1968, quando a verdadeira causa da tragédia foi finalmente identificada: era o composto organometálico **cloreto de etil-mercúrio** ($C_2H_5HgC\ell$), lançado pela fábrica em um riacho que deságua na baía. O composto contaminou peixes e moluscos, base da alimentação das famílias dos pescadores, que, desse modo, acabaram também contaminadas. Aos poucos, instituiu-se uma verdadeira batalha judicial entre a população e a indústria química, e somente em 1997 os últimos prejudicados foram habilitados a receber indenizações.

O mercúrio é altamente tóxico e acumula-se nos tecidos animais. Percorre lentamente a cadeia alimentar, passando do organismo das presas para o dos predadores. Nesse processo, torna-se fácil perceber como a quantidade de mercúrio no organismo humano pode aumentar a ponto de causar um envenenamento letal.

JAMES L. STANFIELD/NATIONAL GEOGRAPHIC/GETTY IMAGES

Portador da desordem neuromuscular debilitante, vítima do Mal de Minamata, fazendo fisioterapia. (Japão, 1974.)

Apesar do conhecimento que hoje temos sobre as consequências funestas do envenenamento por mercúrio, esse metal continua sendo usado, principalmente na fabricação eletrolítica de cloro, nas minerações artesanais de ouro e na produção de equipamentos eletrônicos e hospitalares (termômetros, manômetros etc.). Calcula-se em cerca de 3.600 t/ano o consumo mundial de mercúrio na atualidade.

O Brasil consome cerca de 43 toneladas de mercúrio por ano. Aqui, o garimpo artesanal de ouro foi proibido em 1989, mas o controle dessa atividade é difícil e, assim, continua ocorrendo contaminação por mercúrio em vários rios da bacia amazônica. Isso prejudica as populações ribeirinhas, que consomem peixes contaminados.

Estudos do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (Pnuma), apresentados em 2007, mostram que 70% de todo o mercúrio emitido para a atmosfera, no mundo, tem origem na queima de carvão e de resíduos industriais. Daí as metas sugeridas pelo Pnuma de:

- eliminar o mercúrio de produtos e processos industriais;
- reduzir as emissões da queima do carvão;
- reduzir, até 2017, em 50% o uso do mercúrio na mineração artesanal em todo o mundo.

Questões sobre a leitura

Registre as respostas em seu caderno

17. Por que tragédias como a de Minamata demoram para serem controladas?

18. Qual é o paralelo da tragédia de Minamata no Brasil?

19. Como ocorre a poluição atmosférica por mercúrio?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO

11 O caráter ácido-básico na Química orgânica

As estruturas formadas pelas ligações covalentes carbono-hidrogênio conferem grande equilíbrio eletrônico aos compostos orgânicos. A presença de outros elementos ou funções na cadeia pode conferir caráter ácido ou caráter básico à estrutura do composto orgânico.

+ TÓPICOS DO CAPÍTULO

1 INTRODUÇÃO

2 ÁCIDOS E BASES DE ARRHENIUS

3 ÁCIDOS E BASES DE BRÖNSTED-LOWRY

4 O CARÁTER ÁCIDO NA QUÍMICA ORGÂNICA

5 O CARÁTER BÁSICO NA QUÍMICA ORGÂNICA

6 ÁCIDOS E BASES DE LEWIS

LEITURA: *OS DOZE PRINCÍPIOS DA QUÍMICA VERDE*

A Química da ferroada

Apesar da má fama que escorpiões e aranhas têm, a maioria dos acidentes com artrópodes acontece com seres em geral retratados como simpáticos trabalhadores: as abelhas e as formigas.

ILUSTRAÇÕES: ERIKA ONODERA

REFLETINDO

O veneno das abelhas é uma mistura bastante complexa e sua composição varia de espécie para espécie. Além de enzimas e proteínas com alta massa molecular, o veneno contém moléculas mais simples como a histamina, a dopamina, a noradrenalina, a glicose e o ácido 4-amino-butanoico. Pesquise as estruturas das moléculas citadas e avalie o caráter ácido-base dos diferentes grupos funcionais presentes em cada uma delas.

1 Introdução

Neste capítulo, vamos estudar as reações do tipo ácido-base na Química orgânica. O **caráter ácido ou básico das substâncias** é muito importante, pois possibilita prever uma série de reações usadas nos laboratórios e nas indústrias químicas e farmacêuticas.

Na Química inorgânica, as reações do tipo ácido-base são relativamente simples e suficientemente explicadas pela teoria de **Arrhenius**. Ácidos e bases são substâncias que reagem facilmente entre si e possuem características opostas; essa oposição é constatada pela mudança de cor dos indicadores – "o que o ácido faz, a base desfaz".

Na **Química orgânica**, porém, o caráter ácido-básico das substâncias se reveste de características muito especiais e variadas. Isso deu origem a ideias mais amplas sobre as reações do tipo ácido-base e resultou na necessidade de novas teorias, que foram a de **Brönsted-Lowry** e a de **Lewis**.

EDUARDO SANTALIESTRA/CID

2 Ácidos e bases de Arrhenius

A primeira conceituação mais precisa de **ácidos** e **bases** foi dada por Svante August Arrhenius (1859-1927). Tal conceituação foi um dos motivos pelos quais ele recebeu o Prêmio Nobel de Química de 1903.

> **Ácidos de Arrhenius** são compostos que, em solução aquosa, se ionizam, produzindo como íon positivo apenas o **cátion hidrogênio** (H^+).

É o que acontece no exemplo:

$$HC\ell \xrightarrow{H_2O} H^+ (aq) + C\ell^- (aq)$$

> **Bases de Arrhenius** são compostos que, por dissociação iônica, liberam como íon negativo apenas a **hidroxila** (OH^-).

É o que acontece no exemplo:

$$NaOH \longrightarrow Na^+ + OH^-$$

Svante August Arrhenius

Nasceu na Suécia em 1859. Em 1876 ingressou na Universidade de Upsala, onde se doutorou em 1884. A partir de 1891, tornou-se professor na Universidade de Estocolmo. Já em 1884, propôs sua célebre **teoria da dissociação iônica**, que revolucionou o mundo científico da época. De fato, suas ideias sobre a existência de **íons** foram de início muito combatidas, pois na época era aceito o modelo atômico de Dalton, que falava em partículas neutras e indivisíveis. Aos poucos, porém, as ideias de Arrhenius não só foram aceitas como também contribuíram para o desenvolvimento das teorias eletrônicas da matéria. Por seus trabalhos, Arrhenius recebeu, em 1903, o Prêmio Nobel de Química.

HULTON ARCHIVE/GETTY IMAGES-BIBLIOTECA NACIONAL, PARIS

Arrhenius, em foto de janeiro de 1915.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Existem grandezas que medem a **força dos ácidos e bases**, a saber: o grau de ionização (α), a constante de ionização (K_a e K_b) e ainda o pK_a, o pK_b e a escala do pH.

- grau de ionização: $\alpha = \dfrac{\text{Quantidade de mols ionizados}}{\text{Quantidade inicial de mols}}$
- para o ácido: $HA \rightleftharpoons H^+ + A^-$ temos $K_a = \dfrac{[H^+]\,[A^-]}{[HA]}$ e $pK_a = -\log K_a$
- para a base: $BOH \rightleftharpoons B^+ + OH^-$ temos $K_b = \dfrac{[B^+]\,[OH^-]}{[BOH]}$ e $pK_b = -\log K_b$
- $pH = -\log [H^+]$

Na água e em soluções aquosas, temos, a 25 °C:

Água	$[H^+] = [OH^-] = 10^{-7}$ mol/L	pH = 7
Soluções ácidas	$[H^+] > 10^{-7}$ mol/L	pH < 7
Soluções básicas	$[H^+] < 10^{-7}$ mol/L	pH > 7

Lembre que, **quanto maiores forem os valores de α e de *K* (ou menores os valores de p*K*), mais fortes serão os ácidos e as bases correspondentes.** Todas essas grandezas são de grande valor prático, pois nos permitem medir coisas tão diversas quanto a acidez de uma chuva poluente e o pH de nosso sangue (que não deve sair de limites bem estreitos, sob risco de morte).

3 Ácidos e bases de Brönsted-Lowry

Em 1923, Johannes Nicolaus Brönsted (1879-1947) e Thomas Martin Lowry (1874-1936) propuseram definições para ácidos e bases mais amplas que as de Arrhenius:

> **Ácido de Brönsted-Lowry** é toda espécie química (molécula ou íon) capaz de **ceder** prótons (H^+).
> **Base de Brönsted-Lowry** é toda espécie química (molécula ou íon) capaz de **receber** prótons (H^+).

Johannes Nicolaus Brönsted

Químico dinamarquês, nasceu em Varde, em 1879, e faleceu em Copenhagen, em 1947. Brönsted desenvolveu importantes trabalhos sobre calor específico, afinidade química, solubilidade e separação de isótopos (como os de mercúrio e os de cloro).
Em 1923 apresentou uma nova teoria sobre ácidos e bases (teoria protônica), que foi desenvolvida com o químico Thomas Martin Lowry.

THE BRIDGEMAN ART LIBRARY/KEYSTONE-BIBLIOTECA NACIONAL, PARIS

Thomas Martin Lowry

Químico inglês, nasceu em Bradford, em 1874, e faleceu em Cambridge, em 1936. Lowry desenvolveu trabalhos sobre a atividade óptica de vários compostos como a nitro-cânfora, por exemplo. Em 1920 tornou-se o primeiro professor de Físico-Química na Universidade de Copenhagen. Desenvolveu com Brönsted uma nova teoria sobre ácidos e bases (teoria protônica).

2001 TOPHAM PICTUREPOINT/KEYSTONE

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Por exemplo:

Eletronicamente:

Observe que há quebra de uma **ligação covalente** e transferência do H^+ de uma molécula para outra. Por isso, a reação entre o ácido e a base é chamada também de **protólise** (*próton* = "H^+"; *lise* = "quebra").

Esse conceito é muito importante na Química orgânica, pois se aplica a muitos compostos orgânicos. Por exemplo:

O íon positivo formado pelo álcool (íon alcoxônio) é bastante reativo. Lembre-se de que as moléculas orgânicas costumam ser covalentes e pouco reativas. Consequentemente, a formação de um íon (seja positivo ou negativo) é sempre bem-vinda, pois coloca à nossa disposição um reagente bem mais reativo.

O fato de as reações desse tipo serem reversíveis deu origem a uma definição importante:

> Ácidos e bases conjugados são os que diferem entre si por um H^+.

No exemplo anterior:

Além disso, sabemos que um ácido é forte quando tem grande tendência de liberar o H^+ (por exemplo, $HC\ell \rightleftharpoons H^+ + C\ell^-$). É evidente que, se o $HC\ell$ tem muita tendência para liberar o H^+ (reação direta muito favorecida), o $C\ell^-$ terá pouca tendência para receber o H^+ de volta (reação inversa pouco favorecida). Em outras palavras: **se o ácido é forte, sua base conjugada é fraca, e vice-versa**. Temos alguns exemplos na tabela abaixo.

Ácido		Base conjugada	
$HC\ell O_4$	Aumento da força dos ácidos ↑	$C\ell O_4^-$	Aumento da força das bases ↓
$HC\ell$		$C\ell^-$	
HNO_3		NO_3^-	
H_2SO_4		SO_4^{2-}	
H_3O^+		H_2O	
H_3PO_4		$H_2PO_4^{2-}$	
H_2CO_3		HCO_3^-	
HCN		CN^-	
NH_4^+		NH_3	
H_2O		OH^-	

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Como consequência, podemos dizer que **a reação do tipo ácido-base sempre ocorre no sentido de formar outro ácido e outra base, mais fracos que os iniciais**.

No exemplo abaixo, a reação tende a caminhar para a direita com mais intensidade que para a esquerda (isto é, o equilíbrio está deslocado para a direita):

$$HC\ell + H_2O \rightleftharpoons \underbrace{H_3O^+}_{\text{Ácido mais fraco que o } HC\ell \text{ inicial}} + \underbrace{C\ell^-}_{\text{Base mais fraca que o } H_2O \text{ inicial}}$$

O conceito de ácidos e bases conjugados mostra que a ideia de caráter ácido-base é **relativa**. De fato, uma substância pode agir como **ácido** em relação a outra que está abaixo dela na tabela anterior, mas pode funcionar como **base** em relação a outra substância situada mais acima na tabela.

É o caso, por exemplo, da água:

$$HC\ell + \underbrace{H_2O}_{} \rightleftharpoons H_3O^+ + C\ell^-$$

Aqui o H_2O é uma **base**, pois **recebeu** um próton.

$$NH_3 + \underbrace{H_2O}_{} \rightleftharpoons NH_4^+ + OH^-$$

Aqui o H_2O é um **ácido**, pois **cedeu** um próton.

Substâncias como a água, quando apresentam esse comportamento, são denominadas **anfipróticas**.

Questões

Registre as respostas em seu caderno

Em um corpo de água, a combinação de ácido carbônico e água, assim como a combinação de carbonato e água, produzem o íon bicarbonato aquoso.

a) Represente as equações químicas citadas.

b) Indique, nas reações químicas da questão anterior, os ácidos e bases de Brönsted-Lowry, assim como os ácidos e bases conjugados.

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

1. (UFRGS-RS) Para a reação $CH_3COO^- + HF \rightleftharpoons CH_3COOH + F^-$, quais as espécies que podem ser consideradas bases, segundo o conceito de Brönsted-Lowry?

a) Apenas CH_3COO^-
b) Apenas F^-
c) CH_3COO^- e CH_3COOH
d) CH_3COO^- e F^-
e) F^- e HF

2. Aponte os ácidos e as bases de Brönsted-Lowry, nos exemplos abaixo:

a) $H_2SO_4 + C_2H_5-O-C_2H_5 \rightleftharpoons C_2H_5-\overset{+}{O}(H)-C_2H_5 + HSO_4^-$

b) $CH_3-NH_2 + H_2O \rightleftharpoons CH_3\overset{+}{N}H_3 + OH^-$

3. (UFF-RJ) Sabe-se que, em água, alguns ácidos são melhores doadores de prótons que outros e algumas bases são melhores receptoras de prótons que outras. Segundo Brönsted, por exemplo, o $HC\ell$ é um bom doador de prótons e considerado um ácido forte.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

De acordo com Brönsted, pode-se afirmar:

a) Quanto mais forte a base, mais forte é seu ácido conjugado.
b) Quanto mais forte o ácido, mais fraca é sua base conjugada.
c) Quanto mais fraco o ácido, mais fraca é sua base conjugada.
d) Quanto mais forte a base, mais fraca é sua base conjugada.
e) Quanto mais forte o ácido, mais fraco é seu ácido conjugado.

4. (Uerj) O ácido etanoico é uma substância de largo emprego na indústria de alimentos, seja como conservante, seja para consumo na forma de vinagre. Uma solução de ácido etanoico 0,1 mol · L^{-1} apresenta um pH de, aproximadamente, 3.

Considerando as condições ambientes, calcule o valor do grau de ionização do ácido etanoico e a concentração de íons etanoato no estado de equilíbrio, em g · L^{-1}.

(Dados: massas molares, em g/mol: H = 1; C = 12; O = 16.)

5. (UFF-RJ) O princípio ativo da aspirina é o ácido acetilsalicílico (AAS, $C_9H_8O_4$), que é um ácido fraco monocarboxílico, de K_a igual a $2{,}0 \cdot 10^{-5}$ a 27 °C.

Considere uma solução aquosa de aspirina que apresenta concentração de 0,05 mol · L^{-1} e determine:

a) a concentração de cada espécie presente;
b) o pH;
c) o grau de ionização (α).

6. (Fatec-SP) O ácido nicotínico, ou niacina ($C_6H_4NO_2H$), é um ácido fraco.

O gráfico a seguir mostra como seu grau de ionização varia de acordo com a concentração de suas soluções aquosas (medidas à temperatura ambiente):

Sobre esse gráfico, foram feitas as seguintes afirmações:

I. A ionização do ácido nicotínico aumenta à medida que a concentração da solução aumenta.
II. O pH de uma solução de ácido nicotínico não depende da concentração da solução.
III. Quanto maior a concentração da solução, menor a porcentagem de íons $C_6H_4NO_2^-$ em relação às moléculas $C_6H_4NO_2H$.

Dessas afirmações, somente:

a) I é correta.
b) II é correta.
c) III é correta.
d) I e II são corretas.
e) II e III são corretas.

4 O caráter ácido na Química orgânica

4.1. Ácidos carboxílicos

Os ácidos carboxílicos apresentam **caráter ácido** devido à ionização da carboxila:

A estabilidade do ânion carboxilato é garantida pela ressonância:

O par de **formas canônicas de ressonância** acima é chamado de **híbrido de ressonância** e é mais bem representado por:

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Se, por um lado, essa ressonância facilita a saída do H^+ e confere caráter ácido aos compostos, por outro, a ressonância descaracteriza a dupla carbonílica $\left(>C=O\right)$ e faz com que os ácidos percam as propriedades químicas dos aldeídos e das cetonas.

O caráter ácido dos ácidos carboxílicos é, no entanto, **fraco**. Lembramos que a força de um ácido pode ser medida por sua **constante de ionização** (K_a) e pelo correspondente pK_a (quanto maior o K_a e menor o pK_a, mais forte é o ácido).

Vejamos então alguns exemplos (a 25 °C):

- ácido fórmico (H — COOH) ⟶ $K_a = 1{,}77 \cdot 10^{-4}$; $pK_a = 3{,}75$
- ácido acético (CH_3 — COOH) ⟶ $K_a = 1{,}76 \cdot 10^{-5}$; $pK_a = 4{,}75$
- ácido propiônico (CH_3 — CH_2 — COOH) ⟶ $K_a = 1{,}34 \cdot 10^{-5}$; $pK_a = 4{,}87$

É interessante notar **que a força do ácido diminui com o aumento da cadeia carbônica**. Isso acontece porque a cadeia "empurra" elétrons para a carboxila, aumentando sua densidade eletrônica e dificultando, em consequência, a estabilização da carga do grupo carboxila ionizado, como ilustramos abaixo:

$$CH_3 \rightarrow CH_2 \rightarrow COO^- \longleftarrow \text{Caráter ácido mais fraco}$$

Dizemos, então, que a cadeia carbônica tem um efeito eletrônico do tipo **elétron-doador**, também chamado de **efeito indutivo positivo** (+I).

Pelo contrário, a presença, na cadeia carbônica, de grupos que atraiam elétrons da carboxila para si irá reverter a situação e aumentar a força do ácido. Por exemplo:

$$C\ell \leftarrow CH_2 \leftarrow COO^- \longleftarrow \text{Caráter ácido mais forte}$$

Neste caso, dizemos que o cloro tem efeito indutivo do tipo **elétron-receptor** ou **efeito indutivo negativo** (−I). É o que constatamos nos valores de K_a (a 25 °C) dados a seguir:

O grupo CH_3 tem efeito elétron-doador, que se propaga pela cadeia carbônica, aumentando a densidade eletrônica do oxigênio do grupo OH e dificultando, em consequência, a saída do H^+.

$K_a = 1{,}3 \cdot 10^{-5}$

Num composto com cadeia carbônica menor, o efeito elétron-doador do grupo CH_3 diminui.

$K_a = 1{,}7 \cdot 10^{-5}$

O Cℓ tem efeito elétron-receptor, que diminui a densidade eletrônica do oxigênio do grupo OH e facilita a saída do H^+.

$K_a = 1{,}4 \cdot 10^{-3}$

Neste caso, temos 2 átomos de cloro, o que reforça o caráter ácido.

$K_a = 3{,}3 \cdot 10^{-2}$

Neste último exemplo, temos 3 átomos de cloro, que tornam o ácido tricloroacético tão forte quanto um ácido inorgânico.

$K_a = 2{,}3 \cdot 10^{-1}$

Aumento do valor de K_a e, portanto, aumento do caráter ácido

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

FOTOS: EDUARDO SANTALIESTRA/CID

Nesta sequência de fotos é possível observar que o cloro tem efeito indutivo do tipo elétron-receptor. Em todas elas temos os mesmos béqueres com as mesmas soluções, da esquerda para a direita: ácido acético, ácido monocloroacético, ácido dicloroacético e ácido tricloroacético, todos com concentração 0,1 mol/L. Com o auxílio de um peagâmetro, constata-se que, quanto maior o número de átomos de cloro na molécula, maior o caráter ácido, ou seja, menor o pH. É importante destacar que, entre uma medição e outra, a ponta do peagâmetro foi lavada com água destilada.

Para finalizar, lembramos que os ácidos carboxílicos têm comportamento semelhante ao dos ácidos inorgânicos. Assim, por exemplo, reagem com bases, formando sais e água, numa típica **reação de salificação**.

$$\underbrace{R-COOH}_{\text{Ácido}} + \underbrace{NaOH}_{\text{Base}} \longrightarrow \underbrace{R-COONa}_{\text{Sal}} + \underbrace{H_2O}_{\text{Água}}$$

Os sais obtidos têm todas as características dos sais inorgânicos. Os nomes desses sais são derivados dos ácidos, trocando-se a terminação **ICO** por **ATO**. Por exemplo:

$H-COONa$ — Metanoato ou formiato de sódio

CH_3-COOK — Etanoato ou acetato de potássio

VOCÊ JÁ PAROU PARA PENSAR ?

Os sais em nosso cotidiano

Vários sais orgânicos estão presentes em produtos de nosso uso diário. Isso se deve principalmente ao fato de os sais serem mais solúveis em água que os ácidos correspondentes. Como exemplos podemos citar:

- em **conservantes de alimentos**: benzoato de sódio; citrato de sódio, glicerofosfato de cálcio;
- em **adoçantes**: ciclamato de cálcio;
- em **medicamentos**: ascorbato de sódio (vitamina C sódica), acetilsalicilato de cálcio;
- em **detergentes**: dodecil-benzeno-sulfonato de sódio;
- em nosso **metabolismo**:
  - o oxalato de cálcio é um dos principais componentes dos cálculos renais;
  - vimos à página 113 que o cheiro de "corpo" (mau odor) é devido, em parte, a ácidos eliminados pela transpiração. Daí o uso de bicarbonato de sódio ou leite de magnésia para **neutralizar** esses odores.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

4.2. O caráter ácido dos fenóis

O fenol comum tem **caráter ácido fraco**; por isso, antigamente era denominado **ácido fênico** ou **ácido carbólico**. O caráter ácido é explicado pela ressonância de um par de elétrons livres do oxigênio com o anel benzênico, como mostramos a seguir:

O oxigênio, que fica parcialmente positivo, procura repelir o hidrogênio, que também é positivo, ocorrendo então a seguinte ionização:

Ânion fenóxi,
fenato ou fenolato

O caráter ácido dos fenóis é mais fraco que o dos ácidos carboxílicos. De fato, enquanto o K_a dos ácidos carboxílicos é da ordem de 10^{-5}, o dos fenóis é da ordem de 10^{-10}. Mesmo assim, o fenol comum reage com bases fortes, como o NaOH:

Fenóxido ou fenolato de sódio
(Muito reativo, pois é iônico.)

É interessante notar que o caráter ácido dos fenóis torna-se mais forte ou mais fraco quando há, no anel, outros grupos. Assim, por exemplo, o 2,4,6-trinitro-fenol tem caráter ácido tão forte quanto os ácidos minerais, daí seu nome comum **ácido pícrico** (abaixo). Isso acontece porque os grupos NO_2 (que são grupos elétron-receptores) atraem elétrons para si, diminuindo a densidade eletrônica do anel benzênico e, por consequência, a densidade eletrônica do oxigênio do grupo OH, que liberará então mais facilmente o H^+.

Ácido pícrico

Ao contrário, grupos que repelem elétrons para o anel (elétron-doadores) tornam mais fraco o caráter ácido dos fenóis correspondentes. É por isso que os cresóis (metilfenóis) são ácidos mais fracos que o fenol comum.

A **fenolftaleína** é um exemplo interessante do caráter "ácido-fraco" dos fenóis. A fenolftaleína é um indicador do tipo "ácido-base" que é incolor em meio ácido, mas se torna vermelho em meio básico, conforme indicamos abaixo.

Incolor
(meio ácido)

Vermelho
(meio básico)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

4.3. O caráter ácido dos álcoois

Os álcoois são reativos devido à polaridade provocada pelo oxigênio em suas moléculas. A eletronegatividade elevada do oxigênio acarreta um aumento da densidade eletrônica na hidroxila, como mostramos ao lado. Por esse motivo, a **hidroxila é a parte mais reativa do álcool**.

Um tipo de reação possível nos álcoois corresponde à cisão $R-O \overset{\vdots}{-} H$, mostrando que os álcoois possuem caráter ácido. Esse caráter ácido é, porém, ainda **mais fraco que o dos fenóis**. Por esse motivo, os álcoois não reagem nem com bases fortes, como o NaOH. Reagem, porém, com o sódio metálico, que é um reagente básico muito forte. Por exemplo:

$$CH_3-CH_2-O\boxed{H} + Na \longrightarrow \underbrace{CH_3-CH_2-ONa}_{\substack{\text{Etóxido de sódio}\\ \text{(nome geral: alcóxidos ou alcolatos)}\\ \text{(grupo alcóxi: } R-O-\text{)}}} + \frac{1}{2}H_2\nearrow$$

Normalmente, temos nessas reações a seguinte ordem de reatividade:

Álcool primário > Álcool secundário > Álcool terciário

4.4. O caráter ácido dos alcinos

Os alcinos costumam ser classificados em:

- **alcinos verdadeiros** ou **terminais**, quando **possuem hidrogênio ligado ao carbono da ligação tripla**:

$$\boxed{H}-C\equiv C-\boxed{H} \quad \text{e} \quad R-C\equiv C-\boxed{H}$$

- **alcinos falsos** ou **não terminais** (é o caso contrário ao anterior):

$$R-C\equiv C-R' \quad (R = R' \text{ ou } R \neq R')$$

Nos alcinos terminais, o átomo de hidrogênio, que está ligado **diretamente** a um carbono da ligação tripla, adquire polaridade positiva (δ+), porque o átomo de carbono da ligação tripla torna-se mais negativo (δ−), em virtude do acúmulo de elétrons em ligações π. Em outras palavras, esse hidrogênio tem um **ligeiro caráter ácido**, podendo, portanto, ser substituído por metais, dando origem aos **acetiletos**.

$$R-C\equiv \overset{\delta-}{C}-\overset{\delta+}{H}$$

Por exemplo:

$$R-C\equiv C-H + Na \text{ (ou } NaNH_2) \xrightarrow[\text{líquido}]{\text{Em } NH_3} \underbrace{R-C\equiv CNa}_{\text{Acetileto de sódio}} + \frac{1}{2}H_2\nearrow$$

(A propósito, é mais correto escrever a fórmula do acetileto de sódio da seguinte maneira: $R-C\equiv C^-Na^+$, porque a ligação do sódio com o carbono é eminentemente iônica.)

Evidentemente, o $HC\equiv CH$ poderá formar acetiletos em dobro, já que possui **dois** hidrogênios com caráter ácido. Por exemplo:

$$HC\equiv CH + 2\,Na \longrightarrow NaC\equiv CNa + H_2\nearrow$$

$$HC\equiv CH + Ca \longrightarrow CaC_2 + H_2\nearrow$$

É também importante lembrar que os acetiletos dos metais alcalinos e alcalinoterrosos hidrolisam-se facilmente:

$$R-C\equiv CNa + H_2O \longrightarrow R-C\equiv CH + NaOH$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O principal exemplo é o do acetileto (ou carbeto) de cálcio, ou simplesmente **carbureto** (CaC_2), usado na produção do acetileno:

$$CaC_2 + 2\,H_2O \longrightarrow HC \equiv CH + Ca(OH)_2$$

Esta última reação ocorre em lanternas a carbureto e nos aparelhos de solda oxiacetilênica, nos quais o acetileno queima com chama muito quente e luminosa, segundo a reação:

$$2\,C_2H_2 + 5\,O_2 \longrightarrow 4\,CO_2 + 2\,H_2O$$

TREVOR SMITHERS ARPS/ALAMY/OTHER IMAGES

A chama produzida pela queima do acetileno é utilizada no corte de chapas metálicas.

Também são importantes os acetiletos dos metais pesados, por exemplo:

$$R-C\equiv C-H + AgNO_3 \xrightarrow[\text{no } NH_4OH]{\text{Em solução}} \underbrace{R-C\equiv CAg\downarrow}_{\text{Acetileto de prata}} + HNO_3$$

$$R-C\equiv C-H + CuC\ell \xrightarrow[\text{no } NH_4OH]{\text{Em solução}} \underbrace{R-C\equiv CCu\downarrow}_{\text{Acetileto cuproso}} + HC\ell$$

Os acetiletos dos metais pesados (Ag, Cu etc.) precipitam em soluções aquosas, e a reação serve para diferenciar os alcinos verdadeiros dos alcinos falsos, pois estes últimos não podem dar a reação e, consequentemente, não formam precipitado. Os acetiletos dos metais pesados, quando secos, são **explosivos violentos**, sendo usados em **detonadores**.

Por fim, é oportuno fazer uma comparação entre os caracteres ácidos estudados até agora, a saber: dos ácidos carboxílicos, dos fenóis, dos álcoois e dos alcinos verdadeiros. Para tanto, basta seguir os valores aproximados dos K_a dessas funções, dados a seguir:

Ácidos inorgânicos fortes (como $HC\ell$) ($K_a \simeq 10^5$) > **Ácidos carboxílicos** ($K_a \simeq 10^{-5}$) > **Fenóis** ($K_a \simeq 10^{-10}$) > **Água** ($K_a \simeq 10^{-16}$) > **Álcoois** ($K_a \simeq 10^{-18}$) > **Alcinos** ($K_a \simeq 10^{-25}$) > **Alcanos** ($K_a \simeq 10^{-40}$)

O último valor (10^{-40}) é tão pequeno que praticamente não haverá possibilidade de o hidrogênio ser liberado de um alcano, o que equivale a dizer que os alcanos não são ácidos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

OBSERVAÇÕES

- A ideia é, na verdade, bem mais geral. Enquanto os hidrogênios dos alcanos são difíceis de ser substituídos, em outras cadeias carbônicas a presença de um grupo funcional pode facilitar esse tipo de substituição. Por exemplo, na cloração de acetona temos:

$$\underbrace{CH_3-\underset{\underset{O}{\|}}{C}-CH_3}_{\text{Acetona}} \xrightarrow{C\ell_2} \underbrace{CH_2C\ell-\underset{\underset{O}{\|}}{C}-CH_3}_{\text{Monocloroacetona}} \xrightarrow[\text{de } C\ell_2]{\text{Excesso}} \underbrace{CC\ell_3-\underset{\underset{O}{\|}}{C}-CH_3}_{\text{Tricloroacetona}}$$

Essa reação é muito mais fácil que a cloração dos alcanos, mostrando que os hidrogênios em posição α são mais reativos.

- Um emprego importante do composto triclorado é a obtenção do clorofórmio ($CHC\ell_3$):

$$CC\ell_3-\underset{\underset{O}{\|}}{C}-CH_3 + NaOH \longrightarrow CHC\ell_3 + CH_3-C\begin{cases}=O\\-ONa\end{cases}$$

Reações idênticas produzem o **bromofórmio** ($CHBr_3$) e o **iodofórmio** (CHI_3). Por isso, elas são chamadas de **reações do halofórmio**. Só ocorrem em metilcetonas.

4.5. Reatividade dos "sais" orgânicos

As substâncias covalentes e apolares costumam reagir com dificuldade, enquanto as covalentes e polares reagem mais facilmente. As substâncias iônicas, por sua vez, geralmente reagem com facilidade ainda maior. Vimos nos últimos itens a formação de sais e compostos semelhantes a sais, como:

- sais de ácidos carboxílicos: $R-COO^{-}\ Na^{+}$
- fenóxidos ou fenolatos:
- alcoóxidos ou alcoolatos: $R-O^{-}\ Na^{+}$
- acetiletos: $R-C\equiv C^{-}\ Na^{+}$

As substâncias mencionadas acima são **iônicas** e **bastante reativas**, possibilitando reações fáceis, principalmente quando postas para reagir com outros reagentes polares. Por exemplo:

$$\underbrace{R\,COO^{-}\ \ Na^{+}}_{\text{Sal}} + \underbrace{\overset{\delta-}{Cl}\,\overset{\delta+}{O}C-R}_{\text{Cloreto de ácido}} \longrightarrow \underbrace{R-COOOC-R}_{\text{Anidrido}} + NaCl$$

$$\underbrace{R-O^{-}\ \ Na^{+}}_{\text{Alcoóxido}} + \underbrace{\overset{\delta-}{Cl}\,\overset{\delta+}{O}C-R}_{\text{Cloreto de ácido}} \longrightarrow \underbrace{R-OOC-R}_{\text{Éster}} + NaCl$$

$$\underbrace{R-C\equiv C^{-}\ \ Na^{+}}_{\text{Acetileto}} + \underbrace{\overset{\delta-}{Cl}-\overset{\delta+}{R}}_{\text{Haleto de alquila}} \longrightarrow \underbrace{R-C\equiv C-R}_{\text{Alcino superior}} + NaCl$$

Questões Registre as respostas em seu caderno

Os dentistas utilizam o ácido tricloroacético, em solução aquosa, para cauterizar feridas na gengiva.

a) Qual é a equação de ionização desse ácido?

b) Qual é a reação de salificação do ácido tricloroacético com hidróxido de sódio? Dê o nome do sal formado.

c) O ácido tricloroacético é mais forte ou mais fraco que o ácido acético? Justifique.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Pesquisa

Registre as respostas em seu caderno

Consulte o *site* sugerido a seguir ou outras fontes e responda:

a) Como um cão pode diferenciar uma pessoa da outra? O que isso tem em comum com os ácidos carboxílicos?

b) Onde são utilizados os ácidos orgânicos?

Referência:

FIORUCCI, A. R. et. al. Ácidos orgânicos: dos primórdios da Química experimental à sua presença em nosso cotidiano. *Química Nova na Escola*, n. 15, maio 2002. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc15/v15a02.pdf>. Acesso em: mar. 2010.

Atividade prática

Registre as respostas em seu caderno

ATENÇÃO

- **Não cheire nem experimente substância alguma utilizada nesta atividade.**
- **Este experimento deve ser realizado com a supervisão de um adulto, pois haverá a necessidade de manipular objetos quentes, podendo haver risco de queimaduras.**
- **Óculos de segurança, luvas e aventais protetores são obrigatórios.**

A cor dos vegetais

Material

- 3 folhas de couve
- Suco de 1 limão
- 1 g de bicarbonato de sódio
- 450 mL de água
- 3 béqueres de 250 mL
- Chapa de aquecimento
- Papel indicador de pH
- Balança
- Proveta

Procedimento

- Numere os béqueres de 1 a 3.
- Adicione ao béquer número 1 uma folha de couve picada e 150 mL de água. Esse recipiente será o ensaio controle.
- Adicione ao béquer número 2 uma folha de couve picada, 150 mL de água e suco de meio limão. Verifique, com auxílio do papel indicador de pH, se o meio está ácido.
- Adicione ao béquer número 3 uma folha de couve picada, 150 mL de água, suco de meio limão e 1 g de bicarbonato de sódio. Verifique, com auxílio do papel indicador de pH, se o meio está básico.
- Aqueça todos os béqueres por 20 minutos. Observe, anote e compare os fenômenos que ocorrem em todos os recipientes.

OLIVEIRA, M. F. & PEREIRA-MAIA, E. C. Alterações de cor dos vegetais por cozimento. *Química Nova na Escola*, n. 25, maio 2007. p. 34 e 35. (Adaptado)

Perguntas

a) O que ocorreu no béquer 1?

b) O que ocorreu no béquer 2?

c) O que evidencia, neste experimento, a ocorrência de uma reação química?

d) A clorofila, responsável pela coloração verde das plantas, pode ser representada por:

$$C_{32}H_{30}ON_4Mg \begin{matrix} \diagup COOCH_3 \\ \diagdown COOC_{20}H_{39} \end{matrix} \quad (aq)$$

Clorofila

Quando verduras e vegetais, destinados à alimentação, são preparados por meio de cozimento, podem ocorrer mudanças químicas na estrutura da clorofila. O Mg^{2+} presente na estrutura da clorofila pode ser substituído por dois íons H^+ provenientes de ácidos liberados ou adicionados ao sistema durante o cozimento. Essa reação é denominada feofitinização, e a nova molécula formada é a feofitina, de cor verde-amarelada:

$$H_2N_4OH_{30}C_{32} \begin{matrix} \diagup COOCH_3 \\ \diagdown COOC_{20}H_{39} \end{matrix} \quad (aq)$$

Feofitina

Dê a equação química para representar a reação observada no béquer 2.

e) O que ocorreu no béquer 3? Tente explicar.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

7. (UFSM-RS) O ácido acético CH_3COOH é um dos principais componentes do vinagre. Em relação a esse ácido, pode-se afirmar que:

I. tem quatro hidrogênios ionizáveis.
II. tem coloração rósea em presença de fenolftaleína.
III. apresenta moléculas não ionizadas em solução aquosa.

Está(ão) correta(s)?

a) apenas I.
b) apenas II.
c) apenas III.
d) apenas I e II.
e) apenas II e III.

8. (Uerj) Os ácidos orgânicos, comparados aos inorgânicos, são bem mais fracos. No entanto, a presença de um grupo substituinte, ligado ao átomo de carbono, provoca um efeito sobre a acidez da substância, devido a maior ou menor ionização.

Considere uma substância representada pela estrutura abaixo:

Essa substância estará mais ionizada em um solvente apropriado quando *X* representar o seguinte grupo substituinte:

a) H
b) I
c) F
d) CH_3

9. (PUC-MG) Considerando os ácidos $CH_2C\ell COOH$, $CHC\ell_2COOH$, $CC\ell_3COOH$, CH_3COOH, CF_3COOH, o mais fraco e o mais forte são, respectivamente:

a) $CH_2C\ell COOH$ e CH_3COOH
b) CH_3COOH e $CC\ell_3COOH$
c) $CC\ell_3COOH$ e $CHC\ell_2COOH$
d) CH_3COOH e CF_3COOH
e) $CC\ell_3COOH$ e CF_3COOH

10. (UFPE) Ácidos orgânicos são utilizados na indústria química e de alimentos como conservantes, por exemplo.

Considere os seguintes ácidos orgânicos:

I II III

A ordem crescente de acidez desses compostos em água é:

a) I < II < III.
b) II < I < III.
c) III < II < I.
d) II < III < I.
e) I < III < II.

11. (FCMSCSP-SP) "O orto-nitro-fenol é um ácido mais forte do que o fenol." Com base nessa informação, conclui-se que a introdução do agrupamento nitro facilita a ruptura da ligação:

a) I
b) II
c) III
d) IV
e) V

12. (UFSCar-SP) O gengibre, nome científico *Zingiber officinalis roscoe*, é uma planta que tem ação fitoterápica com indicação terapêutica estimulante gastrintestinal. Também é usado como condimento. O odor e o sabor picantes do gengibre são causados pela zingerona, um de seus constituintes.

Zingerona

a) Quantas ligações π encontram-se na molécula da zingerona? Identifique-as na estrutura.
b) Dê a equação da reação da zingerona com NaOH.

13. (UFSCar-SP) O caráter ácido dos compostos orgânicos difere bastante uns dos outros. Uma comparação da acidez pode ser feita por meio das estruturas e das constantes de ionização, K_a. Os valores das constantes ao redor de 10^{-42}, 10^{-18} e 10^{-10} podem ser atribuídos, respectivamente, a:

a) fenóis, álcoois e alcanos.
b) fenóis, alcanos e álcoois.
c) álcoois, fenóis e alcanos.
d) alcanos, fenóis e álcoois.
e) alcanos, álcoois e fenóis.

14. (Cesgranrio-RJ) Considere a tabela de valores de K_a das substâncias abaixo:

Substância	K_a
$CH_3 — COOH$	$1,8 \cdot 10^{-5}$
	$1,3 \cdot 10^{-10}$
H_2O	$1,0 \cdot 10^{-14}$
$CH_3 — CH_2OH$	$1,0 \cdot 10^{-16}$

Com base nesses valores, a ordem correta de acidez é:

a) água < álcool < fenol < ácido carboxílico.
b) álcool < ácido carboxílico < água < fenol.
c) álcool < água < fenol < ácido carboxílico.
d) fenol > ácido carboxílico > água > álcool.
e) fenol > álcool > água > ácido carboxílico.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

15. (UFSM-RS) Considere a tabela e o quadro esquemático:

Solução	Composto	Concentração	Acidez (K_a)
A	ácido acético	3 mol/L	$1{,}7 \cdot 10^{-5}$
B	ácido tricloroacético	0,01 mol/L	$2 \cdot 10^{-1}$

ADILSON SECCO

Os frascos que melhor representam as soluções *A* e *B* são, respectivamente:

a) 1 e 2.
b) 1 e 3.
c) 2 e 4.
d) 3 e 2.
e) 4 e 1.

16. (Unesp) "Substância proibida no Brasil matou animais no zoológico de São Paulo." Esta notícia, estampada nos jornais brasileiros no início de 2004, se refere à morte dos animais intoxicados pelo monofluoroacetato de sódio, um derivado do ácido monofluoroacético (ou ácido monofluoroetanoico), que age no organismo dos mamíferos pela inibição da enzima aconitase, bloqueando o ciclo de Krebs e levando-os à morte.

a) Em seu caderno, dê a fórmula estrutural do ácido monofluoroetanoico e identifique, indicando com setas e fornecendo seus nomes, duas funções orgânicas presentes nesse composto.
b) Quanto maior a eletronegatividade do grupo ligado ao carbono 2 dos derivados do ácido acético, maior a constante de dissociação do ácido (efeito indutivo). Considerando os ácidos monocloroacético, monofluoroacético e o próprio ácido acético, coloque-os em ordem crescente de acidez.

17. (Vunesp) Na sequência de reações representadas por:

$$CH_3 - CH_2OH \xrightarrow{X} CH_3 - CH_2 - ONa \xrightarrow{Y}$$
$$\xrightarrow{Y} CH_3 - CH_2 - O - CH_3$$

X e *Y* estão representando:

a) sódio e metanol.
b) hidróxido de sódio e clorometano.
c) hidróxido de sódio e metanol.
d) hidróxido de sódio e ácido fórmico.
e) sódio e clorometano.

18. (Cesgranrio-RJ) Indique, entre as equações abaixo, aquela que representa os reagentes de uma reação para obtenção do 2-pentino:

a) $HC \equiv C - CH_2 - CH_2 - CH_3 \quad + \quad H_2$
b) $CH_3 - C \equiv C - CH_2 - CH_3 \quad + \quad H_2$
c) $CH_3 - C \equiv C - CH_2 - CH_3 \quad + \quad H_2O$
d) $HC \equiv C - CH_3 \quad + \quad HC \equiv C - CH_2 - CH_3$
e) $CH_3C\ell \quad + \quad NaC \equiv C - CH_2CH_3$

19. (Unicamp-SP) Uma das substâncias responsáveis pelo odor característico do suor humano é o ácido caproico ou hexanoico, $C_5H_{11}COOH$. Seu sal de sódio é praticamente inodoro por ser menos volátil. Em consequência dessa propriedade, em algumas formulações de talco adiciona-se "bicarbonato de sódio" (hidrogeniocarbonato de sódio, $NaHCO_3$), para combater os odores da transpiração.

a) Dê a equação química representativa da reação do ácido caproico com o $NaHCO_3$.
b) Qual é o gás que se desprende da reação?

20. (UFC-CE) Insetos mordem, picam e ferroam, injetando pequenas quantidades de produtos químicos na pele. Ferroadas de abelhas e mordidas de formigas injetam ácidos, enquanto ferroadas de vespas injetam substâncias alcalinas.

Qual opção indica o processo de neutralização que poderá aliviar a irritação localizada?

a) Ferroadas de vespas podem ser tratadas com solução diluída de leite de magnésia, $Mg(OH)_2$.
b) Ferroadas de abelhas podem ser tratadas com solução de bicarbonato de sódio, $NaHCO_3$.
c) Ferroadas e mordidas de insetos podem ser tratadas aplicando-se uma compressa de cloreto de sódio, $NaC\ell$.
d) A mordedura de formiga pode ser tratada com vinagre, CH_3CO_2H.
e) Ferroadas e mordidas de insetos podem ser tratadas com suco puro de frutas cítricas, $HO_2CCH_2COH(CO_2H)CH_2CO_2H$, como limão.

21. (UFPE) O sal propanoato de cálcio é usado na preservação de pães, bolos e queijos, pois impede o crescimento de bactérias e fungos ("bolor" ou "mofo"). A alternativa que descreve esse sal e o pH de sua solução aquosa obtida pela dissolução de 100 g do mesmo em 500 mL de água destilada é:

	Fórmula molecular	pH da solução aquosa
a)	$(CH_3CH_2CH_2COO)_2Ca$	básico
b)	$(CH_3CH_2COO)_2Ca$	ácido
c)	$(CH_3CH_2COO)Ca$	básico
d)	$(CH_3CH_2COO)_2Ca$	básico
e)	$(CH_3CH_2COO)_2Ca$	neutro

22. (FEI-SP) Um composto oxigenado orgânico reage com solução de hidróxido de sódio a 10% em peso. O composto poderá ser:

a) um álcool ou um aldeído.
b) apenas um fenol.
c) um fenol ou um ácido carboxílico.
d) um ácido carboxílico ou um álcool.
e) apenas um ácido carboxílico.

23. (UFPR-adaptado) Uma amostra impura de ácido cítrico de fórmula molecular $C_6H_8O_7$, de 0,384 g, com a fórmula estrutural apresentada abaixo, foi titulada com 30 mL de uma solução de NaOH 0,1 mol/L.

Descreva a reação global envolvida na titulação total e o teor de ácido cítrico na amostra analisada em g% (m/m).

Massas atômicas: C = 12; H = 1; O = 16; Na = 23.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exercícios complementares

Registre as respostas em seu caderno

24. (UFPE) Ácido acético e ácido trifluoroacético apresentam as seguintes fórmulas estruturais

Ambos os ácidos carboxílicos são solúveis em água. Sobre esses compostos podemos afirmar:

(0) Os dois ácidos liberam íons em solução aquosa.
(1) O grau de dissociação iônica do ácido acético é 100%.
(2) O ácido acético é mais forte que o ácido trifluoroacético.
(3) O grupo CF_3 influencia na acidez do grupo carboxílico.
(4) O ácido trifluoroacético tem massa molar superior à do ácido acético.

25. (ITA-SP) Considere os seguintes ácidos:

I. CH_3COOH
II. CH_3CH_2COOH
III. $CH_2C\ell CH_2COOH$
IV. $CHC\ell_2CH_2COOH$
V. $CC\ell_3CH_2COOH$

A opção que contém a sequência **correta** para a ordem crescente de caráter ácido é:

a) I, II, III, IV e V.
b) II, I, III, IV e V.
c) II, I, V, IV e III.
d) III, IV, V, II e I.
e) V, IV, III, II e I.

26. (UnB-DF) O ácido 2,4-diclorofenoxiacético que, misturado a outras substâncias, foi usado como agente desfolhante na Guerra do Vietnã, é um dos herbicidas mais amplamente utilizados na agricultura. Sua estrutura é apresentada abaixo.

A respeito dessa substância, julgue os itens seguintes.

(1) Verifica-se a existência da função éter.
(2) A presença de um grupo OH permite identificar a função álcool.
(3) Soluções aquosas dessa substância terão pH maior do que 7.

27. (UFRRJ) O cravo (*Syzygium aromaticum*) é uma planta usada como tempero há vários séculos, tendo motivado inúmeras viagens de navegadores europeus ao continente asiático. Dessa planta extrai-se um óleo essencial que tem como componente majoritário o eugenol (mostrado abaixo).

Eugenol

a) Quando o eugenol reage com uma solução de Br_2 em $CC\ell_4$ (solução de coloração castanho-avermelhada) ocorre imediata descoloração da solução. Dê a estrutura do produto de adição formado nesta reação.
b) Dê a estrutura do produto formado, quando o eugenol é tratado com uma solução aquosa de NaOH.

28. (PUC-Campinas-SP) O conservante benzoato de sódio é utilizado em certos sucos de frutas engarrafados.

Tal conservante, em presença do ácido clorídrico do estômago, deve produzir:

a) benzeno, cloreto de sódio e ácido fórmico.
b) orto-clorobenzoato de sódio e meta-clorobenzoato de sódio.
c) formiato de sódio e benzeno.
d) ácido benzoico e cloreto de sódio.
e) ácido benzoico e formiato de sódio.

29. (Fuvest-SP) Do livro de Antoine Laurent Lavoisier, *Traité élémentaire de Chimie*, traduziu-se o seguinte trecho:

> Ácido cítrico é mais facilmente obtido saturando-se suco de limão com cal suficiente para formar citrato de cálcio, que é insolúvel em água. Lava-se esse sal e acrescenta-se quantidade apropriada de ácido sulfúrico. Forma-se sulfato de cálcio, que precipita, deixando o ácido cítrico livre na parte líquida.

Representando-se o ácido cítrico por H_3Cit, o procedimento descrito por Lavoisier pode ser esquematizado pela sequência de equações:

$$2\ H_3Cit\ (aq) + x\ CaO\ (s) \longrightarrow Y\ (s) + 3\ H_2O\ (\ell)$$

$$Y\ (s) + z\ H_2SO_4\ (aq) \longrightarrow 3\ CaSO_4\ (s) + 2\ H_3Cit\ (aq)$$

Em tal sequência, *x*, *Y* e *z* correspondem, respectivamente, a:

a) 3, $Ca_3(Cit)_2$ e 3.
b) 2, $Ca_2(Cit)_3$ e 3.
c) 3, $Ca_3(Cit)_2$ e 2.
d) 3, $Ca_2(Cit)_3$ e 3.
e) 2, $Ca_3(Cit)_2$ e 2.

30. (UFV-MG) A seguir são apresentadas algumas informações sobre duas substâncias desconhecidas *A* e *B*.

Substância	Fórmula molecular	Reação com sódio metálico
A	$C_6H_{14}O$	Desprende H_2
B	$C_6H_{14}O$	Não reage

a) Represente uma possível estrutura para a substância *A*.
b) Represente uma possível estrutura para a substância *B*.
c) Quais são as funções orgânicas presentes em *A* e *B*?

31. (FMIt-MG) Os aldeídos e as cetonas, mesmo não sendo ácidos, reagem com sódio ou potássio. Por quê?

a) São muito reativos.
b) São pouco reativos.
c) Por causa da tautomeria.
d) Por causa da metameria.
e) Nenhuma das respostas anteriores.

32. (EEM-SP) Dois alcinos foram tratados, separadamente, com solução de nitrato de prata amoniacal e apenas um deles reagiu. Dê fórmulas estruturais dos dois alcinos, admitindo que tenham o menor número possível de átomos de carbono.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

33. (PUC-SP) Na tabela abaixo, são apresentados os pontos de fusão, os pontos de ebulição e as constantes de ionização de alguns ácidos carboxílicos.

Ácido	P.F. (°C)	P.E. (°C)	K_a (25 °C)
HCOOH	8,4	100,6	$1,77 \cdot 10^{-4}$
CH_3COOH	16,7	118,2	$1,75 \cdot 10^{-5}$
CH_3CH_2COOH	−20,8	141,8	$1,34 \cdot 10^{-5}$

A respeito dessa tabela, são feitas as seguintes afirmações.

I. O ácido propanoico é um sólido à temperatura ambiente.
II. O ácido acético é mais forte que o ácido fórmico.
III. O ácido metanoico apresenta menor ponto de ebulição devido a sua menor massa molecular.

Quais estão corretas?

a) Apenas I.
b) Apenas II.
c) Apenas III.
d) Apenas I e III.
e) Apenas II e III.

34. (UFSM-RS) Os compostos orgânicos aromáticos com caráter ácido fazem parte do dia a dia. São exemplos:

I

Ácido benzoico
(conservante de alimentos P. I.)

II

Ácido p-aminobenzoico
(filtro solar)

III

Ácido p-nitrobenzoico
(indústria de corantes)

Sabendo-se que a solução aquosa do ácido benzoico (I) apresenta pH = 4, pode-se afirmar que, nas mesmas condições, a(s) solução(ões):

a) II tem pH < 4.
b) II tem pH = 4.
c) III tem pH < 4.
d) III tem pH = 4.
e) II e III têm pH > 4.

35. (PUC-RJ) O fenol de fórmula molecular C_6H_5OH e fórmula estrutural abaixo é um composto orgânico muito utilizado industrialmente e que possui solubilidade igual a 8,28 g em 100 mL de água a 25 °C.

Considerando essas informações e considerando, ainda, o seu comportamento em água, representado pela equação $C_6H_5OH\,(aq) + H_2O\,(\ell) \rightleftharpoons C_6H_5O^-\,(aq) + H_3O^+(aq)$, é correto afirmar que:

a) o fenol é um composto orgânico saturado e não aromático.
b) a combustão completa do fenol produz CO (g) e H_2O (ℓ).
c) no equilíbrio que se estabelece entre o fenol e seu produto de ionização, em solução aquosa, a espécie $C_6H_5O^-$ é uma base de acordo com o conceito de Brönsted-Lowry.
d) uma solução aquosa de fenol tem pH básico.
e) uma mistura contendo 100 g de água e 100 g de fenol é uma mistura homogênea (solução).

36. (Ceeteps-SP) O carbeto de cálcio pode ser empregado como gerador de gás acetileno ao reagir com água. A equação da reação é:

$$CaC_2 + 2\,H_2O \longrightarrow C_2H_2 + Ca(OH)_2$$

A quantidade mínima de carbeto de cálcio, em gramas, necessária para produzir 5,6 metros cúbicos de gás acetileno, medidos nas condições normais de temperatura e pressão (CNTP), é:

(Dados: volume molar (nas CNTP) = 22,4 dm^3/mol; massas molares (em g/mol): Ca = 40,0; O = 16,0; H = 1,0; C = 12,0.)

a) 1.600
b) 3.200
c) 6.400
d) 16.000
e) 32.000

37. (Enem-MEC) O botulismo, intoxicação alimentar que pode levar à morte, é causado por toxinas produzidas por certas bactérias, cuja reprodução ocorre nas seguintes condições: é inibida por pH inferior a 4,5 (meio ácido), temperaturas próximas a 100 °C, concentrações de sal superiores a 10% e presença de nitritos e nitratos como aditivos.

A ocorrência de casos recentes de botulismo em consumidores de palmito em conserva levou a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) a implementar normas para a fabricação e comercialização do produto.

No rótulo de uma determinada marca de palmito em conserva, encontram-se as seguintes informações:

I. Ingredientes: palmito açaí, sal diluído a 12% em água, ácido cítrico;
II. Produto fabricado conforme as normas da Anvisa;
III. Ecologicamente correto.

As informações do rótulo que têm relação com as medidas contra o botulismo estão contidas em:

a) II, apenas.
b) III, apenas.
c) I e II, apenas.
d) II e III, apenas.
e) I, II e III.

38. (Enem-MEC) Levando-se em conta os fatores que favorecem a reprodução das bactérias responsáveis pelo botulismo, mencionadas no exercício anterior, conclui-se que as toxinas que o causam têm maior chance de serem encontradas:

a) em conservas com concentração de 2 g de sal em 100 g de água.
b) nas linguiças fabricadas com nitrito e nitrato de sódio.
c) nos alimentos logo após terem sido fervidos.
d) no suco de limão, cujo pH varia de 2,5 a 3,6.
e) no charque (carne salgada e seca ao sol).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

5 O caráter básico na Química orgânica

5.1. O caráter básico das aminas

As **principais bases** da Química orgânica são as **aminas**, pois seu grupo funcional pode **receber prótons**:

$$\underbrace{CH_3-\ddot{N}H_2}_{\text{Amina}} + H^+ \rightleftharpoons CH_3-\overset{+}{N}H_2(H)$$

(base de Brönsted-Lowry)

As aminas apresentam **caráter básico fraco**, idêntico ao do amoníaco (NH_3). Compare os dois exemplos seguintes:

$$\underbrace{NH_3}_{\text{Base}} + \underbrace{HC\ell}_{\text{Ácido}} \longrightarrow \underbrace{NH_4^+\,C\ell^-}_{\text{Cloreto de amônio}}$$

(sal)

$$\underbrace{CH_3-NH_2}_{\text{Base}} + \underbrace{HC\ell}_{\text{Ácido}} \longrightarrow \underbrace{[CH_3-NH_3]^+\,C\ell^-}_{\text{Cloreto de metilamônio ou cloridrato de metilamina}}$$

(sal)

É interessante observar, neste ponto, que muitas aminas têm cheiro de peixe podre, que desaparece com a adição de vinagre. Isso acontece porque o vinagre contém ácido acético, que reage com a amina, de caráter básico, transformando-a no sal correspondente, que é inodoro.

Prosseguindo, diremos que os sais apresentados acima são decompostos por bases fortes, pois os hidróxidos derivados das aminas são instáveis, exatamente como o NH_4OH. Compare novamente:

$$\underbrace{NH_4C\ell}_{\text{Sal}} \xrightarrow{NaOH} \underbrace{NH_4OH}_{\text{Hidróxido de amônio}} \longrightarrow \underbrace{NH_3}_{\text{Amônia}} + H_2O$$

(instável)

$$\underbrace{[CH_3-NH_3]^+\,C\ell^-}_{\text{Sal}} \xrightarrow{NaOH} \underbrace{[CH_3-NH_3]^+\,OH^-}_{\text{Hidróxido de metilamônio}} \longrightarrow \underbrace{CH_3-NH_2}_{\text{Metilamina}} + H_2O$$

(instável)

O caráter básico das aminas é devido ao **par eletrônico livre** que existe no nitrogênio, exatamente como na amônia ($:NH_3$). Compare mais uma vez:

$$\underbrace{\ddot{N}H_3}_{\text{Amônia}} + H^+ \longrightarrow \underbrace{\overset{+}{N}H_3(H)}_{\text{Íon amônio}} \quad (\text{é o } NH_4^+)$$

(base de Brönsted-Lowry)

$$\underbrace{CH_3-\ddot{N}H_2}_{\text{Metilamina}} + H^+ \longrightarrow \underbrace{CH_3-\overset{+}{N}H_2(H)}_{\text{Íon metilamônio}}$$

(base de Brönsted-Lowry)

A amônia é uma base fraca. De fato:

$$NH_3 + H_2O \rightleftharpoons NH_4^+ + OH^-, \text{ em que: } K_b = \frac{[NH_4^+]\,[OH^-]}{[NH_3]\,[H_2O]} = 1{,}8 \cdot 10^{-5}$$

As **aminas alifáticas primárias são bases um pouco mais fortes que a amônia**, pois o grupo alquila empurra elétrons para o grupo amino ($R \rightarrow NH_2$), aumentando a densidade eletrônica no nitrogênio e facilitando a captura do H^+, para formar o $R \rightarrow NH_3^+$ (por exemplo, a metilamina tem $K_b = 4{,}4 \cdot 10^{-4}$).

As **aminas alifáticas secundárias**, tendo dois grupos alquila ($R \rightarrow NH \leftarrow R'$), **são bases mais fortes que as aminas primárias** (por exemplo, a dimetilamina tem $K_b = 5{,}2 \cdot 10^{-4}$).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Seguindo esse raciocínio, as **aminas terciárias** deveriam ser ainda mais fortes; no entanto, elas **são mais fracas que as primárias** (por exemplo, a trimetilamina tem $K_b = 6 \cdot 10^{-5}$). Isso se explica pela existência de três grupos alquila ao redor do nitrogênio, como podemos observar ao lado. Essa disposição deixa pouco espaço para a fixação do H^+ e a formação do R_3NH^+. Esse fenômeno é conhecido, em Química orgânica, pelo nome de **impedimento estérico** ou **espacial**.

As **aminas aromáticas são bases fraquíssimas**, pois o par eletrônico do nitrogênio migra para o anel (fenômeno de ressonância), de modo que o H^+ dificilmente poderá protonizá-lo:

($K_b = 4{,}2 \cdot 10^{-10}$)

Generalizando, podemos dizer que qualquer grupo que empurre elétrons (grupos doadores de elétrons) para o nitrogênio aumenta a basicidade da amina; caso contrário, a basicidade diminui.

Em ordem decrescente de basicidade, temos, então:

R_2NH	>	RNH_2	>	R_3N	>	NH_3	>	$ArNH_2$	>	Ar_2NH	>	Ar_3N
Aminas alifáticas secundárias		**Aminas alifáticas primárias**		**Aminas alifáticas terciárias**		**Amoníaco**		**Aminas aromáticas primárias**		**Aminas aromáticas secundárias**		**Aminas aromáticas terciárias**

As **amidas não têm caráter básico** e podem ser consideradas **substâncias neutras**. Esse fato decorre da seguinte ressonância:

Em virtude dessa fuga do par eletrônico do nitrogênio, as amidas perdem sua basicidade.

Medicamentos na forma de sais

Muitos medicamentos são aminas complexas, pouco solúveis nos fluidos de nosso organismo, os quais são aquosos. Para melhorar a absorção dessas aminas, promove-se sua reação com ácidos, como ácido clorídrico, sulfúrico, nítrico, benzoico, salicílico etc., resultando nos respectivos sais – que são mais estáveis e mais bem absorvidos pelo organismo. O anestésico novocaína, por exemplo, é o cloridrato de procaína ($C_{13}H_{20}O_2N_2$):

5.2. Reações de substituição do grupo OH

Na Química inorgânica, o grupo OH é muito importante, pois é o grupo funcional das bases (de Arrhenius) e, portanto, o responsável pela reatividade das bases inorgânicas.

Na Química orgânica, o grupo OH aparece nos álcoois, fenóis e ácidos carboxílicos. **Nesses compostos, o grupo OH não tem caráter básico** nem a reatividade que caracteriza as bases inorgânicas. No entanto, substâncias muito reativas podem substituir o OH dos álcoois, fenóis e ácidos carboxílicos, dando origem a compostos orgânicos importantes.

No caso dos álcoois, temos, por exemplo:

$$CH_3OH + HBr \longrightarrow CH_3Br + H_2O$$

$$3\,CH_3OH + PC\ell_3 \longrightarrow 3\,CH_3C\ell + P(OH)_3 \quad \text{(isto é, } H_3PO_3\text{)}$$

$$CH_3OH + HNO_3 \longrightarrow CH_3NO_3 + H_2O$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Normalmente, temos, nessas reações, a seguinte ordem de reatividade:

Álcool primário < Álcool secundário < Álcool terciário

Note que essa ordem é a inversa daquela vista à página 288, referente à de reatividade na eliminação do hidrogênio do grupo OH dos álcoois. A ordem de reatividade dos halogenidretos, porém, permanece a mesma: HI > HBr > HCℓ. Dessas observações resulta a reação usada na identificação de álcoois, com o nome de **teste de Lucas**, fazendo o álcool reagir com HCℓ em presença de $ZnC\ell_2$:

$$R-OH + HC\ell \Rightarrow R-C\ell + H_2O \xrightarrow{ZnC\ell_2} \begin{cases} \text{Reação imediata} \longrightarrow \text{Álcool terciário} \\ \text{Reação lenta} \longrightarrow \text{Álcool secundário} \\ \text{Não reagem} \longrightarrow \text{Álcool primário} \end{cases}$$

FOTOS: EDUARDO SANTALIESTRA/CID

Teste de Lucas: em (A) o reagente de Lucas (HCℓ na presença de $ZnC\ell_2$) é gotejado nas três amostras de álcoois. Após algum tempo é possível identificar na foto (B) que, da esquerda para a direita, temos o álcool primário, o secundário e o terciário.

A substituição do grupo OH dos **fenóis é mais difícil que no caso dos álcoois**. Essas substituições só ocorrem com as substâncias muito reativas ou em condições drásticas. Por exemplo:

Por fim, a substituição do grupo OH de ácidos carboxílicos é facilitada pela presença do grupo carbonila (eletrofílico), mas só é possível utilizando-se reagentes específicos. Nesse caso, a reação só é obtida com $PC\ell_3$, $PC\ell_5$ ou $SOC\ell_2$. Por exemplo:

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Questões

Registre as respostas em seu caderno

Uma solução aquosa de HCℓ é adicionada, lentamente, às seguintes soluções:
A: metilamina;
B: dimetilamina;
C: trimetilamina;
D: amônia;
E: metilamida.

a) Em qual das soluções citadas haverá reação?

b) Coloque em ordem crescente de basicidade as soluções básicas citadas.

c) Qual é a equação química que representa a reação entre a solução aquosa de HCℓ e a solução da base mais forte?

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

39. (UFPE) O pH é uma propriedade físico-química de soluções muito importante para a manutenção dos ecossistemas (lagos, rios) bem como da vida (pH sanguíneo). Qual a alternativa que apresenta substâncias que, quando dissolvidas em água, fornecerão soluções com pH ácido e básico, respectivamente?

a) CH_3NH_2 e CH_3COOH
b) $NaNO_3$ e HCℓ
c) H_2SO_4 e CH_3NH_2
d) KOH e HNO_3
e) CH_3COOH e $NaC\ell O_4$

40. (UFSM-RS) A serotonina, substância que atua no sistema nervoso e é responsável pelo controle da temperatura corporal e pelo sono, tem a fórmula estrutural:

Quanto aos grupos funcionais assinalados na estrutura, pode-se afirmar que:

a) I, II e III são básicos.
b) I é ácido, II e III são básicos.
c) I é básico, II e III são ácidos.
d) I e II são básicos, III é ácido.
e) I, II e III são ácidos.

41. (Cesgranrio-RJ)

De acordo com a teoria ácido-base de Brönsted-Lowry, "ácido é toda substância capaz de ceder prótons (H^+)". Assim, nessa série de compostos orgânicos, a sequência correta em ordem decrescente de acidez é:

a) I > II > III > IV.
b) II > I > IV > III.
c) III > IV > I > II.
d) IV > III > I > II.
e) IV > III > II > I.

42. (PUC-SP) Os frascos *A*, *B*, *C* e *D* apresentam *soluções aquosas* das seguintes substâncias:

Frasco *A*

Fenol

Frasco *B*

$H_3C — CH_2 — OH$

Etanol

Frasco *C*

Ácido acético

Frasco *D*

$H_3C — NH_2$

Metilamina

Qual alternativa apresenta corretamente o pH dessas soluções?

	Frasco *A*	Frasco *B*	Frasco *C*	Frasco *D*
a)	pH = 7	pH = 7	pH = 7	pH = 7
b)	pH > 7	pH > 7	pH < 7	pH > 7
c)	pH > 7	pH > 7	pH > 7	pH = 7
d)	pH < 7	pH = 7	pH < 7	pH > 7
e)	pH < 7	pH < 7	pH < 7	pH < 7

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

43. (Unicamp-SP) A metilamina, $H_3C — NH_2$, proveniente da decomposição de certas proteínas, responsável pelo desagradável cheiro de peixe, é uma substância gasosa, solúvel em água. Em soluções aquosas de metilamina ocorre o equilíbrio:

$$H_3C — NH_2\ (g) + H_2O\ (\ell) \rightleftharpoons H_3C — NH_3^+\ (aq) + OH^-\ (aq)$$

a) O pH de uma solução aquosa de metilamina será maior, menor ou igual a 7? Explique.
b) Por que o limão ou o vinagre (soluções ácidas) diminuem o cheiro de peixe?

44. (Unicamp-SP) A comunicação que ocorre entre neurônios merece ser destacada. É através dela que se manifestam as nossas sensações. Dentre as inúmeras substâncias que participam desse processo, está a 2-feniletilamina, à qual se atribui o "ficar enamorado". Algumas pessoas acreditam que sua ingestão poderia estimular o "processo do amor" mas, de fato, isso não se verifica. A estrutura da molécula dessa substância está abaixo representada.

a) Considerando que alguém ingeriu certa quantidade de 2-feniletilamina, com a intenção de cair de amores, dê a equação que representa o equilíbrio ácido-base dessa substância no estômago. Use fórmulas estruturais.
b) Em que meio (aquoso) a 2-feniletilamina é mais solúvel: básico, neutro ou ácido? Justifique.

45. (Unifesp) A cocaína foi o primeiro anestésico injetável, empregado desde o século XIX. Após se descobrir que o seu uso causava dependência física, novas substâncias foram sintetizadas para substituí-la, dentre elas a novocaína.

Cocaína

Novocaína

A função orgânica oxigenada encontrada na estrutura da cocaína e o reagente químico que pode ser utilizado para converter o grupo amônio da novocaína da forma de sal para a forma de amina são, respectivamente:

a) éster e NaOH
b) éster e HCℓ
c) éster e H_2O
d) éter e HCℓ
e) éter e NaOH

Exercícios complementares

Registre as respostas em seu caderno

46. (Fatec-SP) A seguir estão descritas observações sobre a transformação química envolvendo a etilamina $CH_3CH_2NH_2$ (aq) e solução diluída de HCℓ e, também, a equação química que a representa.

$$\underbrace{CH_3CH_2NH_2\ (aq)}_{\text{Etilamina}} + H^+\ (aq) + C\ell^-\ (aq) \rightleftharpoons \underbrace{CH_3CH_2NH_3^+\ (aq)}_{\text{Íons etilamônio}} + C\ell^-\ (aq)$$

Solução de etilamina. Odor de peixe.

Adição de HCℓ.

Desaparecimento do odor. Elevação da temperatura.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Sobre a transformação ilustrada são feitas as afirmações:

I. O produto formado é o cloreto de etilamônio, um sal inodoro e não volátil.
II. A transformação ilustrada na figura é endotérmica.
III. O odor de peixe reaparece com a adição de excesso de uma base, como o NaOH.

Dessas afirmações, apenas:

a) a I e a II são corretas.
b) a I é correta.
c) a II é correta.
d) a II e a III são corretas.
e) a I e a III são corretas.

47. (UFRGS-RS) Uma substância orgânica, quando em solução aquosa, pode ou não alterar o pH dessa solução. Assim, quando cada uma das substâncias mencionadas nas alternativas a seguir estiver em solução aquosa, quais as que têm o pH da solução indicado corretamente?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

	Solução aquosa com		
	pH < 7	pH = 7	pH > 7
a)	Etanoico	Etanal	Etanol
b)	Éter etílico	Propanona	Etilamina
c)	Acetato de etila	Propanoico	Acetamida
d)	Fenol	Etanol	Anilina
e)	Octano	Benzeno	Metilamina

48. (UFSM-RS) Considerando as fórmulas moleculares das substâncias

Ácido pícrico

Nicotina

Adrenalina

é correto afirmar que:

a) as três substâncias possuem nitrogênio, portanto têm caráter alcalino.
b) o próton da hidroxila do álcool na adrenalina é mais ácido que o próton do fenol no ácido pícrico.
c) a nicotina é a única substância que contém uma amina terciária.
d) a adrenalina é uma amina aromática secundária mais básica do que a amina terciária da nicotina.
e) o ácido pícrico é um ácido carboxílico monoprótico muito forte.

49. (Unifesp) Analgésicos ácidos como aqueles à base de ácido acetilsalicílico provocam em algumas pessoas sintomas desagradáveis associados ao aumento da acidez estomacal. Em substituição a esses medicamentos, podem ser ministrados outros que contenham como princípio ativo o paracetamol (acetaminofeno), que é uma base fraca. O meio estomacal é predominantemente ácido, enquanto o meio intestinal é predominantemente básico, o que leva à absorção seletiva nos dois órgãos de medicamentos administrados pela via oral.

Acetaminofeno

Considere a figura com a estrutura do acetaminofeno e as seguintes afirmações:

I. O acetaminofeno apresenta fórmula molecular $C_8H_9NO_2$.
II. O grupo funcional amida é que confere o caráter básico do acetaminofeno.
III. A absorção do ácido acetilsalicílico em um indivíduo é maior no estômago que no intestino, devido ao baixo pH do suco gástrico.
IV. Os fenóis apresentam menor acidez do que os ácidos carboxílicos.

São corretas as afirmações:

a) I, II, III e IV.
b) I, II e III, somente.
c) I, II e IV, somente.
d) II, III e IV, somente.
e) III e IV, somente.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

6 Ácidos e bases de Lewis

Em 1923, Gilbert Newton Lewis (1875-1946) propôs novos conceitos para ácidos e bases, ainda mais gerais que os de Arrhenius e os de Brönsted-Lowry:

Base de Lewis é toda espécie química (molécula ou íon) capaz de **ceder** pares eletrônicos para formar ligações dativas.

Ácido de Lewis é toda espécie química (molécula ou íon) capaz de **receber** pares eletrônicos em ligações dativas.

Por exemplo:

Amina (base de Lewis) — Cloreto de alumínio (ácido de Lewis)

Veja que no RNH_2 há um par de elétrons livres, enquanto no $A\ell C\ell_3$ falta um par de elétrons para completar o seu octeto. É isso que possibilita uma reação do tipo ácido-base de Lewis.

Outro exemplo interessante é o dos **éteres que se comportam como base de Lewis**. Por exemplo:

Por isso, os éteres são solúveis em H_2SO_4 concentrado e frio. Isso diferencia os éteres dos hidrocarbonetos e dos haletos.

Generalizando, podemos dizer que qualquer espécie química que apresente átomos com **pares eletrônicos isolados** pode funcionar como **base de Lewis**. Por exemplo:

Podemos também dizer que uma **base de Lewis é tanto mais forte quanto maior é sua tendência a ceder pares eletrônicos**; um **ácido de Lewis, por sua vez, fica mais forte à medida que aumenta sua capacidade de receber pares eletrônicos**.

Considerando que muitos compostos orgânicos têm carência ou excesso de elétrons, concluímos que **o conceito de ácidos e bases de Lewis é muito importante na Química orgânica**. Esse conceito explica o comportamento de muitos compostos orgânicos como, por exemplo:

- Os éteres orgânicos costumam ser pouco reativos. No entanto, como vimos acima, um éter se comporta como base de Lewis perante compostos ácidos. Como consequência, a molécula de um éter se rompe quando aquecida com H_2SO_4, ácidos halogenídricos (a reatividade é HI > HBr > HCℓ) e até mesmo com certos ácidos de Lewis, como o $AlCl_3$:

- Onde há ligações duplas e triplas, há elétrons nas ligações π mais ou menos soltos, que podem ser atacados por ácidos de Lewis – note que, com essa observação, já começamos a ter condições de saber como e por que são atacadas as ligações duplas e triplas das moléculas orgânicas.
- Podemos também dizer que as reações entre ácidos e bases de Lewis explicam o "caminho" de muitas reações orgânicas. Assim, por exemplo, a reação de substituição no anel aromático (já vista à página 238):

fica mais bem explicada, considerando que a ação do catalisador ($FeCl_3$) é produzir o íon Cl^- que, de fato, iniciará o "ataque" ao anel benzênico.

- Por fim, o conceito de Arrhenius é muito importante para soluções aquosas, como acontece frequentemente na Química inorgânica. Já os conceitos de Brönsted-Lowry e de Lewis são mais importantes na Química orgânica, onde se usam solventes diferentes da água (solventes não aquosos) ou, então, não se empregam solventes, uma vez que muitos reagentes orgânicos já se apresentam na forma líquida.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

É importante notar ainda que os conceitos de ácidos e bases de Arrhenius, de Brönsted-Lowry e de Lewis não são contraditórios nem se excluem. Pelo contrário, eles se completam, pois os conceitos de ácidos e bases de Lewis englobam os conceitos de ácidos e bases de Arrhenius e os conceitos de ácidos e bases de Brönsted-Lowry, como podemos ver pelos exemplos abaixo:

1º exemplo: Considere a reação:

libera H^+ ⇒ é ácido de Arrhenius
cede próton (H^+) ⇒ é ácido de Brönsted-Lowry
recebe par eletrônico (do OH^-) ⇒ é ácido de Lewis

libera OH^- ⇒ é base de Arrhenius
recebe próton (H^+) ⇒ é base de Brönsted-Lowry
cede par eletrônico ⇒ é base de Lewis

2º exemplo: Considere a reação:

libera H^+ ⇒ é ácido de Arrhenius
cede próton (H^+) ⇒ é ácido de Brönsted-Lowry
recebe par eletrônico (do CH_3OH) ⇒ é ácido de Lewis

não libera OH^- ⇒ não é base de Arrhenius
recebe próton (H^+) ⇒ é base de Brönsted-Lowry
cede par eletrônico ⇒ é base de Lewis

3º exemplo: Considere a reação:

não libera H^+ ⇒ não é ácido de Arrhenius
não cede próton (H^+) ⇒ não é ácido de Brönsted-Lowry
recebe par eletrônico (do RNH_2) ⇒ é ácido de Lewis

não libera OH^- ⇒ não é base de Arrhenius
recebe próton (H^+) ⇒ é base de Brönsted-Lowry
cede par eletrônico ⇒ é base de Lewis

Finalizando, é importante reafirmar que o **conceito de ácidos e bases de Lewis** é o mais amplo e engloba o **conceito de ácidos e bases de Brönsted-Lowry**; este, por sua vez, engloba o **conceito de ácidos e bases de Arrhenius**, como é mostrado no esquema ao lado.

Mais uma vez podemos notar como a Ciência caminha. Os conceitos vão se ampliando e passam a abranger maior número de fenômenos.

ADILSON SECCO

Gilbert Newton Lewis

Químico estadunidense (ao lado, retratado em 1937), nasceu em Weymouth, em 1875, e faleceu em Berkeley, em 1946. Trabalhou em universidades dos Estados Unidos e da Alemanha. Foi professor de Físico-Química na Universidade de Berkeley, até sua morte. Lewis foi um dos pioneiros no desenvolvimento da Teoria Eletrônica da Valência e suas correlações com medidas termodinâmicas. Estudou também os estados excitados dos elétrons em moléculas orgânicas, que ajudaram a entender a questão das cores em substâncias orgânicas. Propôs também o nome de "fóton" para o *quantum* da radiação luminosa. Seu nome está ligado à definição mais ampla de ácidos e bases, como vimos.
Lewis é um dos cientistas que mais promoveram o desenvolvimento da Físico-Química no século XX. Apesar disso, nunca recebeu o prêmio Nobel.

LAWRENCE BERKELEY NATIONAL LABORATORY/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Questões

Registre as respostas em seu caderno

Quais são os ácidos e bases de Lewis nos seguintes esquemas reacionais?

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

50. Identifique os ácidos e as bases de Lewis nas seguintes reações:

a) $:NH_3 + BF_3 \longrightarrow H_3N:BF_3$

b) $Cu^{2+} + 4\,:NH_3 \longrightarrow [(NH_3)_4Cu]^{2+}$

c) $Fe^{2+} + 6\,:CN^- \longrightarrow [Fe(:CN)_6]^{4-}$

51. (UFMA) Considerando os conceitos de ácido e base, tomamos como exemplo a reação:

$$Ag^+ + 2\,NH_3 \longrightarrow [Ag(NH_3)_2]^+.$$

Essa é uma reação, segundo:

a) Arrhenius e Lewis.
b) Arrhenius e Brönsted-Lowry.
c) Lewis.
d) Brönsted-Lowry.
e) Brönsted e Lewis.

52. (UMC-SP) O enxofre reage com o sulfito de sódio em solução aquosa, a quente:

Em que conceito essa equação é uma reação do tipo ácido-base? Por quê? Que espécie atua como ácido? Por quê?

53. (UnicenP-PR) A definição mais geral para ácidos e bases é a proposta por Lewis:
Ácido é uma "substância" que aceita um par de elétrons.
Base é uma "substância" que doa um par de elétrons.
De acordo com essa definição e com a equação abaixo, identifique a proposição correta.

a) A trimetilamina é um ácido de Lewis.
b) O tricloreto de alumínio é uma base de Lewis.
c) A trimetilamina é o doador de par de elétrons.
d) O tricloreto de alumínio não participa da reação.
e) Não é uma reação ácido-base de Lewis.

54. Ao contrário dos hidrocarbonetos e dos haletos, os éteres são solúveis em H_2SO_4 concentrado e a frio. Por quê?

55. (UFRGS-RS) A reação entre o buteno-1 e o bromo pode ser representada pelo esquema abaixo:

Na etapa *A*, o buteno-1 se comportou como:

a) base de Brönsted.
b) ácido de Lewis.
c) ácido de Arrhenius.
d) base de Arrhenius.
e) base de Lewis.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

LEITURA

OS DOZE PRINCÍPIOS DA QUÍMICA VERDE

Em nossos dias, a preocupação com a poluição ambiental é cada vez maior. As reações orgânicas, em particular, além do **produto principal** (aquele que desejamos), produzem habitualmente **subprodutos indesejados**, que são rejeitados, podendo então poluir o ambiente.

Conscientes desse problema, os químicos estão, cada vez mais, procurando estabelecer normas e princípios para implementar processos químicos mais "limpos" a serem seguidos pelos laboratórios e indústrias. É a chamada **Química Verde**, que procura reduzir ou eliminar o uso ou a geração de substâncias nocivas à saúde humana e ao ambiente.

Os produtos ou processos da Química Verde podem ser divididos em três grandes categorias:

I. os que usam fontes renováveis ou recicladas de **matéria-prima**;
II. os que aumentam a eficiência de energia ou procuram utilizar menos **energia** para produzir a mesma ou maior quantidade de produto;
III. os que evitam o uso de substâncias persistentes, bioacumulativas e tóxicas.

Daí surgiram os "Doze princípios da Química Verde", que reproduzimos a seguir:

1. **Prevenção.** Evitar a produção do resíduo é melhor do que tratá-lo ou limpá-lo após sua geração.
2. **Economia de átomos.** Deve-se procurar desenhar metodologias sintéticas que possam maximizar a incorporação de todos os materiais de partida no produto final.
3. **Síntese de produtos menos perigosos.** Sempre que praticável, a síntese de um produto químico deve utilizar e gerar substâncias que possuam pouca ou nenhuma toxicidade à saúde humana e ao ambiente.
4. **Desenho de produtos seguros.** Os produtos químicos devem ser desenhados de tal modo que realizem a função desejada e ao mesmo tempo não sejam tóxicos.
5. **Solventes e auxiliares mais seguros.** O uso de substâncias auxiliares (solventes, agentes de separação, secantes etc.) precisa, sempre que possível, tornar-se desnecessário e, quando utilizadas, essas substâncias devem ser inócuas.
6. **Busca pela eficiência de energia.** A utilização de energia pelos processos químicos precisa ser reconhecida pelos seus impactos ambientais e econômicos e deve ser minimizada. Se possível, os processos químicos devem ser conduzidos à temperatura e pressão ambientes.
7. **Uso de fontes renováveis de matéria-prima.** Sempre que técnica e economicamente viável, a utilização de matérias-primas renováveis deve ser escolhida em detrimento de fontes não renováveis.
8. **Evitar a formação de derivados.** A derivatização desnecessária (uso de grupos bloqueadores, proteção/desproteção, modificação temporária por processos físicos e químicos) deve ser minimizada ou, se possível, evitada, porque essas etapas requerem reagentes adicionais e podem gerar resíduos.
9. **Catálise.** Reagentes catalíticos (tão seletivos quanto possível) são melhores que reagentes estequiométricos.
10. **Desenho para a degradação.** Os produtos químicos precisam ser desenhados de tal modo que, ao final de sua função, se fragmentem em produtos de degradação inócuos e não persistam no ambiente.
11. **Análise em tempo real para a prevenção da poluição.** Será necessário o desenvolvimento futuro de metodologias analíticas que viabilizem um monitoramento e controle dentro do processo, em tempo real, antes da formação de substâncias nocivas.
12. **Química intrinsecamente segura para a prevenção de acidentes.** As substâncias, bem como a maneira pela qual uma substância é utilizada em um processo químico, devem ser escolhidas a fim de minimizar o potencial para acidentes químicos, incluindo vazamentos, explosões e incêndios.

Trecho de artigo de LENARDÃO, E. J. et al. Green chemistry – Os 12 princípios da Química Verde e sua inserção nas atividades de ensino e pesquisa. *Química Nova*, v. 26, n. 1, 2003, p. 123-129.

Questões sobre a leitura

Registre as respostas em seu caderno

56. Como uma reação orgânica pode contribuir para a poluição do ambiente?

57. O que é Química Verde?

58. Cite três princípios da Química Verde.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO

12 A oxirredução na Química orgânica

A combustão do álcool e a da gasolina são as reações de oxirredução mais evidentes no cotidiano. Porém, de modo menos evidente, os compostos orgânicos também se oxidam ou se reduzem lentamente. É dessa forma que ocorrem, na fotossíntese ou na respiração, reações vitais para a manutenção dos seres vivos.

TÓPICOS DO CAPÍTULO

1 INTRODUÇÃO
2 OXIRREDUÇÃO EM LIGAÇÕES DUPLAS
3 OXIRREDUÇÃO EM LIGAÇÕES TRIPLAS
4 OXIDAÇÃO DOS CICLANOS
5 OXIDAÇÃO DOS HIDROCARBONETOS AROMÁTICOS
6 OXIRREDUÇÃO DOS ÁLCOOIS
7 OXIRREDUÇÃO DOS FENÓIS
8 OXIDAÇÃO DOS ÉTERES
9 OXIRREDUÇÃO DOS ALDEÍDOS E DAS CETONAS
10 OXIRREDUÇÃO DOS ÁCIDOS CARBOXÍLICOS
11 OXIRREDUÇÃO DOS COMPOSTOS NITROGENADOS
12 OXIDAÇÃO EXTREMA – COMBUSTÃO

LEITURA: OXIGÊNIO: AMIGO OU INIMIGO?

Rastro de carbono

Até respirando liberamos CO_2, mas esse não é o grande vilão da história. Eletricidade, automóveis, produtos industrializados, consumismo e lixo – isso sim faz diferença na conta.

ILUSTRAÇÕES: GABRIEL SILVEIRA

Para capturar o equivalente em carbono

Emissões de CO_2 estimadas por família/ano

Gastos	Consumo mensal	Toneladas de CO_2 anuais
Eletricidade	1.000 kWh	3,49
Carro	1.500 km	2,5
Ônibus	3.000 km	0,9
Gás de cozinha	13 kg	0,46
Lixo produzido	150 kg	3,23
Total de emissões anuais		**10,58**

Árvores necessárias para neutralizar essas emissões: 67 por ano

Assim não dá!

População brasileira*	192 milhões de habitantes
Considerando famílias de quatro pessoas	48 milhões de famílias
Se todas precisarem plantar 67 árvores por ano	3,2 bilhões de árvores
Considerando que cada árvore adulta ocupe 4 m²	12,8 milhões de km²
Área do Brasil	8,5 milhões de km²

* População estimada em março de 2010. Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

ILUSTRAÇÕES: GABRIEL SILVEIRA

Plantar árvores não é a única opção
Neutralizar 10,58 toneladas de CO_2 exigiria o plantio de **67 árvores**, mas plantar árvores não basta para solucionar o excesso de emissões de CO_2. **É preciso mudar os hábitos e combater os desperdícios** ou não teremos onde plantar tantas árvores.

REFLETINDO

A humanidade queima bilhões de toneladas de petróleo por ano **apenas** para aproveitar a energia da **oxidação total** dos hidrocarbonetos, gerando grandes quantidades de CO_2 e H_2O. A **oxidação parcial** dos hidrocarbonetos, embora não gere energia, produz compostos muito úteis. Imagine um "jogo da oxidação", que consiste em adicionar átomos de oxigênio em várias posições da cadeia do propano. Dê os nomes e as funções dos compostos que você "produziu".

1 Introdução

As reações de oxirredução são importantes em todos os ramos da Química. Elas são responsáveis pelo funcionamento de pilhas e acumuladores, aparecem nos processos de eletrólise e dão origem à corrosão dos metais.

Na **Química orgânica**, ocorrem fenômenos importantes de oxirredução, os quais podem produzir a degradação da borracha, a rancificação de óleos e gorduras e a deterioração de frutas, legumes e alimentos enlatados, dentre outros.

Na **Bioquímica**, há processos de oxirredução no funcionamento de todas as células vegetais e animais. Ocorre oxirredução na fotossíntese das plantas, em nossa respiração e no processo de envelhecimento de nosso organismo.

A oxidação é a **perda de elétrons** e redução é o **ganho de elétrons**, por parte dos átomos. Por exemplo:

Nesse exemplo, o cloro é chamado de **oxidante**, porque provocou a oxidação do sódio (note que o próprio cloro se reduziu); pelo contrário, o sódio é chamado de **redutor**, pois reduziu o cloro (e o próprio sódio se oxidou).

Para medir o grau de oxidação ou de redução dos elementos químicos, usa-se o chamado **número de oxidação** ($N_{ox.}$). No caso de compostos iônicos, como no último exemplo, o $N_{ox.}$ indica o número de elétrons ganhos ou perdidos pelo elemento químico, que corresponde à própria carga elétrica dos íons formados – no exemplo dado, temos: $N_{ox.} = +1$ para o sódio e $N_{ox.} = -1$ para o cloro.

E no caso dos compostos covalentes? Nesse caso, não há um átomo que perca e outro que ganhe elétrons, já que os átomos estão apenas compartilhando elétrons. Entretanto, podemos estender o conceito de número de oxidação também para os compostos covalentes, dizendo que seria **a carga elétrica teórica que o átomo iria adquirir se houvesse quebra da ligação covalente, ficando os elétrons com o átomo mais eletronegativo**. Por exemplo, já sabemos que no HCℓ o cloro é mais eletronegativo que o hidrogênio e, em consequência, atrai o par eletrônico covalente para o seu lado:

Se, por influência de alguma força externa, houver uma ruptura dessa ligação, é evidente que o par eletrônico ficará com o cloro, ou seja:

Em vista dessa possibilidade, dizemos que, no HCℓ: $\begin{cases} \text{para o hidrogênio: } N_{ox.} = +1 \\ \text{para o cloro: } N_{ox.} = -1 \end{cases}$

De forma mais ampla, podemos dizer que:

> **Oxidação** é perda de elétrons ou aumento do número de oxidação de um elemento.
> **Redução** é ganho de elétrons ou diminuição do número de oxidação de um elemento.

Esquematicamente:

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Para prever o local de ruptura de uma ligação covalente, é importante recordar a fila de eletronegatividade dos principais elementos químicos que aparecem nos compostos orgânicos:

H P C S I Br Cℓ N O F

Eletronegatividade crescente

Usando essa fila, podemos prever como seriam as rupturas das ligações no metano:

Como regras práticas para calcular o $N_{ox.}$ nos compostos orgânicos, lembramos que:

a) os números de oxidação usuais de átomos ligados ao carbono que aparecem com mais frequência nos compostos orgânicos são:
   - hidrogênio: $N_{ox.} = +1$;
   - halogênios (F, Cℓ, Br, I): $N_{ox.} = -1$;
   - oxigênio e enxofre: $N_{ox.} = -2$;
   - nitrogênio e fósforo: $N_{ox.} = -3$.

b) a soma dos números de oxidação de todos os átomos em um composto é igual a **zero**.

Pois bem, consideremos, então, alguns exemplos de cálculos que mostram o número de oxidação do carbono, representado abaixo pela letra *x*:

- no CH_4, temos: $x + (+1) \cdot 4 = 0 \Rightarrow \boxed{x = -4}$
- no C_2H_6, temos: $2x + (+1) \cdot 6 = 0 \Rightarrow \boxed{x = -3}$
- no C_2H_4, temos: $2x + (+1) \cdot 4 = 0 \Rightarrow \boxed{x = -2}$
- no C_2H_2, temos: $2x + (+1) \cdot 2 = 0 \Rightarrow \boxed{x = -1}$
- no $CH_2C\ell_2$, temos: $x + (+1) \cdot 2 + (-1) \cdot 2 = 0 \Rightarrow \boxed{x = \text{zero}}$
- no $CHC\ell_3$, temos: $x + (+1) + (-1) \cdot 3 = 0 \Rightarrow \boxed{x = +2}$
- no $CC\ell_4$, temos: $x + (-1) \cdot 4 = 0 \Rightarrow \boxed{x = +4}$

Note que **o número de oxidação do carbono varia de −4 a +4**, mostrando que ele se comporta ora como elemento eletronegativo, ora como elemento eletropositivo.

O tipo de cálculo que acabamos de apresentar nos leva ao **número de oxidação global** do carbono no composto. Muitas vezes, porém, interessa conhecer o número de oxidação de um determinado átomo de carbono, **isoladamente**, dentro de uma cadeia carbônica. Isso é conseguido atribuindo-se os seguintes valores a cada uma das quatro ligações que partem do átomo do carbono considerado:

- zero às ligações com outros átomos de carbono (pois na covalência C — C, o par eletrônico é compartilhado igualmente);
- −1 às ligações com o hidrogênio (pois o $N_{ox.}$ do hidrogênio é +1);
- +1 a cada ligação com elementos eletronegativos (halogênio, oxigênio, enxofre, nitrogênio etc.), pois são elementos mais eletronegativos que o carbono.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Damos, a seguir, alguns exemplos, apontando o número de oxidação de cada carbono isoladamente:

Por fim, vale ressaltar que, na Química orgânica, a **oxidação** corresponde normalmente à **entrada de oxigênio** (ou outro elemento eletronegativo) na molécula orgânica ou, ainda, à **saída de hidrogênio** (ou outro elemento eletropositivo). A **redução** será, evidentemente, o caminho contrário. Siga, por exemplo, o caminho abaixo:

Ou, ainda, o caminho de compostos nitrogenados:

Dentro das ideias expostas acima, enquadram-se as principais reações de oxirredução da Química orgânica, que estudaremos a seguir.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Questões

Registre as respostas em seu caderno

a) Quando, em nosso organismo, os músculos são submetidos a esforços intensos, o ácido pirúvico é transformado em ácido lático por meio de uma substância representada por NADH. Veja:

Ácido pirúvico — Ácido lático

- Qual o $N_{ox.}$ de cada um dos átomos de carbono do ácido pirúvico?
- Qual o $N_{ox.}$ de cada um dos átomos de carbono do ácido lático?
- Que tipo de reação ocorreu na transformação do ácido pirúvico em ácido lático?
- Qual substância atua como agente redutor?

b) A substância habitualmente mais oxidada pelo oxigênio dissolvido em água, O_2 (aq) é a matéria orgânica de origem biológica, como a procedente de plantas mortas e restos de animais. Essa transformação pode ser esquematizada, simplificadamente, como:

$$\underbrace{CH_2O\ (aq)}_{\text{Matéria orgânica}} + O_2\ (aq) \longrightarrow CO_2\ (g) + H_2O\ (\ell)$$

- Qual a variação do $N_{ox.}$ do carbono?
- A reação é de que tipo?
- A matéria orgânica, no processo citado, é agente oxidante ou redutor?

Pesquisa

Registre as respostas em seu caderno

O que são antioxidantes?

Por que a vitamina C funciona como um bom antioxidante?

Onde é encontrada a vitamina C?

Qual a sua importância na captura de radicais livres?

Referência:

FIORUCCI, A. R.; SOARES, M. H. F. B. S.; CAVALHEIRO, É. T. G. A importância da vitamina C na sociedade através dos tempos. *Química Nova na Escola*, n. 17, maio de 2003, p. 3-7. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc17/a02.pdf>. Acesso em: mar. 2010.

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

1. Calcule os números de oxidação do carbono nos seguintes compostos:

a) CH_3Br b) C_2H_6O c) C_2H_4O

2. (UEL-PR) Os números de oxidação do carbono nas substâncias

são, respectivamente:

a) −4, zero e −4.
b) +4, zero e +2.
c) −3, + 2 e −2.
d) zero, zero e +1.
e) +3, −2 e +2.

3. (PUC-MG) Nos compostos $CC\ell_4$, $CHC\ell_3$, $CH_2C\ell_2$, $CH_3C\ell$ e CH_4, os números de oxidação dos carbonos são, respectivamente:

a) +4, +2, 0, −2, −4.
b) −4, −2, 0, +2, +4.
c) +4, +2, +1, −2, +4.
d) −2, +4, 0, +2, +4.
e) −2, −4, −2, +2, −4.

4. Calcule os números de oxidação dos átomos de carbono apontados nos seguintes compostos:

5. (Uerj) O formol ou formalina é uma solução aquosa de metanal, utilizada na conservação dos tecidos de animais e cadáveres humanos para estudos em Biologia e Medicina. Ele é oxidado a ácido fórmico, segundo a equação abaixo, para evitar que os tecidos animais sofram deterioração ou oxidação.

Nessa transformação, o número de oxidação do carbono sofreu uma variação de:

a) −4 para +4
b) −3 para −2
c) −2 para −1
d) 0 para +2

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exercícios complementares

Registre as respostas em seu caderno

6. (Cesgranrio-RJ) Considere a sequência seguinte:

Os números de oxidação dos átomos de carbono pertencentes aos grupamentos funcionais nos compostos acima são, respectivamente:

a) −2, −1, 0 b) +3, +1, −1 c) −1, +1, +2 d) +1, −1, +3 e) −1, +1, +3

7. (UFPE) Em qual das reações abaixo ocorre maior variação do estado de oxidação do carbono?

a) $C_{11}H_{23}COOH + NaOH \longrightarrow C_{11}H_{23}COONa + H_2O$

b) $CaC_2 + H_2O \longrightarrow C_2H_2 + CaO$

c) $C_2H_2 + \frac{5}{2}O_2 \longrightarrow 2\,CO_2 + H_2O$

d) $CH_4 + 2\,O_2 \longrightarrow CO_2 + 2\,H_2O$

e) $CO + \frac{1}{2}O_2 \longrightarrow CO_2$

8. (UFCG-PB) Os processos de oxidação do metanol podem produzir vários compostos, dentre os quais se incluem o monóxido de carbono, o metanal, o ácido metanoico e o dióxido de carbono. Considerando os números de oxidação do carbono nos diferentes compostos, qual é a afirmativa **correta**?

a) O carbono tem o mesmo número de oxidação nas moléculas de monóxido de carbono e ácido metanoico.
b) O número de oxidação do carbono aumenta na sequência das seguintes moléculas: metanal, ácido metanoico, dióxido de carbono e metanol.
c) O número de oxidação do carbono diminui na sequência das seguintes moléculas: dióxido de carbono, metanol, monóxido de carbono e metanal.
d) O número de oxidação do carbono na molécula de monóxido de carbono é o dobro do número de oxidação do carbono na molécula de dióxido de carbono.
e) A soma dos números de oxidação do carbono nas moléculas de metanal e ácido metanoico é igual ao número de oxidação do carbono na molécula de metanol.

2 Oxirredução em ligações duplas

2.1. Oxidação branda

É conseguida usando-se como oxidante uma solução aquosa, diluída e neutra ou levemente alcalina, de permanganato de potássio; o $KMnO_4$ fornece o oxigênio [O] que irá atacar o alceno, formando um **diálcool** (ou **diol** ou **glicol**):

Teste de Baeyer

Na reação acima, o **desaparecimento da cor violeta** da solução de $KMnO_4$ **acusa a presença de um alceno**. Por esse motivo, a reação é denominada **reação de identificação de Baeyer** ou teste de Baeyer.

Outro tipo de oxidação branda se consegue, industrialmente, pela ação do ar, na presença de catalisadores. Por exemplo:

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Por essa última reação, são obtidos os **óxidos dos alcenos** – que, por hidrólise, produzem diálcoois (glicóis):

Esses glicóis são importantes na fabricação de fibras sintéticas do tipo poliéster.

2.2. Oxidação enérgica

É conseguida usando-se, como oxidante, uma solução aquosa, concentrada e ácida (em geral, H_2SO_4) de permanganato ou dicromato de potássio.

O agente oxidante atacará o alceno, quebrando a molécula na altura da ligação dupla e produzindo ácido carboxílico e/ou cetona e/ou gás carbônico (CO_2):

É fácil perceber que **o tipo de produto obtido depende da posição da ligação dupla**:

- carbono primário produz CO_2 e H_2O;
- carbono secundário produz ácido carboxílico;
- carbono terciário produz cetona.

Essa reação é muito importante, pois há a quebra da molécula do alceno em moléculas menores, as quais, sendo identificadas, permitem a identificação do alceno inicial.

Rancificação de óleos e gorduras

Óleos e gorduras, principalmente os de origem vegetal, contêm compostos com ligações duplas. Assim, quando uma mesma porção de óleo ou de gordura é usada várias vezes para fazer frituras sucessivas, ela pode ser mais facilmente oxidada pelo oxigênio do ar. Formam-se, então, moléculas de ácidos graxos, que dão gosto rançoso às frituras. Em temperatura ambiente, essas oxidações também podem ocorrer com o passar do tempo, tornando desagradável o gosto dos alimentos.

2.3. Oxidação pelo ozônio seguida de redução (ozonólise)

Nessa reação, deve-se adicionar zinco em pó, que consome o H_2O_2 formado, impedindo que ele oxide o aldeído para ácido carboxílico.

Essa reação também permite a identificação do alceno inicial, pelo estudo das moléculas finais produzidas. Também percebemos que:

- carbono primário ou secundário da ligação dupla produz aldeídos;
- carbono terciário produz cetona.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Questões

Registre as respostas em seu caderno

Um dos principais responsáveis pelo aroma das rosas é o geraniol, cuja estrutura é representada ao lado.

a) Quantos produtos orgânicos diferentes são obtidos na oxidação do geraniol, em meio ácido, com dicromato de potássio? Qual é a fórmula estrutural de cada um dos produtos?

b) Quantos produtos orgânicos diferentes são obtidos na ozonólise do geraniol? Qual é a fórmula estrutural de cada um dos produtos?

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

9. (PUC-MG) Dada a sequência de reações:

$$CH_3-CH=CH-CH_3 \xrightarrow{I} CH_3-C(=O)H \xrightarrow{II} CH_3-C(OH)_2-H \xrightarrow{III} CH_3-C(=O)OH \xrightarrow{IV} CO_2 + H_2O$$

São etapas em que há ocorrência de reação de oxidação:

a) I e II apenas.
b) II e III apenas.
c) III e IV apenas.
d) I e IV apenas.
e) I, III e IV.

10. (UFSM-RS) Os principais produtos obtidos pela oxidação do buteno-2 com $KMnO_4$ em meio ácido e em meio básico são, respectivamente:

a) $H_3C-C(=O)-OH$ e $H_3C-CH(OH)-CH(OH)-CH_3$

b) $H_3C-CH(OH)-C(=O)-OH$ e $H_3C-C(=O)-H$

c) $H_3C-C(=O)-H$ e $H_3C-CH(OH)-CH_3$

d) $H_3C-C(=O)-CH_2-OH$ e $H_3C-CH_2-CH(OH)-C(=O)H$

e) $H_3C-C(=O)-CH_3$ e $H_3C-C(=O)-CH_2-CH_3$

11. (PUC-PR) Dada a reação:

$$H_3C-CH_2-CH=C(CH_3)-CH_2-CH_3 + [O] \xrightarrow[\Delta]{KMnO_4/H^+} \textit{produtos}$$

obteremos como produtos:

I. Propanal. II. 2-Butanona. III. 4-metil-3-hexanol. IV. Ácido propanoico.

Estão corretas as afirmações:

a) I e III.
b) I e IV.
c) II e III.
d) I e II.
e) II e IV.

12. (Mackenzie-SP-Modificado) O menor alceno que, por oxidação enérgica ($KMnO_4/H^+$ a quente), fornece um ácido carboxílico e uma cetona é:

a) propeno.
b) 3-metil-2-penteno.
c) dimetil-2-buteno.
d) 2-metil-1-buteno.
e) metil-2-buteno.

13. (PUC-MG) Na oxidação exaustiva ($KMnO_4$ (aq)/H^+) de um composto, foram obtidos ácido propanoico e propanona. O composto considerado tem nome:

a) 2-penteno.
b) 2-metil-2-penteno.
c) 2-metil-3-penteno.
d) 3-metil-2-penteno.
e) 3-hexeno.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

14. (PUC-PR) A reação de ozonólise dos alcenos produzirá moléculas de:

a) álcoois ou fenóis.
b) cetonas ou aldeídos.
c) cetonas ou ácidos carboxílicos.
d) álcoois ou ácidos carboxílicos.
e) diálcoois ou ácidos carboxílicos.

15. (Vunesp) O ozônio (O_3) reage com um alceno, formando um composto *X*, que, por sua vez, reage com água, resultando em dois produtos orgânicos, segundo as reações abaixo.

a) Quais são as fórmulas estruturais dos dois produtos orgânicos finais quando o alceno é 2-metil-buteno?
b) Identifique as funções orgânicas dos dois produtos finais da reação.

16. (EPM-SP) A identificação dos produtos formados na ozonólise (seguida de hidrólise na presença de zinco) de um alceno permite identificar a estrutura do composto original, pois se sabe que:

- carbono primário ou secundário da ligação dupla produz aldeído;
- carbono terciário produz cetona.

Um alceno forneceu como produto desse tratamento apenas propanona como produto final. Esse composto deve ser o:

a) hexeno-3.
b) 2-metil-penteno-1.
c) 2-metil-penteno-2.
d) 2-metil-buteno-2.
e) 2, 3-dimetil-buteno-2.

Exercícios complementares

Registre as respostas em seu caderno

(PUC-Campinas-SP) As duas questões seguintes se referem à vitamina A. Sua fórmula estrutural é:

17. Para a hidrogenação de 1 mol de vitamina A, sem perda da função alcoólica, quantos mols de H_2 são necessários?

a) 1 b) 2 c) 3 d) 4 e) 5

18. A oxidação de um mol de vitamina A, com quebra das duplas ligações de cadeia lateral, pode produzir vários compostos. Dentre eles, há dois mols de:

a) CH_3COCHO
b) CH_3COOH
c) CHO — CHO
d) COOHCOOH
e) CH_2OHCH_2OH

19. (Cesgranrio-RJ) Um alceno *X* foi oxidado energicamente pela mistura sulfomangânica ($KMnO_4 + H_2SO_4$). Os produtos da reação foram butanona e ácido metilpropanoico. Logo, o alceno *X* é:

a) 2-metil 3-hexeno
b) 3-metil 3-hexeno
c) 2,4-dimetil 3-hexeno
d) 2,5-dimetil 3-hexeno
e) 3,5-dimetil 3-hexeno

20. (PUC-SP) A ozonólise é uma reação de oxidação de alcenos em que o agente oxidante é o gás ozônio. Essa reação ocorre na presença de água e zinco metálico, como indica o exemplo:

Considere a ozonólise, em presença de zinco e água, do dieno representado a seguir:

Determine a alternativa que apresenta os compostos orgânicos formados durante essa reação:

a) Metilpropanal, metanal, propanona e etanal.
b) Metilpropanona, metano e 2,4-pentanodiona.
c) Metilpropanol, metanol e ácido 2,4-pentanodioico.
d) Metilpropanal, ácido metanoico e 2,4-pentanodiol.
e) Metilpropanal, metanal e 2,4-pentanodiona.

21. (Ufes) A reação de adição de O_3 a alquenos, seguida de hidrólise, é denominada ozonólise. No passado, essa reação foi empregada como uma forma de se determinar a estrutura de um alqueno a partir da análise dos produtos formados. Quantos compostos diferentes a ozonólise do hidrocarboneto ao lado vai produzir?

a) 1 b) 2 c) 3 d) 4 e) 5

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

3 Oxirredução em ligações triplas

3.1. Oxidação branda

Com $KMnO_4$ em solução aquosa neutra ou levemente alcalina, os alcinos produzem **dicetonas**:

Evidentemente, se *R* ou *R′* for o hidrogênio, teremos, nessa extremidade, a formação de um aldeído.

3.2. Oxidação enérgica

Com $KMnO_4$ em solução ácida a quente, há ruptura da cadeia, no lugar da ligação tripla, com formação de **ácidos**:

Se *R* ou *R′* for o hidrogênio, em lugar da molécula do ácido correspondente, teremos CO_2 e H_2O.

OBSERVAÇÃO

Essas duas últimas reações servem para a identificação dos alcinos: a primeira, devido ao descoramento da solução violeta de $KMnO_4$; a segunda, porque permite a identificação do alcino inicial pelo reconhecimento das moléculas dos dois ácidos formados.

A ozonólise dos alcinos é mais difícil que a dos alcenos e, por isso, menos empregada.

4 Oxidação dos ciclanos

Vimos, pela Teoria das Tensões nos Anéis, de Baeyer (páginas 183 e 184), que os anéis de 3 e 4 carbonos são quebrados com maior facilidade. Compostos mais reativos, porém, conseguem quebrar também os anéis de 5 e 6 carbonos. É o que acontece com os oxidantes fortes como HNO_3 concentrado, $KMnO_4$ em solução ácida etc. Na quebra desses anéis, são produzidos ácidos dicarboxílicos (diácidos), como mostramos abaixo:

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

OBSERVAÇÃO

O $KMnO_4$, em solução aquosa neutra, não reage com os ciclanos. Essa é uma diferenciação importante em relação aos alcenos.

5 Oxidação dos hidrocarbonetos aromáticos

O anel benzênico é bastante resistente às oxidações. Apenas o ozônio consegue quebrar o anel, dando uma reação de ozonólise semelhante aos alcenos:

Já a oxidação das ramificações é bem mais fácil:

Mesmo ramificações mais longas acabam produzindo o ácido benzoico:

É interessante notar que, em hidrocarbonetos aromáticos polinucleares, uma oxidação mais controlada pode quebrar apenas um dos anéis, como vemos no exemplo abaixo:

Questões

Registre as respostas em seu caderno

a) Identifique qual é o produto formado na oxidação branda do but-2-ino.

b) Identifique qual é o reagente que, por meio de uma oxidação energética, produz duas moléculas de ácido acético.

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

22. Exemplifique a reação de oxidação enérgica (com $KMnO_4$ em solução ácida e a quente) de um alcino do tipo $R — C \equiv C — H$.

23. (UPE) O alcino que, por oxidação enérgica em meio sulfúrico, origina um único produto, **o ácido acético**, é:

a) propino.
b) 1-pentino.
c) acetileno.
d) 2-butino.
e) 1-butino.

24. (PUC-SP) Qual dos compostos abaixo, oxidado por $KMnO_4$ em meio sulfúrico, irá produzir apenas a acetona comum?

a) Buteno-2.
b) Butino-2.
c) 2-metil-buteno-2.
d) 2,3-dimetil-buteno-2.
e) Butadieno-1,3.

25. (Ufes) A reação do tolueno com permanganato de potássio em meio ácido leva à formação do ácido benzoico. Essa transformação envolve uma reação de:

a) acilação.
b) hidrogenação.
c) sulfonação.
d) substituição na cadeia lateral.
e) oxidação.

26. (Unicamp-SP) Um mol de um hidrocarboneto cíclico de fórmula C_6H_{10} reage com um mol de bromo, Br_2, produzindo um mol de um composto com dois átomos de bromo em sua molécula. Esse mesmo hidrocarboneto, C_6H_{10}, em determinadas condições, pode ser oxidado a ácido adípico, $HOOC — (CH_2)_4 — COOH$.

a) Qual a fórmula estrutural do hidrocarboneto C_6H_{10}?
b) Dê a equação química da reação desse hidrocarboneto com bromo.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

6 Oxirredução dos álcoois

Diante dos oxidantes energéticos, como $KMnO_4$ ou $K_2Cr_2O_7$ em meio sulfúrico, os álcoois se oxidam e os produtos obtidos serão diferentes, conforme o álcool reagente seja **primário**, **secundário** ou **terciário**:

As três reações acima dão resultados tão diferentes que servem para identificar os álcoois, mostrando se um álcool desconhecido é **primário**, **secundário** ou **terciário**.

Dois casos interessantes de oxidação dos álcoois são:

Azedamento do vinho

O vinho contém pelo menos 7% de etanol. Pela ação de micro-organismos e do oxigênio do ar, esse álcool sofre oxidação, produzindo ácido acético. Dizemos, então, que o vinho **azedou** ou que se transformou em vinagre.

FOODFOLIO/ALAMY/OTHER IMAGES

Vinagre.

Bafômetro

Dirigir embriagado um automóvel ou uma moto é, atualmente, uma das maiores causas de acidentes em nossas ruas e rodovias. Os bafômetros são projetados para medir o grau de embriaguez dos motoristas. No bafômetro clássico (hoje é usado também o eletrônico), o álcool contido na expiração do motorista sofre oxidação por $K_2Cr_2O_7$, que muda da cor alaranjada para verde, conforme já foi explicado na página 96.

RICARDO RAFAEL/O POPULAR/FUTURA PRESS

Teste do bafômetro realizado pela Polícia Rodoviária Federal. (Goiânia, GO, 2008.) (O rosto das pessoas foi ocultado para preservar a identidade delas.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Para finalizar, devemos notar que as oxidações dos álcoois correspondem à **retirada de hidrogênio**. Isso possibilita as desidrogenações catalíticas, usadas na indústria (a 300 °C e utilizando o cobre como catalisador). Por exemplo:

$$CH_3 — CH_2OH \xrightarrow[Cu]{300\ °C} CH_3 — CHO + H_2$$

Devemos ainda acrescentar que, diante de redutores muito reativos, os álcoois são reduzidos a hidrocarbonetos.

$$ROH + 2\,HI \xrightarrow{Calor} RH + H_2O + I_2$$

Reação de Berthelot

7 Oxirredução dos fenóis

Os fenóis são facilmente oxidados pelo próprio oxigênio do ar, mesmo em temperatura ambiente. As reações são complicadas e produzem misturas complexas. Por exemplo:

É por isso que o fenol comum vai se avermelhando com o tempo.

O besouro-bombardeiro

Um emprego interessante da oxidação dos fenóis ocorre no besouro-bombardeiro. Quando esse inseto se sente em perigo, lança, sobre os seus predadores, um jato quente de quinona, obtida em seu organismo pela oxidação da hidroquinona, que ocorre por ação de água oxigenada e que é catalisada por uma mistura de enzimas.

O besouro-bombardeiro expele um fluido malcheiroso, quente e irritante que, ao sair dele, emite um ruído como se ocorresse uma pequena explosão. Na foto, modelo sem escala do besouro-bombardeiro mostrando as estruturas internas relacionadas a esse mecanismo de defesa. (Cores-fantasia.)

GEOFF BRIGHTLING/DORLING KINDERSLEY/GETTY IMAGES

Nos fenóis, ocorrem também reações de redução:

Redução do grupo OH

Redução do anel
(difícil, pois o anel é aromático)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

OBSERVAÇÃO

Os fenóis produzem cores variadas com o cloreto férrico ($FeC\ell_3$). Isso constitui um importante teste analítico de reconhecimento dos fenóis. Por exemplo:

- fenol comum ⟶ cor púrpura
- β-naftol ⟶ cor verde

8 Oxidação dos éteres

O éter comum é muito inflamável. Sua combustão completa segue o esquema geral das combustões orgânicas, produzindo CO_2 e H_2O:

$$C_2H_5 — O — C_2H_5 \quad + \quad 6\ O_2 \longrightarrow 4\ CO_2 \quad + \quad 5\ H_2O$$

O uso do éter comum representa um dos **maiores perigos em um laboratório de Química**. Ele é muito volátil (P.E. = 34,6 °C) e seus vapores são mais densos que o ar. Por esses motivos, nunca devemos abrir um vidro de éter sobre uma mesa, pois seus vapores escapam do frasco e se "esparramam" sobre ela, havendo, então, perigo de incêndio se houver um bico de gás aceso nas proximidades.

Os éteres (especialmente o éter etílico) são oxidados, lentamente, pelo oxigênio do ar, dando origem a peróxidos:

$$C_2H_5 — O — C_2H_5 \quad + \quad \frac{1}{2}\ O_2\ (ar) \longrightarrow C_2H_5 — O — O — C_2H_5$$

Esse **peróxido é explosivo**. Pode acontecer, por exemplo, de, ao se destilar o éter (com aquecimento elétrico e **nunca com chama de gás**), o peróxido (que é menos volátil) ir se acumulando no balão de destilação e, no final, causar uma explosão. Por esse motivo, antes de se destilar um "éter velho", deve-se destruir os peróxidos com auxílio de redutores, como, por exemplo, o sulfato ferroso.

Questões

Registre as respostas em seu caderno

Dê a fórmula estrutural e o nome do produto obtido na oxidação de cada um dos seguintes compostos:

a) butan-1-ol; **b)** butan-2-ol; **c)** 2-metil-propan-2-ol.

Atividade prática

Registre as respostas em seu caderno

ATENÇÃO

Não cheire nem experimente substância alguma utilizada nesta atividade.

Preparação de vinagre

Material

- meio copo de suco (fresco e natural) de maçã
- 1 colher de sopa de açúcar
- 1 ponta de espátula de fermento biológico
- 1 pedaço de pano

Procedimento

- Em meio copo de suco de maçã, coloque o açúcar e o fermento.
- Cubra o copo com um pano e deixe o conjunto fermentando, em repouso, por vários dias.
- Ao longo dos dias, observe o que ocorre e anote no caderno.

Pergunta

- Quais os aspectos observáveis do conjunto inicial e final? Tente prever quais foram as reações que ocorreram.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

27. (FMTM-MG) Uma maneira de identificar álcoois primários, secundários e terciários é a oxidação com solução de dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) na presença de solução de ácido sulfúrico (H_2SO_4). Na reação de oxidação, além da produção de outros compostos orgânicos, são produzidos água, sulfato de potássio (K_2SO_4) e sulfato de crômio (III) [$Cr_2(SO_4)_3$].
Quanto ao teste mencionado, é correto afirmar que a oxidação do:

a) metil-2-propanol pode produzir uma cetona.
b) 2-propanol pode produzir um ácido carboxílico.
c) 2-propanol pode produzir um aldeído.
d) 1-propanol pode produzir uma cetona.
e) 1-propanol pode produzir um aldeído.

28. (UFRN) Nas operações de policiamento (blitze) em rodovias, o "bafômetro" — tubo contendo uma mistura de dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) e sílica umedecida com ácido sulfúrico (H_2SO_4) — é usado para medir a quantidade de etanol (C_2H_5OH) presente no ar exalado por uma pessoa que ingeriu bebida alcoólica. A reação do álcool com os reagentes mencionados é expressa pela equação descrita a seguir:

$$2\ CH_3CH_2OH + K_2Cr_2O_7 + 3\ H_2SO_4 \longrightarrow 2\ CH_3COOH + 2\ CrSO_4 + K_2SO_4 + 5\ H_2O$$

De acordo com a equação, pode-se afirmar que o etanol sofre um processo de:

a) oxidação pelo $K_2Cr_2O_7$
b) oxidação pelo H_2SO_4
c) redução pelo $K_2Cr_2O_7$
d) redução pelo H_2SO_4

29. (Unicamp-SP) Em um jantar de Natal oferecido a amigos, o anfitrião abriu duas garrafas de um mesmo vinho. O conteúdo de uma delas permaneceu intacto, enquanto o da outra foi consumido em cerca de 90%. As duas garrafas foram tampadas. A cheia foi guardada na geladeira e a outra, em um armário da cozinha. Uma semana mais tarde, na ceia de Ano-Novo, o conteúdo dessa última garrafa foi usado para temperar a salada.

a) O que aconteceu com esse vinho para poder ser usado como tempero de salada? Justifique usando uma equação química.
b) Cite dois fatores físicos e/ou químicos que favoreceram a transformação no conteúdo de uma garrafa e não no da outra.

30. (Vunesp) Considere o seguinte arranjo experimental:

ADILSON SECCO

(Representação esquemática sem escala; cores-fantasia.)

Após forte aquecimento inicial, a espiral de cobre permanece incandescente, mesmo após a interrupção do aquecimento. A mistura de gases formados na reação contém vapor de água e um composto de cheiro penetrante.

a) Dê a fórmula estrutural e o nome do produto de cheiro penetrante, formado na oxidação parcial do metanol pelo oxigênio do ar.
b) Explique o papel do cobre metálico e a necessidade de seu aquecimento para iniciar a reação.

31. Que tipo de oxidação ocorre em um éter após ele ter sido submetido a uma longa exposição ao ar?

32. (Vunesp) A tintura preta para cabelo é obtida através da reação abaixo.

a) Que grupos funcionais estão presentes no reagente e no produto orgânicos?
b) Identifique o agente oxidante e o agente redutor da reação.

33. (UFSM-RS) O aroma que se identifica em determinados produtos naturais é devido à presença de compostos orgânicos, como o mentol, o timol e o eugenol.
Pode-se afirmar que, na presença de uma solução de $K_2Cr_2O_7/H^+$ a frio, formará(ão) cetona:

a) somente I.
b) somente II.
c) somente III.
d) somente I e II.
e) I, II e III.

34. (UPF-RS) A acetona (propanona) pode ser obtida a partir da seguinte sequência:

$$CH_3 - CH = CH_2 \xrightarrow{\text{Hidratação}} A \xrightarrow{W} CH_3 - \overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C} - CH_3$$

O composto *A*, formado na primeira etapa, e o tipo de reação (*W*) utilizado na segunda etapa são, respectivamente:

a) 2-propanol; oxidação.
b) propano; redução.
c) 1-propanol; hidrólise.
d) ácido propanoico; oxidação.
e) propanal; redução.

35. (FEI-SP) O etileno sofre uma hidratação em meio ácido e posterior oxidação enérgica total. As fórmulas moleculares dos produtos formados são, respectivamente:

a) CO_2 e CH_2O_2
b) C_2H_6O e CH_2O_2
c) CH_2O e CH_2O_2
d) C_2H_4O e $C_2H_4O_2$
e) C_2H_6O e $C_2H_4O_2$

36. (UFRRJ) O nome do isômero funcional do composto obtido pela oxidação do álcool secundário com o menor número de átomos de carbono é:

a) etanal.
b) propanal.
c) butanal.
d) propanona.
e) butanona.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exercícios complementares

Registre as respostas em seu caderno

37. (UEL-PR) Na transformação do ácido láctico em ácido pirúvico:

o reagente:

I. perde sua atividade óptica.
II. sofre redução.
III. origina produto que é seu isômero funcional.

Dessas afirmações, somente:

a) I é correta.
b) II é correta.
c) III é correta.
d) I e II são corretas.
e) II e III são corretas.

38. (UFRJ) A banana e a maçã escurecem quando são descascadas e guardadas por algum tempo. A laranja e o tomate não escurecem, por não possuírem a substância orto-hidroquinona. Para evitar o escurecimento, a sabedoria popular manda colocar gotas de limão sobre as bananas e maçãs cortadas, pois o ácido cítrico, contido no limão, inibe a ação da enzima, diminuindo a velocidade da seguinte reação:

Orto-hidroquinona (cor clara) **Orto-benzoquinona** (cor escura)

a) Explique por que a salada de frutas não escurece quando contém laranja.
b) Diga a que função química pertence a orto-hidroquinona.

39. (UFF-RJ) As legiões romanas que conquistaram grande parte do mundo eram obrigadas a cobrir longas distâncias, marchando em menor tempo possível.

Os soldados levavam em seus equipamentos um saquinho que continha vinho azedo diluído, que era ingerido em pequenos goles durante a marcha. A mistura continha um ácido carboxílico (acético), que, como todo ácido, estimula a salivação, diminuindo a sensação de sede.

Com relação ao ácido acético, é correto afirmar que:

a) seu isômero funcional é o éter dietílico.
b) é um ácido carboxílico fraco e, por esse motivo, sua dissociação é considerada completa.
c) ao reagir com o hidróxido de sódio, produz um sal cujo cátion sofre hidrólise em meio aquoso.
d) a solução aquosa do seu sal de sódio apresenta pH menor que 7.
e) a oxidação do etanol é o método mais utilizado para a produção do ácido acético.

40. (PUC-MG) Observe os compostos representados a seguir.

I

II

III

IV

Qual é a alternativa **incorreta**?

a) Os compostos I e II são isômeros.
b) Os compostos II e III são éteres, sendo III um éter cíclico.
c) O composto IV pode ser formado por oxidação parcial de I.
d) O composto II pode ser formado por redução de III.

41. (PUC-MG) O mentol, encontrado na essência de menta (hortelã), é empregado como inalante e em dentifrícios, cremes de barbear, balas e refrescos. Observando sua fórmula abaixo é correto afirmar em relação ao mentol:

a) não dá reação com $HC\ell$ concentrado mais $ZnC\ell_2$.
b) ao oxidar-se, forma cetona.
c) só se oxida com quebra da cadeia cíclica.
d) ao oxidar-se, dá origem a outra essência, um éster.
e) o produto da oxidação ($KMnO_4/H^+$) é um ácido carboxílico.

42. (PUC-Campinas-SP) O rótulo de um frasco que contém um líquido incolor indica apenas a fórmula C_2H_6O. Dentre os seguintes reagentes:

I. solução aquosa de $KMnO_4$ em meio ácido,
II. sódio metálico,
III. solução aquosa de NaOH,
IV. benzeno,

quais permitem verificar se o composto é álcool ou éter?

a) I e II.
b) I e III.
c) II e III.
d) II e IV.
e) III e IV.

43. (Uepa) Os compostos *A* (C_5H_{10}) e *B* ($C_5H_{12}O$) possuem carbono terciário e produzem, respectivamente, por oxidação com $KMnO_4/H^+$:

A ⟶ CO_2 e Ácido carboxílico
B ⟶ Cetona

Pedem-se as fórmulas estruturais condensadas dos compostos *A* e *B*.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

9 Oxirredução dos aldeídos e das cetonas

9.1. Reações de oxidação

Diante de **oxidantes fracos**, os aldeídos são oxidados e as cetonas não reagem.

$$\underbrace{R-CHO}_{\text{Aldeídos}} + [O] \longrightarrow \underbrace{R-COOH \text{ (reação fácil)}}_{\text{Ácidos carboxílicos}}$$

$$\underbrace{R-CO-R'}_{\text{Cetonas}} + [O] \longrightarrow \text{Não reagem.}$$

Isso equivale a dizer que os **aldeídos são redutores; as cetonas não**. Tal ideia é utilizada para diferenciar os aldeídos das cetonas, em laboratório, com o uso de **oxidantes fracos**. Por exemplo, **só os aldeídos reagem com os reativos de Tollens e de Fehling**.

O **reativo de Tollens** é uma solução de nitrato de prata amoniacal:

$$\underbrace{R-CHO}_{\text{Aldeído}} + 2\,[Ag(NH_3)_2]OH \longrightarrow R-COONH_4 + \underbrace{2\,Ag\downarrow}_{\text{Espelho de prata (que adere à parte interna do tubo de ensaio).}} + 3\,NH_3 + H_2O$$

(Essa reação é usada na fabricação industrial de espelhos comuns.)

Na sequência de fotos a seguir, temos uma demonstração de como é formado o espelho de prata.

FOTOS: EDUARDO SANTALIESTRA/CID

Formação do espelho de prata: apresenta-se em (A) balão de ensaio, rolha e 3 provetas contendo, da esquerda para a direita, soluções de glicose, nitrato de prata e nitrato de amônio + hidróxido de sódio. Em (B), (C) e (D), as soluções são misturadas no balão de ensaio. Em seguida, o conteúdo do balão é agitado vagarosamente e de forma contínua. Ocorre uma reação em que o íon prata é reduzido a prata metálica. Em (E), pode-se visualizar, na parte inferior, a prata que fica aderida nas paredes internas do balão de ensaio.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Já o **reativo de Fehling** é preparado, no instante da reação, misturando-se uma solução de sulfato cúprico com outra de NaOH e tartarato de sódio e potássio (NaOOC — CHOH — CHOH — COOK), chamado sal de Seignette, o qual evita a precipitação do $Cu(OH)_2$:

$$\underbrace{R-CHO}_{\text{Aldeído}} + 2\,Cu(OH)_2 \longrightarrow R-COOH + \underbrace{Cu_2O\downarrow}_{\text{Precipitado vermelho}} + 2\,H_2O$$

Embora, anteriormente, tenha sido mencionado que cetonas não são redutoras, elas podem ser oxidadas por **oxidantes enérgicos** (como o $KMnO_4$ e o $K_2Cr_2O_7$ em meio sulfúrico), ocorrendo, então, quebra da cadeia carbônica e formação de uma mistura de ácidos:

$$R-CH_2-\underset{\underset{O}{\|}}{C}-CH_2-R' \xrightarrow{[O]} R-COOH + HOOC-CH_2-R'$$

ou

$$R-CH_2-\underset{\underset{O}{\|}}{C}-CH_2-R' \xrightarrow{[O]} R-CH_2-COOH + HOOC-R'$$

9.2. Reações de redução

As **reações de redução** são obtidas, em geral, pela intervenção do hidrogênio.

$$\underbrace{R-C(=O)-H}_{\text{Aldeído}} + 2\,[H] \longrightarrow \underbrace{R-CH_2OH}_{\text{Álcool primário}}$$

$$\underbrace{R-C(=O)-R'}_{\text{Cetona}} + 2\,[H] \longrightarrow \underbrace{R-\underset{\underset{OH}{|}}{CH}-R'}_{\text{Álcool secundário}}$$

O [H] pode ser fornecido por vários agentes redutores como, por exemplo, Zn + HCℓ (aq) ou hidreto de lítio e alumínio ($LiA\ell H_4$) em solução no éter etc.

Pode-se efetuar uma redução mais energética, com amálgama de zinco, obtendo-se, então, o **hidrocarboneto** correspondente (redução de Clemmensen):

$$R-CO-R' \xrightarrow{Zn(Hg)\ +\ HC\ell} R-CH_2-R' + H_2O$$

Essa reação é importante também para cetonas cíclicas.

10 Oxirredução dos ácidos carboxílicos

Os ácidos carboxílicos não têm tendência de sofrer nem oxidação nem redução. Oxidantes muito enérgicos (como H_2O_2 concentrado) podem, porém, oxidá-los a **perácidos**:

$$\underbrace{CH_3-C(=O)-OH}_{\text{Ácido acético}} \xrightarrow{[O]} \underbrace{CH_3-C(=O)-O-OH}_{\text{Ácido peracético}}$$

Redutores especiais (como, por exemplo, o hidreto de lítio e alumínio – $LiA\ell H_4$) podem reduzir os ácidos carboxílicos a **álcoois primários**:

$$\underbrace{CH_3-C(=O)-OH}_{\text{Ácido acético}} \xrightarrow{[H]} \underbrace{CH_3-CH_2OH}_{\text{Etanol}} + H_2O$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Finalizando os processos de oxirredução dos compostos orgânicos **oxigenados**, podemos resumi-los em dois caminhos principais, a saber:

Questões

Registre as respostas em seu caderno

Dê a fórmula estrutural e o nome do produto obtido em cada uma das seguintes reações:

a) oxidação do butanal em meio oxidante fraco;

b) redução do butanal;

c) oxidação da butanona em meio oxidante fraco;

d) redução da butanona.

Atividade prática

Registre as respostas em seu caderno

ATENÇÃO

Recomendamos que o experimento seja realizado exclusivamente pelo professor de modo demonstrativo, porque haverá a necessidade de manipular objetos quentes.

Produção de acetona

Material

- Acetato de cálcio $Ca(CH_3COO)_2$ (s)
- gelo
- 1 bico de Bunsen
- 1 suporte com haste
- 1 garra com mufla para tubo de ensaio
- 1 tubo de vidro (formato da figura)
- 2 tubos de ensaio
- 1 rolha com furo
- fósforos

Procedimento

- Pese 2 g de acetato de cálcio sólido e transfira para um tubo de ensaio.
- Monte um sistema como o da figura ao lado.
- Observe o que ocorre após o aquecimento e anote em seu caderno.

Perguntas

a) Represente a reação ocorrida com a equação química correspondente.

b) Qual é a característica observável do produto da reação?

ADILSON SECCO

(Representação esquemática sem escala; cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

44. (Vunesp) Sabendo que os aldeídos são reduzidos a álcoois primários e as cetonas, a álcoois secundários, dê as fórmulas estruturais e os nomes dos compostos utilizados na preparação de 1-butanol e de 2-butanol por processos de redução.

45. (Mackenzie-SP) Sabe-se que, enquanto os aldeídos são oxidados a ácidos, as cetonas não o são. Pode-se, assim, diferenciá-los destas, usando-se uma solução de nitrato de prata amoniacal ($AgNO_3 + NH_4OH$), chamada de reativo de Tollens. O cátion do metal é reduzido, formando um espelho nas paredes do tubo de ensaio em que se realizou o experimento. Baseadas nos dados acima, são feitas as afirmações:

I. Tanto aldeídos quanto cetonas são oxidados pelo reativo de Tollens.
II. O reativo de Tollens provoca somente a oxidação de aldeídos.
III. O íon Ag^+ recebe um elétron.
IV. O espelho formado é constituído pelo depósito de Ag^0.

Das afirmações acima, estão corretas somente:

a) I e II.
b) I e III.
c) II e III.
d) II, III e IV.
e) II e IV.

46. (PUC-SP) Em dois balões distintos, as substâncias *A* e *B* foram colocadas em contato com dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) em meio ácido, à temperatura ambiente. Nessas condições, o dicromato é um oxidante brando.

No balão contendo a substância *A*, foi observada a formação do ácido propiônico (ácido propanoico), enquanto, no balão que continha a substância *B*, formou-se acetona (propanona).

As substâncias *A* e *B* são, respectivamente:

a) ácido acético e etanal.
b) propanal e 2-propanol.
c) butano e metil-propano.
d) propanal e 1-propanol.
e) propano e propanal.

47. (PUC-MG) A oxidação do ácido lático (ácido 2-hidróxi-propanoico) dá origem ao seguinte composto de função mista:

a) álcool e ácido.
b) aldeído e cetona.
c) fenol e álcool.
d) cetona e ácido.
e) éster e ácido.

48. (ITA-SP) Qual das opções apresenta uma substância que, ao reagir com um agente oxidante ([O]), em excesso, produz um ácido carboxílico?

a) 2-propanol.
b) 2-metil-2-propanol.
c) ciclobutano.
d) propanona.
e) etanol.

49. (UFRGS-RS) Num processo de produção de ácido acético, borbulha-se oxigênio no acetaldeído (CH_3CHO), a 60 °C, na presença de acetato de manganês (II) como catalisador:

$$2\ CH_3CHO\ (\ell) + O_2\ (g) \longrightarrow 2\ CH_3COOH\ (\ell)$$

Num ensaio de laboratório para essa reação, opera-se no vaso de reação com 22,0 gramas de CH_3CHO e 16,0 gramas de O_2. Quantos gramas de ácido acético são obtidos nessa reação, a partir dessas massas de reagentes, e qual o reagente limitante, ou seja, o reagente que é completamente consumido?

	Massa de CH_3COOH obtida	Reagente limitante
a)	15,0 g	CH_3CHO
b)	30,0 g	O_2
c)	30,0 g	CH_3CHO
d)	60,0 g	O_2
e)	120,0 g	CH_3CHO

(**Dados**: massas molares, em g/mol: H = 1; C = 12; O = 16.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exercícios complementares

Registre as respostas em seu caderno

50. (UFG-GO) A butanona, ao ser reduzida cataliticamente, produz um racemato em que um dos isômeros pode ser representado por:

a)

b)

c)

d)

e)

51. (Unesp) Considerando-se a acetona e o etanol, é **incorreto** afirmar que:

a) ambos possuem apenas um átomo de oxigênio nas respectivas moléculas.
b) suas moléculas são isômeros funcionais.
c) ambos são líquidos à temperatura ambiente.
d) a oxidação completa do etanol dá o ácido etanoico.
e) o etanol tem massa molar menor, mas seu ponto de ebulição é mais elevado que o da acetona, devido à ocorrência de pontes de hidrogênio no álcool.

52. (UFU-MG) O metanal pode ser decomposto pelo $K_2Cr_2O_7$ em meio ácido, de acordo com a equação química abaixo:

$$3\ HCHO + 2\ K_2Cr_2O_7 + 8\ H_2SO_4 \longrightarrow$$
$$\longrightarrow 3\ CO_2 + 2\ Cr_2(SO_4)_3 + 2\ K_2SO_4 + 11\ H_2O$$

A respeito dessa reação, pode-se afirmar que:

a) na reação, o ácido sulfúrico atua como agente oxidante.

b) o $K_2Cr_2O_7$ e o HCHO agem, respectivamente, como redutor e oxidante.
c) íons dicromato ($Cr_2O_7^{2-}$) são reduzidos a Cr^{3+}, envolvendo 5 elétrons.
d) o átomo de carbono no reagente HCHO perdeu 4 elétrons.

53. (PUC-SP) Um líquido incolor e de odor característico foi analisado. As observações estão resumidas a seguir:

I. a substância é bastante solúvel em água;
II. a combustão completa da substância produz quantidades equimolares de gás carbônico e de água.
III. a redução da substância, utilizando-se gás hidrogênio e paládio como catalisador, resulta em um álcool de fórmula molecular C_3H_8O;
IV. a substância não sofre oxidação na presença de dicromato de potássio em meio ácido, em condições brandas.

O líquido em questão é:
a) éter dimetílico.
b) metil-2-propanol.
c) propanal.
d) propanona.
e) butanona.

54. (Furg-RS) Os testes de glicose no sangue são baseados na presença do grupo aldeído:

Se o reagente utilizado é o reagente de Benedict, que contém o íon cúprico, a glicose reduz esse íon, produzindo o óxido cuproso. Nesse processo, a glicose é:
a) oxidada a alceno ($R_1 = R_2$).
b) reduzida a álcool (R — OH).
c) oxidada a álcool (R — OH).
d) reduzida a ácido carboxílico (R — COOH).
e) oxidada a ácido carboxílico (R — COOH).

11 Oxirredução dos compostos nitrogenados

Nesse caso, os três "caminhos" mais importantes de oxirredução são:

Essa última redução tem importância maior dentre os compostos aromáticos:

A **anilina** é o composto de partida para a fabricação de muitos **corantes**, que são chamados genericamente de "anilinas". Eles são largamente empregados no tingimento de tecidos, em **corantes** de alimentos, em cosméticos e em muitos outros produtos.

IAN PILBEAM/ALAMY/OTHER IMAGES

Novelos de lã de diferentes cores.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Dois exemplos interessantes de oxidação de compostos nitrogenados são:

VOCÊ JÁ PAROU PARA PENSAR ?

Tingimento dos cabelos

Algumas substâncias podem alterar a cor dos cabelos.

Substâncias do tipo H_2N — ⬡ — NH_2 dão cor escura aos cabelos. Quando oxidadas com água oxigenada, por exemplo, elas geram substâncias do tipo H_2N — ⬡ — NH — ⬡, que conferem cor mais clara aos cabelos.

JIM BASTARDO/TAXI/GETTY IMAGES

A cor do cabelo pode ser alterada pela oxidação de compostos nitrogenados.

Quimioluminescência

Nos "bastões de luz" usados em festas, por exemplo, substâncias do tipo luminol são oxidadas, emitindo luz fria – um fenômeno denominado quimioluminescência:

STUDIOMODE/ALAMY/OTHER IMAGES

Bastões que emitem luz por meio de reação química.

12 Oxidação extrema – combustão

Em geral, os compostos orgânicos sofrem combustão, isto é, queimam-se ou pegam fogo com facilidade. Essa reação é uma **oxidação extrema**, ocorrendo o rompimento da cadeia carbônica e a transformação de seus átomos em outros compostos:

- o carbono produz C, CO ou CO_2;
- o hidrogênio produz H_2O;
- o nitrogênio produz NO ou NO_2; e assim por diante.

Exemplos:

$$C_2H_6 + \frac{7}{2}O_2 \longrightarrow 2\,CO_2 + 3\,H_2O \quad \text{Combustão total ou completa}$$

$$C_2H_6 + \frac{5}{2}O_2 \longrightarrow 2\,CO + 3\,H_2O$$

$$C_2H_6 + \frac{3}{2}O_2 \longrightarrow 2\,C + 3\,H_2O$$

Combustões parciais ou incompletas

A combustão é uma reação de oxirredução, em que o composto orgânico é o **redutor** e se denomina **combustível**, e o oxigênio (ou o ar) é o **oxidante** e se denomina **comburente**.

Quando há **oxigênio em excesso**, a combustão é total e completa e sempre produz CO_2 e H_2O (é a primeira reação vista no exemplo dado anteriormente). Quando o oxigênio começa a faltar, a reação é **parcial ou incompleta**, produzindo, então, CO ou C (o próprio carbono).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Nas reações representadas no exemplo, partimos de um **alcano**. Considerando que os alcanos estão presentes nos derivados do petróleo, essas reações são importantes, pois representam a queima do gás de cozinha nos fogões, da gasolina nos automóveis, do óleo *diesel* nos trens e caminhões etc. Essas combustões acarretam a poluição atmosférica e o aquecimento global do planeta:

- da combustão total, resulta o CO_2, que aumenta o efeito estufa;
- da combustão parcial, resultam o CO, que é muito tóxico, e a fuligem (C), emitida pelos motores desregulados de ônibus e caminhões.

Outras funções orgânicas (álcoois, éteres, aldeídos, cetonas etc.) também se queimam, produzindo H_2O e CO_2 (ou CO ou C). Só compostos com pouco ou nenhum hidrogênio e vários átomos de halogênios, como, por exemplo, $CC\ell_4$, $C_2HC\ell_5$ etc., não são inflamáveis.

Questões

Registre as respostas em seu caderno

Identifique o composto obtido na reação de redução do:

a) ácido cianídrico;

b) nitrobenzeno.

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

55. (UFRGS-RS) A anilina, matéria-prima importante na obtenção de corantes, pode ser preparada, sinteticamente, de acordo com a sequência:

As reações I e II são, respectivamente:

a) adição e oxidação.
b) substituição e redução.
c) adição e redução.
d) substituição e oxidação.
e) eliminação e redução.

56. (UFJF-MG) Considere as reações abaixo, em que *A* e *B* representam compostos orgânicos:

I. Cloreto de etila + NaCN $\longrightarrow$ *A*

II. *A* + $2\ H_2 \xrightarrow{Ni}$ *B*

Pede-se:

a) a fórmula estrutural do composto *B*;
b) o tipo da reação I.

57. (UFU-MG) A reação de combustão completa, do monoácido carboxílico *A*, está devidamente equilibrada, como segue:

A + $5\ O_2 \longrightarrow 4\ CO_2 + 4\ H_2O$

A fórmula de *A* deve ser:

a)

b) $H_2C = CH - CH_2 - COOH$

c) $H_3C - CO - CH_2 - CH_2OH$

d) $H_3C - CH_2 - CH_2 - COOH$

e) $H_3C - CHOH - CHOH - CH_3$

58. (Unifor-CE) Na combustão do acetileno, ocorre a formação de gás carbônico e água, como representado pela equação:

$$2\ C_2H_2 + 5\ O_2 \longrightarrow 4\ CO_2 + 2\ H_2O$$

A mistura de 8 L de acetileno com 10 L de oxigênio, ambos à mesma temperatura e pressão, após combustão, produzirá um volume de CO_2, medido nas mesmas condições dos reagentes, igual a:

a) 2 L
b) 4 L
c) 8 L
d) 12 L
e) 16 L

59. (Fatec-SP) As reações de combustão do etanol e do heptano podem ser representadas pelas seguintes equações:

$C_2H_5OH + 6\ O_2 \longrightarrow 2\ CO_2 + 3\ H_2O + 1{,}5 \cdot 10^3$ kJ/mol

$C_7H_{16} + 11\ O_2 \longrightarrow 7\ CO_2 + 8\ H_2O + 4{,}5 \cdot 10^3$ kJ/mol

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Queima-se uma quantidade suficiente de etanol para obter a mesma energia que se obtém na queima de um mol de heptano.

Nessas condições, na queima do etanol, a quantidade de mols de CO_2 formado é:

a) 2 b) 3 c) 5 d) 6 e) 9

60. (Fatec-SP) A metanfemina, uma substância usada como medicamento, é eliminada do organismo por meio de uma série de reações. O processo global pode ser representado pela reação com O_2, conforme mostra a equação:

$$4\ C_{10}H_{15}N + 55\ O_2 \longrightarrow 40\ CO_2 + 30\ H_2O + 2\ N_2$$

A quantidade de oxigênio, em miligramas, necessária para reagir completamente com 12 mg desse medicamento é, aproximadamente:

(**Dados**: massa molar (g/mol): $C_{10}H_{15}N$ = 149; O_2 = 32.)

a) 440 b) 165 c) 110 d) 55 e) 35

Exercícios complementares

Registre as respostas em seu caderno

61. (PUC-SP) Variando-se as condições das reações, podemos obter diferentes produtos na oxidação do etanol. Abaixo, estão equacionadas algumas das reações possíveis.

I. $C_2H_5OH\ (\ell) + \frac{1}{2}\ O_2\ (g) \longrightarrow C_2H_4O\ (\ell) + H_2O\ (\ell)$
etanol — etanal

II. $C_2H_5OH\ (\ell) + O_2\ (g) \longrightarrow H_3CCOOH\ (\ell) + H_2O\ (\ell)$
etanol — ácido acético

III. $C_2H_5OH\ (\ell) + 3\ O_2\ (g) \longrightarrow 2CO_2\ (g) + 3\ H_2O\ (\ell)$
etanol

Com relação a esses processos, é **incorreto** afirmar que:

a) a reação II ocorre na formação do vinagre, a partir do vinho.
b) em todas as reações, o O_2 é o agente oxidante e o etanol é o redutor.
c) a reação III é uma reação de combustão e não de oxidorredução.
d) o número de oxidação dos átomos de carbono no CO_2 é maior que no ácido acético e no etanal.
e) são consumidos 16 g de O_2 para obter 0,5 mol de ácido acético, a partir do etanol.

62. (UEL-PR) A combustão completa de certo composto orgânico oxigenado, de fórmula $C_xH_yO_z$, consumiu 3 mols de oxigênio para cada 2 mols de CO_2 e 3 mols de H_2O formados.

A fórmula mínima desse composto é, portanto:

a) CHO b) CH_2O c) CH_3O d) C_2H_3O e) C_2H_6O

63. (UFRGS-RS) A combustão completa de 0,10 mol de um hidrocarboneto gerou 17,6 g de gás carbônico e 9,0 g de água. A massa molar desse hidrocarboneto é, em gramas/mol:

a) 29 b) 53 c) 58 d) 133 e) 266

(Enem-MEC) O texto abaixo se refere às duas questões seguintes.

> Na investigação forense, utiliza-se luminol, uma substância que reage com o ferro presente na hemoglobina do sangue, produzindo luz que permite visualizar locais contaminados com pequenas quantidades de sangue, mesmo em superfícies lavadas.
> É proposto que, na reação do luminol (I) em meio alcalino, na presença de peróxido de hidrogênio (II) e de um metal de transição (M^{n+}), forma-se o composto 3-amino-ftalato (III), que sofre uma relaxação dando origem ao produto final da reação (IV), com liberação de energia (h*v*) e de gás nitrogênio (N_2).
>
> (Adaptado. *Química Nova*, 25, nº 6. 2002. p.1.003-1.011.)

Dados: "pesos" moleculares: Luminol = 177; 3-amino ftalato = 164

64. Na reação do luminol, está ocorrendo o fenômeno de:

a) fluorescência, quando espécies excitadas por absorção de uma radiação eletromagnética relaxam liberando luz.
b) incandescência, um processo físico de emissão de luz que transforma energia elétrica em energia luminosa.
c) quimiluminescência, uma reação química que ocorre com liberação de energia eletromagnética na forma de luz.
d) fosforescência, em que átomos excitados pela radiação visível sofrem decaimento, emitindo fótons.
e) fusão nuclear a frio, através de reação química de hidrólise com liberação de energia.

65. Na análise de uma amostra biológica para análise forense, utilizaram-se 54 g de luminol e peróxido de hidrogênio em excesso, obtendo-se um rendimento final de 70%. Sendo assim, a quantidade do produto final (IV) formada na reação foi de:

a) 123,9 b) 114,8 c) 86,0 d) 35,0 e) 16,2

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

LEITURA

OXIGÊNIO: AMIGO OU INIMIGO?

O oxigênio é indispensável à vida de todos os seres aeróbicos — de um micróbio ao ser humano. No entanto, o oxigênio do ar acaba produzindo oxidações muitas vezes indesejáveis. É o que acontece, por exemplo, em compostos naturais contendo cadeias carbônicas com ligações duplas: devido a oxidações, a borracha natural apresenta aspecto melado e, às vezes, torna-se quebradiça; a manteiga fica rançosa; o suco de frutas escurece etc. O que acontece, do ponto de vista químico, nessas ocasiões?

Na molécula do oxigênio, existe uma ligação dupla, que pode dar origem a um **radical livre** segundo a equação:

Elétrons desemparelhados

Um radical livre é muito reativo, pois seus elétrons desemparelhados procuram se agrupar rapidamente a um parceiro. Surge, desse modo, a possibilidade de ataque a uma ligação dupla.

O novo radical livre formado entra em um processo de reação em cadeia, podendo **quebrar** ou **unir-se** a outras moléculas. De qualquer modo, estabelece-se uma perturbação química no sistema inicial. Assim, por exemplo, na manteiga (como nos óleos e nas gorduras, em geral), pode ocorrer a quebra da molécula no lugar da ligação dupla (como ocorre nos alcenos), com formação de ácidos que rancificam o produto. Por esse motivo, costuma-se adicionar **antioxidantes** a certos alimentos.

É muito antiga, por exemplo, a prática da defumação de carnes. Na fumaça da queima da madeira, existem formaldeído e compostos fenólicos, que agem como antioxidantes. Com a mesma finalidade, usam-se certas especiarias — como o alecrim, o cravo etc. Atualmente, são usados, em conservas, antioxidantes sintéticos, como o BHA e o PG.

2-t-butil-4-metóxi-fenol (BHA)

Éster propílico do ácido 3,4,5-tri-hidróxi-benzoico (PG)

Os radicais livres do oxigênio participam também dos processos metabólicos de nosso organismo, sendo necessários aos processos oxidativos de nossas células. A medicina atual considera, porém, que um excesso de radicais livres — provocado por vida agitada, alimentação inadequada, abuso de álcool e de cigarro etc. — pode causar envelhecimento precoce, infarto, certos tipos de câncer, mal de Parkinson etc. (nesses casos, diz-se que o organismo está enfrentando um **estresse oxidativo**).

Daí a recomendação do consumo de alimentos (e suplementos vitamínicos) que contenham substâncias de caráter antioxidante, como vitaminas A e C, betacaroteno, zinco, selênio etc.

Relação dos principais alimentos naturais ricos em antioxidantes:

- Alho, cebola, orégano e canela.
- Aveia, soja e feijão.
- Azeite de oliva.
- Frutas vermelhas, como tomate, uva, mamão e morango.
- Frutas cítricas, como laranja, limão e *kiwi*.
- Castanha-do-pará e nozes.
- Cenoura, brócolis, espinafre e couve.
- Peixes ricos em ômega-3: sardinha, salmão e bacalhau.
- Vinho tinto.

Questões sobre a leitura

Registre as respostas em seu caderno

66. Quando o oxigênio é amigo e quando é inimigo de nosso organismo?

67. Como o oxigênio se revela inimigo de nossos alimentos e materiais de uso diário?

68. Como são minimizados os malefícios da oxidação atmosférica?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO

13 Outras reações na Química orgânica

Reações orgânicas são complexas e podem formar vários produtos, o que diminui o rendimento na obtenção do produto desejado. A Química orgânica utiliza, então, reagentes especiais, controles de pressão e de temperatura e catalisadores específicos para direcionar as reações e chegar ao produto desejado. Com essas técnicas pode-se até mesmo descobrir novos métodos que aumentam os rendimentos.

Cor púrpura: do mar ao laboratório

Na Antiguidade, o pigmento púrpura era extraído de certas espécies de moluscos. Os tons obtidos variavam conforme a espécie. Por ser um processo complicado, a cor rara virou símbolo da nobreza.

ILUSTRAÇÕES: CÉSAR LOBO

TÓPICOS DO CAPÍTULO

1 INTRODUÇÃO

2 ESTERIFICAÇÃO E HIDRÓLISE DE ÉSTERES

3 DIMINUIÇÃO E AUMENTO DA CADEIA CARBÔNICA

4 REAÇÕES DOS COMPOSTOS DE GRIGNARD

5 ALQUILAÇÃO DA AMÔNIA

LEITURA: *ESSES AUXILIARES MILAGROSOS – OS CATALISADORES*

Até o surgimento dos corantes modernos, o pigmento púrpura era um dos mais caros. No Império Romano e Bizantino, somente imperadores, como Justiniano I (483-585), podiam usar essa cor.

Os moluscos produzem um fluido **capaz de tingir o tecido**. Para conseguir o pigmento os fenícios rompiam suas cascas e os cozinhavam.

Perdida a técnica ao longo do tempo, na Idade Média a produção do pigmento púrpura passou a ser feita a partir do líquen urzela. Com ele, a França desenvolveu o pigmento conhecido como **púrpura francesa**, igualmente raro e caro.

A cor só se popularizou depois de 1856, quando o químico William Perkin, estudando a oxidação da fenilamina, descobriu os **corantes orgânicos sintéticos**. Por isso hoje podemos ver e usar o pigmento púrpura por toda parte.

Uma das espécies mais usadas era a do gênero *Murex*.

ILUSTRAÇÕES: CÉSAR LOBO

REFLETINDO

As reações orgânicas frequentemente são mais lentas e menos previsíveis que as reações inorgânicas. Como são chamados os compostos que podem tornar essas reações mais rápidas? Quais são as suas principais características?

1 Introdução

Assim como o número de compostos orgânicos é enorme, suas possibilidades de reação também o são, de modo que muitas delas não poderão ser abordadas neste livro. Várias reações importantes já foram explicadas nos capítulos anteriores. Trataremos, agora, de outras, que são reações de grande valor teórico e prático, sendo algumas de larga utilização industrial, por exemplo:

- hidrólise dos ésteres: nas indústrias de sabão e de sabonetes;
- quebra de cadeias carbônicas: nas indústrias petroquímicas;
- reações do ácido nitroso: nas importantes indústrias dos azocorantes (corantes sintéticos).

2 Esterificação e hidrólise de ésteres

2.1. As reações de esterificação

A **esterificação direta**, também chamada de **esterificação de Fischer**, consiste na reação entre um ácido carboxílico e um álcool:

Essa reação, na qual ocorre uma substituição do grupo carbonila, se assemelha a uma reação de neutralização (Ácido + Base ⟶ Sal + Água) apenas na aparência, uma vez que o éster formado é molecular, diferentemente dos sais, que são iônicos.

A reação de esterificação direta é **lenta**, **reversível**, com um rendimento usual da ordem de 60% e deve ser catalisada por ácidos minerais fortes (H_2SO_4 ou $HC\ell$ concentrados).

Nesse tipo de reação, a ordem de reatividade dos álcoois é:

Álcool primário > Álcool secundário > Álcool terciário

em que os álcoois terciários são muito pouco reativos.

Considerando que a esterificação direta é uma reação lenta e reversível, que tende para um estado de equilíbrio, podemos preparar ésteres com maior rendimento usando variantes da esterificação direta, como nos exemplos a seguir:

ou:

Note que as reações acima são rápidas porque seus reagentes são iônicos ou bastante polarizados, ao contrário da esterificação direta, em que o ácido carboxílico é fracamente ionizado e o álcool é uma substância molecular.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

As reações de esterificação têm grande importância industrial na produção de **flavorizantes artificiais** – substâncias que imitam o sabor e o aroma de frutos usadas na produção de bolos, doces, balas, refrigerantes etc., como explicamos na página 120.

PHOTODISC/ GETTY IMAGES

O aroma da laranja é imitado pelo acetato de octila: $CH_3COO(CH_2)_7CH_3$

GARCIA-PELAYO/CID

O aroma do morango é imitado pelo butanoato de butila: $CH_3CH_2CH_2COO(CH_2)_3CH_3$

PROFIMEDIA INTERNATIONAL S.R.O./ALAMY/OTHER IMAGES

O aroma da banana é imitado pelo acetato de isopentila:

$$CH_3COOCH_2CH_2CH\begin{cases}CH_3\\CH_3\end{cases}$$

Ésteres são também os principais componentes dos óleos e das gorduras vegetais e animais, como veremos no capítulo 15.

2.2. As reações de hidrólise dos ésteres

A reação inversa à esterificação é a **hidrólise do éster**:

- feita em meio ácido, é chamada **hidrólise ácida**:

$$\underbrace{CH_3-CO\boxed{OCH_3}}_{\text{Éster}} + \boxed{H}OH \xrightarrow{H^+} \underbrace{CH_3-COOH}_{\text{Ácido}} + \underbrace{CH_3OH}_{\text{Álcool}}$$

- feita em meio básico, é chamada **hidrólise básica** ou **reação de saponificação**, pois permite a fabricação de sabões, como veremos no capítulo 15.

$$\underbrace{CH_3-CO\boxed{OCH_3}}_{\text{Éster}} + \boxed{H}ONa \longrightarrow \underbrace{CH_3-COONa}_{\text{Sal orgânico}} + \underbrace{CH_3OH}_{\text{Álcool}}$$

- bastante semelhante é a reação do éster com um álcool, produzindo um **novo éster** e sendo por isso chamada **alcoólise** ou **transesterificação**:

$$\underbrace{CH_3-CO\boxed{OCH_3}}_{\text{Éster}} + \underbrace{\boxed{H}OCH_2-CH_3}_{\text{Álcool}} \longrightarrow \underbrace{CH_3-COOCH_2-CH_3}_{\text{Éster}} + \underbrace{CH_3OH}_{\text{Álcool}}$$

No Brasil, a transesterificação está ganhando grande importância, pois é o caminho de produção do ***biodiesel***, como veremos no capítulo 15.

2.3. Outras reações dos ésteres

Os ésteres podem sofrer outros tipos de reações, como:

- **amonólise:** $\underbrace{R-CO\boxed{OR'}}_{\text{Éster}} + \boxed{H}NH_2 \longrightarrow \underbrace{R-CONH_2}_{\text{Amida}} + R'OH$

- **redução** (mais rápida que a dos ácidos):

$$\underbrace{R-COOR'}_{\text{Éster}} + 2\,H_2 \xrightarrow{Na/Etanol} \underbrace{R-CH_2OH}_{\text{Álcool}} + \underbrace{R'OH}_{\text{Álcool}}$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Questões

Registre as respostas em seu caderno

O ácido acetilsalicílico, componente de diversos tipos de medicamentos, como analgésicos e antitérmicos, é obtido a partir do ácido salicílico, presente na casca da árvore do salgueiro branco, e do ácido etanoico. A estrutura do ácido acetilsalicílico é representada ao lado.

a) Quais são as estruturas das substâncias, citadas no texto, que dão origem ao ácido acetilsalicílico?

b) Dê a equação química que representa o processo de obtenção do ácido acetilsalicílico?

c) Qual o tipo de reação ocorrido?

d) Identifique os produtos obtidos na hidrólise do ácido acetilsalicílico?

Pesquisa

Registre as respostas em seu caderno

Qual a importância do estudo das reações químicas na fabricação de fármacos?

O que é quinina e para que serve?

Qual a semelhança entre a cloroquina e a quinina?

Referência:
MENEGATTI, R.; MANSSOUR, C. A. & BARREIRO, E. J. A importância da síntese de fármacos. *Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola*, n. 3, maio 2001, p. 16-22. Disponível em: <http://www.qnesc.sbq.org.br/online/cadernos/03/sintese.pdf>. Acesso em: abr. 2010.

Atividades práticas

Registre as respostas em seu caderno

ATENÇÃO

Os reagentes devem ser manipulados pelo professor na capela e com auxílio de luva. Devido à sua toxicidade, deve-se evitar a inalação dos componentes químicos envolvidos nesse experimento. O uso de avental, calça comprida, óculos de segurança e sapato fechado é obrigatório.

Esterificação de Fischer

Material

- Manta de aquecimento
- Balão de fundo redondo (50 mL)
- Condensador de refluxo
- Pérolas de vidro
- Funil de separação (250 mL)
- Argola
- Béquer (100 mL)
- Suporte universal
- Garras
- Mufas
- Provetas (10 mL)
- Pipetas (10 mL)
- Frasco de erlenmeyer (50 mL)
- Ácido butanoico
- Ácido etanoico
- 3-metil-butanol
- Etanol
- Ácido sulfúrico concentrado
- Solução aquosa de NaCℓ 50% (m/m)

Aparelho de refluxo

(Representação esquemática sem escala; cores-fantasia.)

Na tabela a seguir são relacionadas as quantidades de reagentes e catalisador empregadas nas sínteses dos ésteres em questão.

Relação entre reagentes e catalisador	
Éster	**Quantidades de reagentes e catalisador**
Butanoato de etila	15 mL de ácido butanoico (0,16 mol)
	15 mL de etanol (0,26 mol)
	3 mL de ácido sulfúrico (0,06 mol)
Etanoato de 3-metil-butila	14 mL de ácido etanoico (0,24 mol)
	11 mL de 3-metil-butanol (0,10 mol)
	4 mL de ácido sulfúrico (0,08 mol)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Procedimento

- Para cada éster a ser sintetizado, adicionar ao balão de fundo redondo as pérolas de vidro e as respectivas quantidades de cada um dos componentes: ácido carboxílico, álcool e ácido sulfúrico concentrado, conforme apresentado na tabela da página anterior.
- Refluxar (aquecer) o sistema por 40 min e, após esse tempo, realizar resfriamento por 10 min.
- Transferir o conteúdo do balão para o funil de separação e a este adicionar a solução saturada de NaCℓ (60 mL). Agitar o sistema e aguardar o aparecimento de duas fases.
- Separar a camada orgânica (éster) da aquosa, sendo a primeira recolhida em um erlenmeyer.

Adaptado de COSTA, T. S. et al. Confirmando a esterificação de Fischer por meio dos aromas. *Química Nova na Escola*, n. 19, maio de 2004. p. 36-38.

Perguntas

a) O que é esterificação de Fischer?

b) Por que se utilizou reagente em excesso?

c) Qual a importância do uso da solução salina na etapa de separação dos produtos?

d) Como pôde ser comprovada a ocorrência das reações?

e) Qual a importância dos produtos obtidos na indústria alimentícia?

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

1. (UEL-PR) Um grupo de substâncias orgânicas apesenta aromas agradáveis, estando presentes em frutas e flores. Industrialmente, a reação de esterificação de Fischer é um dos principais métodos para a síntese dessas substâncias orgânicas, empregadas como flavorizantes na confecção de balas e gelatinas, dentre outros doces.

O flavorizante de morango, denominado etanoato de isobutila, é obtido em meio ácido a partir dos reagentes:

a) ácido 2-metil propanoico e etanol.
b) ácido etanoico e 2-metil-propan-2-ol.
c) ácido etanoico e 2-metil-propanal.
d) ácido etanoico e 2-metil-propan-1-ol.
e) ácido 2-metil propanoico e etanal.

2. (Fuvest-SP) O cheiro agradável das frutas deve-se, principalmente, à presença de ésteres. Esses ésteres podem ser sintetizados no laboratório, pela reação entre um álcool e um ácido carboxílico, gerando essências artificiais, utilizadas em sorvetes e bolos. Abaixo, estão as fórmulas estruturais de alguns ésteres e a indicação de suas respectivas fontes.

Banana

Kiwi

Maçã

Laranja

Morango

A essência, sintetizada a partir do ácido butanoico e do metanol, terá cheiro de:

a) banana.
b) *kiwi*.
c) maçã.
d) laranja.
e) morango.

3. (Vunesp-adaptado) Muitos compostos orgânicos sintéticos fazem parte do nosso cotidiano, tendo as mais diversas aplicações. Por exemplo, o ácido acetilsalicílico, que é muito utilizado como analgésico e antitérmico.

Ácido acetilsalicílico

a) Qual é o nome de um grupo funcional presente na molécula do ácido acetilsalicílico?
b) A hidrólise do ácido acetilsalicílico leva à formação de ácido salicílico (ácido 2-hidroxibenzoico) e de um outro ácido. Dê a fórmula e o nome deste ácido.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

4. (UFSCar-SP) O aroma e o sabor da maçã devem-se a várias substâncias químicas diferentes. Na fabricação de balas e gomas de mascar com "sabor de maçã", os químicos tentam imitar o aroma e o sabor desses compostos. Uma das substâncias utilizadas para esse fim é o acetato de etila. Uma equação química envolvendo o acetato de etila pode ser escrita como:

$$H_3C-\overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C}-O-CH_2-CH_3 + H_2O \overset{H^+}{\rightleftharpoons} H_3C-\overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C}-OH + HO-CH_2-CH_3$$

Podemos classificar essa reação no sentido direto como sendo de:

a) neutralização total de um éter.
b) hidrólise básica de um éster.
c) hidrólise ácida de um éster.
d) saponificação.
e) oxidação de um éter.

5. (UFF-RJ) Os ésteres são, algumas vezes, obtidos pela reação de um ácido carboxílico e um álcool. São encontrados abundantemente na natureza e, quando apresentam pequeno número de átomos de carbono, podem ser classificados como essências, por exemplo:

Essência	Éster
abacaxi	butanoato de etila
laranja	acetato de n-octila
banana	acetato de isoamila

Os álcoois produzidos pela hidrólise ácida das essências de abacaxi, laranja e banana são, respectivamente:

a)
b)
c)
d)
e)

6. (Mackenzie-SP) **Saponificação** é o nome que recebe a reação de um éster com uma base de Arrhenius, produzindo um sal de ácido carboxílico e um álcool. A equação que representa uma saponificação é:

a) $H_3C-C(=O)-OH + NaOH\ (aq) \longrightarrow H_2O + H_3C-C(=O)-ONa$

b) $H_3C-C(=O)-O-CH_3 + H_2O \longrightarrow H_3C-C(=O)-OH + H_3C-OH$

c) $H_3C-C(=O)-O-CH_3 + NaOH\ (aq) \longrightarrow H_3C-C(=O)-ONa + H_3C-OH$

d) $H_3C-C(=O)-C\ell + H_3C-OH \longrightarrow H_3C-C(=O)-O-CH_3 + HC\ell$

e) $H_3C-C(=O)-ONa + NaOH \xrightarrow[CaO]{\Delta} Na_2CO_3 + CH_4$

7. (UFC-CE) A reação:

$$\underbrace{CH_2=CHCOOCH_3}_{\text{Acrilato de metila}} + \underbrace{CH_3CH_2CH_2OH}_{\text{Álcool n-propílico}} \overset{H^+}{\rightleftharpoons} \underbrace{CH_2=CHCOOCH_2CH_2CH_3}_{\text{Acrilato de n-propila}} + \underbrace{CH_3OH}_{\text{Álcool metílico}}$$

é chamada de:

a) transposição.
b) isomerização.
c) transesterificação.
d) epimerização.
e) hidrólise.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

8. (UCS-RS) Licores caseiros podem conter água, etanol e pequenas quantidades de outras substâncias orgânicas, dentre as quais ácido acético e acetato de etila. É provável que estas duas últimas se formem a partir do etanol, respectivamente, por reações de:

a) oxidação e redução.
b) oxidação e esterificação.
c) redução e esterificação.
d) hidrólise e saponificação.
e) saponificação e hidrogenação.

Exercícios complementares

Registre as respostas em seu caderno

9. (UFPI) Um dos componentes do agente laranja, usado pelos Estados Unidos como desfolhante na Guerra do Vietnã e condenado por toda a comunidade internacional, é o éster butílico do ácido 2,4-diclorofenoxiacético. Qual é a alternativa que apresenta as estruturas dos reagentes orgânicos necessários para a obtenção desse constituinte do agente laranja?

a)

$CH_3CH_2CH_2CH_2C\ell$

b)

$CH_3CH_2CH_2CH_2OH$

c)

$CH_3CH_2CH_2CH_2C\ell$

d)

$CH_3CH_2CH_2CH_2ONa$

e)

$CH_3\overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C}OCH_2CH_2CH_2CH_3$

10. (Fuvest-SP) O Ministério da Agricultura estabeleceu um novo padrão de qualidade e identidade da cachaça brasileira, definindo limites para determinadas substâncias formadas na sua fabricação. Algumas dessas substâncias são ésteres, aldeídos e ácidos carboxílicos voláteis, conforme o caderno Agrícola de 8 de junho de 2005, do jornal *O Estado de S. Paulo*. Nesse processo de fabricação, pode ter ocorrido a formação de:

I. ácido carboxílico pela oxidação de aldeído;
II. éster pela reação de álcool com ácido carboxílico;
III. aldeído pela oxidação de álcool.

É correto o que se afirma em:

a) I apenas.
b) II apenas.
c) I e II apenas.
d) II e III apenas.
e) I, II e III.

11. (Unesp) Muitos compostos orgânicos sintéticos fazem parte de nosso cotidiano, tendo as mais diversas aplicações. Por exemplo, o acetaminofenol, muito usado como analgésico e antitérmico.

a) Qual é o nome de um grupo funcional presente na molécula de p-acetoaminofenol?
b) A hidrólise do p-acetoaminofenol leva à formação de p-hidroxianilina e de um ácido. Qual é a fórmula estrutural e o nome desse ácido?

p-Acetoaminofenol

12. (UFF-RJ) Duas substâncias amplamente usadas como analgésico e antipirético são o ácido acetilsalicílico (I) e o p-acetoaminofenol (II):

Ácido acetilsalicílico (I)

p-Acetoaminofenol (II)

Considerando as estruturas apresentadas:

a) represente a reação de (I) e de (II) com o etanol, em meio ácido;
b) dê o nome dos produtos formados.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

3 Diminuição e aumento da cadeia carbônica

As **cadeias carbônicas longas são sensíveis ao calor**, podendo quebrar quando expostas a ele, transformando-se em cadeias menores e, em casos extremos, quebrar completamente até a liberação do carbono (carvão). Esse processo de carbonificação é o que ocorre quando a madeira é aquecida para se transformar em carvão vegetal; é também o que acontece, de forma parcial, quando aquecemos o açúcar comum e ele escurece, transformando-se em caramelo.

Uma das quebras de cadeia de maior importância industrial é o processo de craqueamento, usado nas refinarias de petróleo, no qual **alcanos de cadeias maiores** (óleos pesados) **são transformados em alcanos de cadeias menores** (gasolina e querosene de aviação), como acontece na reação:

WERNER RUDHART/KINO

Fornos para produção de carvão vegetal. (Santa Bárbara, MG, 2002.)

$$CH_3(CH_2)_6CH_3 \xrightarrow[\text{Catalisadores}]{\Delta} CH_3(CH_2)_4CH_3 + CH_2{=}CH_2$$

Muito importante também é o caminho inverso, isto é, a obtenção de moléculas maiores a partir de moléculas menores. Vejamos alguns exemplos.

a) Síntese de Wurtz

$$\underbrace{CH_3-CH_2-C\ell}_{\text{Haleto}} + 2\,Na + \underbrace{C\ell-CH_2-CH_3}_{\text{Haleto}} \xrightarrow{\text{Éter}} \underbrace{CH_3-CH_2-CH_2-CH_3}_{\text{Alcano}} + 2\,NaC\ell$$

b) Síntese de Wurtz-Fittig

c) Síntese de Grignard

d) Síntese de Friedel-Crafts

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

e) Síntese de alcinos

$$\underbrace{CH_3-C\equiv C\,Na}_{\text{Acetileto de sódio}} + \underbrace{Br-CH_3}_{\text{Haleto}} \longrightarrow \underbrace{CH_3-C\equiv C-CH_3}_{\text{Alcino}} + NaBr$$

f) Síntese de Williamson de preparação de éteres

$$\underbrace{C_2H_5-O\,Na}_{\text{Alcoolato ou alcóxido}} + \underbrace{Br-CH_3}_{\text{Haleto}} \longrightarrow \underbrace{C_2H_5-O-CH_3}_{\text{Éter}} + NaBr$$

Todas as sínteses mencionadas são reações relativamente rápidas e de **bom rendimento**, pois os reagentes usados são compostos **iônicos** ou altamente polarizados e, portanto, **bastante reativos**.

g) Reações de polimerização (importantes na produção de plásticos)

> **Polimerização** é a união de moléculas menores (chamadas monômeros), da qual resulta uma molécula maior (chamada polímero).

Por exemplo:

$$\underbrace{n\,CH_2=CH_2}_{\substack{\text{Etileno}\\ \text{Monômero}}} \xrightarrow[\text{Catalisadores}]{\substack{300\,°C\\ 200\,atm}} \underbrace{(\ldots-CH_2-CH_2-\ldots)_n}_{\substack{\text{Polietileno}\\ \text{Polímero}}}$$

VIKTOR TOLOCHKO/ITAR-TASSS/NEWSCOM/LATINSTOCK
BOM KRIST/CORBIS/LATINSTOCK
JINNY GOODMAN/ALAMY/OTHER IMAGES

A Indústria química produtora de polietileno. (Bielorrússia, 2004.) B Grãos alaranjados de polietileno, a partir dos quais são produzidas sacolas plásticas C.

Em particular, os alcinos podem sofrer **polimerizações** – tanto **acíclicas** como **cíclicas**:

$$2\,HC\equiv CH \longrightarrow \underbrace{CH_2=CH-C\equiv CH}_{\substack{\text{Vinilacetileno}\\ \text{(é um dímero)}}}$$

$$3\,HC\equiv CH \longrightarrow \underbrace{CH_2=CH-C\equiv C-CH=CH_2}_{\substack{\text{Divinilacetileno}\\ \text{(é um trímero)}}}$$

$3\,HC\equiv CH \longrightarrow$ Benzeno

$4\,HC\equiv CH \longrightarrow$ Ciclo-octatetreno

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

h) Síntese de Diels-Alder

É um exemplo interessante de adição-1, 4, em que **há formação de compostos cíclicos**. Por exemplo:

Note que, de modo geral, temos nessa reação:

- o **dieno**;
- o segundo reagente, que é chamado **dienófilo** (isto é, "amigo" do dieno);
- o produto, que é o resultado da **adição** dos reagentes – daí o nome **aduto**.

UM POUCO DE HISTÓRIA

Um novo caminho na Química

A reação de Diels-Alder deu o Prêmio Nobel de Química de 1950 a Otto Diels (1876-1954) e a Kurt Alder (1902-1958). Evidentemente, uma simples reação química não renderia um Prêmio Nobel: o mais importante, nos trabalhos de Diels e Alder, foi a **generalização da ideia** trazida por essa reação. De fato, hoje se realizam centenas de reações baseadas na ideia central da reação de Diels-Alder:

- desde reações bastante simples, como:

(muito importante na petroquímica, para a obtenção industrial de compostos cíclicos);

- até reações bem mais complexas, como as que levam à formação de compostos bicíclicos, isto é, com dois anéis interligados:

Enfim, o grande mérito de Diels e Alder foi o de descobrir um **novo caminho**, relativamente fácil, para a **síntese** de compostos cíclicos e policíclicos, muitos dos quais têm grande importância na produção de medicamentos.

BETTMANN/CORBIS/LATINSTOCK

Otto Diels (à esquerda) e Kurt Alder na cerimônia de entrega do Prêmio Nobel. (Estocolmo, Suécia, 1950.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Questões

Registre as respostas em seu caderno

a) Quais são o composto de Grignard e o haleto orgânico que reagem formando o tolueno e o cloreto de magnésio?

b) Sabe-se que o benzeno pode ser obtido pela polimerização do etino. Semelhantemente, a obtenção do 1,3,5-trimetil-benzeno pode ser feita partindo-se de um outro alcino.

- Qual o nome e a fórmula estrutural do reagente utilizado na obtenção do 1,3,5-trimetil-benzeno?
- Qual é a equação química que representa o processo de obtenção do 1,3,5-trimetil-benzeno?

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

13. (Mackenzie-SP) $2\ R-C\ell + 2\ Na \longrightarrow 2\ NaC\ell + R-R$

A equação acima representa a reação de um cloreto de alquila com sódio metálico em éter (síntese de Wurtz). Assim, se o reagente for o cloreto de etila, o produto orgânico obtido será o:

a) etano.
b) eteno.
c) propano.
d) butano.
e) pentano.

14. (Uema) Na equação abaixo

$$2\ CH_3-CH_2-CH_2-I + 2\ Na \longrightarrow A + 2\ NaI$$

a fórmula do composto representado por *A* e seu nome oficial são, respectivamente:

a) C_6H_{14}, hexano.
b) C_3H_7, propano.
c) C_6H_{12}, hex-1-eno.
d) C_3H_6, prop-1-eno.
e) C_6H_{12}, hex-2-eno.

15. (UFMG) O etileno, C_2H_4, pode ser obtido industrialmente pelo craqueamento de alcanos como, por exemplo,

$$C_8H_{18} \longrightarrow CH_4 + 2\ C_2H_4 + C_3H_6$$

O etileno é usado principalmente na fabricação do polietileno, um polímero dos mais utilizados no mundo. A reação de polimerização pode ser representada por

Com relação ao exposto, identifique a afirmativa **falsa**.

a) A polimerização do etileno envolve a formação de ligações simples.
b) O craqueamento de alcanos produz hidrocarbonetos de menor massa molar.
c) O etileno é o monômero da reação de polimerização.
d) O polietileno é um alqueno de massa molar elevada.

16. (Fatec-SP) A polimerização do acetileno ($HC \equiv CH$) produz o benzeno . Por analogia, espera-se que a polimerização do propino ($H_3C-C \equiv CH$) produza:

a)

b)

c)

d)

e)

Exercícios complementares

Registre as respostas em seu caderno

17. (Mackenzie-SP) O produto orgânico da reação entre 2-bromo-3,4-dimetil-pentano com sódio metálico é:

a) 2,3,4,5,6,7-hexametil-octano.
b) brometo de sódio.
c) 2,3-dimetil-pentano.
d) 3,4-dimetil-2-penteno.
e) 2,3,8,9-tetrametil-decano.

18. (Vunesp) Um dos métodos de obtenção de alcanos é a síntese de Wurtz, que consiste na reação de haletos orgânicos com sódio metálico. Uma mistura de 2-cloro-propano e cloro-metano foi tratada com sódio, observando-se a ocorrência de três reações, que deram origem a três alcanos diferentes. Quais são

a) as equações balanceadas das três reações?
b) os nomes dos três hidrocarbonetos formados?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

19. (Mackenzie-SP) Na mono-halogenação de metil-propano em presença de luz, obteve-se o composto orgânico *A*, que reagiu em seguida com sódio metálico, formando o composto orgânico *B*. Os compostos *A* e *B* são, respectivamente:

a) 2-cloro-metil-propano e tetrametil-butano.
b) 1-cloro-metil-propano e octano.
c) 1,2-dicloro-metil-propano e 1,1,2,2-tetrametil-ciclo-butano.
d) 2-cloro-metil-propano e 2,4-dimetil-hexano.
e) 1-cloro-propano e propano.

20. (Fuvest-SP) Em determinadas condições, CH_3COONa reage com NaOH, produzindo Na_2CO_3 e CH_4. Em reação do mesmo tipo, a substituição do reagente orgânico por C_3H_7COONa irá produzir o mesmo sal e:

a) metano.
b) etano.
c) propano.
d) butano.
e) pentano.

4 Reações dos compostos de Grignard

Compostos de Grignard são compostos do tipo:

$$R-MgX \quad \text{ou} \quad Ar-MgX \quad \text{em que} \begin{cases} R = \text{alquila} \\ Ar = \text{arila} \\ X = \text{halogênio} \end{cases}$$

São bastante reativos, devido à ionização:

$$R-MgX \longrightarrow R^{\ominus} + MgX^{\oplus}$$

na qual se forma o íon $R^{\ominus}$, chamado **carbânion** ou **carboânion**. Sendo negativo, o íon $R^{\ominus}$ fará um ataque a outra molécula orgânica no local onde encontrar um carbono "positivado" (deficiente eletronicamente).

O composto de Grignard é preparado pela reação de um haleto de alquila (ou arila) com magnésio, em solução no éter **seco** (isento de água).

$$CH_3Br + Mg \xrightarrow{\text{Éter seco}} CH_3MgBr$$

É necessário usar como solvente o éter **totalmente seco**, pois a água decompõe rapidamente o composto de Grignard:

$$CH_3MgBr + H_2O \longrightarrow CH_4 + Mg(OH)Br$$

Devido à sua grande reatividade, o composto de Grignard reage com várias funções orgânicas e possibilita a preparação de muitos compostos orgânicos importantes.

Vejamos alguns exemplos:

a) Reações com álcoois

$$\underbrace{CH_3O\boxed{H}}_{\text{Álcool}} + CH_3MgBr \longrightarrow \underbrace{CH_3-OMgBr}_{\text{Brometo de metóxi-magnésio}} + \underbrace{CH_4}_{\text{Hidrocarboneto}}$$

Essa é a reação de Zerewitinoff, que ocorre sempre que um composto tem hidrogênio ácido.

b) Reações com aldeídos e cetonas

$$\underbrace{R-\underset{\underset{O}{\|}}{C}-R'}_{\text{Cetona}} + R''MgBr \longrightarrow R-\overset{\overset{R''}{|}}{\underset{\underset{OMgBr}{|}}{C}}-R' \xrightarrow{H_2O} \underbrace{R-\overset{\overset{R''}{|}}{\underset{\underset{OH}{|}}{C}}-R'}_{\text{Álcool terciário}} + Mg(OH)Br$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Nessa reação, podemos ter:

Aldeído fórmico	(Quando $R = R' = H$)	→	Álcool primário
Aldeído qualquer	(Quando $R = H$)	→	Álcool secundário
Cetona		→	Álcool terciário

5 Alquilação da amônia

A reação de alquilação da amônia, também chamada **reação de Hoffmann**, é muito importante para a obtenção de **aminas**. Ela ocorre em várias etapas:

$$NH_3 + CH_3C\ell \longrightarrow \underbrace{CH_3NH_2}_{\text{Amina primária}} + HC\ell$$

$$CH_3NH_2 + CH_3C\ell \longrightarrow \underbrace{(CH_3)_2NH}_{\text{Amina secundária}} + HC\ell$$

$$(CH_3)_2NH + CH_3C\ell \longrightarrow \underbrace{(CH_3)_3N}_{\text{Amina terciária}} + HC\ell$$

$$(CH_3)_3N + CH_3C\ell \longrightarrow \underbrace{[(CH_3)_4N]^+\ C\ell^-}_{\text{Sal de amônio quaternário}}$$

Essa reação produz uma mistura de aminas de difícil separação.

Note que, por intermédio do haleto de alquila ($CH_3C\ell$), vamos substituindo progressivamente os hidrogênios da amônia:

O último composto é chamado de **sal de amônio quaternário** porque tem quatro grupos no nitrogênio e assemelha-se a um sal de amônio como o $NH_4C\ell$.

Ao contrário das aminas, que são bases fracas, os sais de amônio quaternários tratados com bases formam os **hidróxidos de amônio quaternário**, que são **bases fortes**. Por exemplo:

$$\underbrace{[(CH_3)_4N]^+C\ell^-}_{\text{Cloreto de tetrametil-amônio}} + AgOH \longrightarrow \underbrace{[(CH_3)_4N]^+OH^-}_{\text{Hidróxido de tetrametil-amônio}} + AgC\ell\downarrow$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Ao serem aquecidos, esses hidróxidos se decompõem:

$$[(CH_3)_4N]^+OH^- \xrightarrow{\Delta} \underbrace{(CH_3)_3N}_{\text{Amina}} + \underbrace{CH_3OH}_{\text{Álcool}}$$

A amina é formada, preferencialmente, com os grupos orgânicos menores; e o álcool, se for de cadeia mais longa, vai se decompor em alceno e água.

Questões

Registre as respostas em seu caderno

Quais são os produtos formados nas reações:

a) do cloreto de fenil-magnésio com etanol?

b) do acetaldeído com o brometo de etil-magnésio?

c) da amônia com o cloreto de metila?

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

21. (UFF-RJ) Por meio da reação de butanona com cloreto de metilmagnésio ($H_3C — MgC\ell$), obtém-se o composto *X*, que, por sua vez, em reação com a água, origina o composto denominado:

a) 2-metil-2-butanol.
b) 2-pentanona.
c) pentanal.
d) 3-metil-2-butanol.
e) 2-pentanol.

22. (UEPG-PR) Determinado cloreto de alquila *A*, quando tratado por magnésio metálico em éter anidro, dá origem ao reagente de Grignard, cuja hidrólise produz n-butano. Quando se trata *A* com sódio metálico, forma-se o composto 3,4-dimetil-hexano. O composto *A* é:

a) 1-cloro-butano.
b) 1-cloro-2-metil-propano.
c) 2-cloro-2-metil-propano.
d) 2-cloro-2-metil-butano.
e) 2-cloro-butano.

23. (Cefet-RJ) A produção de álcoois primários, secundários ou terciários a partir de aldeídos ou cetonas pode ser representada pela equação I, e a oxidação de álcoois por $KMnO_4$, ou $K_2Cr_2O_7$, em meio sulfúrico pode ser representada pela equação II.

I.

II. $A + KMnO_4 \xrightarrow{H_2SO_4} B$

As nomenclaturas (Iupac) das substâncias *A* e *B* são respectivamente:

a) propan-1-ol e propanona.
b) propan-1-al e butanona.
c) propan-2 e propanona.
d) butan-1-ol e butanal.
e) butan-2-ol e butanona.

24. (UFC-CE) Comumente, muitas substâncias químicas são sugeridas para atuar como germicidas, em substituição aos eficientes desinfetantes derivados de haletos de amônio quaternário. Dentre essas, incluem-se: amônia (em solução aquosa), bicarbonato de sódio, borato de sódio e o ácido acético. Contudo, investigações a respeito da ação desses compostos sobre culturas de *Staphylococcus aureus* e *Salmonella choleraesuis* comprovaram que tais substâncias não têm a capacidade de matar bactérias o suficiente para classificá-las como desinfetantes.

Com relação aos íons amônio quaternário, é correto afirmar que podem ser formados por:

a) quatro grupos orgânicos ligados ao átomo central de nitrogênio e possuem carga positiva.
b) quatro íons haletos ligados ao átomo central de nitrogênio e possuem carga positiva.
c) quatro átomos de nitrogênio ligados ao átomo central do íon haleto e possuem carga negativa.
d) dois átomos de nitrogênio e dois íons haletos ligados ao átomo central do hidrogênio e possuem carga positiva.
e) dois grupos alquila e dois íons haletos ligados ao átomo central de nitrogênio e não possuem carga.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

LEITURA

ESSES AUXILIARES MILAGROSOS — OS CATALISADORES

Os catalisadores são substâncias que:

- aumentam a velocidade da reação, sem serem consumidos durante o processo;
- são, em geral, misturados com **ativadores**, que reforçam sua ação catalítica;
- podem estar em solução com os reagentes (catálise homogênea) ou não (catálise heterogênea);
- agem diminuindo a **energia de ativação** necessária à reação, como mostramos no gráfico abaixo (há **economia de energia**):

ADILSON SECCO

- e não mudam o ponto de equilíbrio das reações reversíveis, isto é, **não alteram a constante de equilíbrio nem o rendimento** dessas reações.

A história da evolução dos catalisadores é um capítulo importante dentro da história da Química. Por exemplo, para as reações de craqueamento que explicamos anteriormente, podemos anotar as seguintes datas importantes:

- 1912 — introdução do craqueamento térmico (exclusivamente pelo calor);
- 1936 — além do calor, o uso de argilas como catalisadores (argilas são silicatos naturais de alumínio);
- 1954 — além do calor, início do uso de zeólitos, que continuam a ser aperfeiçoados até hoje (zeólitos são silicatos mistos de alumínio e metais alcalinos e/ou alcalinoterrosos, obtidos sinteticamente).

Atualmente, podemos dizer que cerca de 80% dos produtos orgânicos são obtidos com o auxílio de catalisadores. Muitas reações industriais, principalmente na área petroquímica, seriam economicamente inviáveis sem o uso de catalisadores.

A produção de catalisadores é feita por indústrias especializadas, pois exige pesquisas profundas e processos sofisticados de fabricação. Pode-se, inclusive, dizer que existe uma "Química dos catalisadores", dentro da própria Química. No ano de 2008, estima-se que o comércio de catalisadores envolveu vendas da ordem de 12 bilhões de dólares, assim distribuídos:

- 26% para as refinarias de petróleo;
- 26% para a produção de plásticos e polímeros em geral;
- 25% para outras indústrias químicas, incluindo o setor de alimentos;
- 23% para dispositivos de proteção ambiental (incluindo catalisadores para automóveis).

Questões sobre a leitura

Registre as respostas em seu caderno

25. Qual é a ação dos catalisadores sobre a cinética e sobre o rendimento das reações?

26. Por que os catalisadores são economicamente importantes?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO

14 Glicídios (açúcares – carboidratos)

É da ingestão de carboidratos que retiramos a maior parte da nossa energia vital. Muitos **carboidratos** são moléculas enormes que se partem na presença da água (ou hidrolisam-se) e formam várias moléculas de açúcar. Representamos nesta abertura o consumo dos **glicídios** (assunto deste capítulo) e dos lipídios (que serão estudados no próximo capítulo).

TÓPICOS DO CAPÍTULO

1 INTRODUÇÃO
2 CONCEITOS GERAIS
3 DEFINIÇÃO DE GLICÍDIOS
4 CLASSIFICAÇÃO DOS GLICÍDIOS
5 ESTRUTURA DAS OSES
6 REAÇÕES DOS GLICÍDIOS
7 MONOSSACARÍDIOS
8 DISSACARÍDIOS
9 POLISSACARÍDIOS
10 ÁCIDOS NUCLEICOS

LEITURA: *ENGENHARIA GENÉTICA*

Masculino
Idade: 17 anos
Altura: 1,70 m
Massa: 60 kg
Calorias diárias: 2.700 kcal
Limite de carboidratos: 400 g
Limite de lipídios: 75 g

Feminino
Idade: 17 anos
Altura: 1,60 m
Massa: 50 kg
Calorias diárias: 2.000 kcal
Limite de carboidratos: 300 g
Limite de lipídios: 55,5 g

Bombas de glicídio

Quanto comemos de açúcares em um dia? A resposta depende dos hábitos alimentares, mas se não ficarmos de olho, passamos da conta sem perceber.

O limite diário desses carboidratos varia de pessoa para pessoa, mas deve ser no máximo de 60% das calorias; 25% devem ser de lipídios e o restante de proteínas.

ILUSTRAÇÕES: FÉLIX REINERS

*Limite de consumo diário

REFLETINDO

1. Qual dos alimentos e/ou bebidas apresentados possui menor quantidade de glicídios?
2. Qual deles apresenta maior quantidade de glicídios?
3. Qual dos alimentos e/ou bebidas citados nos itens 1 e 2 é o mais doce?
4. Podemos afirmar que o alimento e/ou a bebida que apresenta maior quantidade de glicídios é o(a) mais doce ao paladar?

ILUSTRAÇÕES: FÉLIX REINERS

1 Introdução

Até agora, estudamos moléculas orgânicas de tamanhos relativamente pequenos. A partir deste capítulo, incluiremos em nossos estudos as chamadas **macromoléculas**, ou seja, as moléculas de grande tamanho. Podemos dividir as macromoléculas (ou polímeros) em **naturais** e **sintéticas**. Dentre as naturais, estudaremos, neste capítulo, os **glicídios** (em que se incluem os açúcares e os carboidratos em geral); no capítulo 15, os **lipídios** (em que se incluem óleos e gorduras vegetais e animais); no capítulo 16, as **proteínas** (em que se incluem vários outros alimentos). Apresentamos, então, nesses três capítulos, as chamadas **biomoléculas** ou **moléculas da vida**. O estudo dessas moléculas representa uma introdução à **Bioquímica**, ramo da Ciência que trata dos compostos e das reações que ocorrem nos seres vivos.

Vale a pena ressaltar que o estudo da **Bioquímica** e o da **Biotecnologia** são tão **estratégicos** que vários países têm criado legislações e linhas de investimentos específicas para a formação de cientistas e a implantação de centros de pesquisa e de difusão tecnológica, a fim de desenvolver **novos processos e novos produtos**.

A classe dos glicídios, que estudaremos neste capítulo, é muito ampla e abrange desde o açúcar comum até compostos muito complexos, como a celulose, matéria-prima na fabricação de papel, e o amido, que é um alimento fundamental para os seres vivos.

Os glicídios aparecem também nos chamados **ácidos nucleicos**, que são os constituintes fundamentais das células vivas.

2 Conceitos gerais

A classe dos glicídios (do grego *glicos*, "doce"), como vimos, abrange desde o açúcar comum até compostos como a celulose e o amido, que são produzidos pelos vegetais no processo de fotossíntese e transformados no processo de respiração, como esquematizamos na ilustração abaixo.

ADILSON SECCO

(Representação esquemática sem escala; cores-fantasia.) O ciclo fotossíntese/respiração.

FOTOS: POMPEU/STUDIO 47/CID

A farinha, o mel, as frutas, o pão, o açúcar e o papel contêm glicídios.

Resumidamente, na fotossíntese ocorre o seguinte processo:

Nos vegetais com clorofila { CO_2 (Do ar) + H_2O (Do solo) + Energia solar → Açúcares + O_2 (Que volta ao ar)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

No metabolismo dos animais ocorre praticamente o processo inverso:

No organismo dos animais { Açúcares + O_2 (Do ar inspirado) → CO_2 + H_2O (Ambos eliminados) + Energia que mantém a vida

As duas reações anteriores completam o **ciclo fundamental de energia** dos seres vivos: os vegetais, com o auxílio da energia solar, produzem os alimentos que, a seguir, são consumidos pelos animais para a obtenção da energia necessária aos seus processos vitais.

3 Definição de glicídios

Glicídios, **glucídios** ou **glúcides** são compostos de função mista do tipo **poliálcool-aldeído** ou **poliálcool-cetona** e outros compostos que, por hidrólise, dão origem a poliálcoois-aldeídos e/ou poliálcoois-cetonas.

Por exemplo:

Glicose
(Poliálcool-aldeído)

Frutose
(Poliálcool-cetona)

Antigamente, os glicídios eram também chamados de **açúcares**, pois o açúcar comum pertence a essa classe. Chegaram a ser também chamados de **hidratos de carbono**, ou **carboidratos**, pois muitos desses compostos obedecem à fórmula geral $C_x(H_2O)_y$.

4 Classificação dos glicídios

Uma classificação ampla é a seguinte:

a) **Oses**, ou **monossacarídios**, são os glicídios mais simples, que **não se hidrolisam**. De acordo com o número de átomos de carbono na molécula, as **oses** são classificadas em **trioses** ($C_3H_6O_3$), **tetroses** ($C_4H_8O_4$), **pentoses** ($C_5H_{10}O_5$), **hexoses** ($C_6H_{12}O_6$) e **heptoses** ($C_7H_{14}O_7$). Além disso, os próprios prefixos indicam que as **aldoses** têm o **grupo aldeído**, como ocorre com a glicose. Analogamente, as **cetoses** têm o **grupo cetona**, como a frutose. Outras designações são também de fácil interpretação; por exemplo, dizemos que a glicose é uma **aldo-hexose**, pois é uma **ose**, com **seis** carbonos e **um** grupo **aldeído**.

b) **Osídios** são os glicídios mais complexos, que **se hidrolisam**, produzindo moléculas menores. Eles se subdividem em:
- **holosídios** (quando a hidrólise só produz **oses**);
- **heterosídios** (quando a hidrólise produz **oses** e também **compostos de outras classes**, **orgânicos** ou **inorgânicos**).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Os holosídios podem ainda ser subdivididos em **dissacarídios, trissacarídios... polissacarídios**, conforme produzam, na hidrólise, **duas, três ou muitas** moléculas de **ose**. Por exemplo:

Sacarose (dissacarídio) + H_2O ⟶ Glicose (ose) + Frutose (ose)

Amido (polissacarídio) + $n\ H_2O$ ⟶ n glicose (ose)

O termo **oligossacarídio** (do grego *oligo*, "pouco") indica os holosídios formados pela reunião de **poucas moléculas de ose**.

5 Estrutura das oses

As **oses apresentam muitos isômeros ópticos** devido aos vários carbonos assimétricos que possuem. Outro fato importante na estrutura das oses é o fenômeno de **ciclização** da molécula: o grupo aldeído de uma aldose (ou o grupo cetona de uma cetose) pode reagir com uma hidroxila da própria molécula, formando uma cadeia fechada ou cíclica (na figura abaixo, cada traço indica a posição de uma hidroxila):

Nesse caso, a ciclização ocorreu com a hidroxila do carbono número 4, dando origem a um anel de 5 átomos (4 carbonos e 1 oxigênio). Como esse anel lembra o composto denominado **furano** , a forma cíclica é chamada de **furanoica** ou **furanose**.

No entanto, a ciclização pode ocorrer também com a hidroxila do carbono número 5 (o que, aliás, é mais comum):

Como esse anel lembra o composto denominado **pirano** , essa forma cíclica é denominada **piranoica** ou **piranose**.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Um fato interessante é que, no instante da ciclização, a hidroxila do carbono 1 pode assumir duas posições, a saber:

A hidroxila do carbono 1 está na disposição **cis** em relação ao grupo CH_2OH do carbono 5. Temos a α-**glicose**:

$$[\alpha]_D^{20\,°C} = +112{,}2°$$

A hidroxila do carbono 1 está na disposição **trans** em relação ao grupo CH_2OH do carbono 5. Temos a β-**glicose**:

$$[\alpha]_D^{20\,°C} = +18{,}7°$$

Quando α-glicose pura ou β-glicose pura são colocadas em água, uma se transforma espontaneamente na outra, através da glicose de **cadeia aberta**; essa transformação é chamada **mutarrotação**:

$$\underbrace{\alpha\text{-glicose}}_{(+112{,}2°)} \rightleftharpoons \text{Glicose acíclica} \rightleftharpoons \underbrace{\beta\text{-glicose}}_{(+18{,}7°)}$$

Numa solução aquosa de glicose, as três estruturas estão presentes simultaneamente, mantendo-se em **equilíbrio dinâmico**. Por esse motivo, o poder rotatório específico da solução é +52,7°, o qual representa uma média ponderada dos desvios da α-glicose e da β-glicose.

6 Reações dos glicídios

Sendo poliálcoois-aldeídos e poliálcoois-cetonas, as oses devem apresentar as reações dos álcoois e dos aldeídos ou cetonas que já foram estudadas no capítulo 12.

Em particular, já vimos na página 323 que os **reativos de Tollens** e os **de Fehling** são importantes para diferenciar os aldeídos (que são redutores) das cetonas (que não são redutores). Esses reativos também são usados no estudo dos açúcares, para classificá-los em **açúcares redutores** e **não redutores**.

Emil Hermann Fischer

Químico alemão, nasceu em Euskirchen em 9 de outubro de 1852 e faleceu em Berlim em 15 de julho de 1919.
Estudou nas universidades de Bonn e de Estrasburgo, trabalhou com Adolf von Baeyer de 1874 a 1882 e lecionou nas universidades de Munique, de Würsburg e de Berlim.
Fischer se dedicou a três campos principais de pesquisa: os **açúcares**, os **derivados da purina** e as **proteínas**. Suas conclusões sobre a estrutura desses compostos foram baseadas num vastíssimo trabalho de laboratório.
No estudo dos açúcares, deve-se a ele a descoberta das estruturas das principais oses, além da síntese de outros açúcares até então desconhecidos. Após descobrir a fenil-hidrazina em 1875, usou-a na caracterização dos grupos carbonila das oses.
No estudo dos derivados da purina, Fischer identificou cerca de 130 compostos, entre os quais a cafeína e o ácido úrico. Nesse campo, está também a descoberta do hipnótico **veronal** (1903) e a abertura do caminho para a descoberta de outros derivados farmacêuticos.

CORBIS/LATINSTOCK/THE NATIONAL MUSEUM OF SCIENCE AND INDUSTRY, INGLATERRA

Emil H. Fischer em seu laboratório, Berlim, Alemanha, 1904.

No campo das proteínas, ele hidrolisou inúmeros desses compostos e estudou a composição dos aminoácidos daí resultantes. Interpretou também a **ação das enzimas** (1898).
Considerado um dos maiores expoentes da Química orgânica do final do século XIX, Fischer tornou-se também um dos precursores da **Bioquímica**, pelos avanços que realizou na Química dos Compostos Naturais.
Por seus trabalhos com os açúcares e com os derivados da purina, Fischer recebeu o Prêmio Nobel de Química de 1902.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Questões

Registre as respostas em seu caderno

A glicose e a frutose possuem as seguintes fórmulas estruturais:

Glicose

Frutose

a) Quais as fórmulas moleculares da glicose e da frutose?

b) Pode-se afirmar que os dois compostos são isômeros? Justifique.

c) Os dois compostos possuem função mista. Qual o tipo de função mista presente em cada um dos compostos?

d) Qual dos compostos reage com os reativos de Tollens e de Fehling?

Pesquisa

Registre as respostas em seu caderno

Consulte o *site* sugerido a seguir, ou outras fontes, e responda:

O que são produtos *light* e *diet*? Todo produto *diet* é *light*? Quais as diferenças entre os produtos *light* e *diet* comparados aos produtos na sua versão normal?

SILVA, R. M. G. & FURTADO, S. T. F. *Diet* ou *light*: qual a diferença? *Química Nova na Escola*, n. 21, maio de 2005. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc21/v21a03.pdf>.
Acesso em: mar. 2010.

Atividade prática

Registre as respostas em seu caderno

ATENÇÃO

- **Para evitar acidentes, pois haverá a necessidade de manipular objetos quentes, podendo haver riscos de queimaduras, recomendamos que o experimento seja realizado exclusivamente pelo(a) professor(a) de MODO DEMONSTRATIVO.**
- **Nenhum dos reagentes deve ter contato com a pele, boca e olhos, nem deve ser aproximado do nariz.**
- **Óculos de segurança, luvas e aventais protetores são obrigatórios.**

Análise de açúcares

Material

- Meio copo de água quente
- Conta-gotas
- Pregador grande de madeira
- Tubo de ensaio
- Lamparina
- Álcool comercial
- Seringa descartável de plástico de 10 mL
- 4 colheres de chá de sal de frutas (5 g contêm: 2,3 g de bicarbonato de sódio; 2,2 g de ácido cítrico, 0,5 g de carbonato de sódio)
- $\frac{1}{2}$ colher de chá de sulfato de cobre (encontrado em lojas de materiais para piscina)
- 5 mL de água quente (medidos em uma seringa)
- Uma colher de chá rasa do material a ser testado: mel, açúcar comum, glucose de milho, refrigerante de limão sem açúcar e adoçante.

Procedimento

Preparação do reagente de Benedict

- Solubilize completamente 4 colheres de chá de sal de frutas em meio copo de água quente.
- Adicione a essa solução uma solução de $CuSO_4$ (meia colher de chá) preparada com 5 mL de água quente (medida em uma seringa de plástico de 10 mL).
- Homogeneíze a solução resultante (reagente de Benedict).

Testes

- Realize os testes em um tubo de ensaio, contendo em torno de 1 cm de altura de água e uma colher de chá rasa do material a ser testado.
- Com um conta-gotas, adicione 10 gotas do reagente de Benedict. Segure o tubo de ensaio com um pregador de madeira e aqueça o fundo do tubo, com cuidado, em uma chama de lamparina até que haja mudança na coloração da solução (máximo: 2 min).

OLIVEIRA, R. O.; SANTA MARIA, L. C.; MERÇON, F. & AGUIAR, M. R. M. P. Preparo e emprego do reagente de Benedict na análise de açúcares: uma proposta para o ensino de Química orgânica, *Química Nova na Escola*, n. 23, maio de 2006. (Adaptado)

Perguntas

a) Qual a coloração inicial do reagente de Benedict?

b) Qual a coloração do reagente de Benedict na presença de um redutor e após aquecimento? Justifique por meio de equação química.

c) Quais os componentes principais do sal de frutas?

d) Dos açúcares testados, quais são redutores?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

1. (UFSM-RS) Considere as estruturas abaixo:

a) As estruturas *A* e *B* representam moléculas de lipídios encontrados em vegetais.
b) A estrutura *A* representa molécula de um dissacarídio e a *B*, uma hexose.
c) As estruturas *A* e *B* representam moléculas de aldoses.
d) As estruturas *A* e *B* representam moléculas de hexoses.
e) A estrutura *A* representa molécula de um monossacarídio e a *B*, uma aldose.

2. (UFSM-RS) Os glicídios, em geral,

I. oxidam-se facilmente.
II. são razoavelmente solúveis em água.

As propriedades I e II ocorrem devido à presença, respectivamente, de:

a) pontes de hidrogênio e grupos hidroxila.
b) grupos hidroxila e pontes de hidrogênio.
c) grupo aldeído e pontes de hidrogênio.
d) pontes de hidrogênio e grupo aldeído.
e) grupos hidroxila e grupo aldeído.

3. (Unesp) O gliceraldeído, que é o menor dos açúcares considerados aldoses, apresenta isomeria óptica. O seu nome químico é 2,3-dihidroxi-propanal.

a) Usando sua fórmula molecular, dê a equação química que representa a reação de combustão do gliceraldeído.
b) Construa a sua fórmula estrutural e identifique o carbono que justifica a existência da isomeria óptica.

4. (Vunesp) Considere a substância natural de fórmula estrutural

a) Quais são os grupos funcionais existentes nessa molécula?
b) Identifique os átomos de carbono assimétricos dessa molécula.

5. (FMABC-SP) A presença de glicose pode ser evidenciada através de redução de íons Cu^{2+}. Isso ocorre devido à presença, na glicose, da função:

a) álcool.
b) amina.
c) éter.
d) aldeído.
e) ácido carboxílico.

6. A fotossíntese é a reação química de síntese provocada pela influência da luz que produz carboidratos nas plantas verdes.

A reação geral da fotossíntese pode ser equacionada:

$$CO_2 + H_2O \longrightarrow CH_2O + O_2$$

O volume de gás carbônico, nas CNTP, necessário para a produção de 20 g de carboidrato é:

a) 0,66 L b) 15 L c) 22 L d) 88 L e) 150 L

Exercícios complementares

Registre as respostas em seu caderno

7. (Enem-MEC) Ao beber uma solução de glicose ($C_6H_{12}O_6$), um corta-cana ingere uma substância

a) que, ao ser degradada pelo organismo, produz energia que pode ser usada para movimentar o corpo.
b) inflamável que, queimada pelo organismo, produz água para manter a hidratação das células.
c) que eleva a taxa de açúcar no sangue e é armazenada na célula, que restabelece o teor de oxigênio no organismo.
d) insolúvel em água, o que aumenta a retenção de líquidos pelo organismo.
e) de sabor adocicado que, utilizada na respiração celular, fornece CO_2 para manter estável a taxa de carbono na atmosfera.

8. (UFSM-RS) A glicose encontrada em doces e frutas, quando em solução aquosa, apresenta equilíbrio entre as estruturas α (I) e β (II).

(I) 36%
(+) α-glicose

(II) 64%
(+) β-glicose

Com base nessas informações, pode-se afirmar que I e II são:

a) tautômeros e sua solução não desvia o plano da luz polarizada.
b) diastereoisômeros e formam solução racêmica.
c) enantiômeros e formam solução racêmica.
d) diastereoisômeros e sua solução desvia o plano da luz polarizada.
e) enantiômeros e sua solução desvia o plano da luz polarizada.

9. (Unesp) A fonte energética primária do corpo humano vem da reação entre a glicose ($C_6H_{12}O_6$) em solução e o oxigênio gasoso transportado pelo sangue. São gerados dióxido de carbono gasoso e água líquida como produtos. Na temperatura normal do corpo (36,5 °C), a interrupção do fornecimento energético para certos órgãos não pode exceder 5 minutos. Em algumas cirurgias, para evitar lesões irreversíveis nesses órgãos, decorrentes da redução da oxigenação, o paciente tem sua temperatura corporal reduzida para 25 °C, e só então a circulação sanguínea é interrompida.

a) Dê a equação química balanceada que representa a reação entre a glicose e o oxigênio.
b) Explique por que o abaixamento da temperatura do corpo do paciente impede a ocorrência de lesões durante a interrupção da circulação.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

7 Monossacarídios

São glicídios simples, que **não se hidrolisam**.

7.1. Glicose, glucose, dextrose ou açúcar de uva

É uma aldo-hexose de fórmula $C_6H_{12}O_6$, cuja estrutura já foi vista na página 351. A glicose é encontrada nas uvas e em vários frutos e pode ser obtida também **industrialmente** pela hidrólise do amido.

$$\underbrace{(C_6H_{10}O_5)_n}_{\text{Amido}} + n\,H_2O \xrightarrow[\text{Ácido}]{\Delta} \underbrace{n\,C_6H_{12}O_6}_{\text{Glicose}}$$

A glicose, usada na alimentação (na fabricação de doces, balas etc.), também é chamada de "açúcar do sangue", pois é o açúcar mais simples que circula em nossas veias. No sangue humano, sua concentração é mantida entre 80 e 120 mg por 100 mL pela ação de hormônios secretados pelo pâncreas. Se por doença ou falta prolongada de alimentação essa concentração diminuir (**hipoglicemia**), a pessoa deverá receber soro glicosado; se, pelo contrário, a concentração de glicose no sangue aumentar (**hiperglicemia**), a pessoa apresentará os sintomas da doença conhecida por **diabetes** e deverá receber medicamentos, como, por exemplo, a insulina.

FERNANDO FAVORETTO/CRIAR IMAGEM

BSIP/SUPERSTOCK/KEYSTONE

O soro glicosado é importante na recuperação de pessoas debilitadas. (Hospital Universitário de Bordeaux, França, 2004.)

Em contato com o sangue, as fitas adquirem uma cor, que varia conforme a taxa de glicose.

FERNANDO FAVORETTO/CID

Vitamina C

A vitamina C, também chamada de **ácido ascórbico**, é a mais conhecida das vitaminas. Ela está presente principalmente nos vegetais frescos, sendo mais abundante nas frutas cítricas (a acerola é a que possui maior teor de vitamina C). Nos vegetais, a vitamina C é formada a partir da glicose, por meio de uma série de reações enzimáticas. No nosso organismo, ela é fundamental na síntese do colágeno, constituinte importante da pele, dos tendões, dos ligamentos etc.

Vitamina C

A carência de vitamina C no organismo pode levar a várias doenças. Uma delas é o **escorbuto** (causa enfraquecimento geral e hemorragias generalizadas), que acabou vitimando muitos marinheiros, durante as viagens na era das Grandes Navegações (nas viagens longas, faltavam frutas e vegetais frescos).

Assim, calcula-se que Vasco da Gama tenha perdido cerca de metade da tripulação, em sua viagem de dois anos (1497-1499), contornando o Cabo da Boa Esperança. Por esse motivo, até 1700, a marinha inglesa obrigava os marujos a consumirem lima em suas viagens.

AKG/LATINSTOCK

A descoberta da rota das Índias: as naus de Vasco da Gama dobram o Cabo da Boa Esperança, dezembro de 1497 (Litografia, 1897, Coleção Archiv für Kunst & Geschichte).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

7.2. Frutose ou levulose

É a cetose mais comum, isômero da glicose, de fórmula molecular $C_6H_{12}O_6$ e fórmula estrutural já vista na página 351. Encontrada no mel e em muitos frutos (daí seu nome "açúcar de frutas"), a frutose também pode ser obtida por hidrólise de um polissacarídio chamado **inulina**. É também usada na fabricação de alimentos.

8 Dissacarídios

São glicídios que, por hidrólise, produzem **duas** moléculas de monossacarídios.

8.1. Sacarose, açúcar de cana ou açúcar comum

É um dissacarídio, de fórmula $C_{12}H_{22}O_{11}$, encontrado principalmente na **cana-de-açúcar** e na **beterraba**. Estruturalmente, a sacarose resulta da **condensação** de uma molécula de glicose e uma de frutose (condensação é a união dessas duas moléculas com eliminação de uma molécula de água):

α-glicose (em forma piranose) β-frutose (em forma furanose)

ANDREW SYRED/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

Cristais de açúcar vistos ao microscópio eletrônico de varredura e colorizados artificialmente (aumento de 32 vezes).

A sacarose é um **açúcar não redutor** (não reduz os reativos de Fehling e Tollens), porque não possui grupos aldeídos livres. Ela pode ser hidrolisada por ácidos diluídos ou pela ação da enzima **invertase**, liberando a glicose e a frutose presentes em sua estrutura (como ocorre em nosso organismo):

$$\underbrace{C_{12}H_{22}O_{11}}_{\substack{\text{Sacarose}\\ [\alpha]_D^{20\,°C} = +66{,}5°}} + H_2O \xrightarrow{\text{Invertase}} \underbrace{C_6H_{12}O_6}_{\substack{\text{Glicose}\\ +52{,}7°}} + \underbrace{C_6H_{12}O_6}_{\substack{\text{Frutose}\\ -92{,}3°}}$$

Essa reação é denominada **inversão da sacarose**, pois, durante sua realização, o plano da luz polarizada desvia-se da direita (+66,5°) para a esquerda (+52,7° − 92,3° = −39,6°). O mel é formado principalmente por **açúcar invertido**, isto é, por uma mistura de glicose e frutose.

A inversão da sacarose é usada na fabricação dos chocolates com **recheio pastoso** (foto abaixo). Esse recheio é constituído por uma pasta de sacarose, água e invertase. Até sua venda, já terá ocorrido, no interior do chocolate, a inversão da sacarose, com formação da mistura de glicose e frutose, que é mais pastosa e bem mais doce que a sacarose inicial.

MIGUEL TRES LÓPEZ/AGE-AGB

No Brasil, a sacarose é obtida por cristalização do caldo de cana e utilizada na alimentação, no fabrico do álcool etc. Na Europa, a sacarose é produzida principalmente a partir da beterraba.

Até o século XVIII, o açúcar era considerado um artigo de luxo e usado quase somente como medicamento calmante. Foi a partir da disseminação da cana-de-açúcar na América e do açúcar de beterraba na Europa que se iniciou o consumo desse produto como hoje conhecemos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

8.2. Lactose ou açúcar do leite

É um dissacarídio, de fórmula $C_{12}H_{22}O_{11}$, isômero da sacarose. É encontrado no leite e resultante da condensação de uma molécula de α-glicose com uma de β-galactose. É um **açúcar redutor**, que, sob a ação de certos micro-organismos, dá origem ao **ácido lático**, substância que provoca o azedamento e a coagulação das proteínas do leite, formando o **coalho**.

A formação de **ácido lático**, a partir da glicose, ocorre também em nossas células, durante a realização de atividades físicas intensas, e acaba provocando **dores musculares**. A sequência de reações é:

Adoçantes artificiais

A preocupação crescente com a saúde levou à produção de **adoçantes artificiais** para substituir o açúcar comum.

Os riscos de efeitos secundários decorrentes desses produtos (como o aumento da propensão para o câncer) têm levado os pesquisadores à busca de novos **adoçantes naturais**, como é o caso da esteviosina, encontrada na planta estévia.

FERNANDO FAVORETTO/CRIAR IMAGEM

Adoçante artificial sendo colocado em suco.

Sacarina	Ciclamato de sódio	Aspartame
Descoberta em 1897, é cerca de 300 vezes mais doce que a sacarose.	Descoberto em 1940, é cerca de 40 vezes mais doce que a sacarose.	Descoberto em 1965, é cerca de 200 vezes mais doce que a sacarose e um dos mais usados atualmente.

Adoçantes artificiais mais comuns.

Poder edulcorante (índice de doçura) de algumas substâncias	
Substância	**Doçura relativa à sacarose**
Lactose	0,15
Sacarose	1,00 (padrão)
Ciclamato de sódio	40
Aspartame	200
Sacarina	300

Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/adocantes.pdf>. Acesso em: abr. 2010.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

9 Polissacarídios

São glicídios que, por hidrólise, produzem muitas moléculas de monossacarídios.

9.1. Celulose

É um polissacarídio, de fórmula $(C_6H_{10}O_5)_n$, que atinge massas moleculares da ordem de 400.000 u. A celulose está presente em praticamente todos os vegetais. O algodão, por exemplo, é celulose quase pura. A celulose é formada pela condensação de um grande número de moléculas de β-glicose, como indicamos abaixo.

FABIO COLOMBINI

Capucho de algodão.

As verduras, frutas e cereais fibrosos que ingerimos contêm quantidades maiores ou menores de celulose. Nosso organismo não a digere porque nem no estômago nem nos intestinos existem enzimas capazes de quebrar as moléculas de celulose. Consequentemente, toda celulose que ingerimos acaba sendo eliminada nas fezes. No entanto, a ingestão de alimentos fibrosos é importante para o bom funcionamento dos intestinos. Os **animais herbívoros** (boi, cavalo etc.), entretanto, conseguem digerir a celulose de ervas como o capim porque possuem, no sistema digestório, bactérias e protozoários que os auxiliam nesse processo.

Industrialmente a celulose do algodão é usada na produção de tecidos, e a da madeira (pinheiros, eucaliptos etc.) é usada na produção de papel.

O esquema seguinte nos dá uma ideia da fabricação do papel pelo chamado **processo do sulfito**, em que o $Ca(HSO_3)_2$ digere a lignina, liberando a celulose da madeira:

ADILSON SECCO

(Representação esquemática sem escala; cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Verifique também, pela fórmula da celulose dada anteriormente, que cada unidade $C_6H_{10}O_5$ tem três hidroxilas, que podem ser esterificadas, como em qualquer álcool. Esterificada com anidrido acético, obtêm-se os **acetatos de celulose** usados em fibras têxteis e em películas fotográficas e cinematográficas; esterificada pelo ácido nítrico, obtém-se o explosivo chamado **algodão-pólvora**.

PETER ARNOLD/OTHER IMAGES

Fibras de celulose do papel vistas ao microscópio (aumento de 20 vezes).

9.2. Amido

É também um **polissacarídio**. Sua fórmula é $(C_6H_{10}O_5)_n$ e tem massa molecular entre 60.000 u e 1.000.000 u. É encontrado frequentemente nos vegetais: em cereais (arroz, milho, trigo etc.) e em raízes e tubérculos (batata, mandioca etc.). O amido constitui a **reserva alimentar** dos vegetais.

É formado pela condensação de moléculas de α-glicose, que são liberadas quando o amido é hidrolisado:

$$\underbrace{(C_6H_{10}O_5)_n}_{\text{Amido}} + n\,H_2O \longrightarrow n\,\underbrace{C_6H_{12}O_6}_{\text{Glicose}}$$

Essa reação também ocorre em nosso intestino. A glicose formada é distribuída, pela corrente sanguínea, a todas as células do organismo, **alimentando-as** e gerando **energia**. Por isso, as **substâncias amiláceas** constituem um ótimo alimento.

Em contato com o iodo, o amido produz uma coloração violeta-escura e por isso é usado como **indicador do iodo**.

FOTOS: FERNANDO FAVORETTO/CRIAR IMAGEM

Batata, arroz, pão e macarrão são alimentos ricos em amido.

9.3. Glicogênio

O glicogênio é outro **polissacarídio** formado também pela condensação de moléculas de glicose. Sua fórmula é, portanto, $(C_6H_{10}O_5)_n$. Ele é produzido no fígado e nos músculos dos animais pelo excesso de glicose que circula no organismo. O glicogênio é, portanto, uma **reserva alimentar** de que o organismo lança mão quando necessita de glicose – daí ser chamado também de "amido animal".

A estrutura do glicogênio é bastante ramificada, o que permite a rápida liberação das moléculas de glicose para atender às necessidades do organismo.

ADILSON SECCO

Estrutura do glicogênio. (Representação esquemática sem escala; cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

10 Ácidos nucleicos

Ácidos nucleicos são macromoléculas formadas pela união de moléculas de **ácido fosfórico**, **pentoses** e **bases nitrogenadas cíclicas**. Estas são derivadas da pirimidina (**bases pirimídicas**) e da purina (**bases purínicas**):

Os ácidos nucleicos agem em conjunto com as proteínas e encontram-se principalmente nos núcleos das células vivas (daí seu nome). Eles são divididos em dois grandes grupos:

- **ácidos ribonucleicos** (**RNA**): que contêm a D-ribose e controlam a produção de proteínas no interior das células;
- **ácidos desoxirribonucleicos** (**DNA**): que contêm a 2-desóxi-D-ribose, encerram toda a **informação genética** dos seres vivos e têm massas moleculares da ordem de 100.000.000 u.

A estrutura genérica do **DNA** é a seguinte:

$$\cdots(\text{— Fosfato — Açúcar — Fosfato — Açúcar — Fosfato — Açúcar —})_n\cdots$$

Base 1 Base 2 Base 3

Ou, de forma mais detalhada:

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Note que há somente **quatro bases** (adenina, citosina, guanina e timina) no **DNA**. As diferentes sequências dessas bases, e tão somente isso, são responsáveis pelas características de cada pessoa, como cor da pele, dos olhos, dos cabelos, formato do nariz etc., além de determinar todos os processos biológicos e os fatores hereditários de cada ser humano. Na verdade, a estrutura do **DNA** é mais complexa. O modelo aceito atualmente é o da **dupla-hélice**, proposto por James Watson e Francis Crick, em 1953. Nesse modelo, as duas hélices são mantidas unidas por meio de pontes de hidrogênio, que se estabelecem entre as moléculas das bases nitrogenadas. É o que mostramos ao lado.

PHOTOTAKE/ALAMY/OTHER IMAGES

Modelo molecular do DNA. (Representação esquemática sem escala; cores-fantasia.)

Estrutura do DNA

No esquema abaixo, as moléculas de açúcar (S) e de fosfato (P) se alternam ao longo das duas hélices. Unindo as duas hélices, por meio de pontes de hidrogênio, estão as bases: adenina (A), citosina (C), guanina (G) e timina (T)

ADILSON SECCO

(Representação esquemática sem escala; cores-fatasia.)

VOCÊ JÁ PAROU PARA PENSAR ?

Testes de paternidade

O aperfeiçoamento dos métodos de **análise** foi, e continua sendo, um dos objetivos fundamentais da Química orgânica. Com o aperfeiçoamento das técnicas, consegue-se determinar, hoje em dia, a sequência dos componentes do DNA. Essa **sequência** permite identificar uma pessoa de modo muito mais perfeito do que suas impressões digitais – daí o termo "impressões digitais de DNA". Além disso, ficam "estampadas" no DNA as origens materna e paterna da pessoa. É esse tipo de análise usado atualmente nos chamados "testes de paternidade", que visam eliminar dúvidas quanto à paternidade de uma criança (ou adulto).

Essa técnica também é usada pela justiça para identificar criminosos por meio do **exame do DNA** presente num fio de cabelo, numa gota de sangue, num pedaço de pele etc., encontrados no local do crime.

DAVID PARKER/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

Teste de paternidade. As bandas de DNA são produzidas pela técnica de eletroforese em gel de agarose. As letras *M*, *C* e *F* indicam, respectivamente, a mãe, as crianças e o pai.

Questões Registre as respostas em seu caderno

A tabela ao lado compara o poder edulcorante, ou índice de doçura (que expressa o sabor doce das substâncias), de alguns adoçantes artificiais. Na tabela, a sacarose teve seu sabor tomado como referência e, portanto, seu valor é de 1,00.

a) Dos componentes da tabela, qual deles deve ser utilizado em maior quantidade em massa para se obter o mesmo sabor doce obtido com 1,00 g de sacarose?

b) Por que o aspartame, apresentando valor calórico igual ao da sacarose (4 kcal/g), é considerado adoçante de baixa caloria?

Substância	Doçura relativa à sacarose
Lactose	0,15
Sacarose	1,00
Aspartame	200

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Atividade prática

Registre as respostas em seu caderno

ATENÇÃO

Não cheire nem experimente substância alguma utilizada nesta atividade.

Identificação do amido

Material

- tintura de iodo
- 1 fatia de maçã
- 1 fatia de batata

Procedimento

- Pingue duas gotas da solução de iodo sobre uma fatia de batata.
- Observe o que ocorre e anote.
- Faça o mesmo com a fatia de maçã.
- Observe o que ocorre e anote.

Perguntas

- O que aconteceu ao pingar o iodo na fatia de batata e na fatia de maçã? Houve alguma diferença? Explique.

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

10. (UFPI) A d(+) glicose, composto 1 (representado a seguir), produzido nas plantas e utilizado pelos animais como fonte de energia, é transformado no composto 2 (representado a seguir) no organismo humano. O composto 2 é utilizado pelo organismo humano no processo de eliminação de substâncias tóxicas.

Composto 1 **Composto 2**

Qual a alternativa que justifica a transformação de 1 em 2?

a) Reação de hidrólise.
b) Reação de esterificação.
c) Reação de oxidação.
d) Reação de condensação.
e) Reação de redução.

11. (Univali-SC) É muito importante a ingestão de alimentos que contenham vitamina C, ácido ascórbico, para evitar a primeira etapa do nascimento do câncer. As vitaminas destroem os radicais livres que causam a mutação do DNA de uma célula até formar um tumor. A fórmula estrutural da vitamina C é representada por:

Podemos afirmar que a vitamina C apresenta cadeia carbônica:

a) heterogênea e saturada.
b) insaturada com uma ligação dupla.
c) cíclica e aromática.
d) homogênea e insaturada com duas ligações duplas.
e) cíclica e saturada.

12. (Enem-MEC) O metabolismo dos carboidratos é fundamental para o ser humano, pois a partir desses compostos orgânicos obtém-se grande parte da energia para as funções vitais. Por outro lado, desequilíbrios nesse processo podem provocar hiperglicemia ou diabetes.

O caminho do açúcar no organismo inicia-se com a ingestão de carboidratos que, chegando ao intestino, sofrem a ação de enzimas, "quebrando-se" em moléculas menores (glicose, por exemplo) que serão absorvidas.

A insulina, hormônio produzido pelo pâncreas, é responsável por facilitar a entrada da glicose nas células. Se uma pessoa produz pouca insulina, ou se sua ação está diminuída, dificilmente a glicose pode entrar na célula e ser consumida.

Com base nessas informações, pode-se concluir que:

a) o papel realizado pelas enzimas pode ser diretamente substituído pelo hormônio insulina.
b) a insulina produzida pelo pâncreas tem papel enzimático sobre as moléculas de açúcar.
c) o acúmulo de glicose no sangue é provocado pelo aumento da ação da insulina, levando o indivíduo a um quadro clínico de hiperglicemia.
d) a diminuição da insulina circulante provoca um acúmulo de glicose no sangue.
e) o principal papel da insulina é manter o nível da glicose suficientemente alto, evitando, assim, um quadro clínico de diabetes.

13. (Enem-MEC)

> À produção industrial de celulose e de papel estão associados alguns problemas ambientais. Um exemplo são os odores característicos dos compostos voláteis de enxofre (mercaptanas) que se formam durante a remoção da lignina da principal matéria-prima para a obtenção industrial das fibras celulósicas que formam o papel: a madeira. É nos estágios de branqueamento que se encontra um dos principais problemas ambientais causados pelas indústrias de celulose. Reagentes como cloro e hipoclorito de sódio reagem com a

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

lignina residual, levando à formação de compostos organoclorados. Esses compostos, presentes na água industrial, despejada em grande quantidade nos rios pelas indústrias de papel, não são biodegradáveis e acumulam-se nos tecidos vegetais e animais, podendo levar a alterações genéticas.

Celênia P. dos Santos et al. **Papel: como se fabrica?** In: *Química Nova na Escola*, n. 14, nov. 2001, p. 3-7 (com adaptações).

Para se diminuírem os problemas ambientais decorrentes da fabricação do papel, é recomendável:

a) a criação de legislação mais branda, a fim de favorecer a fabricação de papel biodegradável.
b) a diminuição das áreas de reflorestamento, com o intuito de reduzir o volume de madeira utilizado na obtenção de fibras celulósicas.
c) a distribuição de equipamentos de desodorização à população que vive nas adjacências de indústrias de produção de papel.
d) o tratamento da água industrial, antes de retorná-la aos cursos d'água, com o objetivo de promover a degradação dos compostos orgânicos solúveis.
e) o recolhimento, por parte das famílias que habitam as regiões circunvizinhas, dos resíduos sólidos gerados pela indústria de papel, em um processo de coleta seletiva de lixo.

14. (Enem-MEC) Há diversas maneiras de o ser humano obter energia para seu próprio metabolismo utilizando energia armazenada na cana-de-açúcar. O esquema abaixo apresenta quatro alternativas dessa utilização.

ADILSON SECCO

(Representação esquemática sem escala; cores fantasia.)

A partir dessas informações, conclui-se que:

a) a alternativa 1 é a que envolve maior diversidade de atividades econômicas.
b) a alternativa 2 é a que provoca maior emissão de gás carbônico para a atmosfera.
c) as alternativas 3 e 4 são as que requerem menor conhecimento tecnológico.
d) todas as alternativas requerem trabalho humano para a obtenção de energia.
e) todas as alternativas ilustram o consumo direto, pelo ser humano, da energia armazenada na cana.

Atenção: Para responder às duas questões a seguir, considere as seguintes informações:

"Uma notícia divulgada pela internet está deixando os consumidores de **aspartame** preocupados. O adoçante pode causar danos à saúde. Alguns especialistas apontam que doses superiores a 5 g diárias para pessoa pesando 70 kg podem causar intoxicações e distúrbios neurológicos."

(Em água, cada mol de aspartame é cerca de 200 vezes mais adoçante que 1 mol de sacarose, $C_{12}H_{22}O_{11}$.)

15. A molécula de aspartame contém diferentes funções orgânicas. Quantas vezes aparecem, respectivamente, a função amina e a função ácido carboxílico, por molécula dessa substância?

a) Uma e uma.
b) Uma e duas.
c) Uma e três.
d) Duas e uma.
e) Duas e três.

16. Supondo que o poder adoçante seja proporcional à quantidade ingerida, em mol, aproximadamente quantos gramas de sacarose correspondem a 5 g de aspartame, para adoçar igualmente um alimento?

a) $1 \cdot 10^4$ g
b) $1 \cdot 10^3$ g
c) $1 \cdot 10^2$ g
d) $1 \cdot 10^1$ g
e) 1 g

17. (Cesgranrio-RJ) A interação entre as bases citosina e guanina como parte formadora da cadeia em dupla-hélice da molécula do ADN é representada abaixo:

Qual opção corresponde ao tipo de interação que ocorre entre as moléculas das bases (linhas tracejadas)?

a) Ligação iônica.
b) Força de van der Waals.
c) Ligação covalente polar.
d) Ligação covalente apolar.
e) Ponte de hidrogênio.

18. (UCS-RS) Em algumas regiões litorâneas do Brasil, está sendo utilizada uma alternativa chamada **retirada do carbono da atmosfera por vegetação em crescimento**. Essa vegetação, por meio da fotossíntese, sequestra o gás carbônico da atmosfera transformando-o em glicídios. A equação química que representa o fenômeno da retirada do dióxido de carbono da atmosfera em presença de umidade, formando glicídios, é:

a) $CO + H_2O + \text{Energia} \longrightarrow H_2CO_2$
b) $6\ CO_2 + 6\ H_2O + \text{Energia} \longrightarrow C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2\ (g)$
c) $2\ CO_2 + 3\ H_2O + \text{Energia} \longrightarrow C_2H_6O + O_2$
d) $SO_2 + 2\ H_2O + \text{Energia} \longrightarrow 2\ H_2O + O_3 + S$
e) $2\ CH_4 + H_2O + \text{Energia} \longrightarrow C_2H_2 + 2\ H_2 + \frac{1}{2}\ O_2$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exercícios complementares

Registre as respostas em seu caderno

19. (UFSM-RS) Entre os compostos a seguir, identifique o que, quando misturado com a água, produz solução capaz de conduzir a corrente elétrica (solução iônica) com maior intensidade.

a)

b) $H_3C — CH_2 — OH$

c) $H_3C — \underset{\underset{O}{\|}}{C} — CH_3$

d) $CH_2(OH) — CH(OH) — CH(OH) — CH(OH) — CH(OH) — C(=O)H$

e) $CH_3 — C(=O)OH$

20. (Fuvest-SP) Considere a estrutura cíclica da glicose, em que os átomos de carbono estão numerados:

O amido é um polímero formado pela condensação de moléculas de glicose, que se ligam, sucessivamente, através do carbono 1 de uma delas com o carbono 4 de outra (ligação "1 — 4").

a) Desenhe em seu caderno uma estrutura que possa representar uma parte do polímero, indicando a ligação "1 — 4" formada.

b) Cite uma outra macromolécula que seja polímero da glicose.

21. (Enem-MEC) No processo de fabricação de pão, os padeiros, após prepararem a massa utilizando fermento biológico, separam uma porção de massa em forma de "bola" e a mergulham num recipiente com água, aguardando que ela suba, como pode ser observado, respectivamente, em I e II do esquema abaixo.

ADILSON SECCO

I II

Quando isso acontece, a massa está pronta para ir ao forno.

Um professor de Química explicaria esse procedimento da seguinte maneira:

"A bola de massa torna-se menos densa que o líquido e sobe. A alteração da densidade deve-se à fermentação, processo que pode ser resumido pela equação

$$\underbrace{C_6H_{12}O_6}_{\text{Glicose}} \longrightarrow \underbrace{2\ C_2H_5OH}_{\text{Álcool comum}} + \underbrace{2\ CO_2}_{\text{Gás carbônico}} + \text{energia}$$

Considere as afirmações abaixo.

I. A fermentação dos carboidratos da massa de pão ocorre de maneira espontânea e não depende da existência de qualquer organismo vivo.

II. Durante a fermentação, ocorre produção de gás carbônico, que se vai acumulando em cavidades no interior da massa, o que faz a bola subir.

III. A fermentação transforma a glicose em álcool. Como o álcool tem maior densidade que a água, a bola de massa sobe.

Dentre as afirmativas, apenas:

a) I está correta.
b) II está correta.
c) I e II estão corretas.
d) II e III estão corretas.
e) III está correta.

22. (Fuvest-SP) O seguinte fragmento (adaptado) do livro *Estação Carandiru*, de Drauzio Varella, refere-se à produção clandestina de bebida no presídio:

> O líquido é transferido para uma lata grande com um furo na parte superior, no qual é introduzida uma mangueirinha conectada a uma serpentina de cobre. A lata vai para o fogareiro até levantar fervura. O vapor sobe pela mangueira e passa pela serpentina, que Ezequiel esfria constantemente com uma caneca de água fria. Na saída da serpentina, emborcada numa garrafa, gota a gota, pinga a *maria-louca* (aguardente). Cinco quilos de milho ou arroz e dez de açúcar permitem a obtenção de nove litros da bebida.

Na produção da *maria-louca*, o amido do milho ou do arroz é transformado em glicose. A sacarose do açúcar é transformada em glicose e frutose, que dão origem a dióxido de carbono e etanol.

Dentre as equações químicas

I. $(C_6H_{10}O_5)_n + n\,H_2O \longrightarrow n\,C_6H_{12}O_6$

II. $(CH_2CH_2O)_n + n\,H_2O \longrightarrow n\,CH_2(OH) — CH_2(OH)$

III. $C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O \longrightarrow 2\,C_6H_{12}O_6$

IV. $C_6H_{12}O_6 + H_2 \longrightarrow C_6H_{14}O_6$

V. $C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2\,CH_3CH_2OH + 2\,CO_2$

as que representam as transformações químicas citadas são:

a) I, II e III.
b) II, III e IV.
c) I, III e V.
d) II, III e V.
e) III, IV e V.

(Dado: $C_6H_{12}O_6$ = glicose ou frutose.)

23. (PUC-RS) O aquecimento controlado da sacarose ($C_{12}H_{22}O_{11}$) causa sua completa desidratação, produzindo carbono com alto grau de pureza. Assim, para se obterem 6 mols desse carbono, a massa, em gramas, de sacarose que deve ser desidratada é:

a) 34,2
b) 171
c) 342
d) 1.026
e) 2.052

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

LEITURA

ENGENHARIA GENÉTICA

A humanidade vem acumulando conhecimento sobre a agricultura e a criação de animais há muitos milênios. Ao longo do tempo, aprendeu a fazer **cruzamentos** entre diferentes plantas e entre diferentes animais para obter novas espécies mais resistentes e que melhor se adaptassem às suas necessidades. Essa técnica vem sendo usada até os dias atuais. De fato, usamos atualmente o **milho híbrido**, que dá espigas maiores, com grãos maiores e é mais resistente às pragas e intempéries que seus "antepassados". Por seleção e cruzamento de várias raças de gado bovino, foram obtidos animais de maior **produção leiteira** ou, então, raças mais apropriadas para a **produção de carne**; e assim por diante.

Os processos de **fermentação** usados na produção do pão, do vinho, da cerveja, do queijo, do iogurte etc. são também muito antigos. Os micro-organismos responsáveis por essas fermentações foram sendo **selecionados** com o tempo, a fim de obter produção maior, mais rápida e de melhor qualidade dos produtos desejados.

Observe, porém, que os processos descritos são muito lentos, pois exigem uma paciente procura e seleção dos ancestrais. Além disso, é preciso realizar um grande número de cruzamentos, que podem ou não levar ao resultado desejado.

Um grande passo dado pela humanidade foi o desenvolvimento das técnicas de **clonagem**. Nesse caso, pode-se, por exemplo, partir de **uma única célula** vegetal (retirada da planta-mãe) e criar milhares de plantas **totalmente iguais entre si**, que são chamadas de **clones** da planta-mãe. Essa técnica poderá causar uma revolução na agricultura, aumentando a produção e a qualidade de frutas, hortaliças, tubérculos etc., e poderá talvez ajudar a resolver o problema da fome no mundo. Também o reflorestamento e a exploração da madeira poderão se beneficiar, já que, a partir de uma árvore de eucalipto, por exemplo, será possível obter, em um ano, 1,5 bilhão de mudas, enquanto pelos processos comuns seriam obtidas apenas 400 mudas.

Devemos, porém, ressaltar que essa metodologia apresenta **sérios riscos**. De fato, a homogeneização genética das plantas as torna extremamente suscetíveis às pragas e pode aumentar o problema da fome em vez de reduzi-lo. Um exemplo típico foi o da "revolução verde", na década de 1960, idealizada pela ONU, em vários países como Tailândia, Filipinas etc.: introduziu-se uma linhagem de arroz que deveria ter alta produtividade, mas que, infelizmente, sucumbiu às pragas, deixando esses países em grave crise de abastecimento desse importante cereal. Por esse motivo, muitos cientistas e pensadores são contra o excessivo selecionamento das variedades vegetais, passando então a advogar a preservação da **biodiversidade** natural, em respeito às futuras gerações humanas.

Dos vegetais, a clonagem foi aplicada também aos animais. Foi muito comemorado o nascimento, em 1996, de Dolly, a primeira ovelha clonada do mundo. Nessa experiência, uma célula madura e diferenciada foi retirada de uma ovelha doadora adulta e, a seguir, colocada no útero de outra ovelha, que serviu como mãe de aluguel. Um dos problemas observados na ovelha Dolly foi seu envelhecimento precoce.

PHOTOTAKE/ALAMY/OTHER IMAGES

Ovelha Dolly. (Escócia, Reino Unido, 2001.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Já em 1999, cientistas notaram que as células de seu corpo mostravam sinais de envelhecimento precoce, e em 2002 verificaram que ela desenvolveu artrite, o que acendeu o debate sobre as consequências da clonagem.

Após ser diagnosticada com uma doença pulmonar progressiva, foi sacrificada em 2003, com seis anos de idade. Uma ovelha normal pode viver de 11 a 12 anos.

Um avanço ainda maior, no campo da Genética, ocorreu na década de 1970 com o advento da **Engenharia Genética**, também chamada de técnica do **DNA-recombinante**. Nessa nova área do conhecimento humano, uma das primeiras vitórias foi a produção da **insulina humana**. Insulina é um hormônio produzido no pâncreas, que controla o metabolismo do açúcar no corpo humano e cuja falta acarreta o tipo comum de diabetes. Daí a necessidade de alguns diabéticos tomarem doses diárias de insulina, a qual antigamente era extraída do pâncreas de boi ou de porco, a preços elevados.

Em linhas gerais, na técnica do DNA-recombinante, um pedaço do DNA de um organismo é introduzido no DNA de um segundo organismo, dando origem a um terceiro organismo, **totalmente diferente dos iniciais** (diferentemente da clonagem, que reproduz seres sempre iguais entre si). No caso particular da produção da insulina humana, retirou-se um fragmento do DNA humano que continha o gene produtor da insulina e, a seguir, introduziu-se esse fragmento no DNA de uma bactéria denominada *Escherichia coli*. A nova bactéria, assim "engenheirada", passou então a produzir a insulina humana.

A técnica do DNA-recombinante, ou Engenharia Genética, é revolucionária, pois, em lugar de demoradas seleções e cruzamentos entre vegetais ou animais para obter "descendentes" mais produtivos, a humanidade pode agora **criar seres vivos absolutamente novos** — são os **transgênicos** vegetais e animais.

LAERTE

Questões sobre a leitura

Registre as respostas em seu caderno

24. Qual é a ideia geral dos cruzamentos vegetais e animais?

25. Qual é a ideia geral da clonagem?

26. Qual é a ideia geral da Engenharia Genética?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO

15 Lipídios (óleos – gorduras)

Óleos e gorduras são chamados de lipídios e representam a segunda maior fonte de energia para os seres humanos. Além disso, os lipídios, em conjunto com as proteínas, formam as células animais por meio das estruturas **lipoproteicas**. Os lipídios são macromoléculas biológicas, de função orgânica mista de ésteres e ácidos graxos, que não podem faltar em nossa alimentação. Mas seu consumo em excesso...

TÓPICOS DO CAPÍTULO

1 INTRODUÇÃO

2 GLICERÍDIOS

3 REAÇÕES DOS GLICERÍDIOS

4 CERÍDIOS

5 QUÍMICA DA LIMPEZA: SABÕES E DETERGENTES

LEITURA: *A QUÍMICA DA BELEZA*

ILUSTRAÇÕES: ALEXANDRE DE PAULA

Novos maus hábitos

*O brasileiro está acumulando **gorduras** e problemas com a balança e com a saúde ao trocar alimentos frescos e pratos tradicionais por comida industrializada.*

* Belém, Fortaleza, Salvador, Recife, Belo Horizonte, Rio de Janeiro, São Paulo, Curitiba, Porto Alegre, incluindo as cidades de Brasília e Goiânia.

O principal problema alimentar do brasileiro deixou de ser a falta de comida para ser o excesso.

Apesar de o consumo de gorduras saturadas permanecer estável, as outras gorduras tiveram aumento de 15% na dieta do brasileiro.

Alimentação de risco

O Instituto Nacional do Câncer (INCA) alerta que quem come sempre carne vermelha, molhos pesados, embutidos, laticínios, frituras, conservas e churrascos corre mais risco de desenvolver vários tipos de tumores.

Para o INCA, a maior incidência de câncer de mama nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste pode estar relacionada ao grande consumo de gordura, que altera o equilíbrio hormonal do organismo.

O câncer de estômago é o que mais mata homens no Brasil e tem os mais altos níveis de frequência do mundo nas cidades de São Paulo, Fortaleza e Belém.

Para piorar, consumimos poucos alimentos protetores, como as fibras, os frutos e os peixes, o que o INCA relaciona ao grande número de casos de câncer de cólon e de reto.

Fonte: IBGE – POF 2002-2003

82%
mais comida pronta.
O **triplo** dos biscoitos.
Cinco vezes mais refrigerantes.
Mais frituras e carne vermelha.

... foi superado pelo que vem agora dos embutidos, queijos e carnes.

ILUSTRAÇÕES: ALEXANDRE DE PAULA

REFLETINDO

Se uma pessoa gosta de chocolate e necessita perder "peso", é recomendável que ela ingira apenas chocolate *diet*? Justifique sua resposta.

1 Introdução

O termo **lipídio** ou **lípido** não indica uma função orgânica determinada. De modo bastante amplo, o termo **lipídio** (do grego *lípos*: gordura) engloba um grande número de substâncias gordurosas existentes nos reinos vegetal e animal. Na prática, os lipídios são substâncias untuosas ao tato, deixam mancha translúcida sobre o papel (mancha de gordura) e são insolúveis em água e **solúveis nos solventes orgânicos** (éter, clorofórmio, benzeno etc.). Para avaliar a importância dos lipídios, basta considerar que óleos e gorduras são indispensáveis à alimentação dos seres humanos e de todos os outros animais. Além disso, é a partir de óleos e gorduras que são fabricados os sabões, os sabonetes e vários outros produtos de limpeza.

MAXIMILIAN STOCK LTD/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

Muitos alimentos, como os apresentados nesta foto, contêm lipídios.

Uma primeira classificação dos lipídios é a que os divide em: **lipídios simples** e **lipídios complexos**.

Os **lipídios simples** são **ésteres** de ácidos graxos com os mais variados álcoois. Ácidos graxos são ácidos monocarboxílicos, de cadeia normal, saturados ou insaturados, que contêm número par de átomos de carbono (geralmente superior a dez). Damos, a seguir, uma tabela com alguns ácidos graxos:

	Ácidos graxos				Ocorrência
Saturados	Ácido láurico:	$C_{11}H_{23}-COOH$	ou	$H_3C-(CH_2)_{10}-COOH$	Gordura de coco
Saturados	Ácido mirístico:	$C_{13}H_{27}-COOH$	ou	$H_3C-(CH_2)_{12}-COOH$	Noz-moscada
Saturados	Ácido palmítico:	$C_{15}H_{31}-COOH$	ou	$H_3C-(CH_2)_{14}-COOH$	Gordura de palma
Saturados	Ácido esteárico:	$C_{17}H_{35}-COOH$	ou	$H_3C-(CH_2)_{16}-COOH$	Gordura de boi
Insaturados	Ácido oleico:	$C_{17}H_{33}-COOH$ ou $H_3C-(CH_2)_7-\overset{10}{CH}=\overset{9}{CH}-(CH_2)_7-\overset{1}{COOH}$			Óleo de oliva
Insaturados	Ácido linoleico:	$C_{17}H_{31}-COOH$ ou $H_3C-(CH_2)_4-\overset{13}{CH}=\overset{12}{CH}-CH_2-\overset{10}{CH}=\overset{9}{CH}-(CH_2)_7-\overset{1}{COOH}$			Óleo de soja
Insaturados	Ácido linolênico:	$C_{17}H_{29}-COOH$ ou $H_3C-CH_2-\overset{16}{CH}=\overset{15}{CH}-CH_2-\overset{13}{CH}=\overset{12}{CH}-CH_2-\overset{10}{CH}=\overset{9}{CH}-(CH_2)_7-\overset{1}{COOH}$			Óleo de linhaça

(Nessa tabela, a representação da cadeia dos ácidos é apenas esquemática.)

Os **ácidos graxos insaturados** costumam ser divididos em: **monoinsaturados**, como é o caso do ácido oleico, que possui apenas **uma** ligação dupla; e **poli-insaturados**, como são o ácido linoleico (com duas ligações duplas) e o ácido linolênico (com três ligações duplas) e assim por diante.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Do ponto de vista estrutural, os **ácidos graxos saturados são lineares**, enquanto os insaturados não o são, devido à preseça de ligações duplas com geometria cis na cadeia. Na natureza, no entanto, predominam (cerca de 90%) os isômeros cis.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Ácido esteárico
(Saturado – é linear)

Ácido oleico (cis)
(Insaturado – não é linear)

(Representações esquemáticas sem escala; cores-fantasia.)

Nos **lipídios simples**, o álcool mais frequente é a **glicerina** – triálcool responsável pela formação de óleos e gorduras vegetais e animais (são os ésteres denominados glicerídios). As **ceras**, por sua vez, são formadas por ésteres dos ácidos graxos com álcoois de cadeias longas (chamados álcoois superiores).

Glicerina

Glicerídio

Cera

Os **lipídios complexos** em geral **não são ésteres, mas moléculas grandes**, frequentemente cíclicas, contendo nitrogênio, fósforo etc. São compostos de grande importância biológica, pois constituem os hormônios, os componentes das células nervosas e cerebrais etc.

2 Glicerídios

Glicerídios ou **glicéridos** são ésteres da **glicerina** com **ácidos graxos**.

Teoricamente, a reação de formação de um glicerídio é a seguinte (lembre-se de que, nos seres vivos, as reações seguem caminhos muito mais complexos):

No exemplo acima, foi suposta a esterificação dos três grupos OH da glicerina e, assim, o produto final pode ser chamado de **triglicerídio** ou **triglicérido**. Conforme *R*, *R*', *R*'' sejam iguais ou diferentes, classificamos os triglicerídios em **simples** ou **mistos**. Observamos também que, na natureza, não são comuns os glicerídios com apenas um ou dois grupos OH esterificados.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A nomenclatura é idêntica à dos ésteres:

Triestearato de glicerila
ou triestearina

ADILSON SECCO

(Representação esquemática sem escala; cores-fantasia.)

α-palmitato-β-estearato-
-α'-oleato de glicerila

α, α' -dipalmitato-β-oleato
de glicerila

Uma classificação de grande importância prática é a que divide os glicerídios em:

- **óleos** – quando são **líquidos** em condições ambientes;
- **gorduras** – quando são **sólidos** em condições ambientes.

Do ponto de vista químico, verifica-se que os **óleos são formados, principalmente, por ésteres de ácidos insaturados**, enquanto as **gorduras são formadas por ésteres de ácidos saturados**.

Alguns exemplos de óleos e gorduras comuns são:

- **Óleos**
  - **Comestíveis**
    - **Vegetais**
      - Óleo de algodão
      - Óleo de amendoim
      - Óleo de oliva
      - Óleo de coco
      - Óleo de soja
    - **Animais**
      - Óleo de baleia
      - Óleo de fígado de bacalhau
      - Óleo de mocotó
  - **Secativos** (secam as tintas)
    - Óleo de linhaça
    - Óleo de tungue
    - Óleo de cânhamo
- **Gorduras**
  - **Vegetais**
    - Gordura de coco
    - Manteiga de cacau
  - **Animais**
    - Banha de porco
    - Manteiga (do leite)
    - Sebo de boi

FERNANDO FAVORETTO/CRIAR IMAGEM

BRUNO SINNAH/ALAMY/OTHER IMAGES

TRECE POR DIECIOCHO/CID

Exemplos de óleos e gorduras comuns: óleo comestível vegetal (A); óleos secativos utilizados em tintas (B); gordura vegetal no chocolate (C).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O esquema a seguir nos dá a ideia de como o óleo vegetal é extraído das sementes e refinado.

ADILSON SECCO

Esquema de extração de óleos vegetais.

(Representação esquemática sem escala; cores-fantasia.)

Biodiesel

Em 2004, o Governo Federal lançou o Programa Nacional do Biodiesel, com metas para acrescentar 2% de biodiesel (B2) ao diesel do petróleo.

Em 2007, cerca de 160 usinas de biodiesel produziram 200 mihões de litros do produto, que, vendidos via leilões, supriram somente 18% da demanda necessária.

As metas para a inclusão de biodiesel no diesel do petróleo são de: B5 (5%) a partir do ano de 2013, chegando a B30 (30%) em 2035.

Esse projeto visa aproveitar, como combustível, os óleos de diversas oleaginosas presentes na flora brasileira, tais como o babaçu e o buriti, na Região Norte; a soja, a mamona, o girassol, o algodão, o pinhão ou o amendoim, nas Regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste; o dendê e a mamona, no semiárido nordestino, e até mesmo o óleo de fritura já usado em indústrias de alimentos e residências.

DELFIM MARTINS/PULSAR IMAGENS

Amostras de sementes e seus respectivos óleos, fontes de biodiesel.

Como vimos, esses óleos são ésteres de ácido graxo e glicerina. Na produção do biodiesel, eles irão reagir com o etanol (o qual o Brasil já tem tecnologia para produzir), dando origem aos ésteres etílicos dos ácidos graxos, além da glicerina (é chamada **reação de transesterificação**). Esses **ésteres etílicos** constituem, então, o chamado biodiesel usado nos ônibus, em caminhões, em tratores e na geração de energia elétrica nas termoelétricas:

$$\begin{array}{l} CH_2-O-CO-R \\ | \\ CH-O-CO-R' \\ | \\ CH_2-O-CO-R'' \end{array} + 3\ C_2H_5OH \longrightarrow \begin{array}{l} R-COOC_2H_5 \\ R'-COOC_2H_5 \\ R''-COOC_2H_5 \end{array} + \begin{array}{l} CH_2-OH \\ | \\ CH-OH \\ | \\ CH_2-OH \end{array}$$

óleo + álcool ⟶ biodiesel + glicerina

(sendo *R*, *R'*, *R"* iguais ou diferentes)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Deve-se notar que a produção de biodiesel em grande escala:

- consome grande quantidade de álcool (etanol);
- resulta em biodiesel (misturas de ésteres de ácidos graxos com o etanol) cuja qualidade dependerá do óleo de partida;
- produz grandes quantidades de glicerina, que deverá ser aproveitada por razões econômicas e ecológicas (uma ideia é transformá-la em matéria-prima para a indústria de plásticos).

Além de representar uma enorme economia para o país na importação do diesel, o biodiesel é uma fonte **renovável** e **menos poluidora** que o diesel proveniente do petróleo. Destacam-se também as vantagens sociais de sua produção em todas as regiões do Brasil, criando milhares de empregos.

Como preocupação, surge o receio da escassez ou do aumento do preço das sementes oleaginosas.

Repete-se, assim, a ideia do Proálcool, que, desde a década de 1970, otimizou a produção do álcool combustível. O álcool é misturado à gasolina nacional, além de possibilitar a movimentação dos carros bicombustíveis do tipo flex. Atualmente, todo o mundo sofre pressão por causa do meio ambiente e das instabilidades do petróleo. Nesse cenário, abre-se uma grande oportunidade para o Brasil, pois o país dispõe de tecnologia, energia solar, água e território necessários para se tornar o principal agente mundial nos biocombustíveis.

IVONALDO ALEXANDRE/GAZETA DO POVO/FUTURA PRESS

Caminhão de coleta de lixo movido a biodiesel. (Curitiba, PR, 2007.)

Questões

Registre as respostas em seu caderno

a) Qual a origem da palavra **lipídio**?

b) Qua a diferença entre mono, di e triglicerídio?

c) O que influi no ponto de fusão dos glicerídios?

d) De que tipo é a reação de produção do biodiesel? Que reagentes e produtos ela envolve?

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

1. (UFRGS-RS) Um composto alimentar rico em triglicerídios saturados é:

a) a gordura animal.
b) o óleo vegetal.
c) a gelatina.
d) a proteína de soja.
e) o doce de abóbora em calda.

2. (FCMSCSP-SP) A fórmula estrutural

refere-se a moléculas de:

a) óleo vegetal saturado.
b) óleo animal saturado.
c) óleo vegetal ou animal insaturado.
d) sabão de ácidos graxos saturados.
e) detergente de ácidos graxos insaturados.

3. (FMTM-MG) O biodiesel pode ser obtido a partir da reação química de óleos ou gorduras com um álcool na presença de catalisador.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Além do etanol, o Brasil destaca-se internacionalmente na produção de biodiesel, que pode substituir total ou parcialmente o óleo diesel oriundo do petróleo em motores de caminhões, de tratores e de outros veículos.

Utilizando o etanol na reação, a massa molar do subproduto orgânico formado e o nome da reação da obtenção do biodiesel são, respectivamente:

Dados: massas molares (g/mol): H = 1; C = 12; O = 16.

a) 92 g/mol e esterificação.
b) 92 g/mol e transesterificação.
c) 134 g/mol e esterificação.
d) 134 g/mol e transesterificação.
e) 134 g/mol e alcoólise.

4. (UFSC-Modificado) O biodiesel é um combustível derivado de fontes renováveis para uso em motores a combustão interna. Pode ser obtido pela reação de óleos vegetais ou de gorduras animais com metanol ou etanol, na presença de um catalisador. Desse processo também se obtém o glicerol, empregado na fabricação de sabonetes e cosméticos. A mamona, o dendê e a soja são espécies vegetais utilizadas, no Brasil, na produção de biodiesel. A reação, conhecida como transesterificação, envolve o equilíbrio representado abaixo.

A **B** **C**

R = grupo alquílico de cadeia longa (de 12 a 18 carbonos).

Considere as afirmações acima e identifique a(s) proposição(ões) **correta(s)**.

01. O biodiesel é uma mistura dos compostos *B* e *C*.
02. Para deslocar o equilíbrio no sentido de formação do biodiesel, deve-se usar etanol em excesso.
04. A substância NaOH, conhecida como soda cáustica, pode ser utilizada como catalisador dessa reação.
08. As forças intermoleculares no composto representado pela letra *B* são menores que aquelas existentes entre as moléculas de *C*.
16. A nomenclatura Iupac do glicerol é propan-1,2,3-triol.

5. (UFSCar-SP) Um combustível derivado de resíduos vegetais está sendo desenvolvido por pesquisadores brasileiros. Menos poluente que o óleo combustível e o diesel, o bio-óleo é produzido a partir de sobras agroindustrias de pequeno tamanho, como bagaço de cana, casca de arroz e de café, capim e serragem.

Analise as afirmações seguintes.

I. Uma das razões que torna o uso desse bio-óleo ecologicamente vantajoso como combustível, em comparação ao óleo diesel, é porque o carbono liberado na sua queima provém do carbono preexistente no ecossistema.
II. O processo de produção do bio-óleo envolve a destilação fracionada de combustíveis fósseis.
III. A combustão do bio-óleo não libera gases causadores do aquecimento global, como acontece na combustão do óleo diesel.

Está correto o contido em:

a) I apenas.
b) II apenas.
c) III apenas.
d) I e II apenas.
e) I, II e III.

Exercícios complementares

Registre as respostas em seu caderno

6. (Fatec-SP) Ácidos graxos são ácidos carboxílicos com cadeias carbônicas lineares relativamente longas. Essas cadeias podem ser saturadas (não apresentam duplas ligações entre átomos de carbono) ou insaturadas (apresentam duplas ligações entre átomos de carbono).

Sabe-se que o ponto de fusão de um ácido graxo é tanto maior quanto sua massa molar e menor o seu grau de insaturação.

Considere os seguintes ácidos graxos:

ácido láurico (12 carbonos)

ácido palmítico (16 carbonos)

ácido esteárico (18 carbonos)

ácido linoleico (18 carbonos)

ácido oleico (18 carbonos)

Dentre esses, o ácido que apresenta o maior ponto de fusão é o:

a) láurico.
b) palmítico.
c) esteárico.
d) oleico.
e) linoleico.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

7. (UEL-PR) Os triglicerídeos são substâncias orgânicas presentes na composição de óleos e gorduras vegetais. O gráfico ao lado fornece algumas informações a respeito de alguns produtos usados no cotidiano em nossa alimentação.

Observe o gráfico e analise as afirmativas.

I. Todos os óleos vegetais citados no gráfico são substâncias puras.

II. Entre todos os produtos citados, o de coco está no estado sólido a 20 °C.

III. Entre todos os óleos citados, o de girassol é o que possui a maior porcentagem de ácidos graxos com duas ou mais duplas ligações.

IV. Entre todos os óleos citados, o de canola e o de oliva são líquidos a −12 °C.

Qual alternativa contém todas as afirmativas corretas?

a) I e II. c) III e IV.

b) II e III. d) I, II e IV. e) I, III e IV.

8. (Fuvest-SP) O glicerol é um subproduto do biodiesel, preparado pela transesterificação de óleos vegetais. Recentemente, foi desenvolvido um processo para aproveitar esse subproduto:

Tal processo pode ser considerado adequado ao desenvolvimento sustentável porque

I. permite gerar metanol, que pode ser reciclado na produção de biodiesel.

II. pode gerar gasolina a partir de uma fonte renovável, em substituição ao petróleo, não renovável.

III. tem impacto social, pois gera gás de síntese, não tóxico, que alimenta fogões domésticos.

É verdadeiro apenas o que se afirma em:

a) I. b) II. c) III. d) I e II. e) I e III.

3 Reações dos glicerídios

3.1. Hidrogenação (fabricação das margarinas)

As duplas ligações existentes nos glicerídios podem ser hidrogenadas com auxílio de calor, pressão e catalisadores, como o níquel. É a reação de Sabatier-Senderens, já vista na página 252:

Evidentemente, poderão ser saturadas **todas** as ligações duplas (hidrogenação total), como mostramos acima, ou só parte delas (hidrogenação parcial). Desse modo, podemos transformar óleos vegetais (de soja, milho, algodão etc.) em gorduras sólidas ou semissólidas. Esse é o princípio de fabricação das **margarinas**, em cuja composição entram também sal, leite, vitaminas, aromatizantes e corantes, dentre outros componentes.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

3.2. Hidrólise/Saponificação

Os glicerídios reagem com a água com auxílio de calor, pressão e catalisadores. Sob **catálise ácida**, temos:

Sob **catálise básica** (por exemplo, NaOH), no lugar dos ácidos carboxílicos (R-COOH), irão se formar os sais correspondentes (R-COONa). A reação leva, então, à formação dos sabões, sendo, por isso, denominada **reação de saponificação** (que será detalhada mais adiante).

A glicerina, também produzida por meio dessa reação, é usada em sabonetes e cremes de beleza como **umectante**, ou seja, para manter a umidade da pele.

3.3. Oxidação/Rancificação

As ligações duplas existentes nos glicerídios podem ser quebradas pela ação de micro-organismos e do oxigênio do ar. Formam-se, então, ácidos de cadeias menores e de **cheiro rançoso**. O exemplo mais comum é o da **rancificação da manteiga**, que a torna não comestível.

Outro exemplo de oxidação ocorre nos chamados **óleos secativos**, que são usados em "tintas a óleo". Esses óleos contêm glicerídios poli-insaturados. O oxigênio do ar quebra as ligações duplas e une as moléculas do óleo entre si (reação de polimerização), dando origem à película rígida após a "secagem" da tinta.

EXPUESTO-NICOLAS RANDALL/ALAMY/OTHER IMAGES

Artista fazendo pintura com tinta a óleo.

3.4. Aquecimento

Sob **aquecimento intenso**, os óleos e as gorduras decompõem-se, e, em particular, a glicerina dá origem à **acroleína**, que é uma das responsáveis pelo cheiro penetrante de óleo ou gordura queimados:

VOCÊ JÁ PAROU PARA PENSAR ?

Metabolismo dos lipídios – gorduras trans

De início, é oportuno lembrar que todos os organismos, vegetais e animais, têm em sua constituição:

- grande porcentagem de água, a qual mantém **dissolvidos** os compostos iônicos ou polares (**substâncias hidrossolúveis**), como por exemplo os sais minerais, os açúcares simples etc.;
- boa porcentagem de substâncias gordurosas que formam a estrutura das células vivas ou que se mantêm, em **forma coloidal**, no citoplasma das células, na seiva dos vegetais, no sangue dos animais etc. (**substâncias lipossolúveis**); nesse grupo, estão os **lipídios**.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Em particular, os glicerídios (óleos e gorduras) são alimentos muito importantes para nosso organismo. No estômago e nos intestinos, existem as enzimas **lipases**, que catalisam a hidrólise dos glicerídios, resultando na formação de glicerina e ácidos graxos. Nesse processo, participam também os **sais biliares**, produzidos pelo fígado, que ajudam a dispersão das gorduras em partículas coloidais, atuando, então, como verdadeiros detergentes. No processo do metabolismo, nosso organismo dá três destinos à glicerina e aos ácidos graxos assim formados:

a) reagrupa-os em moléculas mais complexas, que constituirão as células, os tecidos etc.;

b) queima-os para obter energia, sendo interessante notar que os lipídios liberam 9 kcal/g, quantidade de energia superior à da queima dos carboidratos e das proteínas, que é da ordem de 4 kcal/g;

c) guarda-os, na forma de novas moléculas, nos tecidos adiposos do organismo (fato que, ocorrendo em excesso, leva uma pessoa a engordar). A gordura é um **material de reserva** do nosso organismo; sua queima, contudo, é mais difícil que a dos carboidratos, pois esses têm moléculas mais simples que as dos lipídios.

O fato de a gordura ser um material de reserva torna-se ainda mais evidente em animais que vivem em situações ambientais extremas: os ursos são gordos para poderem enfrentar seus longos períodos de hibernação; os camelos têm depósitos de gordura em suas corcovas para aguentar a travessia dos desertos praticamente sem alimentação; e assim por diante.

ZEPHYR/SSCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

Placas de ateroma obstruindo a artéria carótida, vista por meio de angioplastia colorizada artificialmente.

Outro aspecto interessante a ser comentado é o fato de as reações em nosso organismo serem muito seletivas. Vimos, na página 370, que os ácidos graxos, presentes nos glicerídios, podem ser saturados ou insaturados. A Medicina tem provas de que as gorduras saturadas (banha, manteiga etc.) têm tendência a se depositarem e a provocarem o engrossamento e o endurecimento de nossas artérias (é a chamada **aterosclerose**), o que pode propiciar a ocorrência de tromboses, derrames, infartos etc.

Uma das explicações decorre do fato de as gorduras saturadas terem **cadeias lineares** (*vide* estrutura do ácido esteárico na página 371). A estrutura linear facilita o "empacotamento" das cadeias, como mostramos ao lado, levando à formação de fibras ou placas (os chamados **ateromas**), que se depositam nas artérias.

Empacotamento de cadeias lineares.

Pelo contrário, os óleos vegetais contêm predominantemente ácidos **insaturados** e na forma cis. Estas moléculas **não são lineares** (*vide* estrutura do ácido oleico na página 371), o que dificulta o empacotamento das cadeias, como mostrado ao lado.

A estrutura cis dificulta o empacotamento.

Aqui reside também a importância dada aos óleos contendo ω-3 (ômega-3) e ω-6 (ômega-6). Essas são designações dadas aos glicerídios com insaturações nos carbonos 3 ou 6 a partir da extremidade oposta à carboxila (o que não é recomendado pela Iupac):

$$\overset{1}{CH_3}-\overset{2}{CH_2}-\overset{3}{CH}=CH-CH_2\ldots\ldots\ldots\ldots COOH$$

dupla ligação no carbono 3 ⟶ ácido ômega-3

$$\overset{1}{CH_3}-\overset{2}{CH_2}-\overset{3}{CH_2}-\overset{4}{CH_2}-\overset{5}{CH_2}-\overset{6}{CH}=CH-CH_2\ldots\ldots\ldots\ldots COOH$$

dupla ligação no carbono 6 ⟶ ácido ômega-6

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Na época em que se iniciou a fabricação das margarinas (*vide* página 376), a hidrogenação dos óleos vegetais era feita de modo quase total. Chegava-se, então, a compostos de cadeias saturadas praticamente idênticos aos da gordura animal. Posteriormente, passou-se a fazer hidrogenações parciais, para conservar o benefício das cadeias **não lineares**.

Um novo problema sugiu quando se notou que, no aquecimento exigido para a hidrogenação de óleos, alguns deles passavam da forma cis para a forma trans. A forma trans volta a ter o problema do "empacotamento" mostrado abaixo. Atualmente, os processos de fabricação das gorduras artificiais são adequados para reduzir ou eliminar a presença de **gorduras trans** nos produtos alimentícios finais.

Empacotamento de estruturas trans.

FERNANDO FAVORETTO/CID

4 Cerídios

Cerídios, ou **céridos**, são **ésteres de ácidos graxos superiores com álcoois superiores**:

$C_{15}H_{31}—COOC_{26}H_{53}$	$C_{25}H_{51}—COOC_{15}H_{31}$	$C_{25}H_{51}—COOC_{25}H_{57}$
Palmitato de cerila (Cera de palmeira)	Cerotato de cetila (Cera de lã)	Um dos componentes da cera de abelha

Esses ésteres consituem as ceras. As ceras classificam-se em **ceras vegetais**, por exemplo, cera de carnaúba, e **ceras animais**, por exemplo, cera de abelhas (foto A).

As plantas, por exemplo, têm suas folhas revestidas de cera, evitando, assim, a evaporação excessiva da água. Os patos e outras aves aquáticas, por exemplo, impermeabilizam suas penas com gorduras. Desse modo, as penas não se encharcam de água, facilitando a flutuação desses animais (foto B).

Industrialmente, as ceras são usadas na fabricação de vernizes, graxas para sapato, velas, medicamentos etc.

S. LOBO PRODUCCIONES/CID

A cera de abelha é uma mistura de vários cerídios.

FABIO COLOMBINI

As penas das aves aquáticas, como as desta marreca, são impermeabilizadas com matéria gordurosa que impede que fiquem encharcadas, auxiliando na flutuação.

Questões Registre as respostas em seu caderno

a) Não é recomendada a ingestão das gorduras saturadas e gorduras trans, segundo teoria amplamente aceita pela Medicina. Por que isto ocorre e quais são as diferenças estruturais entre essas gorduras?

b) Compare as estruturas da tabela da página 370 do óleo de linhaça com o óleo de oliva e responda: qual deles se oxida mais rápido na presença do oxigênio? Por quê?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Pesquisa

Registre as respostas em seu caderno

Qual é a característica comum a todos os lipídios? Como os lipídios são extraídos de uma amostra biológica? O que é próprio dos lipídios que compõem a membrana celular? Quais funções importantes as gorduras desempenham em nosso organismo? O que são compostos *Fake Fats*?

Referências:
Lipídios: As biomoléculas hidrofóbicas
http://www.qmc.ufsc.br/qmcweb/artigos/lipidios/lipidios.html

Fake Fats: A química dos produtos *Fat FREE*!
http://www.qmc.ufsc.br/qmcweb/artigos/colaboracoes/marina_fat_free.html

Acessos em: abr. 2010.

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

9. (UCSal-BA) Um dos componentes da cera de abelha é a substância:

$$CH_3(CH_2)_{24} - \underset{\underset{O}{\|}}{C} - O - (CH_2)_{27} - CH_3$$

Essa substância, se for hidrolisada, formará:

a) dois ácidos carboxílicos.
b) um aldeído e um álcool.
c) uma cetona e um álcool.
d) um aldeído e um ácido carboxílico.
e) um álcool e um ácido carboxílico.

10. (PUC-MG) Os óleos vegetais são ésteres formados a partir de ácidos graxos insaturados. A margarina é um produto alimentar obtido pela hidrogenação desses óleos.

$$\text{Óleos vegetais} + H_2 \longrightarrow \text{Margarina}$$

É **incorreto** afirmar:

a) Ésteres são produtos de reação entre álcoois e ácidos e constituem o grupo funcional RCOOR'.
b) Ácidos graxos são ácidos carboxílicos, ou seja, compostos que apresentam um grupo carboxila —COOH.
c) A margarina apresenta maior número de insaturações que o óleo vegetal usado como matéria-prima para sua fabricação.
d) A hidrogenação é uma reação de adição de H_2 nas duplas ligações.

11. (Unicamp-SP) Fontes vegetais de lipídios contêm moléculas de ácidos graxos (ácidos carboxílicos poli-insaturados) que apresentam estrutura cis. O processo de hidrogenação parcial dessas gorduras, como por exemplo na fabricação de margarinas, pode conduzir à formação de isômeros trans, que não são desejáveis, visto que estes são suspeitos de elevarem o teor de colesterol no sangue

a) Dê a equação química que representa, genericamente, a hidrogenação de uma dupla ligação carbono-carbono $\left(> C = C < \right)$.

O ácido linoleico pode ser representado pela fórmula $C_{18}H_{32}O_2$.

b) Quantas duplas ligações $\left(> C = C < \right)$ contém uma molécula desse ácido? Justifique.

12. (UFSCar-SP) Óleos vegetais têm a seguinte fórmula geral

em que R_1, R_2 e R_3 são cadeias abertas de carbono e hidrogênio formadas, em geral, por de 13 a 17 átomos de carbono, que podem ser iguais ou diferentes, saturadas ou insaturadas, com predominância das insaturadas com até três insaturações. A partir desses óleos, podem ser obtidos diversos produtos de interesse industrial e tecnológico. Como exemplos, considere os seguintes processos:

I. Hidrogenação parcial, catalisada por Ni metálico, formando o produto *X*.
II. Reação com NaOH, formando glicerol e o produto *Y*.
III. Reação com C_2H_5OH, catalisada por KOH, formando glicerol e o produto *Z*.

É correto afirmar que os produtos *X*, *Y* e *Z* correspondem, respectivamente, a:

a) banha vegetal, detergente e sabão.
b) manteiga, sabão e banha vegetal.
c) margarina, sabão e biodiesel.
d) biodiesel, banha vegetal e gasolina sintética.
e) gasolina sintética, sabão e banha vegetal.

13. (UFRGS-RS) Um óleo de massa molar 900 g/mol, obtido pela combinação de glicerol com um ácido graxo, apresenta a fórmula estrutural representada ao lado.

Sabendo que o ácido graxo que originou *R* é monoinsaturado, a massa, em gramas, de hidrogênio necessária para transformar 12 kg desse óleo em gordura saturada é:

a) 0,04
b) 13
c) 40
d) 80
e) 1.800

(**Dados:** massas molares, em g/mol: H = 1; C = 12; O = 16.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exercícios complementares

Registre as respostas em seu caderno

14. (UFPel-RS)

Ultimamente, o homem, preocupado em preservar sua saúde, procura alimentos que, além de fornecerem os nutrientes necessários à sua manutenção, possam prevenir doenças.

Dentre as várias opções existentes, encontramos os compostos com ômega-3, que são ácidos graxos poli-insaturados, encontrados em animais marinhos, que ajudam a controlar os níveis de colesterol e de triglicerídios (acilgliceróis), evitando ou minimizando problemas cardíacos.

TOM HILL/ALAMY/OTHER IMAGES

O salmão é rico em ômega-3.

Observe a estrutura do acilglicerol abaixo e responda:

a) Ao sofrer hidrólise, o composto acima forma três estruturas. Qual é o nome, segundo a Iupac (União Internacional de Química Pura e Aplicada), do álcool e do ácido graxo saturado formados?

b) Diga o nome dos grupos funcionais das estruturas formadas pela hidrólise do acilglicerol.

(PUC-Campinas-SP) Para responder às duas questões seguintes, considere o texto abaixo:

Óleos e gorduras, em presença de lipase (catalisador), sofrem hidrólise, produzindo glicerol e ácidos carboxílicos de elevada massa molecular. Um desses ácidos pode ser o ácido oleico:

$(C_{18}H_{34}O_2)$

Óleos e gorduras, contendo ácido oleico trans elevam o mau colesterol (LDL) e aumentam riscos de doenças cardíacas. O consumo máximo diário de gordura trans recomendado pela OMS (Organização Mundial de Saúde) é de dois gramas.

(*Folha de S.Paulo*. Cotidiano. C1. 14/10/2006)

15. Nas fórmulas a seguir, identifique qual corresponde ao ácido oleico trans:

a)

b)

c)

d)

e) $CH_3(CH_2)_{14}CH = CH - COOH$

16. A oxidação adequada do ácido oleico, ocorrendo somente a quebra da insaturação, poderá produzir todos os compostos indicados abaixo, **exceto**:

a) $CH_3(CH_2)_7COOH$.
b) $CH_3(CH_2)_7CHO$.
c) $HOOC(CH_2)_7COOH$.
d) $CH_3(CH_2)_7CH_2OH$.
e) $OHC(CH_2)_7COOH$.

17. (Mackenzie-SP) A manteiga rançosa apresenta odor e sabor alterados, devido à presença de ácido butanoico, não podendo assim ser comercializada. Para torná-la aproveitável, o ranço é eliminado, tratando-se a manteiga com bicarbonato de sódio.

A partir do texto acima, fazem-se as afirmações:

I. são citados os nomes de duas substâncias compostas.
II. o ácido butanoico é representado pela fórmula estrutural .
III. o bicarbonato de sódio neutraliza a substância que rancifica a manteiga.
IV. esterificação é o nome da reação entre o ácido butanoico e o bicarbonato de sódio.

Estão corretas:

a) I, II, III e IV.
b) I, II e III somente.
c) I e IV somente.
d) I, II e IV somente.
e) I e III somente.

18. (UFMG) Um dos componentes da cera de abelhas é a substância *A*, representada pela fórmula estrutural:

$$\underset{\textbf{A}}{CH_3\,(CH_2)_{23}CH_2COOCH_2(CH_2)_{26}CH_3}$$

Essa substância, quando hidrolisada, forma dois produtos, *B* e *C*:

$$\textbf{A} + H_2O \longrightarrow \textbf{B} + \textbf{C}$$

Considerando essas informações, faça o que se pede.

1. Represente as fórmulas estruturais das substâncias *B* e *C*.
2. Identifique, por **nome** ou **estrutura**, o grupo funcional presente em cada espécie — *A*, *B* e *C*.
3. Identifique o **nome** da função orgânica a que pertence cada espécie — *A*, *B* e *C*.
4. Uma das substâncias produzidas pode ser identificada pela reação com bicarbonato de sódio, com produção de gás carbônico e outros produtos. Dê a equação química balanceada dessa reação.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

5 Química da limpeza: sabões e detergentes

5.1. Fabricação dos sabões

Segundo alguns historiadores, a **reação de saponificação** já era praticada pelos fenícios e pelos romanos na Antiguidade. Eles aqueciam gordura de cabra com cinzas vegetais, que contêm Na_2CO_3 e K_2CO_3. O uso do sabão, contudo, só se intensificou no século XIX, com a descoberta dos micróbios, que fortaleceu a preocupação com a higiene pessoal.

No começo do século XX, era comum a fabricação caseira de sabão pelo aquecimento, em panelas de ferro, de sebo ou gordura de boi ou de porco com solução concentrada de soda cáustica (NaOH). Para facilitar a reação de saponificação, era usado excesso de soda, que produzia um sabão final com forte caráter básico, que podia corroer gradativamente as mãos das lavadeiras.

EDUARDO SANTALIESTRA/CID

Sabões e detergentes têm largo emprego nas limpezas domésticas e industriais.

Atualmente, o sabão é obtido de **gorduras** (de boi, porco, carneiro etc.) ou de **óleos** (de algodão, vários tipos de palmeiras etc.). A hidrólise do glicerídio pode, inclusive, ser feita apenas com água, em autoclaves a temperaturas elevadas, o que facilita o aproveitamento da glicerina:

$$\underbrace{\begin{array}{l} CH_2-O-CO-R \\ | \\ CH-O-CO-R \\ | \\ CH_2-O-CO-R \end{array}}_{\text{Glicerídio}} + 3\,H_2O \longrightarrow \underbrace{\begin{array}{l} CH_2OH \\ | \\ CHOH \\ | \\ CH_2OH \end{array}}_{\text{Glicerina}} + \underbrace{3\,R-COOH}_{\text{Ácido graxo}}$$

O ácido graxo será, então, neutralizado por:

- NaOH ou Na_2CO_3, dando $R-COONa$ (sabões de sódio, em geral mais duros);
- KOH ou K_2CO_3, dando $R-COOK$ (sabões de potássio, mais moles e usados, por exemplo, em cremes de barbear);
- hidróxidos de etanolamina, como, por exemplo, $(HO-CH_2-CH_2)_3NHOH$, dando $R-COONH(CH_2-CH_2-OH)_3$ (sabões de amônio, que são, em geral, líquidos e usados, por exemplo, em xampus).

Podemos, pois, dizer que:

> Sabões são misturas de sais de ácidos graxos.

De qualquer forma, o sabão mais comum é o de sódio. O sabão de sódio praticamente neutro, que contém glicerina, óleos, perfumes e corantes, é o **sabonete**.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O esquema a seguir nos dá a ideia de como são fabricados os **sabões** e os **sabonetes**.

ADILSON SECCO

5.2. Como o sabão limpa?

A água tem tensão superficial elevada, decorrente da atração (pontes de hidrogênio) entre as moléculas de sua superfície. Essa tensão superficial é responsável pela flutuação de pequenos objetos (agulha, lâmina de barbear, folhas etc.) e possibilita, inclusive, que pequenos insetos andem sobre a água.

ADILSON SECCO

A elevada tensão superficial da água ocorre devido à forte atração entre as moléculas de sua superfície.

GABOR NEMESKINO

A lâmina de barbear flutua na água em virtude da elevada tensão superficial desse líquido.

BLICKWINKEL/ALAMY/OTHER IMAGES

Enquanto o percevejo aquático mantém-se sobre a água, as pernas do animal deformam a película superficial da água.

Os sabões são formados por moléculas que possuem uma cadeia carbônica longa, **apolar** e, portanto, **solúvel em gorduras** e também pelo grupo carboxílico ($—COO^-$), que é **polar** e, portanto, **solúvel em água**:

Esquematicamente, o sabão pode ser representado por —⊖.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O sabão remove a gordura porque a sua parte apolar atrai a gordura (e fica espetada nela), possibilitando a formação e a solubilização de gotículas de gordura na água, como mostramos na figura abaixo:

ADILSON SECCO

(Representação esquemática sem escala; cores-fantasia.)

Os sabões são chamados, então, de substâncias:

- **tensoativas**, porque diminuem a tensão superficial da água;
- **emulsificantes** ou **surfactantes**, porque promovem a aglomeração da gordura em pequenas gotículas.

5.3. Quando o sabão falha?

O sabão tem, sobre os detergentes, as seguintes vantagens: é mais barato, atóxico, fabricado a partir de matérias-primas renováveis (óleos e gorduras) e **biodegradável**, ou seja, consumido e destruído pelos micro-organismos existentes na água, que, desse modo, não fica poluída. O sabão só apresenta problemas em dois casos principais:

1º caso: Quando a água utilizada tem caráter ácido, pois:

$$R-COONa + H^+ \longrightarrow \underbrace{R-COOH}_{\text{Ácido graxo}} + Na^+$$

Essa reação libera o ácido graxo, que forma a gordura observada em tanques, pias e banheiras.

2º caso: Quando a água usada é dura, isto é, contém cátions metálicos, especialmente Ca^{2+} e Mg^{2+}, pois:

$$2\,R-COONa + Ca^{2+} \longrightarrow \underbrace{(R-COO)_2Ca_{\downarrow}}_{\text{Sal de cálcio}} + 2\,Na^+$$

Os sais de cálcio e/ou magnésio dos ácidos graxos são insolúveis e formam crostas nos tanques, nas pias e nas banheiras.

5.4. A vez dos detergentes

Os inconvenientes que acabamos de expor foram, entretanto, superados em parte pelos **detergentes**.

O que são detergentes? Os mais comuns são sais de sódio de sulfatos de alquilas de cadeia longa ou de ácidos sulfônicos também de cadeia longa. Por exemplo:

$$CH_3-(CH_2)_{11}-OSO_3^{\ominus}\ Na^{\oplus}$$

Lauril-sulfato de sódio
(É um sulfato misto de alquila e de sódio)

p-dodecil-sulfonato de sódio
(É um sulfonato de sódio)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Esse tipo de detergente é chamado de **detergente aniônico**, pois a parte orgânica está situada no **ânion** do composto.

Existem também os **detergentes catiônicos**, em que a situação se inverte, como, por exemplo:

Brometo de dimetil-etil-hexadecil-amônio

Veja que, agora, a parte orgânica é o **cátion** do composto (evidentemente, os detergentes catiônicos e aniônicos são incompatíveis entre si, pois, quando misturados, reagem dando um precipitado). Os detergentes catiônicos são mais usados no tratamento de tecidos.

Os detergentes são produtos sintéticos, resultantes da indústria petroquímica. Eles começaram a ser usados intensamente a partir da Segunda Guerra Mundial, quando houve escassez de óleos e gorduras para a fabricação dos sabões comuns. Desde então os detergentes vêm substituindo os sabões nos mercados mundiais. Além dos clássicos sabões e detergentes, foram desenvolvidos diversos outros produtos de limpeza que movimentaram mais de 125 bilhões de dólares em 2008. Nesse ano, o Brasil era o terceiro consumidor do mundo (veja a tabela a seguir).

Entre 2006 e 2008, o consumo de sabão no Brasil caiu 15%, enquanto o consumo de detergente aumentou 4% (veja o gráfico a seguir).

Mercado de limpeza doméstica — 2008 (US$ milhões)	
Mercado mundial	125.147,5
Estados Unidos	19.822,0
Japão	8.671,0
Brasil	7.454,2
China	7.296,5
Alemanha	6.062,6
Itália	5.702,8
Reino Unido	5.633,2

Fontes: Euromonitor Market Sizes. Retail Value RSP.

ADILSON SECCO

Fonte: Abipla — Associação Brasileira das Indústrias de Produtos de Limpeza e Afins

Os detergentes agem, na limpeza, de modo semelhante aos sabões, pois também apresentam uma cadeia orgânica longa (solúvel em gordura) e uma parte iônica (solúvel em água) conforme o esquema seguinte.

Normalmente, os detergentes comercializados são misturas que contêm, além do próprio detergente: **fosfatos** ($Na_5P_3O_{10}$), que neutralizam a água; **bórax** ($Na_2B_4O_7 \cdot 10\ H_2O$), que tira odores; **descorantes** ($NaC\ell O$), que tiram as manchas; **enzimas**, para eliminar manchas gordurosas; **perfumes** etc.

E quais são as desvantagens dos detergentes? Até alguns anos atrás, eles eram fabricados com compostos orgânicos de **cadeia ramificada**, como, por exemplo:

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Essas substâncias **não são biodegradáveis**, isto é, não são consumidas pelos micro-organismos existentes na água. Consequentemente, os detergentes iam se acumulando nos rios e lagos, causando uma enorme poluição e formando verdadeiras montanhas de espuma, que impediam a entrada de oxigênio do ar na água, resultando na morte de peixes e plantas aquáticas.

FABIO COLOMBINI

Os detergentes não biodegradáveis formam muita espuma nos rios, prejudicando plantas e peixes. (Rio Tietê, Pirapora do Bom Jesus, SP, 2006.)

Posteriormente, passou-se a usar **detergentes biodegradáveis**, que não apresentam esses inconvenientes e são formados por compostos orgânicos de cadeia linear:

Outro problema é o causado pelos fosfatos existentes na formulação dos detergentes. Como sabemos, os fosfatos são adubos ou fertilizantes das plantas e, quando atingem as águas dos rios e lagos, acabam provocando um crescimento exagerado de certas algas e plantas aquáticas (eutroficação ou eutrofização), que consomem boa parte do gás oxigênio da água. Isso acaba por impedir a existência de outras formas de vida, inclusive a dos peixes. Atualmente, os fosfatos estão sendo substituídos, ao menos em parte, por carbonato de sódio, silicato de sódio, citrato de sódio e outras substâncias menos nocivas.

5.5. Os problemas ambientais

A água que consumimos é um bem precioso. Para acreditar nisso, basta pensar nas pessoas que vivem em regiões desérticas. Nas grandes cidades, a água sofre um tratamento complicado antes de chegar às casas, e frequentemente nós a desperdiçamos sem maiores cuidados. Além disso, é comum também poluirmos a água mais do que deveríamos, sem nos lembrarmos de que essa mesma água retornará, pelos esgotos, aos rios que servirão a outras populações. (Segundo a FAO – Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação, 1,1 bilhão de pessoas não tiveram acesso adequado à água em 2007.) Os sabões, os detergentes e os demais produtos de limpeza e de higiene podem agravar a poluição das águas.

Por todos esses motivos:

- use somente produtos biodegradáveis;
- não use, se possível, produtos que contenham substâncias muito tóxicas (soda cáustica, cloro etc.);
- não use produtos em excesso (lembre-se, por exemplo, de que provavelmente com a metade do creme dental que você está habituado a usar, o efeito final será exatamente o mesmo);
- acostume-se a ler os rótulos dos produtos, pois assim você aprenderá a maneira correta de usá-los, evitando desperdícios;
- não se deixe seduzir por propagandas que possam levá-lo a adquirir produtos desnecessários (talvez você possa perfeitamente viver, por exemplo, sem xampus para lavar carros).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Questões

Registre as respostas em seu caderno

Observe os compostos *A*, *B*, *C* e *D* a seguir:

A:

B:

C:

D:

a) Identifique o sabão.

b) Identifique os detergentes aniônicos.

c) Identifique o detergente catiônico.

d) Quais deles são biodegradáveis?

e) Qual deles, em contato com água dura, formará precipitado?

Atividades práticas

Registre as respostas em seu caderno

ATENÇÃO

- **Para evitar acidentes, o material marcado com asterisco (*) deve ser preparado em solução adequada e MANUSEADO EXCLUSIVAMENTE PELO PROFESSOR, pois ele é corrosivo, causa queimadura e irrita a pele e os olhos.**
- **Nenhum dos reagentes deve entrar em contato com a pele, com a boca e com os olhos, nem deve ser aproximado do nariz.**
- **Óculos e luvas de segurança, assim como aventais protetores, são obrigatórios.**

Fabricando sabão

Material

- óleo de cozinha
- solução concentrada de NaOH* (**CUIDADO: MATERIAL CORROSIVO**)
- chama de um fogão
- 1 panela para banho-maria
- 1 proveta de 50 mL
- 1 béquer de 250 mL
- 1 bastão de vidro ou 1 espátula plástica
- NaCℓ(s)
- papel toalha

Procedimento

- Coloque 20 mL de óleo de cozinha e 20 mL de solução concentrada de hidróxido de sódio no béquer e aqueça o sistema em banho-maria por 30 minutos, agitando-o frequentemente.
- A seguir, retire o béquer do banho-maria com cuidado e deixe-o esfriar.
- Adicione uma colher de sopa cheia de cloreto de sódio e agite bem.
- Deixe em repouso por 10 minutos e separe o sólido formado.
- Seque a massa formada, embrulhando-a em papel toalha.

Perguntas

a) Qual é a função do cloreto de sódio no processo?

b) Qual o produto, além do sabão, que é formado no processo?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

19. (F. C. Médicas P. Alegre-RS) Sabões e detergentes são produtos amplamente utilizados em processos de limpeza industrial e residencial. A estrutura química desses produtos apresenta uma parte hidrofílica e uma hidrofóbica. A substância que melhor se enquadra nessa definição é:

a)

b)

c)

d)

e)

20. (UFRGS-RS) Industrialmente, a hidrólise alcalina de um triéster de ácidos graxos e glicerol é utilizada para a obtenção de sais de ácidos graxos (sabões).
A produção de sabão caseiro é bastante comum em localidades do interior. Para tanto, os reagentes utilizados na indústria podem ser substituídos por reagentes caseiros, tais como:

a) suco de limão e restos de comida.
b) banha de porco e cinzas de carvão vegetal.
c) cera de abelha e gordura de coco.
d) gordura animal e farinha de milho.
e) soda cáustica e proteína animal.

21. (U. F. Santa Maria-RS) Os compostos ativos da maioria dos detergentes e sabões em pó são os alquil-benzeno-sulfonatos de sódio, cuja obtenção pode ser ilustrada pelas equações

No quadro, a proposição **correta** é a seguinte:

	Etapa I	Produto	Justificativa
a)	sulfonação	*p* - substituído	O grupo SO_3 é orto-para-dirigente.
b)	sulfonação	*o* - substituído	O grupo SO_3 é desativante.
c)	sulfonação	*p* - substituído	O grupo CH_3 é orto-para-dirigente.
d)	adição	*o* - substituído	O grupo CH_3 é ativante.
e)	adição	*p* - substituído	O grupo CH_3 é ativante.

22. (Uece) Os detergentes que usam na sua formulação:

são classificados como:

a) catiônicos, pois a parte orgânica está situada no ânion do composto.
b) aniônicos, pois a parte orgânica está situada no ânion do composto.
c) catiônicos, pois a parte orgânica está situada no cátion do composto.
d) aniônicos, pois a parte orgânica está situada no cátion do composto.

23. (UFPI) Os sabões, ainda hoje bastante utilizados como produto de higiene e limpeza, são obtidos pela saponificação de gorduras (glicerídios) através de reação irreversível, conforme mostrado abaixo. Um dos problemas (falha na limpeza) apresentados pelos sabões acontece quando a água utilizada no processo de limpeza tem caráter ácido.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Entre as alternativas abaixo, é correto afirmar que o ácido presente na água reage com o sabão e ocasiona:

a) alcalinização do sabão.
b) liberação de ácido graxo.
c) formação de sais de ácido graxo.
d) oxidação do sabão.
e) conversão do sabão em glicerina.

24. (Unicamp-SP) O sabão, apesar de sua indiscutível utilidade, apresenta o inconveniente de precipitar o respectivo sal orgânico insolúvel em água que contenha íons cálcio dissolvidos. Em época recente, foram desenvolvidos os detergentes, conhecidos genericamente como alquilsulfônicos, solúveis em água e que não precipitam na presença de íons cálcio.

a) Dê o símbolo e o nome do elemento químico que aparece na fórmula de um detergente alquilsulfônico e que não aparece na fórmula de um sabão.
b) Considerando que a fórmula de um certo detergente alquilsulfônico é $C_{12}H_{25}O_4XNa$, cuja massa molar é 288 g/mol, calcule a massa molar do elemento *X*.

(**Dados:** massas molares em g/mol: H = 1; C = 12; O = 16; Na = 23.)

25. (Unirio-RJ) Os detergentes biodegradáveis se diferenciam dos detergentes não biodegradáveis pela natureza da cadeia hidrocarbônica ***R*** presente. Em ambos os produtos, o tamanho médio da cadeia é de 12 átomos de carbono, porém, enquanto os detergentes biodegradáveis possuem cadeia linear, os detergentes não biodegradáveis apresentam cadeias ramificadas.

Fórmula geral de detergentes

Qual a opção de **R** faz com que o composto acima tenha o mesmo tipo de cadeia presente em um detergente não biodegradável:

a) dodecano.
b) butano.
c) etano.
d) benzeno.
e) 2,4,6-trimetil-nonano.

26. (UFSCar-SP) No dia a dia, estamos em contato com diferentes tipos de substâncias químicas, como vinagre, produtos de limpeza pesada à base de amoníaco, água sanitária, lava-louças. Esses produtos são exemplos, respectivamente, de:

a) base, ácido, oxidante (desinfetante) e detergente.
b) ácido, base, oxidante (desinfetante) e detergente.
c) detergente, ácido, base e oxidante (desinfetante).
d) ácido, base, detergente e oxidante (desinfetante).
e) oxidante (desinfetante), ácido, base e detergente.

27. (UEL-PR) A limpeza dos pratos, após as refeições, é feita com substâncias denominadas surfatantes. Essas substâncias, que aumentam a solubilidade de uma substância em outra, apresentam, em suas moléculas, uma parte polar e outra parte apolar e interagem com moléculas polares ou apolares. Os sabões e os surfatantes possibilitam que substâncias não polares, como óleos e graxas, solubilizem-se e sejam removidas pela água. A diferença entre o sabão e o surfatante comum é que o primeiro é um sal derivado de um ácido graxo e o segundo é derivado do ácido sulfônico.

Com base no texto e nos conhecimentos sobre o tema, considere as afirmativas a seguir.

I. A fórmula molecular de um sabão é $CH_3(CH_2)_{14}COONa$. No processo de limpeza, a parte do sabão que se liga à água é $CH_3(CH_2)_{14}-$.

II. O ânion [*R* $SO_3]^-$ pode ser um constituinte do surfatante.

III. A tensão superficial da água é aumentada pela adição de um surfatante.

IV. O estearato de sódio, sal típico do sabão, é o produto da reação de hidrólise de um éster em meio básico.

Estão corretas apenas as afirmativas:

a) I e II.
b) II e IV.
c) III e IV.
d) I, II e III.
e) I, III e IV.

28. (UnB-DF) O colesterol, um resíduo do metabolismo das gorduras, possui a estrutura abaixo.

Colesterol

Analise-a e julgue os itens.

1. O colesterol é um lipídio.
2. É um composto homocíclico insaturado.
3. Pertence à função álcool.
4. Apresenta em sua estrutura pelo menos um anel aromático.
5. Apresenta caráter ácido mais acentuado que os ácidos carboxílicos de igual número de carbonos.
6. Pode formar pontes de hidrogênio com outras moléculas do mesmo composto, devido à presença de OH.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exercícios complementares

Registre as respostas em seu caderno

29. (UFV-MG) O principal componente de um sabão pode ser representado por:

$$R - COO^- \ Na^+$$

A ação da "limpeza" de um sabão sobre as gorduras deve-se:

a) ao baixo ponto de fusão das gorduras, que facilita sua reação com o sabão.
b) à alta polaridade do grupo carboxílico, que o torna solúvel em água, e à baixa polaridade da cadeia carbônica, que o torna solúvel nas gorduras.
c) à reação entre o grupo carboxílico e a gordura, formando um éster solúvel em água.
d) à insolubilidade das gorduras no sabão em razão de sua elevada massa molecular.
e) à degradação das gorduras através de reação com as moléculas de sabão, formando substâncias solúveis em água.

30. (Unesp) A queima da matéria orgânica, como nas queimadas que antecedem a colheita da cana-de-açúcar, é normalmente entendida, de maneira simplificada, como a combustão de açúcares, produzindo CO_2 e H_2O. Entretanto, sabe-se que se formam outros compostos, uma vez que a cana-de-açúcar não é constituída apenas de C, H e O. Por exemplo, o potássio (K, grupo 1 da classificação periódica) forma um composto com o oxigênio (grupo 16 da classificação periódica), que permanece como resíduo sólido nas cinzas.

a) Forneça a equação para a reação do composto de potássio presente no resíduo sólido (cinzas) com a água e faça uma estimativa para o pH da solução resultante.
b) Forneça a equação química apropriada que justifica o uso de cinzas, misturadas à gordura animal, para a obtenção de sabão. Como gordura animal, considere a triestearina ($C_{57}H_{110}O_6$), cuja representação simplificada para a fórmula estrutural é

31. (UFG-GO) Na formulação de alguns agentes de limpeza, encontram-se, além do detergente, ácidos fluorídrico e clorídrico diluídos. O detergente utilizado nessa formulação pode ser representado por:

a) $CH_3 - (CH_2)_{11} - OSO_3^- \ Na^+$

b)

c)

d) $C_{12}H_{15}$

$SO_3^- \ Na^+$

e) $CH_3 - (CH_2)_{11} - COO^- \ Na^+$

32. (UFF-RJ) Os tira-manchas, vendidos nos mercados, agem ou por fenômeno de solubilidade ou por reações químicas, em particular reações redox. As manchas de materiais gordurosos são, em geral, removidas por tetracloroetileno. As de ferrugem envolvem reações do óxido de ferro (III) com o ácido ascórbico e as de sangue são removidas com soluções que contêm o hipoclorito de sódio.

Com base no texto acima, podemos afirmar que os fenômenos sofridos pelos constituintes das manchas em questão são, respectivamente:

a) saponificação, solubilização, oxidação.
b) precipitação, saponificação, oxidação.
c) oxidação, precipitação, solubilização.
d) solubilização, oxidação, redução.
e) solubilização, redução, oxidação.

33. (UFMT) O sal $H_3C - (CH_2)_9 - CH$

$- SO_3^- \ Na^+$ é um dos constituintes de detergentes. Sua biodegradação é representada por:

$$2 \ C_{18}H_{29}SO_3Na + 51 \ O_2 \longrightarrow 36 \ CO_2 + 28 \ H_2O + H_2SO_4 + Na_2SO_4$$

a) Calcular a massa de O_2 necessária para biodegradar 10,0 g desse sal.
b) Explicar a ação de limpeza desse sal.

(**Dados:** massas molares: sal = 348 g/mol; oxigênio = 32 g/mol.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

LEITURA

A QUÍMICA DA BELEZA

Os produtos de beleza são usados desde a mais remota Antiguidade. Por exemplo, os reis do antigo Egito eram enterrados com vasos contendo perfumes e unguentos.

Atualmente, bilhões de dólares são movimentados anualmente por indústrias que produzem uma quantidade enorme de produtos para a higiene pessoal e para o cuidado da pele, dos cabelos etc.

Vamos rapidamente mencionar alguns desses produtos:

- **cremes dentais** contêm, em geral, **detergente** (por exemplo, dodecil-sulfato de sódio: $CH_3(CH_2)_{11}OSO_3Na$) e um **abrasivo** (por exemplo, $CaCO_3$ ou $CaHPO_4$), além de glicerina, goma de celulose, fluoretos (por exemplo, SnF_2), sabor artificial etc.;
- **perfumes** são representados por substâncias as mais diversas; por exemplo:

WERNER FORMAN/KG/LATINSTOCK

Caixa com potes de cosméticos e fragrâncias da 18ª Dinastia (Reinado de Amenhotep III, no século XIV a. C.) encontrada na tumba de Merit, esposa do mestre-construtor Kha, em Dayral-Madinah, Tebas, Egito. (Coleção do Museu Egípcio de Turim, Itália.)

Geraniol
(Aroma de rosa)

Jasmona
(Aroma de jasmim)

- **xampus para cabelo** contêm, em geral: detergente; álcool oleico, que age como condicionador; alginato de sódio, que age como espessador; álcool comum; perfumes etc.;
- **cremes para a pele** contêm cera de abelha, óleo de amêndoas, óleos minerais, vaselina, lecitina, lanolina, perfume etc.;
- **pós faciais** contêm talco, $CaCO_3$, ZnO, perfumes, corantes etc.;
- **protetores solares** contêm ZnO, TiO_2, *p*-benzofenona, ácido *p*-amino-benzoico (PABA) etc.;
- **batons** contêm cera de abelha, cera de carnaúba, óleo de gergelim, álcool cetílico ($C_{16}H_{33}OH$), silicones, corantes, perfumes etc.;
- **desodorantes** contêm, fundamentalmente, $A\ell Cl_3 \cdot 6\ H_2O$, além de perfume, álcool etc.

Questões sobre a leitura

Registre as respostas em seu caderno

34. Os produtos de beleza são invenções da Química Moderna?

35. Cite três componentes dos protetores solares.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO

16 Aminoácidos e proteínas

As **proteínas** são o terceiro grupo de biomoléculas tratadas nesta obra. Formadas por aminoácidos, são responsáveis pela estrutura física e funcional do organismo humano. Estão presentes nos ossos, nos cabelos, nas unhas, no DNA, na hemoglobina e nos glóbulos brancos. Além disso, as proteínas fornecem energia ao organismo humano.

TÓPICOS DO CAPÍTULO

1 INTRODUÇÃO
2 CONCEITO DE AMINOÁCIDO
3 CLASSIFICAÇÕES DOS AMINOÁCIDOS
4 REAÇÕES DOS AMINOÁCIDOS
5 CONCEITO DE PROTEÍNA
6 CLASSIFICAÇÕES DAS PROTEÍNAS
7 ESTRUTURA DAS PROTEÍNAS
8 HIDRÓLISE DAS PROTEÍNAS
9 ENZIMAS
10 ALIMENTAÇÃO HUMANA

LEITURA: *A FOME E O DESPERDÍCIO DE ALIMENTOS*

Devolvendo as picadas

Aproximadamente um quinto da humanidade rejeita uma das mais abundantes e sustentáveis fontes de proteínas que existem: insetos.

Como alimentar a humanidade de forma saudável e ainda preservar o meio ambiente? A Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), apoiada por cientistas e *gourmets*, responde: pela **entomofagia**, ou seja, comendo insetos.

Cardápio

Menu internacional
Muita gente que adora saborear camarões e lagostas acha repugnante a ideia de comer outros invertebrados. Essas pessoas perdem a oportunidade de conhecer pratos adorados por *gourmets* do mundo todo.

FABIO COLOMBINI

Escargot
Esse molusco é saboreado especialmente na França, onde seu consumo *per capita* é de 1 kg/hab./ano. Os fãs desse caramujo estão na Alemanha, na Itália e em outros países, e a carne de *escargot* empanada e frita é um petisco muito apreciado na Espanha e em Portugal.

FABIO COLOMBINI

Bicho-da-seda
No Japão e na China, biscoito com larvas do bicho-da-seda é uma iguaria finíssima.

HAROLDO PALO JR./KINO

Gafanhoto
Esses insetos são os mais populares nas refeições entomofágicas. Cozidos, assados, fritos, eles são muito apreciados na África, na Ásia e na América Latina. Seu sabor é comparado ao do camarão.

FABIO COLOMBINI

Cupim
Cupim refogado ao molho *curry* é um prato muito apreciado em algumas regiões da Índia. Na África é mais comum consumi-los torrados.

A farofa de formiga içá é umedecida com a gordura que o inseto solta ao ser refogado. Essa farofa é uma especialidade da culinária cabocla, preparada em vários estados brasileiros.

REFLETINDO

Calcula-se que no corpo humano existam de 100 mil a 200 mil proteínas distintas, todas formadas por apenas vinte aminoácidos presentes nos seres vivos.
Explique a razão de alguns aminoácidos serem chamados **essenciais**.

1 Introdução

Os glicídios (açúcares e carboidratos em geral), os lipídios (óleos e gorduras) e as proteínas formam os três grandes grupos de macromoléculas naturais, de muita importância biológica.

As **proteínas são cadeias de aminoácidos** e representam uma classe muito grande e diversificada de substâncias. Nossa alimentação deve incluir proteínas, que são encontradas na carne, no peixe, no ovo, na manteiga, no queijo, no frango, no leite, entre outros. Em nosso organismo, as proteínas dos alimentos são transformadas em cerca de 100 mil proteínas dos mais diversos tipos. Se considerarmos que a composição média do organismo humano, em massa, é 68% de água, 15% de proteínas, 10% de lipídios, 5% de carboidratos e 2% de outras substâncias, perceberemos que as proteínas representam o grupo mais numeroso de substâncias orgânicas presentes em nosso organismo.

EDUARDO SANTALIESTRA/CID

Alguns alimentos ricos em proteínas.

As proteínas são também importantes nos outros animais, pois participam da formação da pele, da lã, das penas, dos pelos, dos cascos, dos chifres, entre outros. Casos específicos e interessantes são, por exemplo, as proteínas que participam da formação do casulo do bicho-da-seda e da teia de aranha.

2 Conceito de aminoácido

Aminoácidos são compostos que apresentam funções **amina** (—NH_2) e **ácido carboxílico** (—COOH):

Ácido α-amino-acético (glicina) | Ácido α-amino-propiônico (alanina) | Ácido β-amino-butírico (ácido 3-amino-butanoico)

Como detalharemos mais adiante, os aminoácidos são importantes porque formam as **proteínas**, substâncias indispensáveis às células vivas. É interessante notar que as proteínas, vegetais ou animais, embora existam em grande número, são formadas pela união de poucos aminoácidos diferentes (há apenas cerca de vinte aminoácidos naturais), todos com o **grupo amina em posição** α e muitos apresentando também outras funções na molécula, como a de **álcool** (— OH), a de tioálcool (— SH) etc. Note, também, que os **aminoácidos naturais**, com exceção da glicina, **são opticamente ativos**, e na natureza **predominam os isômeros levogiros**.

ALFRED PASIEKA/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

Cristais do aminoácido fenilalanina vistos ao microscópio de luz polarizada. (Imagem colorizada artificialmente, aumento de cerca de 50 vezes).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

3 Classificações dos aminoácidos

3.1. De acordo com o número de grupos — NH_2 e — COOH

a) Monoamino-monocarboxílico:

Alanina

b) Monoamino-dicarboxílico:

Ácido aspártico

c) Diamino-monocarboxílico:

Lisina

3.2. De acordo com a cadeia carbônica

a) Aminoácidos alifáticos:

Cisteína

b) Aminoácidos aromáticos:

Fenilalanina

c) Aminoácidos heterocíclicos:

Prolina

Triptofano

3.3. De acordo com a síntese pelo organismo/aminoácidos essenciais

Os seres vivos sintetizam aminoácidos. Os mamíferos, no entanto – dentre eles, os seres humanos –, **não podem sintetizar alguns aminoácidos**, denominados, então, **aminoácidos essenciais** ou **indispensáveis; estes devem ser, obrigatoriamente, ingeridos** por meio dos alimentos, caso contrário, o organismo definha e morre. Para os seres humanos, existem **oito aminoácidos essenciais**: valina, leucina, isoleucina, lisina, treonina, metionina, fenilalanina e triptofano.

Os demais aminoácidos de que necessitamos são sintetizados pelo nosso próprio organismo – daí o nome **aminoácidos não essenciais** ou **dispensáveis**.

Os α-aminoácidos têm também funções específicas no organismo. Por exemplo:

- a fenilalanina é precursora da tirosina e da melanina (pigmento da pele e dos cabelos);
- o triptofano é precursor da vitamina B_5 e da serotonina (neurotransmissor).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

4 Reações dos aminoácidos

4.1. Caráter ácido-básico

Um aminoácido possui o grupo amina, **que é básico**, e o grupo carboxila, **que é ácido**. Portanto, podemos dizer que um aminoácido tem **caráter anfótero**:

Como primeira consequência, o aminoácido pode reagir "consigo mesmo" formando um **sal interno** ou **íon dipolar** ou **zwitterion**. Acompanhe a reação abaixo, que segue o conceito de ácidos e bases de Brönsted-Lowry:

Essa reação dá ao aminoácido, em solução aquosa, um **caráter neutro**. No entanto, é possível perceber que, **havendo dois grupos amina, predominará o caráter básico** e, **havendo dois grupos carboxila, predominará o caráter ácido**.

Além disso, em **soluções ácidas**, o aminoácido comporta-se como **base**, dando origem a um **íon positivo**:

E, em **soluções básicas**, o aminoácido comporta-se como um **ácido**, dando origem a um **íon negativo**:

Generalizando, podemos dizer que, **variando a acidez ou a basicidade (isto é, o pH) da solução, podemos transformar um aminoácido de íon positivo em negativo ou vice-versa**. Esse fato faz com que o aminoácido tenha um comportamento interessante diante de um campo elétrico – **ele pode migrar para o polo positivo (anodo) ou para o polo negativo (catodo), dependendo do pH da solução**.

No estudo dos coloides, essa migração ou movimento de partículas sob a ação de um campo elétrico é denominada **eletroforese**: **cataforese**, quando for em direção ao catodo; **anaforese**, quando for em direção ao anodo. A eletroforese é muito importante na análise dos aminoácidos.

Para cada aminoácido, existe um valor de pH no qual sua molécula se torna neutra. Esse é o chamado **ponto isoelétrico (pH_i) do aminoácido**:

- nos monoamino-monocarboxílicos → $5{,}5 < pH_i < 6{,}0$;
- nos monoamino-dicarboxílicos → $3{,}0 < pH_i < 3{,}5$;
- nos di (ou poli) amino-monocarboxílicos → $9{,}0 < pH_i < 10{,}0$.

No ponto isoelétrico, os aminoácidos são pouco solúveis em água, podendo precipitar (é assim que ocorre a coagulação das proteínas).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

4.2. Reações gerais

Os aminoácidos podem sofrer as reações gerais das aminas (no grupo — NH_2) e dos ácidos (no grupo — COOH). Por exemplo:

- com ácido nitroso, há liberação de N_2; essa reação, característica das aminas primárias, é usada na avaliação da dosagem de aminoácidos do sangue;
- sob a ação de enzimas, os aminoácidos sofrem **descarboxilação**, isto é, perdem o grupo — COOH, transformando-se em aminas; isso ocorre em muitas reações de putrefação.

4.3. Ligação peptídica

É a ligação entre o grupo ácido (— COOH) de uma molécula e o grupo básico (— NH_2) de outra molécula de aminoácido:

Portanto, a ligação peptídica é:

O composto orgânico formado é um **peptídio**, que pode ser chamado de **dipeptídio, tripeptídio** ou **polipeptídio,** conforme resulte da união de **duas, três** ou **muitas** moléculas de aminoácidos. É exatamente esse tipo de ligação que produz as macromoléculas de **proteínas**.

Questões

Registre as respostas em seu caderno

a) Classifique o ácido aspártico e a fenilalanina:

Ácido aspártico

Fenilalanina

b) Sabendo que a estrutura do aspartame pode ser representada por:

Qual é a equação química que representa a síntese do aspartame?

Pesquisa

Registre as respostas em seu caderno

Quais são as substâncias causadoras da cárie dentária e como elas são formadas? Do ponto de vista da Química, o que é um dentifrício? Como ele atua? Quais as funções do triclosan em um dentifrício?

Referência:

SILVA, R. R., FERREIRA, G. A. L., BAPTISTA, J. A. & DINIZ, F. V. A Química e a conservação dos dentes. *Química Nova na Escola,* n. 13, maio de 2001.
Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc13/v13a01.pdf>.
Acesso em: abr. 2010.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

1. (PUC-RJ) Considere a glicina, que é uma importante substância para o funcionamento bioquímico dos mamíferos, e responda às seguintes questões:

$$CH_2(NH_2) — COOH$$

a) Qual o nome da glicina segundo a Iupac?
b) Quais as funções orgânicas que podem ser identificadas nessa molécula?
c) Considere a reação entre duas moléculas de glicina e dê a reação de formação de dipeptídeo e água.

2. Represente em seu caderno as duas ligações peptídicas possíveis entre os dois aminoácidos indicados a seguir:

3. (Cesgranrio-RJ) São dadas as fórmulas dos seguintes aminoácidos:

Glicina (GLI)

Alanina (ALA)

Qual é a fórmula estrutural de um fragmento de proteína GLI — ALA — GLI?

4. (FMIt-MG) Os aminoácidos com número de grupos $— NH_2$ maior que — COOH em solução aquosa na qual se produz uma corrente elétrica:

a) migram para o anodo.
b) dividem-se, indo uma parte para o catodo e outra para o anodo.
c) não migram, pois não contêm carga.
d) migram para o catodo.
e) Nenhuma das alternativas é correta.

5. (Unifesp) Glicina, o α-aminoácido mais simples, se apresenta na forma de um sólido cristalino branco, bastante solúvel na água. A presença de um grupo carboxila e de um grupo amino em sua molécula faz com que seja possível a transferência de um íon hidrogênio do primeiro para o segundo grupo em uma espécie de reação interna ácido-base, originando um íon dipolar, chamado de "zwitterion".

a) Dê a fórmula estrutural da glicina e do seu "zwitterion" correspondente.
b) Como o "zwitterion" comporta-se diante da diminuição de pH da solução em que estiver dissolvido?

6. (Uece) Examine as seguintes afirmações feitas sobre os aminoácidos:

I. Aminoácidos são compostos que apresentam funções amina ($— NH_2$) e ácida (— COOH).
II. Os aminoácidos naturais, com exceção da glicina, são opticamente ativos.
III. Os aminoácidos têm caráter anfótero.
IV. Para cada aminoácido, existe um valor de pH, no qual sua molécula se torna neutra; esse é o chamado ponto isoelétrico (pH_i) do aminoácido.
V. A ligação peptídica ocorre entre o grupo ácido de uma molécula e o grupo ácido de outra molécula do aminoácido.

São verdadeiras:

a) I e II.
b) II, III e V.
c) I, II, III e IV.
d) todas.

7. (Vunesp) O neurotransmissor serotonina é sintetizado no organismo humano a partir do triptofano. As fórmulas estruturais do triptofano e da serotonina são fornecidas a seguir.

Triptofano

Serotonina

Com respeito a essas moléculas, pode-se afirmar que:

a) apenas a molécula do triptofano apresenta atividade óptica.
b) ambas são aminoácidos.
c) a serotonina é obtida apenas por hidroxilação do anel benzênico do triptofano.
d) elas são isômeras.
e) as duas moléculas apresentam a função fenol.

8. (Unifesp) As mudanças de hábitos alimentares e o sedentarismo têm levado a um aumento da massa corporal média da população, o que pode ser observado em faixas etárias que se iniciam na infância. O consumo de produtos *light* e *diet* tem crescido muito nas últimas décadas e o adoçante artificial mais amplamente utilizado é o aspartame. O aspartame é o éster metílico de um dipeptídeo, formado a partir da fenilalanina e do ácido aspártico.

Aspartame

a) Com base na estrutura do aspartame, forneça a estrutura do dipeptídeo fenilalanina-fenilalanina.
b) Para se preparar uma solução de um alfa aminoácido, como a glicerina ($NH_2 — CH_2 —$ COOH), dispõe-se dos solventes H_2O e benzeno. Justifique qual desses solventes é o mais adequado para preparar a solução.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exercícios complementares

Registre as respostas em seu caderno

9. (UFRGS-RS) Os aminoácidos formam sais internos devido à presença dos grupos — NH_2 e — COOH em sua estrutura. Esse fenômeno ocorre pela transferência de um próton do — COOH para o — NH_2, conforme o esquema:

Nesse caso, o — NH_2 e o — COOH comportam-se, respectivamente, como:

a) base de Arrhenius e ácido de Arrhenius.
b) ácido de Brönsted-Lowry e base de Arrhenius.
c) ácido de Brönsted-Lowry e base de Lewis.
d) ácido de Lewis e base de Lewis.
e) base de Brönsted-Lowry e ácido de Brönsted-Lowry.

10. (Unicamp-SP) Ainda hoje persiste a dúvida de como surgiu a vida na Terra. Na década de 1950, realizou-se um experimento simulando as possíveis condições da atmosfera primitiva (pré-biótica), isto é, a atmosfera existente antes de originar vida na Terra. A ideia era verificar como se comportariam quimicamente os gases hidrogênio, metano, amônia e o vapor-d´água na presença de faíscas elétricas em tal ambiente. Após a realização do experimento, verificou-se que se havia formado um grande número de substâncias. Dentre elas, detectou-se a presença do mais simples α-aminoácido que existe.

a) Sabendo que esse aminoácido possui dois átomos de carbono, qual é sua fórmula estrutural?
b) Esse aminoácido poderia desviar o plano da luz polarizada? Justifique.
c) Qual é a fórmula estrutural da espécie química formada quando esse aminoácido é colocado em meio aquoso muito ácido?

11. (UCB-DF) Os aminoácidos classificam-se em essenciais e não essenciais. Os essenciais ou indispensáveis são aqueles que o organismo humano não consegue sintetizar. A falta de aminoácidos no organismo leva o indivíduo à desnutrição.

A dosagem de aminoácidos no sangue é feita com base na reação com ácido nitroso, por meio da medição do volume de gás nitrogênio que se forma (método de Slyke), conforme a equação exemplificada abaixo:

Com base nessas informações e em conceitos relacionados aos compostos orgânicos apresentados na equação (reação) acima, julgue os itens, considerando-os verdadeiros ou falsos.

0. Na alanina, estão presentes as funções ácido carboxílico e amina.
1. O composto orgânico formado nos produtos é oficialmente denominado ácido α-hidróxi-propanoico.
2. A reação exemplificada é uma mononitração.
3. A alanina possui um carbono primário, um secundário e um quaternário.
4. O ácido lático possui um carbono assimétrico, portanto, ele forma três isômeros ópticos.

12. (Fuvest-SP) Em água, o aminoácido alanina pode ser protonado, formando um cátion que será designado por ala^+; pode ceder próton, formando um ânion designado por ala^-. Dessa forma os seguintes equilíbrios podem ser escritos:

$$ala + H_3O^+ \rightleftharpoons H_2O + ala^+$$
$$ala + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + ala^-$$

A concentração relativa dessas espécies depende do pH da solução, como mostrado no gráfico.

ADILSON SECCO

Quando [ala] = 0,08 mol · L^{-1}, [ala^+] = 0,02 mol · L^{-1} e [ala^-] for desprezível, a concentração hidrogeniônica na solução, em mol · L^{-1}, será, aproximadamente, igual a:

a) 10^{-11}
b) 10^{-9}
c) 10^{-6}
d) 10^{-3}
e) 10^{-1}

13. (Uerj) Os pontos isoelétricos das proteínas *W*, *X*, *Y* e *Z* estão relacionados na tabela abaixo.

Proteína	pH_i
W	8,3
X	9,2
Y	7,7
Z	6,2

Essas proteínas foram separadas por um sistema de eletroforese no qual o pH do meio que embebia o suporte era de 8,6.

A proteína que migrou com menor velocidade em direção ao polo positivo foi a identificada pela seguinte letra:

a) *W*.
b) *X*.
c) *Y*.
d) *Z*.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

5 Conceito de proteína

Proteínas (do grego *prôtos*: primeiro) são macromoléculas resultantes da condensação de moléculas de α-aminoácidos por meio de ligação peptídica.

Juntamente com os glicídios e com os lipídios, as proteínas constituem a alimentação básica dos animais. Além disso, em nível celular, elas são ainda mais importantes, pois são fundamentais na estrutura, no funcionamento e na reprodução de todas as células vivas.

Exemplos:

Proteína	Massa molar aproximada (g/mol)
Insulina (hormônio polipeptídico)	6.000
Quimiotripsina (do pâncreas bovino)	22.600
Albumina (do ovo)	45.000
Hemoglobina (do sangue)	65.000
Caseína (do leite)	380.000

A figura seguinte nos mostra a importância das proteínas na formação do corpo humano:

OSVALDO SANCHES SEQUETIN

(Representação esquemática sem escala; cores-fantasia.)

Em média, a composição em massa do corpo humano adulto é:

Água	Proteínas	Lipídios	Carboidratos	Outros
68%	15%	10%	5%	2%

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Como comparação, diremos que a composição em massa de um ovo de galinha é:

	Na gema	Na clara
Água	51,7%	88,0%
Proteínas	16,0%	11,1%
Lipídios	32,0%	0,2%
Carboidratos	0,3%	0,7%

As proteínas fazem parte também do **ciclo do nitrogênio** da natureza:

ERIKA ONODERA

(Representação esquemática sem escala; cores-fantasia.)

Fonte: ODUM, E. P. *Ecologia*. Rio de Janeiro: Guanabara, 1983.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

6 Classificações das proteínas

Das muitas classificações possíveis, iremos destacar duas, citadas abaixo.

6.1. De acordo com a composição da proteína

a) Proteínas simples ou homoproteínas

São formadas exclusivamente por aminoácidos. É o que acontece na albumina do ovo, na globulina do sangue etc.

b) Proteínas complexas, conjugadas ou heteroproteínas

São formadas por cadeias de aminoácidos ligadas a outros grupos. Por exemplo:

- **glicoproteínas**, em que o outro grupo é um glicídio (é o caso da mucina existente na saliva);
- **lipoproteínas**, em que o outro grupo é um lipídio (por exemplo, as lipoproteínas existentes no soro sanguíneo);
- **fosfoproteínas**, em que o outro grupo é o H_3PO_4 (é o caso da caseína do leite);
- **cromoproteínas** (do grego *cromos*: cor), em que o outro grupo é um pigmento (é o caso da clorofila, da hemoglobina etc.);
- **nucleoproteínas**, em que o outro grupo é um ácido nucleico (como ocorre em vários micro-organismos); e assim por diante.

6.2. De acordo com a função da proteína no organismo

Algumas das classes mais importantes são:

- **proteínas estruturais**: são as que contribuem para a formação do organismo, como, por exemplo, o **colágeno** (abundante em ossos, tendões e cartilagens), a **queratina** (formadora das unhas, dos cabelos etc.);
- **proteínas de transporte**: como, por exemplo, a **hemoglobina**, que transporta oxigênio no sangue;
- **proteínas reguladoras**: que controlam e regulam as funções orgânicas, como as **enzimas** (por exemplo, as **proteases**, que controlam nosso metabolismo), como os **hormônios** (por exemplo, a **insulina**, que regula a atividade das células) etc.;
- **proteínas protetoras**: como os **anticorpos** (por exemplo, a gamaglobulina), que defendem o organismo;
- **proteínas de contração**: são as que participam das contrações e dos movimentos do corpo, como, por exemplo, a actina e a miosina, que permitem as contrações dos músculos;
- **proteínas das membranas celulares**: que possibilitam as trocas de substâncias através das membranas celulares, como, por exemplo, as glicoproteínas, que possibilitam a passagem da glicose através das membranas;
- **proteínas de armazenamento**: como, por exemplo, a ferritina, que armazena ferro no baço etc.

Teste do pezinho

Os aminoácidos são fundamentais para o funcionamento de nosso organismo. Entretanto, certas disfunções metabólicas podem trazer consequências graves. É o caso, por exemplo, da doença denominada **fenilcetonúria**. Normalmente, quando ingerimos alimentos contendo fenilalanina, o fígado, com o auxílio de enzimas, transforma a fenilalanina em tirosina, melanina (pigmento escuro da pele e dos cabelos) e hormônios, como a adrenalina e a noradrenalina. Quando o fígado falha, o acúmulo de fenilalanina no sangue causa vários distúrbios orgânicos, características da doença chamada fenilcetonúria.

O paciente deve receber medicamentos e se submeter a uma dieta pobre em fenilalanina. Esses problemas, nos primeiros anos de vida de uma criança, podem ocasionar retardo mental e até morte prematura. Como prevenção, é feito, nos recém-nascidos, o chamado **teste do pezinho**. Retira-se um pouco de sangue do calcanhar da criança e determina-se o teor de fenilalanina presente no seu sangue. É um diagnóstico precoce que pode salvar vidas.

TED HOROWITZ/CORBIS/LATINSTOCK

Teste do pezinho em recém-nascido para verificação do teor de fenilalanina no sangue.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

7 Estrutura das proteínas

7.1. Estrutura primária

É a **própria cadeia peptídica**, formada pela sequência de aminoácidos iguais ou diferentes entre si. Se imaginarmos os aminoácidos representados pelas letras *A*, *B*, *C*, *D* etc., teremos a seguinte esquematização da estrutura primária de uma proteína:

... — A — B — C — A — D — C — A — E ...

É importante, porém, notarmos que, se tivermos **três** aminoácidos diferentes, poderemos ter **seis** sequências diferentes: *ABC*, *ACB*, *BAC*, *BCA*, *CAB*, *CBA*. Já com **dez** aminoácidos diferentes, teremos **3.628.800** sequências possíveis. Por aí, já podemos entender a razão da complexidade existente no estudo das proteínas.

7.2. Estrutura secundária

Uma das estruturas secundárias possíveis é a estrutura primária "enrolada" em forma espiral ou de mola helicoidal.

ADILSON SECCO

Essa estrutura é mantida por **ligações de hidrogênio** formadas entre o grupo (— NH) de um aminoácido e o grupo $\left(\diagup C = O\right)$ de outro.

Essa estrutura existe na queratina, formadora de nossos cabelos e da lã de alguns animais.

Outra estrutura secundária possível é a estrutura primária disposta na forma de folhas de papel dobradas.

Aqui também as folhas ficam presas entre si por ligações de hidrogênio, que representamos por linhas tracejadas. É o que acontece na fibroína, presente na teia de aranha e no casulo do bicho-da-seda, que confere alta resistência mecânica a esses materiais (polímeros naturais).

ADILSON SECCO

7.3. Estrutura terciária

É a disposição da estrutura secundária (na forma espiral ou folha) **dobrada** sobre si mesma.

Essa estrutura resulta de ligações especiais, em pontos bem definidos da espiral, que são estabelecidas às vezes até por átomos de enxofre, de metais etc., que existem em certas proteínas.

ADILSON SECCO

(Representação esquemática sem escala; cores-fantasia.)

7.4. Estrutura quaternária

Resulta da **agregação de mais de uma subunidade polipeptídica** (com sua estrutura terciária própria) que, em conjunto, assumem formas espaciais bem definidas. Por exemplo, a hemoglobina é formada pela reunião de quatro estruturas terciárias, existindo entre elas grupos prostéticos (heme), formado por um átomo de ferro:

ADILSON SECCO

(Representação esquemática sem escala; cores-fantasia.)

As proteínas podem ser classificadas de acordo com a forma de suas estruturas quaternárias. Assim, por exemplo, dizemos **proteínas globulares**, como a albumina do ovo; e **proteínas fibrosas**, como a queratina do cabelo, que forma longos filamentos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

7.5. Desnaturação de proteínas

É interessante notar que certas proteínas, como, por exemplo, a hemoglobina do sangue, só são ativas quando têm estruturas terciárias e quaternárias bem definidas. Porém, um aquecimento, uma variação de pH, entre outros fatores, podem alterar essas estruturas. Desse modo, **a proteína perde sua ação fisiológica** e dizemos que ela foi **desnaturada**. Nesse processo, a proteína perde sua estrutura quaternária, terciária e, às vezes, até a secundária, mas não perde a estrutura primária. Esquematicamente, teremos:

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

(Representação esquemática sem escala; cores-fantasia.)

A desnaturação ocorre, por exemplo, com as proteínas da clara de um ovo, quando o ovo é cozido ou frito (é por isso que a clara torna-se branca e dura). Ocorre, também, quando se ferve o leite (a nata é proteína desnaturada).

A ondulação dos cabelos

Um caso interessante, devido às reações químicas envolvidas, é o da ondulação dos cabelos. As fibras dos cabelos são formadas por fios de proteína, ligados entre si por pontes de enxofre. Uma primeira solução, contendo ácido tiol-acético (HS — CH_2 — COOH), quebra essas pontes, soltando os fios de proteína. Desse modo, o cabelo obedece ao novo penteado, que é forçado pelos rolos. Uma segunda solução, contendo H_2O_2, refaz as pontes de enxofre, **porém em novas posições**, e, ao se soltarem os cabelos, o novo penteado permanece.

ILUSTRAÇÕES: OSVALDO SANCHES SEQUETIN

(Representação esquemática sem escala; cores-fantasia.)

Frederick Sanger

Bioquímico inglês, nasceu em 1918, em Gloucestershire. Foi o único cientista, até hoje, que recebeu dois Prêmios Nobel de Química. O primeiro foi em 1958, por ter desvendado a estrutura da insulina bovina, que exigiu: a obtenção da insulina pura, a separação das duas cadeias de polipeptídios que a formam e, por fim, a identificação de cada um dos aminoácidos presentes na insulina. O segundo foi em 1980, pela determinação da estrutura do DNA de um vírus – trabalho pioneiro nessa área, que mostrou a possibilidade de se esclarecer a estrutura de um dado DNA, o que abriu caminho para o esclarecimento dos genomas dos seres vivos.

Frederick Sanger (em foto da década de 1980) observando modelo molecular de DNA.

BETTMANN/CORBIS/LATINSTOCK

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

8 Hidrólise das proteínas

Quando aquecidas com soluções aquosas de ácidos ou bases fortes ou sob a ação de enzimas, as proteínas sofrem **hidrólise**, isto é, sofrem a reação inversa da formação da ligação peptídica, que foi vista na página 397.

À medida que o tamanho da cadeia vai diminuindo, são dados vários nomes aos produtos intermediários:

$$\textbf{Proteínas} \xrightarrow{+H_2O} \textbf{Metaproteínas} \xrightarrow{+H_2O} \textbf{Proteoses} \xrightarrow{+H_2O} \textbf{Peptonas} \xrightarrow{+H_2O}$$
$$\xrightarrow{+H_2O} \textbf{Polipeptídios} \xrightarrow{+H_2O} \textbf{Peptídios simples} \xrightarrow{+H_2O} \textbf{Aminoácidos}$$

Essa cadeia de reações ocorre, por exemplo, em nosso sistema digestório, sob a ação de várias enzimas. Desse modo, as proteínas (alimentos) são desmontadas, e seus aminoácidos podem ser transportados e reaproveitados pelas células na montagem de novas proteínas.

9 Enzimas

ADILSON SECCO

Enzimas (do grego *zyme*: levedura) são proteínas complexas que agem como **catalisadores dos processos biológicos**, podendo atuar dentro ou fora das células vivas que as produzem. Como acontece com todos os catalisadores, a enzima "cria" um novo caminho para a reação com *menor* energia de ativação.

Sem a ação enzimática não existiria vida, pois todas as reações que ocorrem nos seres vivos são catalisadas por enzimas. Por exemplo, para queimar uma substância orgânica, precisamos aquecê-la a temperaturas elevadas; pelo contrário, em nosso organismo (temperatura de 37 °C), os alimentos queimam suavemente, produzindo **calor**, para manter a temperatura do organismo, e **energia mecânica**, traduzida por nossos movimentos e pelo funcionamento geral do corpo. Tudo isso só é possível devido à ação de cerca de 3 mil enzimas diferentes. A escassez ou a falta de apenas uma dessas enzimas poderá levar o organismo a uma determinada doença ou até mesmo à morte.

Outro exemplo importante da ação enzimática ocorre na **fermentação alcoólica**, que já vimos na página 91. Nesse processo, temos a ação de algumas enzimas catalisando as seguintes reações:

$$\underbrace{C_{12}H_{22}O_{11}}_{\text{Sacarose}} + H_2O \xrightarrow{\text{Invertase}} \underbrace{C_6H_{12}O_6}_{\text{Glicose}} + \underbrace{C_6H_{12}O_6}_{\text{Frutose}}$$

$$\underbrace{C_6H_{12}O_6}_{\text{Glicose ou frutose}} \xrightarrow{\text{Enzimas}} \underbrace{2\ C_2H_5OH}_{\text{Etanol}} + \underbrace{2\ CO_2\uparrow}_{\text{Gás carbônico}}$$

As enzimas são catalisadores extremamente eficientes. Na primeira das reações anteriores, por exemplo, a invertase é 1.000.000 de vezes mais potente do que os ácidos inorgânicos (ação do H^+).

Normalmente, uma molécula de enzima consegue provocar e acelerar a reação de dezenas de milhares de moléculas reagentes.

As enzimas recebem nomes terminados em **ase**, de acordo com:

- **a substância sobre a qual a enzima atua** – por exemplo, a enzima **lactase** age sobre a **lactose**; a **amilase** sobre o **amido**; e assim por diante.
- **o tipo de reação que a enzima catalisa** – por exemplo, a **hidrolase** provoca uma reação de **hidrólise**; a **descarboxilase**, uma reação de **descarboxilação**; e assim por diante.

Normalmente, a enzima é uma **proteína complexa** ou **conjugada**.

Em muitos casos, a proteína só se torna uma **enzima ativa** quando auxiliada pelas **coenzimas**, que são moléculas orgânicas menores, vitaminas etc.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A hipótese mais aceita atualmente para explicar o mecanismo da ação enzimática é que os reagentes, denominados **substratos** (***S***), unem-se temporariamente à enzima (***E***) formando um complexo (***ES***), que logo após se decompõe, formando o produto (***P***) desejado e regenerando a enzima:

$$E + S \underset{\text{reversível}}{\overset{\text{Reação}}{\rightleftharpoons}} ES$$

$$ES \xrightarrow[\text{irreversível}]{\text{Reação}} P + E$$

As catálises enzimáticas são altamente específicas, pois, como toda proteína, a enzima tem uma configuração espacial muito bem determinada. Sigam, por exemplo, o esquema:

(Representação esquemática sem escala; cores-fantasia.)

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

O complexo enzima-substrato (***ES***) assemelha-se a um sistema de encaixe similar ao de **chave-fechadura**; basta o reagente (***S***) ser um pouco diferente para que o encaixe não seja possível e a reação não seja realizada.

As enzimas têm a vantagem de ser altamente específicas e eficazes. No entanto, é bom lembrar que elas só agem em condições bem determinadas de temperatura, de pH etc. Alterando-se essas condições, a enzima desnatura-se e perde sua ação irreversivelmente. Assim, por exemplo, a pepsina, que atua na digestão dos alimentos em nosso estômago, só é ativa na temperatura do organismo (37 °C) e no pH do estômago (entre 1,8 e 2,2).

É interessante notar que muitos medicamentos atuam bloqueando o encaixe de enzimas produzidas por micro-organismos; caso ocorresse o encaixe, haveria possibilidade de o organismo contrair doenças.

Certas enzimas são adicionadas a detergentes, para que o produto seja eficiente na limpeza de manchas de sangue e outros materiais proteicos, como já dissemos na página 385.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

10 Alimentação humana

Além da água que devemos ingerir, os glicídios (açúcares e carboidratos em geral), os lipídios (óleos e gorduras), as proteínas, as vitaminas e os sais minerais são indispensáveis em nossa alimentação. Essas substâncias são responsáveis pelo crescimento, pela manutenção, pela reprodução, enfim, por todas as **manifestações vitais** do nosso organismo. O esquema seguinte nos dá uma ideia resumida do aproveitamento dos alimentos:

O esquema da página anterior mostra que, além das gorduras, dos carboidratos e das proteínas, nosso organismo necessita também das **vitaminas**. Elas são encontradas nos alimentos e exercem atividades fundamentais de controle das reações bioquímicas em nosso organismo. Alguns de seus benefícios são, por exemplo:

- **vitamina A:** previne a cegueira noturna e fortalece as defesas do organismo contra infecções;
- **vitamina C:** previne o escorbuto e possui propriedades antioxidantes;
- **vitamina D:** auxilia a formação dos ossos e reforça o sistema imunológico.

Por fim, nosso organismo precisa também de **sais minerais**. Eles são encontrados normalmente nos alimentos e devem fornecer outra série de elementos químicos importantes para o funcionamento de nosso organismo.

Questões

Registre as respostas em seu caderno

a) Qual o principal tipo de interação que mantém a estrutura secundária de uma proteína?

b) Qual estrutura está presente na queratina?

c) Qual estrutura está presente na albumina?

d) Das proteínas das duas questões anteriores, qual pode ser classificada como globular e qual pode ser classificada como fibrosa?

e) Em um ser humano, por que a febre acima de 40 °C, se não for tratada a tempo, pode levar ao óbito?

Atividade prática

Registre as respostas em seu caderno

ATENÇÃO

- **O experimento deve ser realizado com a supervisão de um adulto, pois haverá a necessidade de operar máquinas e objetos quentes.**
- **Não cheire nem experimente substância alguma utilizada nesta atividade.**
- **Óculos e luvas de segurança, assim como aventais protetores são obrigatórios.**

Ação enzimática

Material

- 1 batata descascada
- Água oxigenada
- 1 liquidificador
- 1 funil de vidro
- 1 suporte com haste
- 1 argola com mufa para funil
- Papel de filtro
- 1 béquer
- 1 tubo de ensaio
- 1 béquer com água e gelo
- 1 béquer com água quente

Procedimento

- Coloque a batata descascada em um liquidificador com 30 mL de água e triture.
- Filtre essa mistura de modo que se obtenha uma solução límpida.
- Despeje 3 mL dessa solução em um tubo de ensaio contendo 5 mL de água oxigenada.
- Observe e anote o que aconteceu.
- Repita o experimento com o tubo de ensaio mergulhado em uma mistura de água e gelo.
- Repita novamente o experimento, agora com o tubo de ensaio colocado dentro de um béquer contendo água quente.

Perguntas

a) O que ocorreu no primeiro experimento?

b) Quando o mesmo experimento foi repetido com o tubo mergulhado em uma mistura de água e gelo, o resultado foi o mesmo que o anterior?

c) Quando o mesmo experimento foi repetido com o tubo colocado em um béquer contendo água quente, o resultado foi o mesmo que os anteriores?

d) Tente explicar as diferenças observadas.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

14. (Ufes) As proteínas são estruturas macromoleculares formadas a partir de α-aminoácidos unidos entre si por ligações peptídicas.

Qual é a alternativa que mostra a ligação peptídica entre dois aminoácidos?

a)

b)

c)

d)

e)

15. (UFSM-RS) Considere os compostos:

I. $H_3C — CO — CH_2 — COOH$

II.

III. $H_3C — CO — NH_2$

IV. $CH_2(Cl) — COOH$

V. $H_3C — CH(NH_2) — COOH$

VI. $H_3C — CH(OH) — CH_2 — COOH$

Entra(m) na constituição de uma proteína:

a) apenas III.
b) apenas I e III.
c) apenas II e IV.
d) apenas II e V.
e) apenas V e VI.

16. (PUC-RJ) A estrutura primária de uma proteína é determinada:

a) por sua forma tridimensional que dá origem às estruturas secundárias.
b) pela sua disposição espacial originada pela interação da cadeia peptídica.
c) pela sequência dos aminoácidos na cadeia peptídica.
d) pela divisão das estruturas secundárias.
e) pela quantidade de colágeno presente.

17. (UFMG) A estrutura primária das proteínas é formada pela polimerização de sequências definidas de aminoácidos, conforme representado pela equação:

Essa estrutura primária é mantida unida por:

a) ligações de hidrogênio.
b) ligações iônicas.
c) ligações covalentes.
d) ligações de van der Waals.

18. (UFPE) Dentre os elementos abaixo, qual está presente apenas em alguns dos aminoácidos constituintes das proteínas?

a) Carbono.
b) Hidrogênio.
c) Nitrogênio.
d) Oxigênio.
e) Enxofre.

19. Dê a equação de hidrólise do seguinte dipeptídio:

$CH_3 — CH(NH_2) — CO — NH — CH(CH_3) — COOH$

20. (Vunesp) O ciclo do nitrogênio na natureza pode ser representado pelo esquema

Nesse ciclo, o nitrogênio sofre um processo de:

a) oxidação na etapa (V).
b) oxidação em todas as etapas.
c) redução na etapa (I).
d) redução na etapa (VI).
e) redução em todas as etapas.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

21. (Enem-MEC) A obesidade, que nos países desenvolvidos já é tratada como epidemia, começa a preocupar especialistas no Brasil. Os últimos dados da Pesquisa de Orçamentos Familiares, realizada entre 2002 e 2003 pelo IBGE, mostram que 40,6% da população brasileira estão acima do "peso", ou seja, 38,8 milhões de adultos. Desse total, 10,5 milhões são considerados obesos. Várias são as dietas e os remédios que prometem um emagrecimento rápido e sem riscos. Há alguns anos, foi lançado no mercado brasileiro um remédio de ação diferente dos demais, pois inibe a ação das lipases, enzimas que aceleram a reação de quebra de gorduras. Sem serem quebradas, elas não são absorvidas pelo intestino, e parte das gorduras ingeridas é eliminada com as fezes. Como os lipídios são altamente energéticos, a pessoa tende a emagrecer. No entanto, esse remédio apresenta algumas contraindicações, pois a gordura não absorvida lubrifica o intestino, causando desagradáveis diarreias. Além do mais, podem ocorrer casos de baixa absorção de vitaminas lipossolúveis, como as *A*, *D*, *E* e *K*, pois:

a) essas vitaminas, por serem mais energéticas que as demais, precisam de lipídios para sua absorção.
b) a ausência dos lipídios torna a absorção dessas vitaminas desnecessária.
c) essas vitaminas reagem com o remédio, transformando-se em outras vitaminas.
d) as lipases também desdobram as vitaminas para que essas sejam absorvidas.
e) essas vitaminas dissolvem-se nos lipídios e só são absorvidas junto com eles.

22. (Enem-MEC) Entre 1975 e 1999, apenas 15 novos produtos foram desenvolvidos para o tratamento da tuberculose e de doenças tropicais, as chamadas doenças negligenciadas. No mesmo período, 179 novas drogas surgiram para atender a portadores de doenças cardiovasculares. Desde 2003, um grande programa articula esforços em pesquisa e desenvolvimento tecnológico de instituições científicas, governamentais e privadas de vários países para reverter esse quadro de modo duradouro e profissional.

Sobre as doenças negligenciadas e o programa internacional, considere as seguintes afirmativas:

I. As doenças negligenciadas, típicas das regiões subdesenvolvidas do planeta, são geralmente associadas à subnutrição e à falta de saneamento básico.
II. As pesquisas sobre as doenças negligenciadas não interessam à indústria farmacêutica, porque atingem países em desenvolvimento sendo economicamente pouco atrativas.
III. O programa de combate às doenças negligenciadas endêmicas não interessa ao Brasil, porque atende a uma parcela muito pequena da população.

Está correto apenas o que se afirma em.

a) I.
b) II.
c) III.
d) I e II.
e) II e III.

Exercícios complementares

Registre as respostas em seu caderno

23. (UEM-PR) O valor nutritivo de uma proteína depende do seu conteúdo em aminoácidos essenciais. Por isso, é **correto** afirmar que o valor nutritivo de uma proteína está diretamente associado à sua:

a) estrutura primária.
b) estrutura secundária.
c) estrutura terciária.
d) estrutura quaternária.
e) origem animal ou vegetal.

24. (ITA-SP) Qual dos materiais a seguir tem a maior percentagem de nitrogênio?

a) Amido.
b) Banha.
c) Celulose.
d) Clara de ovo.
e) Óleo vegetal.

25. (Fuvest-SP) Os três compostos a seguir têm uso farmacológico.

Procaína $C_{13}H_{20}N_2O_2$
(massa molar = 236 g/mol)

Lidocaína $C_{14}H_{22}N_2O$
(massa molar = 234 g/mol)

Dropropizina $C_{13}H_{20}N_2O_2$
(massa molar = 236 g/mol)

Considere as afirmações:

I. Nas moléculas dos três compostos, há ligações peptídicas.
II. A porcentagem em massa de oxigênio na dropropizina é praticamente o dobro da porcentagem do mesmo elemento na lidocaína.
III. A procaína é um isômero da dropropizina.

Está **correto** somente o que se afirma em:

a) I.
b) II.
c) III.
d) I e II.
e) II e III.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

(UFG-GO) Leia o texto abaixo e responda às duas questões seguintes.

O aspartame é utilizado como edulcorante em alimentos dietéticos. Assim que ingerido, ele é convertido em fenilalanina, um aminoácido, de uma reação de hidrólise, conforme equação química a seguir:

No organismo humano, o excesso desse aminoácido é metabolizado, inicialmente, pela enzima fenilalanina-hidroxilase, que realiza uma hidroxilação na posição **para** do anel aromático produzindo outro aminoácido, a tirosina. Pessoas portadoras de uma herança autossômica recessiva para o gene que codifica tal enzima não conseguem realizar essa etapa do metabolismo e, portanto, não podem ingerir alimentos que contenham fenilalanina, ou seu precursor, em grandes quantidades. Essa falha no metabolismo é conhecida como fenilcetonúria e seus portadores como fenilcetonúricos.

26. De acordo com os dados apresentados, a hidrólise do aspartame ocorre nas ligações que caracterizam os seguintes grupos funcionais:

a) amina e éster.
b) amina e éter.
c) amida e éster.
d) amida e ácido carboxílico.
e) amina e ácido carboxílico.

27. A fórmula estrutural plana da substância que os fenilcetonúricos não conseguem produzir é a seguinte:

a)

b)

c)

d)

e)

28. (Enem-MEC)

DIETA DE ENGORDA Em 30 anos, a alimentação piorou muito			
Aumento no consumo – por família			
Biscoitos	Refrigerantes	Salsichas e linguiças	Refeições prontas
400%	**400%**	**300%**	**80%**
Diminuição no consumo – por família			
Ovos	Peixes	Feijão e leguminosas	Arroz
84%	**50%**	**30%**	**23%**

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

A partir desses dados, foram feitas as afirmações abaixo.

I. As famílias brasileiras, em 30 anos, aumentaram muito o consumo de proteínas e grãos, que, por seu alto valor calórico, não são recomendáveis.
II. O aumento do consumo de alimentos muito calóricos deve ser considerado indicador de alerta para a saúde, já que a obesidade pode reduzir a expectativa de vida humana.
III. Doenças cardiovasculares podem ser desencadeadas pela obesidade decorrentes das novas dietas alimentares.

É **correto** apenas o que se afirma em:

a) I. b) II. c) III. d) I e II. e) II e III.

29. (Enem-MEC) Os efeitos dos anti-inflamatórios estão associados à presença de inibidores da enzima chamada ciclooxigenase 2 (COX-2). Essa enzima degrada substâncias liberadas de tecidos lesados e as transforma em prostaglandinas pró-inflamatórias, responsáveis pelo aparecimento de dor e inchaço.

Os anti-inflamatórios produzem efeitos colaterais decorrentes da inibição de uma outra enzima, a COX-1, responsável pela formação de prostaglandinas, protetoras da mucosa gastrintestinal.

O esquema abaixo mostra alguns anti-inflamatórios (nome genérico). As setas indicam a maior ou a menor afinidade dessas substâncias pelas duas enzimas.

Com base nessas informações, é **correto** concluir-se que:

a) o piroxicam é o anti-inflamatório que mais pode interferir na formação de prostaglandinas protetoras da mucosa gastrintestinal.
b) o rofecoxibe é o anti-inflamatório que tem a maior afinidade pela enzima COX-1.
c) o ácido acetilsalicílico tem o mesmo grau de afinidade pelas duas enzimas.
d) o diclofenaco, pela posição que ocupa no esquema, tem sua atividade anti-inflamatória neutralizada pelas duas enzimas.
e) o nimesulide apresenta o mesmo grau de afinidade pelas enzimas COX-1 e COX-2.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

LEITURA

A FOME E O DESPERDÍCIO DE ALIMENTOS

O organismo humano apresenta altíssimo rendimento e não desperdiça energia.

A primeira fonte de energia do metabolismo são os açúcares, os **glicídios**, que estão dissolvidos no sangue e queimam rapidamente. Na falta destes, o corpo começa a queimar as reservas sólidas na forma de gorduras, os **lipídios**. Se ambos se acabam, a última alternativa do corpo é queimar as **proteínas**, entretanto, a queima delas equivale à "desconstrução" das estruturas físicas e dos processos vitais, causando danos irreversíveis ao organismo, principalmente em crianças.

De acordo com estatísticas da FAO — Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação —, em 2007, cerca de 14% da população da Terra sofria de fome; 10,1 milhões de crianças morreram devido à desnutrição e a doenças relacionadas a ela em todo o mundo.

Com o crescimento econômico mundial entre os anos de 2002 e 2007, esses números sofreram uma relativa redução; entretanto, esse aquecimento econômico elevou muito os preços dos alimentos no mundo, o que causou o incrível aumento de 75 milhões de famintos entre 2007 e 2008, elevando para 923 milhões de seres humanos vivendo nessas condições, conforme divulgado pela FAO, em Roma, em setembro de 2008.

Ironicamente, em 2007, segundo a OMS — Organização Mundial de Saúde —, o mundo tinha mais de 1 bilhão de pessoas com excesso de "peso", sendo 30% considerados obesos clínicos.

Vivemos em um mundo polarizado em que a fome e a obesidade têm dimensões epidêmicas. Ainda mais sabendo que a quantidade de alimentos produzidos na Terra daria para alimentar cerca de 8 bilhões de pessoas — mais que a população mundial, cuja estimativa é de que seja de 7 bilhões em 2011!

Por que, então, a fome persiste no mundo?

Esse problema abrange diversos fatores, dentre os quais destacamos:

- **técnicas inadequadas** de produção, transporte, armazenamento e comercialização dos alimentos que resultam em perdas de cerca de 30% da produção agrícola (e até de 50% quando se trata de frutas e verduras); só esse desperdício é maior que os danos causados por qualquer praga agrícola;
- **cultura do desperdício**, arraigada em todas as camadas sociais; em países ricos, o desperdício de alimentos está mais concentrado na fartura dos lares e chega a 40%; nos países pobres, está mais associado ao campo, nos transportes e na distribuição, e chega a 50%;
- **a ganância** de alguns produtores e distribuidores e a especulação no mercado financeiro sobre esses produtos; às vezes, pratica-se a política de "jogar fora para não ter de baixar os preços";
- **governos e a política mundial** — o alimento é tido como estratégico para todos os países; os países ricos subsidiam sua agricultura e impõem altas taxas de importação sobre os alimentos, dificultando aos países mais pobres produzir e exportar sua produção, diminuindo a oferta de alimentos e causando o aumento de preços.

O maior problema da fome está localizado na África, onde as condições climáticas são desfavoráveis e as guerras intermináveis levam os povos a uma situação desumana e desesperadora. A fome é, sem dúvida, um problema que **envergonha toda a humanidade**, mas que, infelizmente, parece estar distante de uma solução, visto que a solução depende muito mais da vontade política do que de recursos tecnológicos ou econômicos.

Questões sobre a leitura

Registre as respostas em seu caderno

30. Quais os fatores que mais contribuem para o problema da distribuição e do desperdício de alimentos?

31. Em que região do mundo a fome é mais pronunciada? Por que isso ocorre?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CAPÍTULO

17 Polímeros sintéticos

Os principais **polímeros sintéticos** são os **plásticos**, que têm sua origem no setor petroquímico, no qual são sintetizados por meio das reações de polimerização. Conhecendo as cadeias carbônicas e o comportamento das funções orgânicas, é possível produzir essas macromoléculas que revolucionaram o mundo. A grande vantagem dos plásticos está na **versatilidade** de suas aplicações e na possibilidade de se criarem novos plásticos com propriedades específicas para **usos específicos**.

TÓPICOS DO CAPÍTULO

1 INTRODUÇÃO

2 POLÍMEROS DE ADIÇÃO

3 COPOLÍMEROS

4 POLÍMEROS DE CONDENSAÇÃO

5 ESTRUTURA DOS POLÍMEROS

6 OS POLÍMEROS SINTÉTICOS E O COTIDIANO

LEITURA: *PLÁSTICOS – RECICLAGEM TRABALHOSA*

Estica e puxa

Doce consagrado em todo o mundo, a goma de mascar industrializada começou a ser vendida por aqui apenas em 1945, mas ela tem uma história bem mais antiga.

A descoberta

Uma goma de mascar de 5 mil anos foi desencavada na Finlândia em 2007. Feita da seiva de uma árvore, a bétula, a **"goma de mascar" pré-histórica** tinha marcas de dentes.

Na Antiguidade

Na Grécia antiga, há mais de 2.500 anos, era costume mastigar a **resina da árvore mastiche** para fins medicinais.

ILUSTRAÇÕES: FERNANDO GONSALES

Já na Roma antiga, mascava-se essa resina para **refrescar o hálito**.

Os **maias e os astecas** também gostavam das gomas. O povo maia chamava a resina do sapotizeiro de **chicle** e a usava para refrescar o hálito e melhorar a salivação nas longas caminhadas.

Tempos modernos

Em 1870, o americano **Thomas Adams Jr.** reparou que seu vizinho, um mexicano, sempre mascava chicle. Imaginando que poderia usar a borracha industrialmente, importou grande quantidade do material.

Mas a produção fracassou e Adams resolveu vender seu estoque de chicle como goma de mascar. Misturada ao alcaçuz, **a novidade fez sucesso**, popularizando-se principalmente por meio do cinema durante a Segunda Guerra Mundial.

Atualmente, a resina vegetal foi substituída por polímeros sintéticos mais baratos como o acetato de polivinila. Sim, a goma de mascar que mastigamos tem base extraída do petróleo!

ILUSTRAÇÕES: FERNANDO GONSALES

REFLETINDO

1. Por que a goma de mascar amolece na boca quando é mastigada?
2. Qual é a maneira mais simples de desgrudar uma goma de mascar de uma roupa?

1 Introdução

Nos três capítulos anteriores, falamos em **polímeros** ou **macromoléculas naturais** – os glicídios, os lipídios e as proteínas. Vimos que essas **biomoléculas** são de importância fundamental para a existência de todos os seres vivos – vegetais e animais.

No capítulo final deste livro, abordaremos os **polímeros sintéticos**. Esses compostos começaram a ser produzidos em fins do século XIX e tiveram um grande desenvolvimento no século XX, sendo atualmente muito usados na forma de **plásticos** (folhas, chapas, brinquedos, tubos para encanamentos etc.), de **fibras para tecidos**, ou **fibras têxteis** (náilon, poliéster etc.), e de **borrachas sintéticas**. Os polímeros sintéticos revolucionaram nossa vida; vivemos hoje o que se poderia chamar de **idade do plástico** (como existiram, na História, as idades da pedra, do ferro etc.).

Na metade do século XIX, o marfim das presas dos elefantes era usado para fabricar bolas de bilhar. A popularização desse jogo na Europa e nos Estados Unidos sofreu um abalo quando o preço do marfim subiu vertiginosamente. Por isso uma fábrica de bolas de bilhar nos Estados Unidos prometeu um prêmio a quem descobrisse um substituto para o marfim.

PHOTODISC/ GETTY IMAGES

Vários materiais já foram utilizados na fabricação de bolas de bilhar. Até a metade do século XIX, era usado o marfim. A partir de 1870, celuloide. Em 1912, baquelite.

Em 1870, John Wesley Hyatt (1837-1920) submeteu uma mistura de nitrocelulose, cânfora e álcool a uma pressão elevada e conseguiu um produto que foi denominado **celuloide**. Esse produto teve sucesso não só na produção das bolas de bilhar daquela época, mas também na fabricação de dentaduras, colarinhos de camisas e, por fim, filmes fotográficos (substituídos depois por **acetato de celulose**). Começou aí uma corrida à procura de materiais sintéticos, que resultou, por exemplo, no celofane (1892) e na galalita (1897).

Paralelamente, iniciou-se também uma busca de substitutos para as fibras naturais, visando principalmente à produção de uma seda artificial. Em 1885, Louis-Marie-Hilaire Bernigaud, conde de Chardonnet de Grange (1839-1924), obteve uma primeira **seda artificial**, à base de nitrocelulose (com o inconveniente de ser inflamável); em 1890, Jean Marie Adrian Despeissis (1860-1927) conseguiu um primeiro tipo de **raiom**, a partir de algodão; em 1892, Charles Frederick Cross (1855-1935) e Edward John Bevan (1856-1921) produziram a viscose, também a partir do algodão.

Note, então, que todas as tentativas partiam de polímeros naturais, de baixo custo (celulose de algodão de segunda categoria, caseína do leite etc.), que eram modificados na tentativa de se obterem produtos de melhor qualidade. Um grande passo foi dado em 1907 por Leo Hendrik Baekeland (1863-1944), que produziu a **baquelite** a partir de **moléculas simples** – o fenol e o formaldeído. O sucesso da baquelite foi imediato. Ela foi usada no início do século XX na produção dos discos de 78 rpm; depois, em tomadas e interruptores elétricos, cabos de panelas etc. Até hoje, a baquelite é usada na produção de chapas para revestimento de móveis.

CLAUDIA GUIMARÃES/ FOLHA IMAGEM

A baquelite também é utilizada na produção de algumas ferramentas, como a furadeira e a pistola aplicadora de cola.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Atualmente, a tecnologia de produção dos polímeros sintéticos está muito avançada. No entanto, devemos ter sempre em mente as seguintes ideias gerais, que passamos a explicar a partir de um dos exemplos mais simples, que é o da produção do polietileno. Antes, porém, vamos dar uma breve definição de polímeros.

> **Polímeros** (do grego *poly*: muitos; *méros*: partes) são compostos de moléculas muito grandes, formadas pela união de um grande número de moléculas pequenas, chamadas **monômeros**.

Por exemplo:

$$\underbrace{n\,CH_2{=}CH_2}_{\substack{\text{Etileno}\\ \text{Monômero}}} \longrightarrow \underbrace{(\ldots - CH_2 - CH_2 - \ldots)_n}_{\substack{\text{Polietileno}\\ \text{Polímero}}}$$

Nesse exemplo, o valor de *n* pode variar de 2 mil a 100 mil, dependendo das condições em que a reação é feita. Assim, as massas moleculares do polímero variam de 56.000 u a 2.800.000 u. Como em determinada porção de polímero há moléculas de tamanhos diferentes, sempre devemos falar em **massa molar média** ao nos referirmos a um polímero.

Devido ao seu tamanho avantajado, a molécula de um polímero é chamada de **macromolécula**.

A reação que produz o polímero é denominada **reação de polimerização**. Nessa reação, a molécula inicial (monômero) vai, sucessivamente, se unindo a outras, dando o **dímero**, o **trímero**, o **tetrâmero** e o **polímero**. Aparentemente, o processo poderia prosseguir, sem parar, até produzir uma molécula de tamanho "infinito". Reações das extremidades da macromolécula com impurezas da própria matéria-prima (inclusive com a água, presente na forma de umidade), no entanto, acabam impedindo a continuação indefinida da reação.

A grande utilização dos polímeros, no mundo atual, decorre de suas extraordinárias propriedades:

RICHARD COOKE/ALAMY/OTHER IMAGES

Os polímeros são leves.

ROGER ALLEN PHOTOGRAPHY/ALAMY/OTHER IMAGES

Normalmente, os polímeros são bons isolantes elétricos.

RANDY FARIS/CORBIS/LATINSTOCK

Os polímeros são resistentes.

Passemos, agora, ao estudo das principais classes de polímeros sintéticos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

2 Polímeros de adição

É o caso mais simples, em que o polímero é a "soma" de moléculas pequenas (monômeros), **todas iguais entre si**. Simbolicamente, podemos imaginar o monômero como cada elo de uma corrente, e o polímero como a própria corrente:

ADILSON SECCO

Isso pode ser traduzido em uma equação química do tipo:

$$n\,CH_2{=}CH_2 \longrightarrow (-CH_2-CH_2-)_n$$

2.1. Polímeros vinílicos

Nesses polímeros, o monômero apresenta o **grupo vinila** ($CH_2{=}CH-$). Os exemplos mais importantes são:

A. Polietileno

$$\underbrace{n\,CH_2{=}CH_2}_{\text{Etileno}} \xrightarrow[\text{Catalisadores}]{P,\,T} \underbrace{(-CH_2-CH_2-)_n}_{\text{Polietileno}}$$

(Toalhas, cortinas, garrafas, sacolas de supermercados, canos plásticos etc.)

FERNANDO FAVORETTO/ CRIAR IMAGEM

Cadeiras como esta são feitas de polietileno.

B. Polipropileno

$$\underbrace{n\,CH_2{=}CH(CH_3)}_{\text{Propileno}} \xrightarrow[\text{Catalisadores}]{P,\,T} \underbrace{\left(-CH_2-CH(CH_3)-\right)_n}_{\text{Polipropileno}}$$

(Cordas, para-choques de automóveis etc.)

STUDIOMODE/ALAMY/OTHER IMAGES

Corda fabricada com polipropileno.

C. Cloreto de polivinila (PVC)

$$\underbrace{n\,CH_2{=}CH(C\ell)}_{\text{Cloreto de vinila}} \xrightarrow[\text{Catalisadores}]{P,\,T} \underbrace{\left(-CH_2-CH(C\ell)-\right)_n}_{\text{Cloreto de polivinila (PVC)}}$$

(Tubos de encanamento, sapatos plásticos, filmes para embalagens etc.)

LUCIANA CAVALCANTI/FOLHA IMAGEM

Tubos e juntas de PVC são leves, resistentes à ação de fungos e bactérias, além de serem impermeáveis.

D. Poliestireno

(Pratos, xícaras etc.)

CHARLES D. WINTERS/PR/LATINSTOCK

As embalagens de poliestireno expandido (isopor) são leves e são bons isolantes térmicos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

E. Acetato de polivinila (PVA)

Acetato de vinila

Acetato de polivinila
(Colas, tintas, gomas de mascar etc.)

SIMON DESROCHERS/MASTERFILE/OTHER IMAGES

As gomas de mascar são fabricadas a partir do PVA, que é um subproduto do petróleo.

F. Politetrafluoretileno (PTFE)

Tetrafluoretileno

Politetrafluoretileno (PTFE)
(Engrenagens, mancais, revestimento de panelas e assadeiras, fita para vedação de tubulações etc.)

JACEK LECH IWANICKI/KINO

O baixo coeficiente de atrito do PTFE evita que o alimento fique aderido à assadeira.

OBSERVAÇÃO

Os polímeros apresentados até aqui são chamados de **polímeros vinílicos**, pois todos apresentam o grupo vinila ($CH_2 = CH —$), variando-se apenas o substituinte presente, como foi destacado nas fórmulas desta página e da anterior, pelos retângulos coloridos.

Detalhando melhor, temos:

2.2. Polímeros acrílicos

Nesses polímeros, o monômero está relacionado com o **ácido acrílico** ($CH_2 = CH — COOH$). Exemplos:

A. Polimetacrilato de metila

Metil-acrilato de metila

Polimetacrilato de metila
(É o vidro plástico.)

PAUL PRESCOTT/ALAMY/OTHER IMAGES

Placas de polimetacrilato de metila utilizadas em projeto arquitetônico. (Berlim, Alemanha, 2006.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

B. Poliacrilonitrila

$$\underbrace{n\,CH_2{=}CH{-}CN}_{\text{Acrilonitrila}} \xrightarrow[\text{Catalisadores}]{P,\,T} \underbrace{\left(-CH_2-\underset{\displaystyle CN}{\underset{|}{CH}}-\right)_n}_{\text{Poliacrilonitrila}}$$

(Cobertores, carpetes, bichos de pelúcia etc.)

PROFIMEDIA INTERNATIONAL S.R.O./ ALAMY/OTHER IMAGES

Poliacrilonitrila, conhecida como lã sintética, é o principal componente dos carpetes.

OBSERVAÇÃO

Os dois últimos polímeros mencionados pertencem ao grupo dos **polímeros acrílicos**, pois seus monômeros derivam do **ácido acrílico** ($CH_2{=}CH{-}COOH$). De fato, o metil-acrilato de metila é um éster metílico, e a acrilonitrila é a nitrila correspondente ao ácido acrílico.

2.3. Polímeros diênicos

Nesses polímeros, o monômero tem a estrutura de um dieno conjugado ($CH_2{=}CH{-}CH{=}CH_2$). Por exemplo:

$$\underbrace{n\,CH_2{=}CH{-}CH{=}CH_2}_{\text{Buta-1,3-dieno}} \xrightarrow[\text{Catalisadores}]{P,\,T} \underbrace{(-CH_2-CH{=}CH-CH_2-)_n}_{\text{Polibutadieno}}$$

(Borracha sintética: buna)

Note que essa reação é uma **adição do tipo 1,4**, já vista na página 258.

É interessante notar, também, que a própria **borracha natural** é um polímero, proveniente da seringueira, cuja estrutura lembra a obtida na reação acima:

$$\underbrace{n\,CH_2{=}\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{C}}{-}CH{=}CH_2}_{\text{2-metil-buta-1,3-dieno (isopreno)}} \xrightarrow[\text{Catalisadores}]{P,\,T} \underbrace{\left(-CH_2-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{C}}{=}CH-CH_2-\right)_n}_{\text{Poli-isopreno}}$$

(Borracha natural)

Evidentemente, nas árvores que produzem a borracha, as reações são muito mais complexas do que a equação acima. Os químicos conseguiram, no entanto, realizar não só a reação acima, mas também uma série de reações análogas, como, por exemplo:

$$\underbrace{n\,CH_2{=}\underset{\displaystyle C\ell}{\underset{|}{C}}{-}CH{=}CH_2}_{\text{Cloropreno}} \xrightarrow[\text{Catalisadores}]{P,\,T} \underbrace{\left(-CH_2-\underset{\displaystyle C\ell}{\underset{|}{C}}{=}CH-CH_2-\right)_n}_{\text{Policloropreno ou neopreno}}$$

Todos esses polímeros têm propriedades elásticas semelhantes às da borracha natural, sendo, por esse motivo, denominados **borrachas sintéticas** ou **elastômeros**.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A toxicidade dos plásticos

O objeto plástico que você segura em suas mãos não é uma substância pura, representada pelas fórmulas químicas que estamos apresentando. Na verdade, o "plástico" é uma mistura que contém, por exemplo, **plastificantes** (que melhoram sua resistência e flexibilidade), **estabilizadores** (que melhoram sua resistência à luz e às oxidações), ***fillers*** (materiais de "enchimento", que aumentam sua resistência ao atrito e lhe dão maior estabilidade térmica e dimensional), **retardadores de chama** (que lhe proporcionam maior resistência ao fogo), **corantes** (que lhe conferem vasta gama de cores) e assim por diante. Pois bem, frequentemente surgem desconfianças de que esses **aditivos** colocados nos plásticos possam ser nocivos à nossa saúde. A preocupação maior é com as crianças, que têm bastante contato com o plástico nos brinquedos.

3 Copolímeros

É o caso em que o polímero é obtido a partir de dois (ou mais) **monômeros diferentes**. Simbolicamente, podemos imaginar esse tipo de polímero como uma corrente formada por elos diferentes:

ADILSON SECCO

Evidentemente, pode haver regularidade do tipo — A — B — A — B — A — ou não, como, por exemplo, — A — A — A — B — B — A — A — B — B — B — B —, fatos esses que modificarão as propriedades do polímero final. Três exemplos importantes de copolímero são:

$$\underbrace{x\,CH_2{=}CH{-}CN}_{\text{Acrilonitrila}} + \underbrace{y\,CH_2{=}CH{-}CH{=}CH_2}_{\text{buta-1,3-dieno}} \xrightarrow[\text{Catalisadores}]{P,\,T} \underbrace{\left(-CH_2-\underset{\underset{CN}{|}}{CH}\right)_x-(CH_2-CH{=}CH-CH_2-)_y}_{\text{Buna-N (Borracha sintética)}}$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A buna-N e a buna-S são borrachas especiais, empregadas em pneus e mangueiras para líquidos corrosivos. Com o ABS, são fabricados brinquedos, componentes de geladeiras etc.

BRAMWELL SLOCKER/ALAMY/OTHER IMAGES

Na fabricação das tubulações flexíveis em motores, utiliza-se **buna-N**.

INSADCO PHOTOGRAPHY/ALAMY/OTHER IMAGES

A **buna-S** é um tipo de borracha mais dura, utilizada em pneus.

4 Polímeros de condensação

Os polímeros de condensação são obtidos pela reação de dois monômeros, **com eliminação de uma substância mais simples** (como, por exemplo, H_2O, $HC\ell$, NH_3 etc.) e, às vezes, por rearranjos entre as moléculas dos monômeros.

A. A **baquelite**, o primeiro polímero de importância industrial, é um exemplo dessa classe, pois resulta da condensação de moléculas de fenol e de formaldeído, segundo a equação:

B. Os **poliésteres** são polímeros obtidos pela reação de esterificação entre um poliácido e um poliálcool, repetida muitas vezes. Os poliésteres são usados na produção de varas de pescar, engrenagens e principalmente na fabricação de fibras têxteis. Um dos exemplos mais simples é o da reação entre o ácido tereftálico e o etileno-glicol:

DANNY CLIFFORD/ALAMY/OTHER IMAGES

Os poliésteres são utilizados na fabricação de fibras têxteis, como as destas camisas.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Estruturalmente, esse polímero teria o seguinte "aspecto":

(Representação esquemática sem escala; cores-fantasia.)

ADILSON SECCO

C. Os **náilons** resultam da condensação de diaminas com diácidos. Eles são usados na produção de engrenagens, linhas de pescar, fibras têxteis etc. Um exemplo importante é o do chamado **náilon-66**, resultante da reação entre uma diamina com **6** átomos de carbono e um diácido também com **6** átomos de carbono (daí a origem do número 66):

DAVID LAWRENCE/ALAMY/OTHER IMAGES

Alimentos, como a cebola, podem ser acondicionados em sacos feitos de náilon.

D. A **poliaramida** é uma fibra mais resistente que o náilon e que o aço e pertence à classe das **aramidas**, nome dado às poliamidas aromáticas (ao contrário do náilon, que é uma poliamida alifática). A poliaramida é usada em capacetes das forças armadas, em coletes à prova de balas, em roupas contra incêndio, em esquis esportivos especiais etc. Uma corda de poliaramida é mais resistente que um cabo de aço de mesmo diâmetro; como não sofre corrosão como o aço, a poliaramida é usada em estruturas submarinas, como as existentes em poços de petróleo. A poliaramida é produzida pela reação:

NELSON ANTOINE/FUTURA PRESS

A poliaramida é usada em coletes à prova de balas.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

E. Os **policarbonatos** têm em sua estrutura o grupo $O{=}C{<}^{O-}_{O-}$ (do ácido carbônico) esterificado por fenóis. Devido à alta transparência e resistência mecânica que apresentam, esses plásticos são usados na fabricação de visores dos capacetes para motociclistas e de coberturas transparentes. Também usados na feitura de janelas de aviões por serem mais leves que o vidro para um mesmo grau de transparência e por serem mais resistentes a choques. Um exemplo importante de policarbonato é obtido pela reação:

CARO/ALAMY/OTHER IMAGES

Os policarbonatos são muito usados em janelas de aviões.

F. As **resinas epóxi**, muito usadas como adesivos e também em tintas, resultam da reação entre bisfenóis e epicloridrina:

EDUARDO SANTALIESTRA/CD

Figura feita com resina epóxi.

G. Os **poliuretanos**, usados na fabricação de espumas para colchões e travesseiros e também nos isolamentos térmicos e acústicos, resultam da reação entre diisocianatos e etileno-glicol:

CHARLES D. WINTERS/PR/LATINSTOCK

Estrutura de colchão em espuma de poliuretano.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Na verdade, essa não é uma reação de condensação, pois não há eliminação de moléculas menores (H_2O, $HC\ell$ etc.) como acontecia nas reações anteriores. Alguns autores preferem chamar polímeros desse tipo de **polímeros de rearranjo**.

Do capotão ao poliuretano

Em mais de 100 anos de evolução do futebol, materiais e técnicas de fabricação das bolas vêm sendo testados para que elas não sofram alterações de "peso", medida e formato durante a partida.

Em **1894**, as primeiras bolas de futebol foram produzidas na Inglaterra. Eram feitas de couro curtido, e uma bexiga de boi era usada como câmara de ar. Charles Miller trouxe uma dessas para o Brasil.

Em **1958**, quando o Brasil ganhou a primeira Copa do Mundo, as bolas passaram a ter câmara de ar de borracha, mas ainda eram feitas de couro. Em dias chuvosos, o "peso" da bola dobrava.

Em **1970**, no ano da conquista do tricampeonato pelo Brasil, as bolas ainda eram feitas de couro. A bola tornou-se mais redonda graças à nova geometria com 32 gomos.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Em **1994**, os brasileiros chegaram ao tetra, nos Estados Unidos, chutando uma bola com revestimento de poliuretano e câmara de látex. Nas camadas internas, foi adicionado o poliestireno.

Em **2002**, na Copa, a bola tinha, sob o revestimento de poliuretano, dez camadas de poliestireno com borracha natural. A câmara foi feita com o polímero conhecido como borracha butílica.

Em **2010**, para a Copa, a bola foi feita totalmente em poliuretano, com 8 gomos e perfeitamente esférica. Sua textura facilita a aderência, permitindo mais controle em qualquer condição de tempo.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

5 Estrutura dos polímeros

5.1. Polímeros lineares

Nos polímeros lineares, as macromoléculas são **encadeamentos lineares** (normais ou ramificados) de átomos. Nesse caso, o polímero forma **fios** que se mantêm isolados uns dos outros, como mostramos na figura ao lado.

Os polímeros lineares são **termoplásticos**, isto é, podem ser amolecidos pelo calor e endurecidos pelo resfriamento, repetidas vezes, sem perder suas propriedades.

ADILSON SECCO

Polímero linear. (Representação esquemática sem escala; cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Um caso interessante é o do polietileno. Dentre os vários tipos existentes, citamos os dois mais comuns:

- o **polietileno de baixa densidade** (PEBD), obtido sob pressões elevadas, é formado por **cadeias ramificadas**; sendo mais flexível, é usado para a produção de sacolas, de filmes para embalagens etc. Sua estrutura molecular é:

- o **polietileno de alta densidade** (PEAD), obtido sob pressões ambientes e com o uso de catalisadores especiais, é formado por **cadeias normais**:

$$\cdots - CH_2 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - \cdots$$

Essas cadeias normais se compactam melhor, formando um plástico de maior massa molecular, mais denso e mais **rígido** que o polietileno de baixa densidade; por isso, é usado na fabricação de copos, canecas, utensílios de cozinha etc.

5.2. Polímeros tridimensionais

Os polímeros tridimensionais têm macromoléculas que formam **ligações em todas as direções do espaço**. Nesse caso, o polímero tem um trançado tridimensional, bastante rígido, como mostramos ao lado.

ADILSON SECCO

Polímero tridimensional. (Representação esquemática sem escala; cores-fantasia.)

Polímeros tridimensionais são **termofixos**, isto é, uma vez preparados, eles não podem ser amolecidos pelo calor e remoldados, sob pena de se decomporem.

A resina **fenol-formaldeído**, conhecida como **baquelite**, foi o primeiro polímero tridimensional a ser produzido. Essa resina é muito importante até hoje, sendo empregada na fabricação de tintas, vernizes, detergentes, aditivos para gasolina, inseticidas e objetos moldados (cabos de panela e de talheres, tomadas, interruptores elétricos etc.).

Mostramos a seguir a reação entre o fenol e o formaldeído para a formação desse polímero. É bom relembrarmos o caráter orto-para-dirigente (página 240) do grupo OH do fenol para entender a razão das ligações que são formadas.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

FOTOS: CHARLES D. WINTERS/PR/LATINSTOCK

Formação em laboratório da resina fenol-formaldeído.

Polímeros de estruturas semelhantes são formados nas reações de **ureia com formaldeído** e de **melamina com formaldeído**. Nesse último caso, forma-se a resina denominada **fórmica**, muito usada no revestimento de móveis.

Ureia

Melamina

UM POUCO DE HISTÓRIA

Embora Friedrich Kekulé (em 1877) e Emil Fischer (em 1906) tivessem suspeitado da existência de moléculas naturais de cadeias longas, grande parte dos químicos do início do século XX descartavam essa possibilidade, preferindo acreditar que os polímeros fossem formados por **aglomerados desordenados de pequenas moléculas**.

Hermann Staudinger (1881-1955), porém, trabalhou toda a vida para provar a existência das macromoléculas. Ele conseguiu seu intento, o que lhe valeu o Prêmio Nobel de Química de 1953 (ano em que foi tirada a foto ao lado). Desde então, passou a ser considerado o fundador da Química das macromoléculas.

INTERFOTO/IMAGEPLUS

Hermann Staudinger.

Essa história até parece um *replay* do que acontecera 100 anos antes, quando não se conhecia a natureza das moléculas orgânicas e não se acreditava na possibilidade de sintetizá-las artificialmente.

Ainda no campo das pesquisas relativas às estruturas dos polímeros, outro caso interessante é o que ocorre nos polímeros com ramificações, como, por exemplo, o polipropileno

Podem, então, ocorrer as hipóteses de:

- todas as ramificações ficarem do mesmo lado da cadeia – é o chamado **polímero isotático**.

Isotático

- as ramificações alternarem-se ordenadamente de um lado e de outro da cadeia – é o **polímero sindiotático**.

Sindiotático

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

- as ramificações ficarem dispostas aleatoriamente – é o **polímero atático**.

Essas disposições afetam extraordinariamente as propriedades dos polímeros produzidos. Pois bem, os químicos Karl Ziegler (1898-1973) e Giulio Natta (1903-1979) conseguiram a proeza de preparar **catalisadores estereoseletivos**, isto é, que produzem apenas um dos dois tipos do polímero. O catalisador de Ziegler–Natta é uma mistura de $MgC\ell_2$, $TiC\ell_4$ e $A\ell(CH_3CH_2)_2C\ell$. Essa foi uma descoberta bonita do ponto de vista das **sínteses orgânicas** e de grande impacto econômico na indústria dos polímeros.

Devido a seus trabalhos, Ziegler e Natta foram agraciados com o Prêmio Nobel de Química de 1963.

Veja, então, a que minúcias chega o trabalho dos químicos no esclarecimento das estruturas e na montagem das moléculas de novas substâncias – é a eterna saga da **análise** e da **síntese** orgânicas.

Questões

Registre as respostas em seu caderno

a) O PVP (polivinilpirrolidona)

está presente na formação de alguns *sprays* de cabelo.

- Qual a fórmula estrutural do monômero que origina o PVP por meio de reação de adição?
- Represente, por meio de uma equação química, a obtenção do PVP por adição.

b) A poliaramida apresenta alta resistência à tração e à temperatura.

- Na estrutura da poliaramida, há a presença de que grupo funcional?
- As cadeias da poliaramida interagem umas com as outras intensamente. Quais os tipos de interações intermoleculares presentes entre as cadeias?
- Quais monômeros originam a poliaramida por meio de reação de condensação?
- Qual substância é obtida, juntamente com a poliaramida, na reação anterior?

Atividade prática

Registre as respostas em seu caderno

ATENÇÃO

Este experimento deve ser realizado com a supervisão de um adulto, pois haverá manipulação de objetos quentes.

Preparação da cola de caseína

Material

- Leite desnatado
- Vinagre
- $NaHCO_3$ (s)
- Fonte de aquecimento
- 1 panela
- Copo plástico descartável
- Papel toalha
- 1 pano limpo
- 1 proveta de 10 mL
- Palitos de sorvete

Procedimento

- Aqueça um copo de leite desnatado até ficar morno (cerca de 40 °C).
- Retire-o do fogo e acrescente cerca de 10 mL de vinagre aos poucos, agitando sempre, até que não apareça mais nenhum material sólido e o líquido esteja claro.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

- Observe o que ocorre e anote no caderno.
- Coe a mistura formada em um pano e aperte-o para escoar a parte líquida (soro).
- Lave, com um pouco de água, o material sólido e seque-o novamente, utilizando papel toalha (esse material sólido é a caseína).
- Separe uma parte do material sólido ainda úmido e adicione o bicarbonato de sódio.
- Agite com um palito de sorvete.
- Observe o que ocorre e anote no caderno.
- Passe a pasta formada entre duas folhas de papel ou, então, entre dois palitos de sorvete e deixe secar bem.
- Observe os resultados e anote no caderno.
- A partir da caseína é possível obter um polímero chamado galatita.

Perguntas

a) Qual é a constituição do leite de vaca?
b) O que ocorreu quando o vinagre foi adicionado ao leite?
c) O que ocorreu quando o bicarbonato de sódio foi adicionado à caseína?

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

1. (Fuvest-SP) Qual das moléculas representadas abaixo tem estrutura adequada à polimerização, formando macromoléculas?

a)
b)
c)
d)
e)

2. Quais são os produtos formados nas seguintes equações de polimerização?

a)
b)

3. (Vunesp) Acetileno pode sofrer reações de adição como a que ocorre em ***A***:

A polimerização do acetato de vinila forma o PVA, de fórmula estrutural dada em ***B***:
a) Qual é a fórmula estrutural do produto de adição do HCℓ ao acetileno?
b) Qual é a fórmula estrutural da unidade básica do polímero formado pelo cloreto de polivinila (PVC)?

4. (Fuvest-SP) Os poliésteres são polímeros fabricados por condensação de dois monômeros diferentes, em sucessivas reações de esterificação. Dentre os pares de monômeros abaixo,

I.
II.
III.
IV.

poliésteres podem ser formados:
a) por todos os pares.
b) apenas pelos pares II, III e IV.
c) apenas pelos pares II e III.
d) apenas pelos pares I e IV.
e) apenas pelo par IV.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

5. (PUC-SP) Polímeros são macromoléculas formadas por repetição de unidades iguais, os monômeros. A grande evolução da manufatura dos polímeros bem como a diversificação das suas aplicações caracterizam o século XX como o século do plástico.

A seguir, estão representados alguns polímeros conhecidos:

I. $-\overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C}-\underset{\underset{\displaystyle H}{|}}{N}-CH_{26}-\underset{\underset{\displaystyle H}{|}}{N}-\overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C}-CH_{24}-\overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C}-\underset{\underset{\displaystyle H}{|}}{N}-CH_{26}-\underset{\underset{\displaystyle H}{|}}{N}-\overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C}-CH_{24}-$

II. $-CF_2-CF_2-CF_2-CF_2-CF_2-CF_2-$

III. $-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-$

IV. $-CH_2-\underset{\underset{\displaystyle C\ell}{|}}{CH}-CH_2-\underset{\underset{\displaystyle C\ell}{|}}{CH}-CH_2-\underset{\underset{\displaystyle C\ell}{|}}{CH}-$

V.

Determine a alternativa que relaciona as estruturas e seus respectivos nomes.

	I	II	III	IV	V
a)	polietileno	poliéster	policloreto de vinila (PVC)	poliamida (náilon)	politetra-fluoretileno (Teflão)
b)	poliéster	polietileno	poliamida (náilon)	politetrafluoretileno (Teflão)	policloreto de vinila (PVC)
c)	poliamida (náilon)	politetrafluoretileno (Teflão)	polietileno	policloreto de vinila (PVC)	poliéster
d)	poliéster	politetrafluoretileno (Teflão)	polietileno	policloreto de vinila (PVC)	poliamida (náilon)
e)	poliamida (náilon)	policloreto de vinila (PVC)	poliéster	polietileno	politetra-fluoretileno (Teflão)

6. (UFSCar-SP) Um dos métodos de produção de polímeros orgânicos envolve a reação geral

$$n\,CH_2=\underset{\underset{\displaystyle X}{|}}{CH} \xrightarrow{\text{Catalisador}} \left[CH_2-\overset{\overset{\displaystyle H}{|}}{\underset{\underset{\displaystyle X}{|}}{C}} \right]_n$$

em que *X* pode ser H, grupos orgânicos alifáticos e aromáticos ou halogênios. Dos compostos orgânicos cujas fórmulas são fornecidas a seguir:

(I) (II) (III) (IV)

podem sofrer polimerização pelo processo descrito:

a) I apenas. b) III apenas. c) I e II apenas. d) I, II e IV apenas. e) II, II e IV apenas.

7. (ITA-SP) Qual é a opção que contém o polímero que, pode ser termoplástico e transparente, pode ser empregado na fabricação de para-brisas de aeronaves:

a) polietileno.
b) polipropileno.
c) poli(tetrafluoroetileno).
d) policarbonato.
e) poli(álcool vinílico).

8. (Vunesp) Uma das formas de classificação dos polímeros sintéticos é quanto à reação de preparação. Os chamados polímeros de adição ou homopolímeros são obtidos pela polimerização de moléculas pequenas (monômeros). Por exemplo, a obtenção do polietileno ocorre por polimerização do etileno na presença de catalisador e sob pressão e temperatura determinadas, conforme a reação:

$$\underset{\text{Etileno}}{n\,CH_2=CH_2} \xrightarrow{\text{P, T, Cat.}} \underset{\text{Polietileno}}{(-CH_2-CH_2-)_n}$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Das estruturas monoméricas relacionadas, a que representa o monômero do cloreto de polivinila (PVC) é:

a) $-H_2C-\underset{\underset{CN}{|}}{CH}-$

b) $-\underset{\underset{F_2}{|}}{C}-\underset{\underset{F_2}{|}}{C}-$

c) $-H_2C-\underset{\underset{CH_3}{|}}{C}=CH-CH_2-$

d) $-H_2C-CH=CH-CH_2-$

e) $-H_2C-\underset{\underset{C\ell}{|}}{CH}-$

9. (Unic-MT) As interações entre as unidades monoméricas como parte formadora da cadeia polimérica do náilon são representadas abaixo:

Qual é a opção correspondente ao tipo de interação que ocorre entre as unidades monoméricas do náilon (linhas pontilhadas):

a) ligação covalente polar.
b) ligação iônica.
c) forças de van der Waals.
d) ligação covalente dativa.
e) pontes de hidrogênio.

10. (Mackenzie-SP)

Usado em coletes à prova de bala, o *kevlar* é obtido na reação anteriormente equacionada. Dessa reação, afirma-se:

I. É uma reação de polimerização.
II. Ocorre entre uma amina e um álcool.
III. Nos anéis aromáticos, os grupos funcionais estão ligados em posição para.
IV. Um dos reagentes é o ácido p-benzenodioico.

Estão corretas as afirmações:

a) I, II e III somente.
b) II e III somente.
c) I e IV somente.
d) III e IV somente.
e) I, III e IV somente.

11. (IME-RJ) Os náilons são polímeros usualmente empregados na forma de fios, úteis na fabricação de cordas, tecidos, linhas de pesca etc. Um dos mais comuns é o náilon-66, resultante da reação de polimerização entre a hexametilenodiamina (1,6-diamino-n-hexano) e o ácido adípico (ácido hexanodioico). Com base nessa informação, determine a fórmula mínima do náilon-66.

Exercícios complementares

Registre as respostas em seu caderno

12. (UnB-DF) A molécula do **náilon-66** pode ser obtida por meio da reação de polimerização por condensação entre o ácido adípico e a hexametilenodiamina, cujas estruturas moleculares são apresentadas a seguir.

$HO-\overset{\overset{O}{||}}{C}-CH_2CH_2CH_2CH_2-\overset{\overset{O}{||}}{C}-OH$

Ácido adípico

$H_2NCH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2NH_2$

Hexametilenodiamina

$\cdots-\overset{\overset{O}{||}}{C}-CH_2CH_2CH_2CH_2-\overset{\overset{O}{||}}{C}-NHCH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2-NH-\overset{\overset{O}{||}}{C}-\cdots$

Náilon-66

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Com base nas estruturas apresentadas, julgue os itens que se seguem:

(1) O número de átomos de carbono que constituem as moléculas de ácido adípico e de hexametilenodiamina relaciona-se com o nome dado ao polímero obtido na condensação: **náilon-66**.

(2) A reação de polimerização para a formação do **náilon-66** libera água.

(3) O **náilon-66** é uma poliamida.

(4) O ácido adípico é um ácido dicarboxílico.

(5) Na reação mencionada, a hexametilenodiamina comporta-se como uma base.

13. (UFSM-RS) Analisando as representações de polímeros sintéticos

① ② ③

determine a alternativa correta:

a) ① e ② são poliamidas, polímeros de condensação.
b) ① e ③ são polivinilas, polímeros de adição.
c) ② e ③ são poliésteres, polímeros de condensação.
d) ① é um polivinil, polímero de adição.
e) ③ é uma poliamida, polímero de condensação.

14. (Uerj) O polímero denominado *kevlar* apresenta grande resistência a impactos. Essa propriedade faz com que seja utilizado em coletes à prova de bala e em blindagem de automóveis. Observe, ao lado, sua estrutura.

A reação química de obtenção desse polímero tem como reagentes dois monômeros, um deles de caráter ácido e outro de caráter básico.

a) Indique a classificação dessa reação de polimerização.
b) Considerando o monômero de caráter básico, apresente uma equação química completa que demonstre esse caráter na reação com o ácido clorídrico.

15. (UFMG) Alguns polímeros sintéticos são classificados como termoplásticos porque, quando aquecidos, se fundem, o que permite sua moldagem.

Esta tabela apresenta dois polímeros termoplásticos largamente utilizados e suas respectivas temperaturas de fusão:

Polímero	Símbolo	Temperatura de fusão/°C
Polietileno de alta densidade	PEAD	135
Poli(cloreto de vinila)	PVC	273

1. **Represente** as fórmulas estruturais das unidades de repetição de cada um desses polímeros.
2. Considerando as interações intermoleculares, **explique** por que a temperatura de fusão do PVC é **mais** alta que a do PEAD.
3. Objetos produzidos com polímeros termoplásticos podem ser fundidos uma segunda vez (refusão), o que permite diminuir o impacto ambiental de seu descarte. **Explique** por que uma borracha vulcanizada, que é produzida com a introdução de ligações covalentes entre as cadeias poliméricas, **não** pode ser reciclada pelo mesmo processo — refusão.

16. (UFMG) Um adesivo tem como base um polímero do tipo álcool polivinílico, que pode ser representado por esta estrutura:

A ação adesiva desse polímero envolve, principalmente, a formação de ligações de hidrogênio entre o adesivo e a superfície do material a que é aplicado.

Considere a estrutura destes quatro materiais:

Polietileno

Cloreto de polivinila

Poliestireno

Celulose

Com base nessas informações, é **correto** afirmar que o adesivo descrito deve funcionar **melhor** para colar:

a) celulose.
b) cloreto de polivinila.
c) polietileno.
d) poliestireno.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

17. (UFG-GO) Os plastificantes pertencem a uma classe especial de aditivos que podem ser incorporados à resina de PVC de modo a gerar materiais flexíveis. Abaixo, são mostrados dois esquemas para as cadeias de PVC, sem e com o plastificante tipo ftalato, respectivamente:

Esquema 1

Esquema 2

De acordo com os esquemas apresentados, pode-se afirmar que a função do plastificante é:

a) aumentar a ramificação do PVC.
b) aumentar a interação eletrostática entre os átomos de Cℓ de uma camada e o de H de outra camada.
c) atenuar as ligações dipolo-dipolo entre as cadeias poliméricas.
d) minimizar o impedimento estérico.
e) reduzir o grau de polimerização.

18. (UFRJ) A reação para obtenção de polietileno a partir da polimerização de etano é representada a seguir:

$$n\ CH_2H_4 \longrightarrow (C_2H_4)_n$$

Considere que, no polímero utilizado para a confecção de balões, o número de unidades monoméricas repetidas seja igual a 2.000 ($n = 2.000$).

Sabendo que 14 g de polietileno são usados para confeccionar um balão de pequeno porte, determine o número de mols de eteno necessários para obter essa quantidade de polímero e o número de mols de polietileno utilizados na confecção do balão.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

6 Os polímeros sintéticos e o cotidiano

6.1. Plásticos

A ideia de polímeros sintéticos está, logo à primeira vista, ligada à ideia de **plásticos**. Em nosso dia a dia, os plásticos estão cada vez mais presentes e de maneira cada vez mais variada:

- em **forma rígida** – em garrafas, jarros, brinquedos, partes de automóveis, geladeiras, televisores etc.;
- em **forma flexível** – em folhas de embalagens, sacolas, cortinas, recipientes variados etc.;
- em **forma de fios** – em cordas, fitas, fios etc.;
- na **forma de espuma expandida** – é muito usado como isolante do calor e como material anti-impacto em embalagens.

FERNANDO FAVORETTO/CRIAR IMAGEM

O plástico é um material bastante presente no cotidiano das pessoas.

6.2. Tecidos

Durante muitos séculos, a humanidade só usou tecidos de **fibras naturais**, como o algodão, o linho (ambos formados por celulose), a lã, a seda (ambas formadas por proteínas) etc. Em particular, os cientistas sempre sonharam em fabricar um fio bonito, resistente e elástico, como faz o bicho-da-seda (nome científico: *Bombyx mori*).

No final do século XIX, houve várias tentativas para se obter uma **seda artificial**. Em 1885, o conde Hilaire Chardonnet (1839-1924) produziu um primeiro tipo de seda artificial usando a nitrocelulose (que é altamente inflamável). Em 1890, Despeissis conseguiu dissolver algodão velho, cavacos de madeira etc. em solução de sulfato de cobre amoniacal, $Cu(NH_3)_4SO_4$; a solução resultante, despejada em solução ácida, produz fios, que são denominados **raiom cuproamoniacal**. Em 1892, Cross e Bevan também dissolveram algodão velho, cavacos de madeira etc., mas dessa vez em uma mistura de sulfeto de carbono (CS_2) e hidróxido de sódio (NaOH), e obtiveram o chamado **raiom viscose**. Nesses dois processos, as reações químicas partem da celulose e chegam a esse mesmo composto. Por esse motivo, dizemos que o tecido raiom é apenas **celulose regenerada** e que o tecido assim produzido é uma **seda artificial** (e não sintética).

Em 1928, o químico estadunidense Wallace Hume Carothers (1896-1937), até então professor e pesquisador da Universidade de Harvard, foi contratado por uma empresa para organizar uma equipe de pesquisa com o objetivo de estudar as reações de polimerização. Após dez anos de trabalho e um investimento de 27 milhões de dólares, surgia o **náilon**, e assim se iniciava a era dos **tecidos sintéticos**.

Até 1938, as meias femininas eram feitas de seda natural, muito caras e pouco resistentes. Naquele ano, ocorreu o lançamento das meias de náilon. Para comprá-las, as mulheres formavam filas e, em um ano, foram vendidos 64 milhões de pares de meias de náilon.

BETTMANN/CORBIS/LATINSTOCK

O sucesso das meias de náilon pode ser constatado nesta foto, de 1945, em que uma multidão formava fila na frente da loja para comprá-las. (Washington, D. C., Estados Unidos.)

Em 1939, a Segunda Guerra Mundial levou o náilon para os campos de batalha, sob a forma de paraquedas, tendas, macas etc. Após a guerra, o náilon voltou com toda a força para o mercado de meias, confecções, linhas de pescar, suturas cirúrgicas, cerdas para escovas de dentes etc.

Observe como ocorre o desenvolvimento químico-tecnológico em nossos dias. Grandes firmas, de âmbito mundial, investem muito tempo e dinheiro em equipes de pesquisa e desenvolvimento para obter novos produtos que sejam economicamente rentáveis no mercado.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Com o passar dos anos, os consumidores acabaram percebendo algumas desvantagens dos tecidos sintéticos (náilons, poliésteres etc.) em relação aos naturais (algodão, linho, seda etc.): além de serem mais ásperos e menos confortáveis, eles dificultam a evaporação normal da transpiração — o que provoca, em quem os usa, uma sensação de calor e abafamento. Novas pesquisas e grandes investimentos levaram as indústrias a lançar, na década de 1980, as chamadas **microfibras**.

O tecido de microfibra é mais resistente e seca mais depressa que os tecidos naturais, sendo mais macio, mais leve, mais confortável e favorecendo melhor à transpiração que o náilon comum. Destina-se a roupas esportivas, *lingerie* e alta-costura.

Novas pesquisas levaram a tecidos ideais para atletas, como os dotados de "gerenciamento de umidade", que eliminam o suor e secam rapidamente, ou, então, os que retêm o calor no inverno, permitindo, porém, a dissipação do suor, e assim por diante.

Dois exemplos interessantes do emprego de polímeros no campo das vestimentas são o velcro e os tecidos de alta tecnologia.

EYE OF SCIENCE/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

Estrutura do velcro vista ao microscópio. Note que em uma superfície há ganchos e na outra argolas (aumento de 15 vezes).

CHEN KAI/CORBIS/LATINSTOCK

Natalie Coughlin, nadadora dos Estados Unidos, utilizando maiô especial de alta tecnologia. (Jogos Olímpicos de Beijing, China, 2008.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

6.3. Elastômeros

A classe dos elastômeros inclui as **borrachas naturais e sintéticas**.

A borracha natural é um polímero do 2-metil-buta-1,3-dieno, também chamado de **isopreno**. Teoricamente, a reação de formação da borracha natural é a seguinte:

$$\underbrace{n\,CH_2{=}\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{C}}{-}CH{=}CH_2}_{\text{2-metil-buta-1,3-dieno (isopreno)}} \longrightarrow \underbrace{\left(\cdots{-}CH_2{-}\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{C}}{=}CH{-}CH_2{-}\cdots\right)_n}_{\text{Poli-isopreno}}$$

A borracha natural é encontrada na seiva de vários vegetais, sendo o valor de *n*, na fórmula dada, da ordem de 5 mil. O látex da seringueira, por exemplo, é uma emulsão contendo cerca de 35% de poli-isopreno. A borracha natural é um material muito mole, que se altera (fica "melado") com o tempo. Isso ocorre porque o oxigênio do ar vai, aos poucos, quebrando as ligações duplas, conforme as reações de oxidação que já vimos na página 282.

Visando melhorar suas qualidades, a borracha é submetida ao processo de **vulcanização**, que consiste no aquecimento da borracha em presença de compostos de enxofre. O enxofre quebra as ligações duplas e liga a molécula do poli-isopreno às suas vizinhas, tornando o conjunto mais resistente. Com de 5% a 8% de enxofre, a borracha é elástica e resistente; com 30% de enxofre, ela se torna rígida e é conhecida como **ebonite**.

As reações que ocorrem durante a vulcanização da borracha estão esquematizadas a seguir:

A reação acima mostra que o polímero inicial é de caráter **linear**. Os átomos de enxofre unem, então, as estruturas lineares iniciais, formando **pontes de enxofre**, que transformam a borracha em uma estrutura tridimensional, bastante emaranhada. Isso justifica o aumento de dureza e de resistência adquirido pela borracha durante a vulcanização. Considerando que o número de **pontes de enxofre** formado pode variar, concluímos que a borracha vulcanizada se situa entre os extremos representados pelos polímeros lineares e pelos polímeros tridimensionais.

Borracha vulcanizada em seu estado normal. (Representação esquemática sem escala; cores-fantasia.)

Borracha vulcanizada esticada. (Representação esquemática sem escala; cores-fantasia.)

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Imitando a natureza, os químicos passaram a fabricar as **borrachas sintéticas**, conhecidas por vários nomes comerciais. Por exemplo:

Pode-se, inclusive, partir de compostos (monômeros) diferentes, obtendo-se produtos mais variados:

• **nos pneus:**

• **nas mangueiras:**

Variando-se os monômeros e os valores de *n* e *m*, obtêm-se borrachas sintéticas com as mais diversas qualidades (propriedades).

Em 2006, foram produzidas no mundo 9.360.000 toneladas de borracha natural e 12.580.000 toneladas de borracha sintética, segundo o IRSG – International Rubber Study Group. A maior parte dessa produção destina-se à fabricação de pneus e câmaras de ar.

6.4. Silicones

Os polímeros descritos até aqui são **polímeros orgânicos**, isto é, formados por C, H, O, N etc. Um produto diferente, mas muito importante, são os **silicones**, cuja estrutura fundamental é:

Observe que se trata de um polímero linear, cuja cadeia (chamada de **siloxano**) é formada por átomos de silício e de oxigênio alternados. Ao silício, ligam-se grupos orgânicos (*R*), que podem variar (CH_3, CF_3, C_2H_5, etc.), resultando, então, polímeros de propriedades muito diferentes.

As cadeias ··· O — Si — O — Si — ··· são comuns na Química inorgânica, pois existem na areia, no quartzo e nos silicatos.

Os **silicones**, contudo, devem ser considerados **produtos intermediários entre a Química inorgânica e a Química orgânica**, já que apresentam ramificações orgânicas e propriedades que muito se assemelham aos polímeros orgânicos que estamos estudando. Também não se deve estranhar a possibilidade de ligação entre o silício e os grupos orgânicos. Afinal, o carbono e o silício pertencem à mesma família da Classificação Periódica dos Elementos (grupo 14 ou coluna 4A) e, portanto, devem apresentar propriedades semelhantes (por exemplo, existem os chamados **silanos**: SiH_4; Si_2H_6 etc., semelhantes aos **alcanos**).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O silicone foi inventado em 1943. Sua fabricação é feita pela seguinte sequência de reações:

$$SiO_2\,(\text{areia}) + C \xrightarrow{\text{Calor}} Si + CO_2\uparrow$$

$$Si + 2\,CH_3C\ell \longrightarrow \underbrace{C\ell - \overset{\overset{CH_3}{|}}{\underset{\underset{CH_3}{|}}{Si}} - C\ell}_{\text{Dicloro-dimetil-silano}}$$

$$2n\,C\ell - \overset{\overset{CH_3}{|}}{\underset{\underset{CH_3}{|}}{Si}} - C\ell + 2n\,H_2O \longrightarrow \underbrace{\left(\cdots - O - \overset{\overset{CH_3}{|}}{\underset{\underset{CH_3}{|}}{Si}} - O - \overset{\overset{CH_3}{|}}{\underset{\underset{CH_3}{|}}{Si}} - \cdots \right)_n}_{\text{Polidimetil-siloxano}} + 4n\,HC\ell$$

Dependendo dos grupos orgânicos presentes e do menor ou maior tamanho das moléculas, o silicone pode variar de líquido extremamente fluido para graxa viscosa e, por fim, para um sólido semelhante à borracha. Daí sua utilização em:

- **fluidos** dielétricos; hidráulicos; surfactantes; antiespumantes; desmoldantes usados em indústrias têxtil, farmacêutica, de cosméticos, de tintas, de equipamentos elétricos etc.;
- **graxas**, como lubrificante para temperaturas altas e baixas e para alto vácuo;
- **resinas**, para tintas resistentes ao tempo e à corrosão;
- **plásticos**, para equipamentos e implantes cirúrgicos, para a fabricação de adesivos e selantes (por exemplo, a **cola de silicone** é usada na montagem de aquários residenciais e na vedação de janelas);

ROBERTO ASSUNÇÃO/FOLHA IMAGEM

Luvas de silicone.

LEONARDO COLOSSO/FOLHA IMAGEM

Aplicação de silicone vedante para selar as juntas de pia de cozinha.

- **elastômeros**, que são as **borrachas de silicone** de alta resistência usadas em equipamentos industriais, automóveis etc. (as botas do primeiro astronauta que pisou na Lua, por exemplo, foram feitas com borracha de silicone).

STOCK CONNECTION DISTRIBUTION/ALAMY/OTHER IMAGES

O silicone é usado em formulações cosméticas.

LES STONE/CORBIS/LATINSTOCK

Prótese de silicone para seios.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O silicone, além de ser quimicamente muito estável, tem um comportamento interessante diante do calor. Enquanto os plásticos orgânicos queimam com relativa facilidade, o silicone só apresenta um início de combustão, que é devido aos grupos orgânicos presentes em sua estrutura. Uma vez queimada a parte orgânica, na superfície do silicone, restará a **sílica** (areia), que recobrirá o material, retardando e até mesmo extinguindo o fogo.

Uma das maiores discussões sobre o silicone está no campo dos implantes feitos em cirurgias plásticas. Ainda há muita controvérsia sobre os perigos trazidos por esses implantes, do que resultam várias tentativas de regulamentação desse assunto.

6.5. Compósitos

Como o próprio nome indica, **compósitos** são materiais formados pela **reunião de polímeros com outros materiais** com o objetivo de se obter um produto de melhor qualidade. Em geral, os compósitos são formados por fibras unidas entre si por uma substância que funciona como cola e que recebe o nome genérico de **matriz**. Fazendo uma analogia, podemos dizer que o nosso corpo funciona como um compósito, em que ossos, cartilagens, tendões e músculos se unem para dar resistência e flexibilidade ao corpo. O concreto armado funciona também como um compósito, em que os vergalhões de aço dão mais resistência ao concreto.

Os plásticos comuns têm boas qualidades: são leves, flexíveis, resistentes aos agentes químicos, isolantes de calor e eletricidade etc. Eles, no entanto, têm alguns "**defeitos" que restringem** suas aplicações, como, por exemplo: deformam-se com o calor, não resistem a temperaturas elevadas etc. Principalmente de 1960 para cá, os laboratórios de pesquisa vêm procurando soluções para os defeitos dos plásticos. Uma das soluções foi produzir compósitos formados por fibras coladas entre si por meio de resinas poliméricas. Dentre as fibras que são usadas, podemos destacar:

- **fibras de vidro** – formadas por fios de vidro especial;
- **fibras de carbono** – formadas por cadeias de carbono, que resultam da queima parcial de fibras plásticas, como, por exemplo, as de poliacrilonitrila;
- **fibras de poliaramida** – de resistência tão elevada que se presta à fabricação de coletes à prova de balas;

A. T. WILLETT/ALAMY/OTHER IMAGES

Mantas de fibra de vidro utilizadas para isolamento térmico e acústico.

- **fibras cerâmicas** – como as de carbeto de silício, SiC; de nitreto de silício, Si_3N_4 etc. (não confunda com a cerâmica clássica, que é fabricada com argila comum).

Essas **fibras** (em forma de fios contínuos, fios cortados ou de mantas tecidas) são, então, aglomeradas (coladas) por um **polímero**, que constitui, como já dissemos, a chamada **matriz** do compósito. Essa matriz serve para ligar as fibras, dar forma ao material e distribuir as forças no interior do conjunto (assim como os nossos músculos e tendões fazem em relação ao esqueleto ósseo). Dentre as resinas usadas como matrizes de compósitos, citamos como exemplo:

Resina epóxi

Poli-éter-éter-cetona (PEEK)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Os compósitos têm propriedades muito superiores às dos plásticos, como, por exemplo: maior dureza, maior resistência às fraturas, menor deformação com o calor, maior resistência a temperaturas elevadas, maior resistência à corrosão pela água do mar, menor dilatação térmica (da qual resulta maior resistência a variações de temperatura). Por esses motivos, os compósitos são também chamados de **plásticos reforçados** ou **plásticos de engenharia**. Eles são usados em aviação (nas pás dos rotores de helicópteros, em aviões militares "invisíveis" ao radar etc.), em satélites artificiais, nas carenagens dos carros de Fórmula 1, em artigos esportivos (raquetes de tênis, tacos de golfe etc.), em veleiros oceânicos de competição, em tanques para armazenar líquidos corrosivos etc.

STEFAN KOLUMBAN/PULSAR IMAGENS

As pás dos rotores dos helicópteros são feitas de compósitos. (Rio de Janeiro, RJ, 2007.)

JOE MCNALLY/GETTY IMAGE NEWS

O revestimento do avião "invisível" B-2 Stealth recebe um tipo especial de compósito, que absorve as ondas de radar. Assim, é quase impossível que esse avião seja detectado por radar. (Missouri, Estados Unidos, 2003.)

Na atualidade, o desenvolvimento dos compósitos é muito grande. Já são produzidos compósitos que, em vez de resinas poliméricas, têm como matrizes **metais**, **cerâmicas especiais** ou o **próprio carbono**. Desse modo, são produzidos compósitos que resistem a temperaturas da ordem de 2.000 °C usados no bocal de saída dos jatos dos foguetes, em revestimentos externos dos ônibus espaciais etc.

NASA

Nos ônibus espaciais, como o *Discovery*, as partes externas sujeitas a altas temperaturas são revestidas por compósitos. O bocal de saída dos foguetes também recebe revestimento interno de compósito. (Flórida, Estados Unidos, 2006.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Atualmente, podem ser fabricados compósitos "sob medida", isto é, que tenham determinados graus de dureza, de condutividade elétrica etc., seja no sentido longitudinal, seja no sentido transversal do material. Enfim, o desenvolvimento dos compósitos é tão grande que alguns automóveis já são fabricados com compósitos especiais e alguns são recicláveis.

6.6. Plásticos condutores

A ideia geral é a de que os plásticos não conduzem a corrente elétrica. Até esse fato, porém, está na mira dos pesquisadores. Um exemplo é o da polimerização do acetileno, que produz, em condições especiais, o poliacetileno:

$$n\ HC{\equiv}CH \longrightarrow$$

Esse polímero não é condutor, mas a adição de certas substâncias (denominadas **dopantes**) que podem ceder ou retirar elétrons pode torná-lo, por exemplo, do tipo:

A existência de um (ou mais) ponto positivo (ou negativo) faz com que os elétrons das ligações duplas restantes se desloquem, sob a ação de um campo elétrico, resultando, então, em condutividade elétrica. Uma das tentativas é a de fabricar, com esses polímeros, pilhas e baterias recarregáveis, que serão mais leves e menos poluentes que as baterias de chumbo, níquel, cádmio etc. existentes.

Outros exemplos de polímeros condutores são:

Polianilina

Polipirrol

Politiofeno

Poli(p-fenileno)

Questões

Registre as respostas em seu caderno

a) Um dos plásticos mais utilizados no mundo é o PET:

PET – Poli(tereftalato de etileno) ou Tereftalato de polietileno

- Quais são os monômeros que dão origem ao PET por meio de reação de condensação?
- Qual é a equação química que representa a formação do PET?

b) O polímero neopreno é mais resistente ao calor e aos solventes que a borracha natural, sendo usado, por exemplo, em trajes térmicos de mergulho e em mangueiras para combustível.

Neopreno

- Qual é a fórmula estrutural e o nome do monômero que origina o neopreno?
- Qual é a equação química que representa a obtenção do neopreno?
- A reação é de adição ou de condensação?

Exercícios básicos

Registre as respostas em seu caderno

19. (UFMG) Diversos materiais poliméricos são utilizados na fabricação de fraldas descartáveis. Um deles, o poliacrilato de sódio, é responsável pela absorção da água presente na urina; um outro, o polipropileno, constitui a camada que fica em contato com a pele.

Analise, ao lado, a estrutura de cada um desses dois materiais:

Poliacrilato de sódio

Polipropileno

Considerando-se esses dois materiais e suas respectivas estruturas, é **correto** afirmar que:

a) o poliacrilato de sódio apresenta ligações covalentes e iônicas.
b) o poliacrilato de sódio é um polímero apolar.
c) o polipropileno apresenta grupos polares.
d) o polipropileno tem como monômero o propano.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

20. (UFMG) A embalagem conhecida como "longa vida" é composta por várias camadas de três diferentes materiais: papel, polietileno de baixa densidade e alumínio. Essas camadas criam uma barreira que impede a entrada de luz, ar, água e micro-organismos.

Considerando-se esse tipo de embalagem e os materiais que a constituem, é **incorreto** afirmar que:

a) o polietileno é um plástico.
b) a embalagem impede a redução, pelo ar, das vitaminas C e D dos alimentos.
c) um minério é insumo para a produção do alumínio.
d) a madeira é insumo para a produção do papel.

21. (Vunesp) Estão representados a seguir fragmentos dos polímeros náilon e *dexon*, ambos usados como fios de suturas cirúrgicas.

$$\cdots C(=O)-(CH_2)_4-C(=O)-NH-(CH_2)_6-NH-C(=O)-(CH_2)_4-C(=O)-NH-(CH_2)_6\cdots$$

Náilon

$$\cdots CH_2-C(=O)-O-CH_2-C(=O)-O-CH_2-C(=O)-O\cdots$$

Dexon

a) Identifique os grupos funcionais dos dois polímeros.
b) O *dexon* sofre hidrólise no corpo humano, sendo integralmente absorvido no período de algumas semanas. Nesse processo, a cadeia polimérica é rompida, gerando um único produto, que apresenta duas funções orgânicas. Qual é a fórmula estrutural do produto? Identifique as funções.

22. (UFSCar-SP) A borracha é um polímero formado pela condensação do monômero 2-metil-1,3-butadieno, sendo o processo representado pela equação genérica

$$\underbrace{n\,H_2C=C(CH_3)-CH=CH_2}_{\text{2-metil-1,3-butadieno}} \longrightarrow \underbrace{\left(H_2C-C(CH_3)=CH-CH_2\right)_n}_{\text{Borracha}} \quad (n > 2.000)$$

a) Que tipo de isomeria o polímero formado pode apresentar? Justifique.
b) Sabe-se que, em presença do oxidante O_3, a borracha é atacada quimicamente, tornando-se quebradiça. Com base em seus conhecimentos sobre ligações químicas em compostos orgânicos, justifique esse fato.

23. (FGV-SP) Charles Goodyear descobriu, no século XIX, um novo processo, deixando cair borracha e enxofre casualmente no fogo. Essa matéria-prima é utilizada na fabricação de pneus. Um dos grandes problemas ambientais da atualidade é o destino dos pneus usados. O uso de pneus na composição do asfalto de ruas e estradas é uma forma de reduzir esse impacto. O processo desenvolvido por Goodyear recebe o nome de:

a) combustão.
b) destilação.
c) sinterização.
d) ustulação.
e) vulcanização.

24. (UEL-PR) Uma alternativa para os catalisadores de células a combustíveis são os polímeros condutores, que pertencem a uma classe de novos materiais com propriedades elétricas, magnéticas e ópticas. Esses polímeros são compostos formados por cadeias contendo ligações duplas conjugadas que permitem o fluxo de elétrons. Qual é a alternativa na qual ambas as substâncias químicas apresentam ligações duplas conjugadas?

a) Propanodieno e metil-1,3-butadieno.
b) Propanodieno e ciclo penteno.
c) Ciclo penteno e metil-1,3-butadieno.
d) Benzeno e ciclo penteno.
e) Benzeno e metil-1,3-butadieno.

Exercícios complementares

Registre as respostas em seu caderno

25. (Fuvest-SP) Alguns polímeros biodegradáveis são utilizados em fios de sutura cirúrgica, para regiões internas do corpo, pois não são tóxicos e são reabsorvidos pelo organismo. Um desses materiais é um copolímero de condensação que pode ser representado por:

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Dentre os seguintes compostos,

I

II

III

IV

os que dão origem ao copolímero citado são:

a) I e III. b) II e III. c) III e IV. d) I e II. e) II e IV.

26. (UFRJ) Muitas peças de plataformas marítimas para exploração de petróleo são fabricadas com compósitos poliméricos à base de poliésteres insaturados; esses poliésteres são misturados com microesferas ocas de vidro, formando estruturas rígidas, leves e resistentes.

a) A principal matéria-prima utilizada na fabricação das microesferas ocas de vidro é o SiO_2. Dê o nome dessa substância.

b) A figura a seguir representa um poliéster insaturado:

Dê a estrutura em bastão dos dois monômeros que reagem entre si para formar essa resina poliéster.

27. (Fuvest-SP) Constituindo fraldas descartáveis, há um polímero capaz de absorver grande quantidade de água por um fenômeno de osmose, em que a membrana semipermeável é o próprio polímero. Dentre as estruturas:

aquela que corresponde ao polímero adequado para essa finalidade é a do:

a) polietileno.
b) poli(acrilato de sódio).
c) poli(metacrilato de metila).
d) poli(cloreto de vinila).
e) politetrafluoroetileno.

28. (Fuvest-SP) O monômero utilizado na preparação do poliestireno é o estireno:

O poliestireno expandido, conhecido como isopor, é fabricado polimerizando-se o monômero misturado com pequena quantidade de um outro líquido. Formam-se pequenas esferas de poliestireno que aprisionam esse outro líquido. O posterior aquecimento das esferas a 90 °C, sob pressão normal, provoca o amolecimento do poliestireno e a vaporização total do líquido aprisionado, formando-se, então, uma espuma de poliestireno (isopor). Considerando que o líquido de expansão não deve ser polimerizável e deve ter ponto de ebulição adequado, dentre as substâncias ao lado, é **correto** utilizar, como líquido de expansão, apenas:

	Substância	Temperatura de ebulição (°C), à pressão ambiente
I	$CH_3(CH_2)_3CH_3$	36
II	$NC-CH=CH_2$	77
III		138

a) I. b) II. c) III. d) I ou II. e) I ou III.

29. (UFBA) A perda extensiva da pele de indivíduos portadores de queimaduras ou de úlceras de pele pode ser recuperada graças a tecidos "artificiais" constituídos de células de pacientes ou de doadores. O tecido deve se desenvolver sobre um suporte de biomaterial resistente, biodegradável e compatível — que permite aderência e diferenciação de células à medida que a cultura cresce. O biomaterial hidroliza-se à proporção que as células se desenvolvem e se unem aos tecidos adjacentes. O biomaterial com essas características é um copolímero dos ácidos glicólico e lático obtido por reações químicas que podem ser representadas, resumidamente, pela equação química. (BROWN e outros, 2005, p. 429-430):

Com base nessas informações, classifique o copolímero de acordo com a reação química representada e com o grupo funcional presente na estrutura. Em seguida, dê a fórmula estrutural condensada por produtos resultantes da hidrólise do biomaterial em meio ácido.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

LEITURA

PLÁSTICOS — RECICLAGEM TRABALHOSA

Os materiais plásticos são muito diversificados e formam cerca de cinquenta grupos, com centenas de variedades. Essa diversificação torna sua reciclagem trabalhosa, da coleta até sua separação por tipos de material.

Veja os principais plásticos e seus símbolos de reciclagem.

ADILSON SECCO

Um caso especial são os PEBD (4) usados nas sacolas plásticas. Sua enorme produção os fez muito baratos, leves, fáceis de sujar e difíceis de limpar, o que os torna sem interesse comercial para a reciclagem.

A importância em reciclar os plásticos está justamente associada à sua **estabilidade química**. Não há estudos conclusivos, mas apenas previsões, de que esses materiais possam permanecer na natureza por 100, 200 ou até 400 **anos** até a sua decomposição. É possível que os primeiros plásticos produzidos em 1907 pelo ser humano (há mais de um século) ainda estejam presentes na natureza. Hoje, nos oceanos, boiam milhares de toneladas de plásticos, matando animais marinhos; nas cidades, os plásticos sobrecarregam os aterros sanitários, os aterros não sanitários e os lixões, além de também acabarem depositados no fundo de lagos e rios.

Uma vez coletados, as **duas piores escolhas** para seu descarte são: em primeiro, os **aterros**; em segundo, sua **queima** para produção de energia, porque isso gera emissão de diversos gases nocivos, como, por exemplo, CO, NO e compostos clorados na atmosfera.

A urgência ambiental é global, e o tema passou a envolver interesses econômicos, científicos e tecnológicos na produção dos chamados **bioplásticos** ou **plásticos verdes**. Essa definição, entretanto, não é suficientemente clara para responder à questão:

Os bioplásticos são biodegradáveis?

Não, os bioplásticos têm sua origem na biomassa, como o álcool, em vez do petróleo, entretanto, têm as mesmas características de degradação quando comparados aos plásticos do petróleo. Podemos identificar sua origem apenas pela medição radioativa do carbono-14. Mesmo assim, o bioplástico (biopolímero), quando degradado, leva vantagem pela redução das emissões de CO_2 na sua origem, porém não resolve o problema ambiental causado pelo descarte e pelo acúmulo do plástico no meio ambiente.

GENG YU/SHUTTERSTOCK
SRNR/SHUTTERSTOCK
TATIANA POPOVA/ SHUTTERSTOCK
DENIS AND YULIA POGOSTINS/ SHUTTERSTOCK
TRAVIS MANLEY/SHUTTERSTOCK
BLUEKING/SHUTTERSTOCK

Alguns exemplos de objetos produzidos com materiais plásticos diversos.

Em geral, a degradação dos plásticos está relacionada aos processos de **foto-oxidação**, com o uso de raios ultravioleta e oxigênio, a temperaturas e pressão elevadas. A adição de compostos denominados **iniciadores de degradação** ao plástico propicia o início do processo de degradação na natureza sem a necessidade de micro-organismos. De acordo com a natureza desses iniciadores, os polímeros podem ser também chamados de plásticos oxibiodegradáveis ou foto-biodegradáveis. Mesmo assim, esses materiais ainda são caros e não há comprovações conclusivas sobre o tempo de sua decomposição. As estimativas giram ao redor de vinte anos, nos melhores resultados atingidos.

No Brasil, estima-se que cerca de 300 mil toneladas de plásticos rígidos e filmes passaram por **reciclagem mecânica**, em 2007. Esse volume coloca o país na quarta posição mundial na reciclagem dos plásticos, com 18%, atrás somente da Alemanha (60%), da Bélgica (29%) e da Suécia (28%).

Apenas em relação às garrafas tipo PET (politereftalato de etileno), o Brasil é o melhor dos piores; é o campeão entre os países que não dispõem de coleta seletiva, reciclando de forma espontânea mais de 50% das garrafas PET.

São cerca de de 190 mil toneladas de PET, reprocessadas por 58 empresas que produzem inúmeros produtos, como: fibras de poliéster, chapas, tubos, resinas, adesivos, tintas, vernizes, cordas, escovas, vassouras ou telhas.

O uso de PET reciclados em alimentos e medicamentos sofreu restrições a partir de 2008, quando se tornou obrigatório o seu registro na Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa). Essa ação tem fundamento, dado o potencial de presença de impurezas provenientes dos materiais coletados e dos produtos adicionados nos processos da reciclagem.

Quanto aos bioplásticos da biomassa, o Brasil leva vantagens na produção desse material pela facilidade e pelos baixos custos na obtenção do álcool de cana. Investimentos em pesquisas são fundamentais para o país extrair o que tem de melhor.

Como podemos ver, os lixos complexos produzidos pelo ser humano dão muito trabalho na hora da reciclagem. Por isso, a prevenção e o uso consciente dos plásticos são vitais para o ambiente e o futuro da Humanidade. Não há outra saída se não a conscientização da sociedade; é preciso reforçar a educação e as atitudes individuais. Não podemos esquecer que a química que polui é a mesma química que limpa, só dependendo dos seres humanos e de suas atitudes, ações, escolhas e prioridades.

ROMILDO DE JESUS/AGÊNCIA ESTADO

Unidade de reciclagem de garrafas PET. (Aratu, BA, 2008.)

SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

Plástico biodegradável visto ao microscópio. (Imagem colorizada artificialmente, aumento de cerca de 400 vezes). Quando o plástico é enterrado no solo, os grânulos (laranja) absorvem água e explodem, ocasionando a quebra do plástico em pequenos fragmentos, aumentando a área de contato com as bactérias que os ingerem.

RECRUTA ZERO **Mort Walker**

2008 KING FEATURES / INTERCONTINENTAL PRESS

REGRA DOS 5 RS:

REPENSAR: deve-se ter a consciência de comprar apenas o que é necessário, avaliando os hábitos de consumo e descarte.

RECUSAR: não aceitar ou adquirir produtos que não sejam recicláveis ou biodegradáveis, pois prejudicam o meio ambiente e a saúde.

REDUZIR: aqui, dependemos principalmente das atitudes individuais, como levar a própria sacola de pano para fazer compras, não usando as sacolas plásticas, e evitar usar os descartáveis (pratos, copos, talheres; no escritório, levar uma caneca).

REUTILIZAR: novamente, a natureza depende das atitudes das pessoas: uma garrafa de água pode ser reutilizada; no escritório, um copo de plástico pode ser usado ao longo do dia; sacos plásticos do mercado podem ser reutilizados, evitando seu desperdício, dentre outras ações do cotidiano.

RECICLAR: essa etapa depende de ações educativas para, individualmente, limpar as embalagens e fazer a separação dos plásticos; cobrar iniciativas das autoridades responsáveis e exigir a coleta seletiva em sua cidade; incentivar a formação de cooperativas de catadores de material e das associações que usem a criatividade na produção de artesanatos com materiais recicláveis.

Questões sobre a leitura

Registre as respostas em seu caderno

30. O Brasil é líder na reciclagem de PET e latas de alumínio, sem ter ainda universalizado sua coleta seletiva. Explique como isso é possível na sociedade brasileira.

31. (Enem-MEC) Segundo matéria publicada em um jornal brasileiro, "Todo o lixo (orgânico) produzido pelo Brasil hoje — cerca de 20 milhões de toneladas por ano — seria capaz de aumentar em 15% a oferta de energia elétrica. Isso representa a metade da energia produzida pela hidrelétrica de Itaipu. O segredo está na celulignina, combustível sólido gerado a partir de um processo químico a que são submetidos os resíduos orgânicos".

O Estado de S. Paulo, 1/1/2001.

Independente da viabilidade econômica desse processo, ainda em fase de pesquisa, na produção de energia pela técnica citada nessa matéria, a celulignina faria o mesmo papel:

a) do gás natural em uma usina termoelétrica.
b) do vapor de água em uma usina termoelétrica.
c) da queda-d´água em uma usina hidroelétrica.
d) das pás das turbinas em uma usina eólica.
e) do reator nuclear em uma usina termonuclear.

32. (Enem-MEC) Os plásticos, por sua versatilidade e menor custo relativo, têm seu uso cada vez mais crescente. Da produção anual brasileira de cerca de 2,5 milhões de toneladas, 40% destinam-se à indústria de embalagens. Entretanto, esse crescente aumento de produção e consumo resulta em lixo que só se reintegra ao ciclo natural ao longo de décadas ou mesmo de séculos.

Para minimizar esse problema, uma ação possível e adequada é:

a) proibir a produção de plásticos e substituí-los por materiais renováveis, como os metais.
b) incinerar o lixo de modo que o gás carbônico e outros produtos resultantes da combustão voltem aos ciclos naturais.
c) queimar o lixo para que os aditivos contidos na composição dos plásticos, tóxicos e não degradáveis, sejam diluídos no ar.
d) estimular a produção de plásticos recicláveis para reduzir a demanda de matéria-prima não renovável e o acúmulo de lixo.
e) reciclar o material para aumentar a qualidade do produto e facilitar a sua comercialização em larga escala.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

RESPOSTAS

Caso a alternativa que responde ao exercício não traga a nomenclatura adotada neste livro, esta será apresentada entre parênteses, após a resposta.

Capítulo 1 Introdução à Química orgânica

1. e **2.** e **3.** Resolvido **4.** d
5. Resolvido **6.** e **7.** Resolvido **8.** c
9. Resolvido **10.** b **11.** Resolvido **12.** e
13. b **14.** d **15.** c
16. C_5H_7N e $C_{10}H_{14}N_2$ **17.** a

18. a)

b)

c)

19. a)

b)

c)

d)

20. a) H — C = C — H (H, H)
b) H — C — C — C — H (H, H; H, H; H, H)
c) H — C ≡ C — H
d) Cℓ — C = C — Br (H, H)
e) H — C — C = O (H; H, H)
f) H — C — C — C ≡ N (H, H; H, H)

21. a) H — C — C — C — H (H, H; H, H; H, H)
b) H — C = C — H (H, H)
c) H — C ≡ C — C — H (H)
d) H — C — C — Cℓ (H, H; H, H)
e) H — C — C — O — H (H, H; H, H)
f) H — C ≡ N

22. a) H — C — C — Br (H, H; H, H)
b) H — C — C — S — H (H, H; H, H)
c) H — C — C — N — H (H, H; H, H; H)
d) H — C — C = O (H; H, H)

23. a **24.** b

25. a) Primários: 1, 7, 8, 9, 10, 11, 12; secundário: 3; terciários: 2, 4, 5; quaternário: 6.
b) Primário: 6; secundários: 2, 3, 4, 5; terciário: 1.

26. Primários: 10, 11, 12, 14, 15; secundários: 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9; terciário: 1; quaternários: 6, 13.

27. a **28.** d **29.** c **30.** c
31. d **32.** b **33.** b **34.** e
35. a **36.** d **37.** a
38. a) PS **b)** PS **c)** M **d)** M **e)** PC **f)** M
39. d **40.** c **41.** e
42. b **43.** c **44.** e

Capítulo 2 Hidrocarbonetos

1. d

2. a) pentano
b) 2,3-dimetil-pentano
c) 2,3,3-trimetil-hexano
d) 3,4-dimetil-hexano

3. a) $CH_3 - CH(CH_3) - CH_2 - CH_2 - CH_2 - CH_3$
b) $CH_3 - CH(CH_3) - CH_2 - CH(CH_3) - CH_3$
c) $CH_3 - C(CH_3)_2 - CH(CH_2CH_3) - CH_2 - CH_2 - CH_2 - CH_3$
d) $CH_3 - C(C_2H_5)(C_4H_9) - C_3H_7$

4. b **5.** c **6.** a
7. A alternativa correta é a (16).
8. d **9.** a **10.** e **11.** b
12. e **13.** a **14.** d **15.** b
16. b **17.** c **18.** d **19.** b
20. d **21.** e **22.** d **23.** a
24. c **25.** b **26.** 460 g **27.** b
28. d

29. a) 3-metil-but-1-eno
b) 2-etil-pent-1-eno
c) 4-etil-5,5-dimetil-hex-1-eno

30. a) $CH_2 = CH - CH_2 - CH(CH_3) - CH_3$
b) $CH_3 - C(CH_3) = C(CH_3) - CH_3$
c) $CH_3 - C(CH_3) = CH - C(C_2H_5)_2 - CH_2 - CH_3$
d) $CH_3 - CH_2 - CH = CH - CH(C_2H_5) - CH(CH_3) - C(CH_3)_2 - CH_3$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

31. c (dimetil-but-2-eno) **32.** a **33.** c
34. d **35.** c **36.** a **37.** b

38. a) pent-2-ino
b) 3-metil-hex-1-ino
c) 4-metil-pent-1-ino
d) 3-metil-oct-4-ino

39. a) $HC \equiv C - CH_2 - \underset{\underset{CH_3}{|}}{CH} - CH_2 - CH_3$

b) $CH_3 - C \equiv C - \overset{\overset{CH_3}{|}}{\underset{\underset{CH_3}{|}}{C}} - CH_2 - CH_3$

c) $CH_3 - \underset{\underset{CH_3}{|}}{CH} - C \equiv C - \underset{\underset{C_2H_5}{|}}{CH} - CH_2 - CH_3$

40. b **41.** d **42.** a **43.** d
44. b **45.** d

46. a) propil-ciclopropano
b) 1,2-dietil-ciclobutano
c) 1,1,3-trimetil-ciclopentano
d) 1,3-dimetil-ciclo-hexano

47. a)

b)

c)

48. b (pent-1-eno e ciclopentano)

49. a) C_nH_{2n+2} **c)** C_nH_{2n-2}
b) C_nH_{2n-4}

50. c

51. a) m-metil-etil-benzeno
b) hexametil-benzeno
c) difenil-metano
d) 1,1-difenil-propano

52. a)

b)

c)

53. e **54.** a **55.** d **56.** a
57. c **58.** b **59.** a

Capítulo 3 Funções orgânicas oxigenadas

1. a) propan-2-ol
b) 2,4-dimetil-pentan-3-ol
c) 3,3-dimetil-butan-1-ol
d) 5-etil-2,4-dimetil-heptan-4-ol
e) ciclobutanol

2. a) $CH_3 - \overset{\overset{CH_3}{|}}{\underset{\underset{CH_3}{|}}{C}} - OH$

b) $CH_3 - \underset{\underset{OH}{|}}{CH} - CH_2 - CH_3$

c) $CH_3 - CH_2 - \underset{\underset{OH}{|}}{CH} - CH_2 - CH_2 - \underset{\underset{CH_3}{|}}{CH} - CH_3$

d)

3. e **4.** e **5.** e **6.** b
7. c **8.** b **9.** b **10.** d
11. a **12.** a **13.** a

14. A "fervura fria" ocorre devido à liberação do CO_2 (resposta **a**), pela reação $C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2\ C_2H_5OH + 2\ CO_2$ (resposta **b**).

15. a **16.** a **17.** c **18.** c
19. a **20.** c **21.** a **22.** e

23. a) 1-hidróxi-4-metil-benzeno ou p-hidróxi-tolueno ou p-cresol
b) 3-etil-1-hidróxi-benzeno ou m-etil-hidróxi-benzeno
c) 3-etil-1-hidróxi-4-metil-benzeno

24. a)

b)

25. b

26. a) etóxi-propano ou éter etil-propílico
b) metóxi-metano ou éter dimetílico
c) etóxi-benzeno ou éter etil-fenílico

27. a) $CH_3 - O - \underset{\underset{CH_3}{|}}{CH} - CH_2 - CH_3$

b) $CH_3 - CH_2 - O - CH_2 - CH_3$

c) $CH_3 - O - CH_2 - CH_3$

28. a)

b) $C_8H_{10}O$

29. a **30.** d **31.** b

32. a) propanal **b)** 4-metil-hexanal

33. a) $CH_3 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - CHO$

b) $CH_3 - \underset{\underset{CH_3}{|}}{CH} - CH_2 - \underset{\underset{CH_3}{|}}{CH} - CH_2 - CHO$

34. a) pentan-3-ona ou cetona dietílica
b) hexan-3-ona ou cetona etílica-propílica
c) 2,2-dimetil-pentan-3-ona ou cetona etílica-terciobutílica

35. a) $CH_3 - \underset{\underset{O}{\|}}{C} - CH_3$ **b)** $CH_3 - CH_2 - \underset{\underset{O}{\|}}{C}$

c) $CH_3 - \underset{\underset{O}{\|}}{C} - CH_2 - \underset{\underset{CH_3}{|}}{CH} - CH_2 - CH_3$

36. c **37.** d

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

38. Uma vez a função aldeído e cinco vezes a função álcool.

39. a **40.** e **41.** a

42. d **43.** b **44.** c

45. a) ácido propanoico
b) ácido 2-etil-hexanoico
c) ácido o-metil-benzoico

46. a) $CH_3 - \underset{\underset{CH_3}{|}}{CH} - COOH$

b) $CH_3 - \underset{\underset{CH_3}{|}}{CH} - CH_2 - CH_2 - CH_2 - COOH$

c)

47. b **48.** e **49.** e **50.** b

51. a **52.** d **53.** b **54.** e

55. Somente o item (2) está errado.

56. a **57.** e **58.** a **59.** b

60. c **61.** d **62.** e **63.** c

64. a **65.** b **66.** d **67.** b

68. c **69.** e **70.** a

71. a) Hidrocarboneto (I); ácido carboxílico (II); álcool (III); álcool (IV); éster (V).
b) C_2H_6O

Capítulo 4 Funções orgânicas nitrogenadas

1. a) etilamina
b) dimetilamina
c) etil-metilamina
d) isobutilamina
e) p-metil-anilina

2. a) $CH_3 - NH - \underset{\underset{CH_3}{|}}{CH} - CH_3$

b)

3. d **4.** a **5.** e **6.** b

7. c **8.** a **9.**
(amino-éster)

10. a **11.** e

12. a) metanamida ou formamida
b) propanamida ou propionamida
c) benzamida
d) N-metil-etanamida ou N-metil-acetamida

13. a) $CH_3 - CH_2 - \underset{\underset{CH_3}{|}}{CH} - CH_2 - CONH_2$

b)

c)

14. 1) propanamida:

2) butanona:

3) ácido benzoico: $H_5C_6 - COOH$ ou

4) propanoato de isopropila:

5) butanodial:

15. d **16.** b **17.** d **18.** a

19. e **20.** a **21.** e **22.** e

23. d **24.** e **25.** a

26. a) propanonitrila ou cianeto de etila
b) nitroetano

27.
a)

b) $CH_3 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - CN$

Capítulo 5 Outras funções orgânicas

1. a) etanotiol
b) pentano-2-tiona
c) ácido metil-sulfônico

2. a)

b) $H_3C - CH_2 - S - CH_2 - CH_3$

c) $H_3C - S - S - CH_3$

3. $H_3C - \underset{\underset{CH_3}{|}}{CH} - CH_2 - CH_2 - SH$

4. c **5.** b **6.** b

7. a) 2-cloro-butano
b) 2-cloro-3-metil-pentano
c) 2-bromo-3-iodo-butano
d) o-cloro-metil-benzeno ou o-cloro-tolueno

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

8. a) 2-cloro-propano ou cloreto de isopropila
b) bromo-eteno ou brometo de vinila
c) 1-iodo-4-metil-benzeno ou p-iodo-tolueno
d) 1,2-dicloro-etano ou cloreto de etileno

9. a) $CH_3 — Br$

b)

c) $H_3C — \underset{\underset{C\ell}{|}}{C} = CH — CH_2 — CH_3$

d)

10. b

11. b

12. a) $C_7H_6O_3$
b) éster
c) cloreto de etanoíla e ácido 2-hidróxi-benzoico

13. d **14.** d **15.** b **16.** b
17. c **18.** d **19.** c

20. a) 3-metil-buta-1,2-dieno **b)** 2-bromo-2-cloro-butano
c) butano-1,4-diamina **d)** pentano-1,3,5-triol
e) propanodial **f)** hexano-3,4-diona

21. a) $H_2C = CH — CH = CH — CH = CH_2$

b)

c) $H_2N — CO — CH_2 — CO — NH_2$

22. e

23. a) 3-cloro-butanal
b) ácido 2-hidróxi-butanoico
c) 4-bromo-pentan-2-ona
d) hex-4-en-2-ona

24. a) $CH_2 — \underset{\underset{OH}{|}}{} COOH$

b) $H_3C — CH_2 — CH_2 — \underset{\underset{OH}{|}}{CH} — CH_2 — NH_2$

c) $H_3C — \underset{\underset{O}{\|}}{C} — CH_2 — CHO$

25. b (ácido prop-2-enoico) **26.** e **27.** e
28. d

Capítulo 6 Estrutura e propriedades físicas dos compostos orgânicos

1. d **2.** b **3.** d **4.** b
5. e (propanona, propan-2-ol e etanoato de metila)
6. e **7.** e
8. $CH_3C\ell$, pois suas moléculas são polares, dando origem a atrações intermoleculares do tipo dipolo-dipolo permanente.
9. a **10.** d
11. $\alpha = 120°$; $\beta = 120°$; $\gamma = 109°28'$
12. a **13.** c **14.** c
15. d **16.** b **17.** c
18. e **19.** d
20. São corretas as proposições (1) e (2).
21. d **22.** a **23.** d **24.** b
25. c **26.** a **27.** c **28.** c
29. c **30.** d **31.** c

32. a) Sólido.
b) Pode, pois irão se formar duas camadas líquidas: uma de glicerina dissolvida em água e a outra de eugenol (que é líquido e insolúvel em água).

33. b **34.** a **35.** c

36. a) Porque o catecol tem dois grupos OH que são hidrossolúveis.
b) O oxigênio é gás porque suas moléculas são pequenas e se atraem pouco (devido às ligações de van der Waals); o benzeno é líquido porque suas moléculas são maiores e sofrem uma atração recíproca média; o catecol é sólido devido às ligações de hidrogênio que unem suas moléculas.

37. a) I e III.
b) Porque em I as duas substâncias são apolares e em III as duas são polares.

38. a
39. São corretas as proposições (01) e (16).

40. a)

Mistura de I e II

Mistura de II e III

b) É o tetracloreto de carbono, pois é apolar como a graxa.

41. e

Capítulo 7 Isomeria em Química orgânica

1. c **2.** b **3.** c (3-metil-butan-2-ona)
4. b **5.** d **6.** b **7.** a
8. a **9.** b (butan-1-ol e propanal) **10.** d
11. b **12.** d **13.** c **14.** b

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

15. a) $CH_3 - \underset{\underset{O}{\|}}{C} - CH_2 - CH_3$; butanona.

b) $CH_3 - \underset{\underset{CH_3}{|}}{CH} - C\begin{matrix} \diagup\!\!\diagup O \\ \diagdown H \end{matrix}$; metil-propanal; função: aldeído.

16. b **17.** d **18.** b **19.** c (2,3-dimetil-butano)

20. e **21.** a **22.** a **23.** c

24. a) $CH_2 = CH - CH_3$; isômero de cadeia: propeno.

b) $CH_3 - \underset{\underset{CH_3}{|}}{\overset{\overset{CH_3}{|}}{C}} - OH$; isômero: álcool terciobutílico.

25. a

26. Entre I e II, o que torna a gasolina mais volátil é o II, que é o de menor massa molar e, portanto, de menor ponto de ebulição. Um isômero de cadeia de II é, por exemplo, o $CH_3 - \underset{\underset{CH_3}{|}}{CH} - CH_2 - CH_3$

27. a

28. a)

b)

29. d **30.** e **31.** e **32.** d (but-2-eno) **33.** e **34.** c **35.** três

36. d **37.** d **38.** c **39.** d (cis-pent-2-eno, ciclopentano e 2-metil-but-1-eno) **40.** b

41. b **42.** a **43.** c **44.** c **45.** e **46.** a **47.** a **48.** b

49. d **50.** b **51.** São corretas as proposições (04), (08), (16) e (64). **52.** d **53.** a

54. c **55.** São corretas as proposições (01), (02) e (08). **56.** e **57.** a **58.** b

59. b **60.** b **61.** b **62.** d **63.** d

64. a)

b) Isomeria óptica devido ao carbono quiral assinalado na fórmula acima (*).

65. b

Capítulo 8 Reações de substituição

1. A ligação C — Br **2.** b **3.** e **4.** e

5. c **6.** e **7.** e **8.** e

9. a) *A*: $CH_3C\ell$ *B*: ácido nítrico **b)** isomeria de posição

10. d **11.** c **12.** d **13.** d **14.** e

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

15. a)

b)

c)

16. e **17.** d **18.** d **19.** b

20. a)

b)

c)

21. e **22.** a **23.** b **24.** a **25.** b

26. a) $CH_3Br + CH_3 - CH_2ONa \longrightarrow CH_3 - CH_2 - O - CH_3 + NaBr$

b) $C_2H_5I + HC \equiv CNa \longrightarrow HC \equiv C - C_2H_5 + NaI$

c) $CH_3C\ell + NaCN \longrightarrow CH_3 - CN + NaC\ell$

27. d **28.** e

29. a) $CH_3 - CH_2C\ell + NaOH \longrightarrow CH_3 - CH_2OH + NaC\ell$

b) $CH_3Br + NaOCH_2 - CH_3 \longrightarrow CH_3 - O - CH_2 - CH_3 + NaBr$

c) $CH_3 - CH_2Br + NaC \equiv C - CH_2 - CH_3 \longrightarrow CH_3 - CH_2 - C \equiv C - CH_2 - CH_3 + NaBr$

d) $CH_3 - CH_2Br + NaCN \longrightarrow CH_3 - CH_2 - CN + NaBr$

e) $CH_3C\ell + NH_3 \longrightarrow CH_3 - NH_2 + HC\ell \longrightarrow [CH_3 - NH_3]^+C\ell^-$

Capítulo 9 Reações de adição

1. a) $CH_2 = CH - CH_3 + Br_2 \longrightarrow CH_2(Br) - CH(Br) - CH_3$

b) $CH_2 = C(CH_3) - CH_3 + HC\ell \longrightarrow CH_3 - C(C\ell)(CH_3) - CH_3$

c) $CH_3 - CH = C(CH_3) - CH_3 + H_2O \xrightarrow{H_2SO_4} CH_3 - CH_2 - C(OH)(CH_3) - CH_3$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

2. e **3.** c **4.** c **5.** d **6.** e **7.** d **8.** e **9.** e

10. a) $CH_3-CH=CH_2 + HI \longrightarrow CH_3-\underset{\underset{I}{|}}{CH}-CH_3$ **(2-iodo-propano)**

b)

(1-cloro-1-metil-ciclo-hexano)

11. São corretas as alternativas (01: *A* é o 3-metil-pent-1-eno) e (16: *B* é o 2-metil-propeno).

12. c (2-metil-but-2-eno)

13. a) 3,4-dimetil-pent-2-eno e $CH_3-\underset{\underset{CH_3}{|}}{CH}-\underset{\underset{CH_3}{|}}{C}=CH-CH_3$

b) $CH_3-\overset{\overset{CH_3}{|}}{\underset{\underset{CH_3}{|}}{C}}-CH_2-CH_2-CH_3$ ou $CH_3-CH_2-\overset{\overset{CH_3}{|}}{\underset{\underset{CH_3}{|}}{C}}-CH_2-CH_3$

14. a **15.** a **16.** e (hexa-2,4-dieno) **17.** d

18. a) $HC\equiv C-CH_3 + HC\ell \longrightarrow CH_2=\underset{\underset{C\ell}{|}}{C}-CH_3$

b) $HC\equiv C-CH_3 + 2\,HC\ell \longrightarrow CH_3-\overset{\overset{C\ell}{|}}{\underset{\underset{C\ell}{|}}{C}}-CH_3$

c) $CH_3-C\equiv C-CH_3 + H_2O \longrightarrow CH_3-\underset{\underset{O}{\|}}{C}-CH_2-CH_3$

19. d **20.** a **21.** a

22. a) $CH_2=CH-CH=CH_2 + Br_2 \longrightarrow \underset{\underset{Br}{|}}{CH_2}-CH=CH-\underset{\underset{Br}{|}}{CH_2} + \underset{\underset{Br}{|}}{CH_2}-\underset{\underset{Br}{|}}{CH}-CH=CH_2$

b)

23. c **24.** c

25. d

26. e

27. b

28. c (but-2-eno e 2-metil-propeno)

29. d

30. a) $CH_3-\underset{\underset{O}{\|}}{C}-CH_3 + H_2 \longrightarrow CH_3-\underset{\underset{OH}{|}}{CH}-CH_3$

b) $CH_3-C(=O)-H + HCN \longrightarrow CH_3-\overset{\overset{OH}{|}}{\underset{\underset{H}{|}}{C}}-CN$

c) $CH_3-CH_2-C(=O)-H + CH_3MgBr \longrightarrow CH_3-CH_2-\overset{\overset{OMgBr}{|}}{\underset{\underset{H}{|}}{C}}-CH_3 \xrightarrow{H_2O} CH_3-CH_2-\overset{\overset{OH}{|}}{\underset{\underset{H}{|}}{C}}-CH_3 + Mg(OH)Br$

31. d **32.** a (2-metil-butan-2-ol) **33.** e **34.** d

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Capítulo 10 Reações de eliminação

1. a

2. a) $CH_3 - CH_2 - CH_2OH \xrightarrow[\text{Calor}]{H_2SO_4} CH_3 - CH = CH_2 + H_2O$

b) $CH_3 - CH_2 - CH_2OH \xrightarrow[\text{Calor}]{H_2SO_4} CH_3 - CH_2 - CH_2 - O - CH_2 - CH_2 - CH_3 + H_2O$

c) $CH_3 - CH_2 - COOH + CH_3 - CH_2 - COOH \longrightarrow (CH_3 - CH_2 - C(=O))_2O + H_2O$

d) $CH_3 - CN \xrightarrow{H_2O} CH_3 - C(=O)NH_2 \xrightarrow{H_2O} CH_3 - C(=O)ONH_4$

3. d **4.** c (propan-2-ol)

5. a) $CH_3 - \underset{OH}{CH} - \underset{H}{CH} - CH_3 \xrightarrow[H_2SO_4]{170\ °C} CH_3 - CH = CH - CH_3 + H_2O$

b) $(CH_3)(H)C = C(H)(CH_3)$

6. a **7.** d **8.** d

9. a) $CH_3 - C(CH_3)(OH) - CH_2 - CH_3 \xrightarrow[H_2SO_4]{\text{Calor}} CH_3 - C(CH_3) = CH - CH_3 + H_2O$

b) $CH_3 - \underset{CH_3}{CH} - \underset{Br}{CH} - CH_3 \xrightarrow[\text{Álcool}]{KOH} CH_3 - C(CH_3) = CH - CH_3 + KBr$

c) $CH_3 - CH_2Br \xrightarrow{AgOH} CH_3 - CH_2OH + AgBr$

d) $CH_3 - CC\ell_2 - CC\ell_2 - CH_3 \xrightarrow[\text{Álcool}]{Zn} CH_3 - C \equiv C - CH_3 + ZnC\ell_2$

e) $BrCH_2 - CH_2 - CH_2 - CH_2Br \xrightarrow[\text{Álcool}]{Zn} (H_2C - CH_2)_2 + ZnBr_2$

10. e **11.** a **12.** c

13. a) $CH_3 - CH_2C\ell \longrightarrow CH_2 = CH_2 + HC\ell$

b) A eliminação de $HC\ell$ produz o 1,2-dicloro-eteno, que apresenta os isômeros cis e trans:

$CHC\ell_2 - CH_2C\ell \longrightarrow (C\ell)(H)C = C(C\ell)(H)$ (cis) ou $(C\ell)(H)C = C(H)(C\ell)$ (trans)

14. a) O propanotriol é um triálcool e a acroleína é um aldeído insaturado.

b) Propenal.

15. d **16.** e

Capítulo 11 O caráter ácido-básico na Química orgânica

1. d

2. a) Ácidos: H_2SO_4 e $C_2H_5 - \overset{+}{O}(H) - C_2H_5$; bases: $C_2H_5 - O - C_2H_5$ e HSO_4^-

b) Ácidos: H_2O e $CH_3\overset{+}{N}H_3$; bases: $CH_3 - NH_2$ e OH^-

3. b

4. $\alpha = 0{,}01$ ou 1% e 0,059 g de CH_3COO^- por litro.

5. a) $[H^+] = 10^{-3}$ mol/L; $[A^-] = 10^{-3}$ mol/L; $[HA] \simeq 0{,}05$ mol/L **b)** pH = 3

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

c) $\alpha = 0{,}02$ ou 2%

6. c **7.** c **8.** c **9.** d **10.** d **11.** a

12. a) Quatro (3 no anel benzênico e 1 no grupo C═O).

b)

13. e **14.** c **15.** b

16. a)

b) ácido acético < ácido monocloroacético < ácido monofluoroacético

17. e **18.** e

19. a) $C_5H_{11}COOH + NaHCO_3 \longrightarrow C_5H_{11}COONa + H_2O + CO_2\uparrow$

b) É o gás carbônico (CO_2).

20. b **21.** d **22.** c

23.

Teor de ácido cítrico = 50%

24. Estão corretas as alternativas (0), (3) e (4).

25. b

26. Só é correto o item (1).

27. a)

b)

28. d **29.** a

30. a) Por exemplo: $CH_3(CH_2)_4CH_2OH$

b) Por exemplo: $CH_3 — O — CH_2(CH_2)_3CH_3$

c) *A*: álcool; *B*: éter.

31. c

32. $HC \equiv CH$ (reage) e $CH_3 — C \equiv C — CH_3$ (não reage)

33. c **34.** c **35.** c **36.** d **37.** c

38. a **39.** c **40.** b **41.** d **42.** d

43. a) Maior que 7, pois o equilíbrio libera OH^-, que torna a solução básica.

b) Porque o limão e o vinagre contêm ácidos que reagem com a metilamina, transformando-a no sal correspondente e diminuindo seu mau cheiro.

44. a) Com o $HC\ell$ existente no estômago, temos:

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

b) É mais solúvel em meio ácido devido à reação mostrada no item **a**).

45. a **46.** e **47.** d **48.** c **49.** a

50. São ácidos de Lewis: em (a) BF_3; em (b) Cu^{2+}; em (c) Fe^{2+}
São bases de Lewis: em (a) NH_3; em (b) NH_3; em (c) CN^-

51. c

52. No conceito de Lewis, pois há doação/recepção de um par eletrônico. Atua como ácido, o $:\ddot{\underset{\cdot\cdot}{S}}$, pois é este participante que recebe o par eletrônico.

53. c

54. Porque os éteres se comportam como bases de Lewis e reagem formando um sal de oxônio.

55. e

Capítulo 12 A oxirredução na Química orgânica

1. a) −2 **b)** −2 **c)** −1

2. b **3.** a

4. a) zero **b)** −1 **c)** +3 **d)** +1

5. d **6.** e **7.** d **8.** a **9.** e **10.** a

11. e **12.** e (metil-but-2-eno) **13.** b (2-metil-pent-2-eno) **14.** b

15. $CH_3-C(=O)-H$ **(aldeído);** $CH_3-\overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C}-CH_3$ **(cetona).**

16. e (2,3-dimetil-but-2-eno) **17.** e **18.** a **19.** c (2,4-dimetil-hex-3-eno)

20. e (metilpropanal, metanal e pentano-2,4-diona) **21.** b

22. $R-C\equiv C-H + 4\,[O] \longrightarrow R-C(=O)-OH + CO_2$

23. d (but-2-ino) **24.** d (2,3-dimetil-but-2-eno) **25.** e

26. a) **b)** $+ Br_2 \longrightarrow$

27. e (propan-1-ol) **28.** a

29. a) O etanol existente no vinho sofreu oxidação, originando ácido acético, que caracteriza o vinagre:

$CH_3-CH_2OH + 2\,[O] \longrightarrow CH_3-COOH + H_2O$

b) A garrafa não cheia contém maior quantidade de ar e, consequentemente, maior quantidade de O_2, que aumenta a velocidade de oxidação do etanol. Além disso, "fora da geladeira", a temperatura é maior e acelera a oxidação do etanol.

30. a) $H-C(=O)-H$ **(metanal)**

b) O cobre metálico age como catalisador. No início, o cobre precisa ser aquecido para que os reagentes atinjam o estado ativado. A seguir, o próprio calor da reação (que é exotérmica) mantém o cobre aquecido.

31. Os éteres são oxidados pelo oxigênio do ar, dando origem a peróxidos.

32. a) No reagente, dois grupos fenólicos (OH); no produto, dois grupos cetônicos $\left(>C=O\right)$

b) Oxidante: H_2O_2; redutor: difenol.

33. a **34.** a (propan-2-ol) **35.** e **36.** b **37.** a

38. a) Porque a laranja contém ácido cítrico, que dificulta a oxidação da orto-hidroquinona. **b)** Fenol.

39. e **40.** d **41.** b **42.** a

43. *A*: $CH_3-CH(CH_3)-CH=CH_2$ *B*: $CH_3-CH(CH_3)-CH(OH)-CH_3$

44. Respectivamente: $CH_3-CH_2-CH_2-C(=O)-H$ e $CH_3-\overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C}-CH_2-CH_3$

Butanal **Butanona**

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

45. d **46.** b (propanal e propan-2-ol) **47.** d **48.** e **49.** c **50.** c

51. b **52.** d **53.** d **54.** e **55.** b

56. a) *B*: $CH_3 — CH_2 — CH_2 — NH_2$

b) substituição

57. d **58.** c **59.** d **60.** e **61.** c

62. e **63.** c **64.** c **65.** d

Capítulo 13 Outras reações na Química orgânica

1. d

2. c

3. a) Há dois grupos funcionais: — COOH (ácido carboxílico) e — OOC — CH_3 (éster).

b)

4. c **5.** b **6.** c **7.** c **8.** b **9.** b **10.** e

11. a) No p-acetoaminofenol, existem dois grupos funcionais: — C(=O) — N — Amida e C — OH Fenol (Aromático)

b) A equação da reação de hidrólise é:

12.

13. d **14.** a **15.** d **16.** a **17.** a

18. a) $CH_3Cℓ + 2\ Na + Cℓ CH_3 \longrightarrow CH_3 — CH_3 + 2\ NaCℓ$

$CH_3 — CH(CH_3) — Cℓ + 2\ Na + Cℓ CH_3 \longrightarrow CH_3 — CH(CH_3) — CH_3 + 2\ NaCℓ$

$CH_3 — CH(CH_3) — Cℓ + 2\ Na + Cℓ — CH(CH_3) — CH_3 \longrightarrow CH_3 — CH(CH_3) — CH(CH_3) — CH_3 + 2\ NaCℓ$

b) Etano; 2-metil-propano; 2,3-dimetil-butano.

19. a **20.** c **21.** a (2-metil-butan-2-ol) **22.** e **23.** e **24.** a

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Capítulo 14 Glicídios (açúcares – carboidratos)

1. d

2. c

3. a) $C_3H_6O_3 + 3\ O_2 \longrightarrow 3\ CO_2 + 3\ H_2O$

b)

4. a) São cinco grupos alcoólicos e um aldeído.
b) São os átomos 2, 3, 4 e 5.

5. d **6.** b

7. a **8.** d

9. a) $C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2 \longrightarrow 6\ CO_2 + 6\ H_2O$ + energia
b) Porque diminui a velocidade das reações metabólicas.

10. c **11.** b **12.** d **13.** d **14.** d

15. a **16.** b **17.** e **18.** b **19.** e

20. a)

b) Celulose

21. b **22.** c **23.** b

Capítulo 15 Lipídios (óleos – gorduras)

1. a **2.** c **3.** b

4. São corretas as proposições (02), (04) e (16).

5. a **6.** c **7.** b **8.** d **9.** e **10.** c

11. a)

b) duas

12. c

13. d

14. a) O álcool é o propan-1,2,3-triol;
o ácido graxo **saturado** é o ácido 3-metil-pentanoico.
b) Na glicerina, são os grupos OH e, nos ácidos, são os grupos COOH.

15. b **16.** d **17.** b

18. 1. *B*: $CH_3(CH_2)_{23}CH_2COOH$; *C*: $HOCH_2(CH_2)_{26}CH_3$
2. *A*: — COO — (carboxilato); *B*: — COOH (carboxila); *C*: — OH (álcool).
3. *A*: éster; *B*: ácido carboxílico; *C*: álcool.
4. $CH_3(CH_2)_{23}CH_2COOH + NaHCO_3 \longrightarrow CH_3(CH_2)_{23}CH_2COO^-Na^+ + H_2O + CO_2\nearrow$

19. e **20.** b **21.** c **22.** b **23.** b

24. a) S: enxofre
b) 32 g/mol

25. e **26.** b **27.** b

28. Estão corretos os itens (1), (2), (3) e (6).

29. b

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

30. a) $K_2O + H_2O \longrightarrow 2\ KOH$: solução básica (pH > 7)

b)

31. b

32. e

33. a) 23,4 g

b) A ação de limpeza do sal é devida à emulsificação das partículas gordurosas

Capítulo 16 Aminoácidos e proteínas

1. a) Ácido 2-amino-etanoico.

b) Amina e ácido carboxílico.

c)

2. 1ª possibilidade:

2ª possibilidade:

3.

4. d

5. a) $CH_2 - COOH$ (glicina) e $CH_2 - COO^-$ (zwitterion)
$\quad | \qquad\qquad\qquad\qquad | \qquad\qquad\qquad\

c) $CH_2(NH_2)-COOH + H^+ \rightleftharpoons CH_2(NH_3^+)-COOH$

11. São verdadeiras as proposições (0) e (1).

12. d **13.** d **14.** d **15.** d **16.** c **17.** c **18.** e

19. $CH_3-CH(NH_2)-CO-NH-CH(CH_3)-COOH + H_2O \longrightarrow CH_3-CH(NH_2)-COOH + H_2N-CH(CH_3)-COOH$

20. a **21.** e **22.** d **23.** a **24.** d

25. e **26.** c **27.** a **28.** e **29.** a

Capítulo 17 Polímeros sintéticos

1. d

2. a) $\cdots \left(CH(CN)-CH_2 \right)_m \left(CH(CH_3)-CH_2 \right)_n \cdots$

b) $\cdots - OC - C_6H_4 - COO - CH_2 - CH_2 - O - \cdots + 2\,H_2O$

3. a) $H-C(H)=C(Cl)-H$ **b)** $\cdots \left(CH_2-CH(Cl) \right)_n \cdots$

4. e **5.** c **6.** d **7.** d **8.** e **9.** e **10.** e **11.** $C_6H_{11}NO$

12. Todos os itens estão corretos. **13.** d

14. a) Polimerização por condensação.

b) $H_2N-C_6H_4-NH_2 + 2\,HCl \longrightarrow Cl^-NH_3^+-C_6H_4-NH_3^+Cl^-$

15. 1. PEAD: $\cdots - CH_2 - CH_2 - \cdots$

PVC: $\cdots - CH_2 - CH(Cl) - \cdots$

2. A temperatura de fusão do PVC é mais alta que a do PEAD porque o monômero do PVC é polar, enquanto o monômero do PEAD é apolar.

3. Porque é um polímero tridimensional com cadeias trançadas que se rompem por aquecimento.

16. a **17.** c **18.** 0,5 mol **19.** a **20.** b

21. a) O grupo funcional do náilon é uma amida e o grupo funcional do *dexon* é um éster.

b) $HO-CH_2-COOH$; funções álcool e ácido carboxílico.

22. a) Isomera cis-trans.

b) O ozônio rompe as moléculas do polímero, pois ataca as ligações duplas.

23. e

24. e (benzeno e metil-buta-1,3-dieno.)

25. a

26. a) Dióxido de silício.

b)

27. b **28.** a

29. O polímero é um poliéster de condensação.

A hidrólise em meio ácido produz $HO-CH_2-C(=O)-OH$ e $HO-CH(CH_3)-C(=O)-OH$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

LISTA DE SIGLAS

Acafe-SC	Associação Catarinense das Fundações Educacionais
Ceeteps-SP	Centro Estadual de Educação Tecnológica “Paula Souza”
Cefet-RJ	Centro Federal de Educação Tecnológica “Celso Suckow da Fonseca”
Cesgranrio-RJ	Fundação Cesgranrio
Ceub-DF	Centro de Ensino Unificado de Brasília
EEM-SP	Escola de Engenharia Mauá
Enem-MEC	Exame Nacional de Ensino Médio
EPM-SP	Escola Paulista de Medicina
F. M. Pouso Alegre	Faculdade de Medicina de Pouso Alegre
Faap-SP	Fundação Armando Álvares Penteado
Fatec-SP	Faculdade de Tecnologia de São Paulo
FCM-MG	Fundação Cefet Minas
Feevale-RS	Federação de Estabelecimento de Ensino Superior de Novo Hamburgo
FEI-SP	Faculdade de Engenharia Industrial
FEQ-CE	Fundação Educacional Edson Queiroz
Fesp-PE	Fundação do Ensino Superior de Pernambuco
Fesp-SP	Faculdade de Engenharia de São Paulo
FFCMPA-RS	Fundação Faculdade Federal de Ciências Médicas de Porto Alegre
FGV-SP	Fundação Getúlio Vargas
FMABC-SP	Faculdade de Medicina do ABC
FMIt-MG	Faculdade de Medicina de Itajubá
FMTM-MG	Faculdade de Medicina do Triângulo Mineiro
Furg-RS	Fundação Universidade Federal do Rio Grande
Fuvest-SP	Fundação Universitária para o Vestibular
IME-RJ	Instituto Militar de Engenharia
ITA-SP	Instituto Tecnológico de Aeronáutica
Mackenzie-SP	Universidade Presbiteriana Mackenzie
Osec-SP	Organização Santamarense de Ensino e Cultura
PUC-Campinas-SP	Pontifícia Universidade Católica de Campinas
PUC-MG	Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
PUC-PR	Pontifícia Universidade Católica do Paraná
PUC-RJ	Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
PUC-RS	Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul
PUC-SP	Pontifícia Universidade Católica de São Paulo
U. F. Santa Maria-RS	Universidade Federal de Santa Maria
U. F. Viçosa-MG	Universidade Federal de Viçosa
U. São Judas-SP	Universidade São Judas Tadeu
UCB-DF	Universidade Católica de Brasília
UCDB-MS	Universidade Católica Dom Bosco
UCSal-BA	Universidade Católica de Salvador

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

UCS-RS	Universidade de Caxias do Sul
Udesc	Universidade do Estado de Santa Catarina
Uece	Universidade Estadual do Ceará
UEL-PR	Universidade Estadual de Londrina
Uema	Universidade Estadual do Maranhão
UEMG	Universidade do Estado de Minas Gerais
UEM-PR	Universidade Estadual de Maringá
Uepa	Universidade do Estado do Pará
UEPB	Universidade Estadual da Paraíba
UEPG-PR	Universidade Estadual de Ponta Grossa
Uerj	Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Uespi	Universidade Estadual do Piauí
Ufac	Fundação Universidade Federal do Acre
Ufam	Universidade Federal do Amazonas
UFBA	Universidade Federal da Bahia
UFC-CE	Universidade Federal do Ceará
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande
Ufes	Universidade Federal do Espírito Santo
UFF-RJ	Universidade Federal Fluminense
UFG-GO	Universidade Federal de Goiás
UFJF-MG	Universidade Federal de Juiz de Fora
UFMA	Fundação Universidade Federal do Maranhão
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
UFMS	Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
UFMT	Fundação Universidade Federal de Mato Grosso
UFPA	Universidade Federal do Pará
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
UFPel-RS	Fundação Universidade Federal de Pelotas
UFPI	Universidade Federal do Piauí
UFPR	Universidade Federal do Paraná
UFRGS-RS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UFRN	Universidade Federal do Rio Grande do Norte
UFRO	Fundação Universidade Federal de Rondônia
UFRRJ	Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UFSCar-SP	Fundação Universidade Federal de São Carlos
UFSM-RS	Universidade Federal de Santa Maria
UFS-SE	Fundação Universidade Federal de Sergipe
UFT	Universidade Federal de Tocantins

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

UFU-MG	Fundação Universidade Federal de Uberlândia
UFV-MG	Fundação Universidade Federal de Viçosa
UGF-RJ	Universidade Gama Filho
Ulbra-RS	Universidade Luterana do Brasil
UMC-SP	Universidade de Mogi das Cruzes
Unama-PA	Universidade da Amazônia
UnB-DF	Fundação Universidade de Brasília
Unesp	Universidade Estadual Paulista
Unicamp-SP	Universidade Estadual de Campinas
Unicenp-PR	Centro Universitário Positivo
Unic-MT	Universidade de Cuiabá
Uniderp-MS	Universidade para o Desenvolvimento do Estado e da Região do Pantanal
Unifesp	Universidade Federal de São Paulo
Unifor-CE	Universidade de Fortaleza
Unip-SP	Universidade Paulista
Unirio-RJ	Fundação Universidade do Rio de Janeiro
UniSantos-SP	Universidade Católica de Santos
Univali-SC	Universidade do Vale do Itajaí
UPE	Universidade de Pernambuco
UPF-RS	Universidade de Passo Fundo
USC-SP	Universidade do Sagrado Coração (Bauru)
UVA	Universidade Estadual Vale do Acaraú
Vunesp	Fundação para o Vestibular da Unesp

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ÍNDICE REMISSIVO

A

- acetaldeído (*veja* aldeído acético)
- acetileno, 71, 72, 289
- acetona, 110
- acidez, 284
- ácido
  - acético, 115
  - fórmico, 114
- ácidos
  - graxos, 370
  - nucleicos, 361
  - sulfônicos, 153
- ácidos carboxílicos,
  - nomenclatura dos, 113-114
  - oxirredução dos, 324-325
- ácidos e bases,
  - de Arrhenius, 280-281
  - de Brönsted-Lowry, 281-283
  - de Lewis, 301-303
- acilação de Friedel-Crafts, 239
- acrílico, 417-418
- açúcares (*veja* glicose)
- agente
  - oxidante, 308
  - redutor, 308
- alcadienos (*veja* dienos)
- alcaloides, 133-134
- alcanos, 44-61
- alcenos, 65-68
- alcinos, 71-72
- álcoois,
  - caráter ácido dos, 288
  - classificações dos, 88
  - desidratação de, 272
  - nomenclatura dos, 87-88
  - oxirredução dos, 318-319
- álcool comum, combustível ou automotivo (*veja* etanol)
- aldeído
  - acético, 109
  - fórmico, 109
- aldeídos,
  - nomenclatura dos, 108
  - oxirredução dos, 323-324
- Alder, K., 342
- aldose, 351
- alimentação humana, 406-407
- alquenos (*veja* alcenos)
- alquilação,
  - da amônia, 345-346
  - de Friedel-Crafts, 239
- amidas,
  - nomenclatura das, 137
- amido, 360
- aminas,
  - caráter básico das, 296-297
- aminoácidos,
  - classificações dos, 395
  - essenciais, 395
  - reações dos, 396-397
- analgésicos, 249
- análise orgânica, 23-24
- anel
  - aromático, 35, 76, 77, 155, 184-186
  - benzênico (*veja* anel aromático)
- anestésicos, 105, 156
- anfetaminas, 133
- anidridos orgânicos, 120-121
- anilina, 131, 132, 327
- antioxidantes, 331, 407
- antípodas ópticos (*veja* isômeros enantiomorfos)
- aramidas (*veja* poliaramida)
- Arrhenius, S. A., 280

B

- baquelite, 420
- benzeno, 35, 76-79, 185-186
- Berzelius, J. J., 20
- *biodiesel*, 373-374
- borracha
  - de silicone, 436
  - natural, 39, 70, 331, 418, 423, 433, 435
  - sintética, 418, 419, 435
- Brönsted, J. N., 281

C

- cadeia carbônica,
  - aberta, 34
  - aumento da, 340-342
  - diminuição da, 340-342
  - fechada, 34
  - heterogênea, 35
  - homogênea, 35
  - insaturada, 34
  - normal, 34
  - orgânica (*veja* cadeia carbônica)
  - principal, 34
  - ramificada, 34
  - saturada, 34
- caráter
  - ácido e caráter básico na Química orgânica, 280, 283
  - aromático, 132
- carboidratos (*veja* glicídios)
- carbono
  - assimétrico, 220
  - átomo de, 18, 29-31

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

cadeia de (*veja* cadeia carbônica)
compostos do (*veja* compostos orgânicos)
insaturado, 34
primário, 32
quaternário, 32
quiral (*veja* carbono assimétrico)
saturado, 34
secundário, 32
sequestro de, 61
terciário, 32
• carboquímica, 81-83
• carboxilácidos (*veja* ácidos carboxílicos)
• catalisadores, 347
• celulose, 359-360
• cerídios, 379
• cetonas,
nomenclatura das, 108
oxidação das, 323-324
• cetose, 351, 352, 357
• ciclanos, 74, 75
• classes funcionais (*veja* funções orgânicas)
• cloreto de etil-mercúrio, 277
• combustão,
completa (*veja* combustão total)
dos alcanos, 60-61
incompleta (*veja* combustão parcial)
parcial, 61, 329
total (*veja* oxidação extrema)
• compósitos, 437-438
• compostos inorgânicos, 24
• compostos orgânicos,
alênicos, 181
alicíclicos, 35
alifáticos (ou acíclicos), 35
apolares, 176, 177
aromáticos, 35, 81, 101, 102, 267, 327
carbonílicos, 107, 124
cíclicos, 80, 183-184, 213, 214, 223
clorados, 156, 237, 442
com duplas ligações, 65, 69, 160, 181
com funções mistas, 162-163
com funções múltiplas, 160-161
de Grignard, 159-160, 265
densidade dos, 194-195
estado físico dos, 187-189
halogenados (*veja* haletos orgânicos)
heterocíclicos, 105, 132, 133, 159
insaturados, 267
fenólicos, 331
naturais, 106, 110, 331
nitrogenados, 130, 401
opticamente ativos, 224
organometálicos, 159-160, 265
oxigenados, 84, 325
polares, 176, 177
ponto de ebulição dos, 187-189
ponto de fusão dos, 187, 189
quirais, 230
reatividade dos, 234-235
saturados, 44, 74, 183-184, 267, 370
sintéticos, 23, 81
solubilidade dos, 192-193
sulfurados, 150-153
típicos, 30
• copolímeros, 419
• craqueamento
catalítico, 55
térmico, 55, 347

D

• DDT, 156, 167-168
• de-halogenação, 270
• desidratação
de ácidos carboxílicos, 272-273
de sais de amônio de ácidos carboxílicos, 273
intermolecular, 272
intramolecular, 272
• desidrogenação, 267, 270, 273
• desidro-halogenação, 271
• detergentes,
biodegradáveis, 386
catiônicos, 385
fabricação de, 385
• diastereoisômeros, 222, 224
• Diels, O., 342
• dienos,
acumulados (ou alênicos), 181
conjugados (ou eritrênicos), 181
isolados, 181
• *diesel*, 45, 54, 60, 61
• dipirona sódica, 39
• dissacarídios (*veja* glicídios)
• DNA, 404

E

• efeito
elétron-doador, 285
elétron-receptor, 285
indutivo, 285
peróxido (ou efeito Kharasch), 254
• efeitos eletrônicos do anel benzênico (*veja* efeito indutivo)
• elastômeros (*veja* borracha)
• elementos organógenos, 30, 130
• eletronegatividade
diferença de, 176

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

fila de, 309
• eliminação de água (*veja* desidratação)
• emulsificantes, 384
• enantiômeros (*veja* isômeros enantiomorfos)
• Engenharia Genética, 366
• enzimas, 405-406
• epóxi, 422
• equilíbrio
aldo-enólico, 208
ceto-enólico, 208
• estereoisomeria (*veja* isomeria espacial)
• estereoquímica, 173
• ésteres,
amonólise de, 335
hidrólise ácida de, 335
hidrólise básica de, 335
inorgânicos, 120
redução de, 335
• esterificação, 334-335
• estireno, 79, 255, 416
• estrutura
da ligação dupla entre carbonos, 180
da ligação simples entre carbonos, 179
da ligação tripla entre carbonos, 182
das moléculas orgânicas, 172-174
das oses, 352-353
das proteínas, 402-404
do anel benzênico, 76-77, 184-186
dos compostos cíclicos saturados, 183-184
dos dienos, 181
dos polímeros, 423-426
• etanol, 84-85, 87, 91-96
• éter comum, 105-106, 320
• éteres,
classificação dos, 105
nomenclatura dos, 105
oxidação dos, 320
• evolução da Química orgânica, 21-22, 144
• explosivos, 144-146

F

• fenóis
caráter ácido dos, 287
nomenclatura dos, 101-102
oxirredução dos, 319-320
• fermentação,
alcoólica, 405
• Fischer, E. H., 353
• flavorizantes, 125-126
• fome, 411
• força
de ácidos e bases, 285, 296
vital, 20
• forças intermoleculares,
de van der Waals, 178
dipolo-dipolo, 177
dipolo instantâneo-dipolo induzido (*veja* forças de van der Waals)
• formaldeído (*veja* aldeído fórmico)
• fórmula estrutural
condensada, 38
de linhas (ou de bastões), 38
• funções orgânicas,
nitrogenadas, 128
oxigenadas, 84
sulfuradas, 153

G

• gás
metano, 58, 59
natural, 51, 52, 53, 57-58, 90
• gasolina, 18, 54-57, 60, 61, 93, 192, 193
• geometria molecular, 173-174
• glicerídios, 371-373
• glicerina, 119, 160, 193, 371, 373, 377, 378, 382
• glicídios,
dissacarídios, 357-358
monossacarídios, 356-357
polissacarídios, 359-360
• gordura trans, 251
• Grignard, F. A. V., 265
• grupo funcional,
carbonila, 107
carboxila, 112
formila (ou aldoxila), 107
hidroxila (ou oxidrila), 86
• grupos
acil (ou acila), 137
alquil (ou alquila), 46
aril (ou arila), 78
benzil, 78
dirigentes, 240
fenil, 78
laterais, 78
meta-dirigentes, 240
orto-para-dirigentes, 240

H

• haletos orgânicos,
nomenclatura dos, 155-156
• halogenação, 236, 237, 238, 253, 259
• heteroátomo, 35
• heterociclo, 36
• hidratação, 273
• hidratos de carbono (*veja* carboidratos)
• hidrocarbonetos,
acetilênicos (*veja* alcinos)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

etilênicos (*veja* alcenos)
parafínicos (*veja* alcanos)
• hidrocarbonetos aromáticos,
benzênicos, 77-79, 83
mononucleares (ou monocíclicos), 36
polinucleares (ou policíclicos), 36
• hidrogenação,
catalítica, 252
do benzeno, 185
• hidro-halogenação, 253, 259
• hidrólise
da sacarose (*veja* fermentação alcoólica)

I

• isomeria,
cis-trans, 211-214
constitucional (*veja* isomeria plana)
de cadeia, 205
de compensação, 206
de função, 207
de núcleo (*veja* isomeria de cadeia)
de posição, 206
espacial, 211
funcional (*veja* isomeria de função)
geométrica (*veja* isomeria cis-trans)
óptica, 216-224
plana, 205
tautomeria, 207
• isomerização (*veja* reação de isomerização)
• isômero
dextrogiro, 220
levogiro, 220
• isonitrilas, 130
• isopor (*veja* poliestireno expandido)

K

• Kekulé von Stradonitz, F. A., 77

L

• Lewis, G. N., 303
• lactose, 358
• ligação
de hidrogênio, 177
peptídica, 397
• ligações intermoleculares (*veja* forças intermoleculares)
• lipídios, 368, 370, 371, 377-378, 406
• Lowry, T. M., 281
• luz polarizada, 216

M

• meta-dirigentes, 240
• metameria (*veja* isomeria de compensação)
• metano (*veja* gás metano)
• metanol, 90-91
• microfibra, 433
• Minamata, 277
• mistura racêmica, 221
• modelos (*veja* representação)
• monômero, 415
• monossacarídios, (*veja* glicídios)
• morfina, 134

N

• naftaleno, 76, 241
• naftalina (*veja* naftaleno)
• náilons, 75, 421, 432, 433
• nanotecnologia, 200
• nascimento da Química orgânica, 20-21
• neopreno, 418
• nitração (*veja* reação de nitração)
• nitrilas, 142
• nitroalcanos, 143
• nitrocompostos, 142-143
• nitroglicerina, 144-146
• nomenclatura orgânica,
esquema geral da, 45
• número de oxidação, 308

O

• olefinas (*veja* alcenos)
• óleo (*veja* lipídios)
• óleos essenciais, 70
• oses (*veja* monossacarídios)
• oxidação,
branda, 312-313
de alcenos, 312-313
de álcoois, 318-319
de ciclanos, 316
de hidrocarbonetos aromáticos, 317
dos glicerídios (*veja* rancificação)
enérgica, 313
extrema (*veja* combustão)
pelo ozônio (*veja* ozonólise)
• oxidante (*veja* agente oxidante)
• oxigênio, 331
• oxirredução,
de ácidos carboxílicos, 324-325
de aldeídos, 323-324
de álcoois, 318-319
de cetonas, 323-324
de compostos nitrogenados, 327-328
de fenóis, 319
de ligações duplas, 312-313
de ligações triplas, 316
• ozonólise, 313

P

• perfumes, 125-126, 391
• petróleo,
craqueamento do, 55

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

extração do, 52
formação do, 50
na camada pré-sal, 42-43, 52
produção brasileira de, 53
prospecção do, 50
refino do, 54
reservas mundiais de, 50
• petroquímica,
indústria, 22, 45, 67, 69, 83, 205, 252, 270, 385
• pirólise (*veja* craqueamento)
• plano de simetria, 219
• plásticos,
condutores, 438-439
de engenharia (*veja* compósitos)
produção de (*veja* reação de polimerização)
reciclagem dos, 442-444
reforçados (*veja* compósitos)
toxicidade dos, 419
• polaridade
das ligações covalentes, 175-176
das moléculas orgânicas, 176-177
• polarizar (*veja* luz polarizada)
• poliaramida, 421
• polibutadieno (*veja* polímeros de adição)
• policarbonato, 422
• poliésteres, 420-421
• poliestireno expandido, 416
• polietileno, 268-269, 341, 416, 424
• polimerização (*veja* reação de polimerização)
• polímeros,
de adição, 416-419
de condensação, 420-423
estrutura dos, 415, 423-426
sintéticos, 412, 414-415
termofixos, 424
termoplásticos, 423-424
• polipropileno (*veja* polímeros de adição)
• polisopreno (*veja* polímeros de adição)
• polissacarídios, 359-360
• poliuretano, 422
• politetrafluoretileno (*veja* polímeros de adição)
• poluição, 305, 329, 386
• pontes de hidrogênio (*veja* ligação de hidrogênio)
• ponto de fusão e de ebulição, 187-189
• produtos orgânicos, 41
• projeções de Fischer, 222
• propriedades físicas de compostos orgânicos, 172
• proteínas,
desnaturação de, 404
hidrólise de, 405
• PVA (*veja* polímeros de adição)
• PVC (*veja* polímeros de adição)

Q

• Química
da beleza, 391
da limpeza, 382-386
do carbono (*veja* Química orgânica)
Verde, 305
• Química orgânica,
evolução da, 21-22
nascimento da, 20-21
• quiral, 230-231

R

• racemato (*veja* mistura racêmica)
• radicais livres, 331
• rancificação, 308, 313, 377
• reação
ácido-base, 280-283
de alquilação da amônia, 345-346
de aminoácidos, 396, 397
de Berthelot, 319
de combustão, 60, 61, 328-329
de Diels-Alder, 342
de esterificação, 334-335
de Friedel-Crafts, 340
de hidrólise de ésteres, 335
de Hoffmann (*veja* alquilação da amônia)
de identificação de Baeyer (*veja* teste de Baeyer)
de isomerização, 205
de neutralização (*veja* reação ácido-base),
de nitração, 236, 239
de oxirredução, 308
de polimerização, 341, 377
de redução, 263, 324
de Sabatier-Senderens (*veja* hidrogenação catalítica)
de salificação, 119, 286
de saponificação, 335, 377, 382
de sulfonação, 236, 239
de transesterificação, 335, 373
dos glicídios, 353
• reações de adição,
a aromáticos, 254-255
à carbonila, 263-264
a ciclanos, 260
a duplas conjugadas, 257-258
a ligações duplas, 252-255
a ligações triplas, 258-259
ao benzeno, 254-255
de água (*veja* hidratação)
de compostos de Grignard, 264
de halogenidretos (*veja* hidro-halogenação)
de halogênios (*veja* halogenação)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

de hidrogênio (*veja* hidrogenação)
em alcenos superiores, 253-254
• reações de eliminação,
de água (*veja* desidratação)
de átomos ou grupos afastados, 274
de halogenidretos (*veja* desidro-halogenação)
de halogênios (*veja* de-halogenação)
de hidrogênio (*veja* desidrogenação)
múltipla,
• reações de ciclanos, 260, 316
• reações de substituição
em cadeias laterais, 241
nos alcanos, 236-237
nos hidrocarbonetos aromáticos, 238-242
nos haletos orgânicos, 246-247
• reações dos compostos de Grignard, 344-345
• reatividade dos compostos orgânicos, 234-235
• reativo
de Fehling, 323-324
de Tollens, 323
• reciclagem de plásticos, 442-444
• redução, 308
• redutor (*veja* agente redutor)
• reforma catalítica, 55
• regra
de Markownikoff, 254
de Saytzef, 271, 272
• ressonância
formas de, 77, 181, 184-186
híbrido de, 284

S

• sabão
fabricação, 382
• Sabatier, P., 267
• salificação (*veja* reação de salificação)
• sal orgânico, 119
• Sanger, F., 404
• saponificação (*veja* reação de saponificação)
• separação de compostos opticamente ativos, 224
• sequestro de carbono, 61
• séries orgânicas
heterólogas, 166
homólogas, 164-165
isólogas, 165-166
• silicone
borracha de, 436
• síntese
da clorofila, 200
de alcinos, 341
de Diels-Alder, 342
de Friedel-Crafts, 340
de Grignard, 340
de polímeros (*veja* reação de polimerização)
de Williamson, 341
de Wöhler, 20
de Wurtz, 340
de Wurtz-Fittig, 340
do ácido acetilsalicílico, 248-249
do índigo, 80
• síntese-análise na Química orgânica, 22
• substâncias opticamente ativas (*veja* isomeria óptica)
• sulfonação (*veja* reação de sulfonação)
• surfactantes, 384, 436

T

• talidomida, 230-231
• tautomeria (*veja* isomeria)
• tecidos sintéticos, 432
• teoria protônica ácido-base (*veja* ácidos e bases de Brönsted-Lowry)
• terpenos, 70
• teste de Baeyer, 312
• TNT (*veja* trinitrotolueno)
• toxidez dos compostos aromáticos, 76
• transesterificação (*veja* reação de transesterificação)
• trinitrotolueno, 145

U

• umectante, 161, 377
• ureia,
síntese da (*veja* síntese de Wöhler)

V

• vitaminas,
C, 356
hidrossolúveis, 194
lipossolúveis, 194
• viscosidade, 195
• von Baeyer, A., 79, 80
• vulcanização, 434

W

• Wöhler, F., 20

X

• xampu, 391

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

REFERÊNCIAS DOS INFOGRÁFICOS

Fontes consultadas

Capítulo 1

Laboratório de Astroquímica da Divisão de Ciências Espaciais e Astrobiologia do Centro de Pesquisas Ames da NASA. Disponível em: <http://www.astrochem.org/>. Acesso em: mar. 2010.

Sagan, C. *Cosmos*. Warner Home, 1980 (DVD).

Capítulo 2

Mendes, N. Petrobras – Comunicação Institucional. "O que é o pré-sal", comunicação pessoal via *e-mail*, jun. 2008.

Petróleo Brasileiro S/A (Petrobras). *Relatório Anual 2007*. Disponível em: <http://www.petrobras.com.br>. Acesso em: mar. 2010.

Capítulo 3

União da Indústria de Cana-de-Açúcar (Unica). Disponível em: <http://www.unica.com.br>. Acesso em: mar. 2010.

Capítulo 4

Farmacodinâmica e efeitos da nicotina sobre os diversos sistemas. Disponível em: <http://www.fisiologia.kit.net/farmacologia/nic.htm>. Acesso em: mar. 2010.

Nicotina – a molécula que vicia. *Revista eletrônica do Departamento de Química – UFSC*. Disponível em: <http://www.qmc.ufsc.br/qmcweb/artigos/nicotina.html>. Acesso em: mar. 2010.

Rosenberg, J. *Nicotina – Droga universal*. Rio de Janeiro: Instituto Nacional do Câncer. Disponível em: <http://www.inca.gov.br/tabagismo/publicacoes/nicotina.pdf>. Acesso em: mar. 2010.

Unifesp Virtual. Disponível em: <http://www.uniad.org.br/filmes/anima/nicotina.swf>. Acesso em: mar. 2010.

Capítulo 5

Chemello, E. A Química na cozinha apresenta: as cebolas. *Revista Eletrônica ZOOM*, São Paulo, Ano 6, nº 2, 2005. Disponível em: <http://www.integral.br/zoom/materia.asp?materia=263>. Acesso em: mar. 2010.

Por que cortar as cebolas nos faz chorar?. Disponível em: <http://noticias.terra.com.br/educacao/vocesabia/interna/0,,OI2111441-EI8407,00.html>. Acesso em: mar. 2010.

Por que cortar cebola nos faz chorar?. Disponível em: <http://www.brasilescola.com/curiosidades/por-que-cortar-cebola-nos-faz-chorar.htm>. Acesso em: mar. 2010.

Capítulo 6

Baterias. Disponível em: <http://64.233.169.104/search?q=cache:ORTfBwQw1msJ:www.michael.com.br/manuais/salvar.php%3Fid_manual%3D59+diametro+bumbo+bateria+som+acustica&hl=pt-BR&ct=clnk&cd=10&gl=br>. Acesso em: set. 2008.

Bíblia para afinar bateria. Disponível em: <http://www.batera.com.br/artigos/biblia_afinacao_6.aspx>. Acesso em: mar. 2010.

Fusinato, V. A. *Minicurso de acústica e ruído*. Disponível em: <http://www.dfi.uem.br/dfi/salva.php?id=MCACUSTICA20051.doc>. Acesso em: mar. 2010.

Medeiros, E. B. *Introdução à teoria acústica*. Disponível em: <http://www.cpdee.ufmg.br/~semea/anais/artigos/EduardoBauzer.pdf>. Acesso em: mar. 2010.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Capítulo 7

Houaiss, A. & Villar, M. S. *Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa*. Rio de Janeiro: Objetiva, 2001.

Capítulo 8

Confederação Brasileira de Futebol (CBF). *Regras do jogo 2007/2008*. Disponível em: <http://www.cbf.com.br/regras/livroderegras.pdf>. Acesso em: mar. 2010.

Capítulo 9

Bannwart, A. *Margarinas na panificação*. Disponível em: <http://www.padariamoderna.com.br/lermais_materias.php?cd_materias=164>. Acesso em: mar. 2010.

Cavalcanti, G. A. & Bretas, I. L. B. *Gorduras vegetais hidrogenadas:* ácidos graxos insaturados, hidrogenação e margarinas. Disponível em: <http://acd.ufrj.br/consumo/disciplinas/t_qb_kit_gorduras_vegetais_hidrogenadas.pdf>. Acesso em: mar. 2010.

Kamogawa, M. Y. *Apostila de Química Orgânica*. Piracicaba: Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

National Association of Margarine Manufacturers. *History of Margarine*. Disponível em: <http://www.margarine.org/historyofmargarine.html>. Acesso em: mar. 2010.

Capítulo 10

Coutinho, Fernanda M. B. et al. *Polietileno:* principais tipos, propriedades e aplicações. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-14282003000100005&script=sci_arttext&tlng=pt>. Acesso em: mar. 2010.

Etileno armazena hidrogênio. Disponível em: <http://www.revistapesquisa.fapesp.br/?art=3716&bd=4&pg=1&lg>. Acesso em: mar. 2010.

Federman Neto, A. & Lanchote, Á. D. *Um método simples para preparação de metalocenos sensíveis ao ar*. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40421998000200018&lng=in&nrm=iso&tlng=in>. Acesso em: mar. 2010.

Polietileno retorna à era do álcool. Disponível em: <http://www.plastico.com.br/revista/pm394/noticias2.html>. Acesso em: mar. 2010.

Sinal verde para Unipar, Braskem e Petrobras. Disponível em: <http://www.investimentos.sp.gov.br/sis/lenoticia.php?id=3116&c=1>. Acesso em: mar. 2010.

Capítulo 11

Apitoxina. Disponível em: <http://www.angelfire.com/wy/shangrila/apitoxina.html>. Acesso em: mar. 2010.

Callegari, A. L. et al. *Apitoxina e suas indicações de uso*. Disponível em: <http://www.pg.cefetpr.br/incubadora/wp-content/themes/4o_epege/apitoxina.pdf>. Acesso em: mar. 2010.

Coceira, o que é?. Disponível em: <http://www.drashirleydecampos.com.br/noticias/9858>. Acesso em: mar. 2010.

KRELL, R. *Value-added products from beekeeping*. Rome: Food and Agriculture Organization (Nações Unidas), 1996. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/w0076e/w0076e00.htm#con>. Acesso em: mar. 2010.

Pereira, F. M. et al. *Morfologia e biologia das abelhas Apis mellifera*. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mel/SPMel/morfologia.htm>. Acesso em: mar. 2010.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Capítulo 12

Área territorial oficial. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/default_territ_area.shtm>. Acesso em: mar. 2010.

Carbono neutro – Calculadora. Disponível em: <http://www.maxambiental.com.br/carbononeutro_ferramenta/#>. Acesso em: mar. 2010.

Iniciativa verde – Calculadora. Disponível em: <http://www.iniciativaverde.org.br/pt/calculadora>. Acesso em: mar. 2010.

Scarton, C. R. et al. *Modelagem matemática em energia elétrica*. Disponível em: <http://www.projetos.unijui.edu.br/matematica/modelagem/modelagem_energia/energia.doc>. Acesso em: mar. 2010.

Capítulo 13

Araújo, M. E. M. *Corantes naturais para têxteis – da antiguidade aos tempos modernos*. Disponível em: <http://www.dqb.fc.ul.pt/docentes/earaujo/Corantes%20Naturais_texteis-Texto%20Apoio.doc>. Acesso em: mar. 2010.

Associação Brasileira da Indústria Química (Abiquim). Disponível em: <http://www.abiquim.org.br/corantes/cor_historia.asp>. Acesso em: mar. 2010.

Cientista desvenda "segredo" dos imperadores de Roma. Disponível em: < http://www.bbc.co.uk/portuguese/ciencia/story/2003/09/030912_romaebc.shtml>. Acesso em: mar. 2010.

Heitlinger, P. *Como se fazia púrpura...*. Disponível em: <http://algarvivo.com/arqueo/romano/purpura.html>. Acesso em: mar. 2010.

Rocco, A. M. *Nanocompósitos poliméricos*. Disponível em: <http://www.metalmat.ufrj.br/escolanano/Nanocompositos_polimericos_AnaMariaRocco.pdf>. Acesso em: mar. 2010.

Capítulo 14

Atividade física. Disponível em: <http://portal.saude.gov.br/saude/visualizar_texto.cfm?idtxt=23618>. Acesso em: mar. 2010.

Glicídios. Disponível em: <http://www.enq.ufsc.br/labs/probio/disc_eng_bioq/trabalhos_grad2005_2/constituintes/links/glicidios.htm>. Acesso em: mar. 2010.

Nutrição e exercício físico. Disponível em: <http://www.dbq.ufrn.br/Graduacao/edfisic/nutrexer.htm>. Acesso em: mar. 2010.

Tabela nutricional da USP. Disponível em: <http://www.fcf.usp.br/tabela/resultado.asp?IDLetter=F&IDNumber=232>. Acesso em: mar. 2010.

Capítulo 15

IBGE. *Pesquisa de orçamentos familiares 2002-2003*. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pof/2002analise/analise.pdf>. Acesso em: mar. 2010.

Capítulo 16

Costa-Neto, E. M. *Insetos como fontes de alimentos para o homem:* valoração de recursos considerados repugnantes. Disponível em: <http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442003000300004&lng=es&nrm=iso>. Acesso em: mar. 2010.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

LEAN, G. *Grubs up! Scientists keen to get us eating bugs*. Disponível em: <http://www.independent.co.uk/news/science/grubs-up-scientists-keen-to-get-us-eating-bugs-837812.html>. Acesso em: mar. 2010.

Capítulo 17

BELLIS, M. *The History of Chewing Gum and Bubble Gum*. Disponível em: <http://inventors.about.com/od/gstartinventions/a/gum.htm>. Acesso em: mar. 2010.

MORAES, D. *A origem do doce quase sem fim*. Disponível em: <http://www.invivo.fiocruz.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=955&sid=7>. Acesso em: mar. 2010.

Polímeros e suas aplicações no nosso cotidiano. Disponível em: <http://www.fec.unicamp.br/~tarcisio/Polimeros.pdf>. Acesso em: set. 2008.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

SUGESTÕES DE LEITURA PARA OS ALUNOS

Ecologia

1. Beatriz Marcondes e Maria Elisa Marcondes Helene, *Evolução e biodiversidade* – O que nós temos com isso?, 1ª edição, 1996, Editora Scipione.
2. Carlos Minc, *Ecologia e cidadania*, 2ª edição, 2005, Editora Moderna.
3. José Lutzenberger, *Manual de ecologia* – Do jardim ao poder, 1ª edição, 2004, L&PM Editores.
4. Júlio José Chiavenato, *O massacre da natureza*, 2ª edição, 2005, Editora Moderna.
5. Márcia Kupstas (org.), *Ecologia em debate*, 1ª edição, 1999, Editora Moderna.
6. Núbia Melhem Santos e outros, *Burle Marx* – Jardins e ecologia, 2ª edição, 2009, Editora Senac/Rio.
7. Ronaldo Rogério de Freitas Mourão, *Ecologia Cósmica* – Uma visão cósmica da ecologia, 1ª edição, 2000, Editora Itatiaia.
8. Samuel Murgel Branco, *Água:* Origem, uso e preservação, 2ª edição, 2003, Editora Moderna.
9. Samuel Murgel Branco, *Energia e meio ambiente*, 2ª edição, 2004, Editora Moderna.
10. Vera Lúcia Novais, *Ozônio:* Aliado e inimigo, 1ª edição, 1998, Editora Scipione.
11. Zysman Neiman, *Era verde?*, 21ª edição, 2002, Editora Atual.

Energia

1. Jean-Marie Martim, *A economia mundial da energia*, 1ª edição, 1992, Unesp.
2. Valdir Montanari, *Energia nossa de cada dia*, 2ª edição, 2003, Editora Moderna.

Escolha profissional

1. Dulce Whitaker, *A escolha da carreira e globalização*, 1ª edição, 1997, Editora Moderna.
2. Eliane Arbex Rodrigues, *Escolher a profissão*, 1ª edição, 1997, Editora Scipione.

História da Química, Ciência e Tecnologia

1. Andréia Guerra e outros, *Galileu e o nascimento da Ciência moderna*, 1ª edição, 1997, Editora Atual.
2. Attico Chassot, *A Ciência através dos tempos*, 2ª edição, 2004, Editora Moderna.
3. Bernard Vidal, *História da Química*, 1ª edição, 1986, Edições 70.
4. José Atílio Vanin, *Alquimistas e químicos*: O passado, o presente e o futuro, 2ª edição, 2005, Editora Moderna.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

5. Roberto Antônio Iannone, *A revolução industrial*, 10ª edição, 1992, Editora Moderna.

6. Robson Fernandes de Farias e outros, *História da Química no Brasil*, 3ª edição, 2010, Editora Átomo.

7. Silvério Crestana, *Centros e museus de ciência* – Visões e experiências, 1ª edição, 1998, Editora Saraiva.

8. Vera Maria de Carvalho e Vera Rita da Costa (coord.), *Cientistas do Brasil* – Depoimentos, 1998, SBPC.

Poluição

1. Francisco Capuano Scarlato e Joel Arnaldo Pontin, *Do nicho ao lixo:* Ambiente, sociedade e educação, 10ª edição, 1992, Editora Atual.

2. Joel Arnaldo Pontin e Francisco Capuano Scarlato, *O ambiente urbano*, 1ª edição, 1999, Editora Atual.

3. John Barnes, *Chuva ácida*, 3ª edição, 1997, Editora Scipione.

4. Maria Elisa Marcondes Helene, *Poluentes atmosféricos*, 1ª edição, 1994, Editora Scipione.

5. Mário Tolentino, Romeu Filho e Roberto da Silva, *A atmosfera terrestre*, 1ª edição, 2004, Editora Moderna.

6. Sergio Massaro e J. Pontin, *O que é poluição química*, 3ª edição, 1994, Editora Brasiliense.

Petróleo

1. Daniel Yergin, *O petróleo:* Uma história de ganância, dinheiro e poder, 2ª edição, 1992, Editora Scritta.

2. Ilmar Penna Marinho Júnior, *Águas profundas ou o petróleo é nosso?*, 1ª edição, 1998, Editora Revan.

3. Jucy Neiva, *Conheça o petróleo*, 6ª edição, 1993, Editora Expressão e Cultura.

Agricultura e alimentos

1. Aldrin Moura de Figueiredo, *No tempo dos seringais:* O cotidiano e a sociedade da borracha, 1ª edição, 1997, Editora Atual.

2. Altanir Jaime Gava, *Princípios de Tecnologia de alimentos*, 1ª edição, 2009, Editora Nobel.

3. Júlio Maria Andrade de Araújo, *Química de alimentos*, 4ª edição, 2008, Editora da Universidade Federal de Viçosa.

4. Mark Lambert, *Agricultura e meio ambiente*, 4ª edição, 1997, Editora Scipione.

5. Melhem Adas, *A fome* – Crise ou escândalo?, 2ª edição, 2004, Editora Moderna.

6. Samuel Murgel Branco, *Natureza e agroquímicos*, 2ª edição, 2003, Editora Moderna.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Saúde

1. Beatriz Carlini Cotrim, *Drogas:* Mitos e verdades, 10ª edição, 2004, Editora Ática.
2. Fátima Oliveira, *Engenharia Genética:* O sétimo dia da criação, 2ª edição, 2004, Editora Moderna.
3. Fátima Oliveira, *Bioética:* Uma face da cidadania, 2ª edição, 2004, Editora Moderna.
4. Gesina L. Longenecker, *Como agem as drogas:* O abuso das drogas e o corpo humano, 1ª edição, 1998, Editora Quark do Brasil.
5. Içami Tiba, *123 respostas sobre drogas*, 1ª edição, 2004, Editora Scipione.
6. Rodolfo Telarolli Júnior, *Epidemias no Brasil*, 11ª edição, 2003, Editora Moderna.

Plásticos

1. Eduardo Leite do Canto, *Plástico:* Bem supérfluo ou mal necessário?, 2ª edição, 2004, Editora Moderna.

Lixo

1. Francisco Capuano Scarlato e Joel Arnaldo Pontin, *Do nicho ao lixo*, 5ª edição, 1992, Editora Atual.
2. Francisco Luiz Rodrigues e Vilma Maria Cavinatto, *Lixo* – De onde vem? Para onde vai?, 2ª edição, 2003, Editora Moderna.
3. Paulo Jorge Moraes Figueiredo, *A sociedade do lixo – Os resíduos, a questão energética e a crise ambiental*, 2ª edição, 1995, Editora Unimep.
4. Sabetai Calderoni, *Os bilhões perdidos no lixo*, 4ª edição, 2003, Humanitas FFLCH-SP.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

MUSEUS BRASILEIROS LIGADOS À CIÊNCIA

Os *sites* aqui indicados foram acessados em fevereiro de 2010.

- **Casa da Ciência**
  http://www.casadaciencia.ufrj.br

- **Ecomuseu da Usina de Itaipu**
  http://www.itaipu.gov.br/index.php?q=node/201

- **Espaço Ciência**
  http://www.espacociencia.pe.gov.br

- **Estação Ciência**
  http://www.eciencia.usp.br

- **Museu de Ciência e Tecnologia da Uneb**
  http://www.museu.uneb.br

- **Museu de Geociências de UnB**
  http://ig.unb.br/exte/museu/index/html

- **Museu de História Natural da Ufal**
  http://www.abcmc.org.br/mhn/

- **Museu de História Natural e Jardim Botânico da UFMG**
  http://www.ufmg.br/mhnjb/index.html

- **Museu de Ciência e Técnica da Escola de Minas da UFOP**
  http://www.museu.em.ufop.br/museu/

- **Museu de Minerais e Rochas da UFU**
  http://www.proex.ufu.br/rededemuseus/minerais.htm

- **Museu de Geociências da USP**
  http://www.igc.usp.br

- **Museu Vivo de Ciência e Tecnologia de Campina Grande**
  http://www.abcmc.org.br/museuvivo/apresent.html

- **Seara da Ciência Universidade Federal do Ceará**
  http://www.searadaciencia.ufc.br

- **Usina Ciência**
  http://www.usinaciencia.ufal.br

ELEMENTOS QUÍMICOS

(As massas atômicas entre parênteses são dos isótopos mais estáveis dos elementos radioativos.)
(De acordo com as últimas recomendações da Iupac.)

Elemento	Símbolo	Número Atômico	Massa Atômica
Actínio	Ac	89	(227)
Alumínio	Aℓ	13	26,9815
Amerício	Am	95	(243)
Antimônio	Sb	51	121,75
Argônio	Ar	18	39,948
Arsênio	As	33	74,9216
Astato	At	85	(210)
Bário	Ba	56	137,34
Berquélio	Bk	97	(247)
Berílio	Be	4	9,0122
Bismuto	Bi	83	209
Bóhrio	Bh	107	(262,1)
Boro	B	5	10,811
Bromo	Br	35	79,909
Cádmio	Cd	48	112,40
Cálcio	Ca	20	40,08
Califórnio	Cf	98	(251)
Carbono	C	6	12,01115
Cério	Ce	58	140,12
Césio	Cs	55	132,905
Chumbo	Pb	82	207,19
Cloro	Cℓ	17	35,453
Cobalto	Co	27	58,93
Cobre	Cu	29	63,55
Copernício	Cn	112	277
Criptônio	Kr	36	83,80
Crômio	Cr	24	51,996
Cúrio	Cm	96	(247)
Darmstádtio	Ds	110	(269)
Disprósio	Dy	66	162,50
Dúbnio	Db	105	(262)
Einstêinio	Es	99	(252)
Enxofre	S	16	32,064
Érbio	Er	68	167,26
Escândio	Sc	21	44,956
Estanho	Sn	50	118,69
Estrôncio	Sr	38	87,62
Európio	Eu	63	151,96
Férmio	Fm	100	(257)
Ferro	Fe	26	55,847
Flúor	F	9	18,9984
Fósforo	P	15	30,9738
Frâncio	Fr	87	(223)
Gadolínio	Gd	64	157,25
Gálio	Ga	31	69,72
Germânio	Ge	32	72,59
Háfnio	Hf	72	178,49
Hássio	Hs	108	(265)
Hélio	He	2	4,0026
Hidrogênio	H	1	1,00797
Hólmio	Ho	67	164,930
Índio	In	49	114,82
Iodo	I	53	126,9044
Irídio	Ir	77	192,2
Itérbio	Yb	70	173,04
Ítrio	Y	39	88,905

Elemento	Símbolo	Número Atômico	Massa Atômica
Lantânio	La	57	138,91
Laurêncio	Lr	103	(260)
Lítio	Li	3	6,941
Lutécio	Lu	71	174,97
Magnésio	Mg	12	24,312
Meitnério	Mt	109	(269)
Manganês	Mn	25	54,9380
Mendelévio	Md	101	(258)
Mercúrio	Hg	80	200,59
Molibdênio	Mo	42	95,94
Neodímio	Nd	60	144,24
Neônio	Ne	10	20,183
Netúnio	Np	93	(237)
Nióbio	Nb	41	92,906
Níquel	Ni	28	58,69
Nitrogênio	N	7	14,0067
Nobélio	No	102	(259)
Ósmio	Os	76	190,2
Ouro	Au	79	196,967
Oxigênio	O	8	15,9994
Paládio	Pd	46	106,4
Platina	Pt	78	195,09
Plutônio	Pu	94	(244)
Polônio	Po	84	(209)
Potássio	K	19	39,098
Praseodímio	Pr	59	140,907
Prata	Ag	47	107,870
Promécio	Pm	61	(145)
Protactínio	Pa	91	(231)
Rádio	Ra	88	(226)
Radônio	Rn	86	(222)
Rênio	Re	75	186,2
Ródio	Rh	45	102,905
Roentgênio	Rg	111	(272)
Rubídio	Rb	37	85,47
Rutênio	Ru	44	101,07
Rutherfórdio	Rf	104	(261)
Samário	Sm	62	150,35
Seabórgio	Sg	106	(263,1)
Selênio	Se	34	78,96
Silício	Si	14	28,086
Sódio	Na	11	22,9898
Tálio	Tℓ	81	204,37
Tantálio	Ta	73	180,948
Tecnécio	Tc	43	(98)
Telúrio	Te	52	127,60
Térbio	Tb	65	158,924
Titânio	Ti	22	47,90
Tório	Th	90	232,0
Túlio	Tm	69	168,934
Tungstênio	W	74	183,85
Urânio	U	92	238
Vanádio	V	23	50,942
Xenônio	Xe	54	131,38
Zinco	Zn	30	65,38
Zircônio	Zr	40	91,22

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

BIBLIOGRAFIA

American Chemical Society; ChemCom: Chemistry in the Community. 2. ed. Dubuque: Kendall/Hunt Publishing Company, 1993.

American Chemical Society; Chemistry in Context: Applying Chemistry to Society. 1. ed. Dubuque: Wm. C. Brown Publishers, 1994.

Alencastro, R. B. & Mano, E. *Nomenclatura dos compostos orgânicos*. 1. ed. Rio de Janeiro: Guanabara, 1987.

Atkins, P. & Jones, L. *Chemistry*: Molecules, Matter and Change. 3. ed. New York: W. H. Freeman Co., 1997.

Brown, T. L.; Le May Jr., H. E.; Bursten, B. E. *Chemistry*: The Central Science. 7. ed. Upper Saddle River: Prentice-Hall, 1997.

Brown, W. H. et al. *Introduction to Organic Chemistry*. 3. ed. Orlando: Saunders, 2005.

Bruice, P. Y. *Organic Chemistry*. 3. ed. New Jersey: Prentice-Hall, 2006.

Carey, F. A. *Organic Chemistry*. 7. ed. New York: McGraw-Hill, 2008.

Chang, R. *Química*. 5. ed. Lisboa: McGraw-Hill, 1994.

Cotton, F. A. et al. *Advanced Inorganic Chemistry*. 6. ed. New York: John Wiley & Sons Inc., 1999.

Cox, P. A. *The Elements on Earth*: Inorganic Chemistry in the Environment. 1. ed. Oxford: Oxford University Press, 1995.

Emsley, J. *The consumer's Good Chemical Guide*. 1. ed. Oxford: W. H. Freeman Co., 1994.

Gillespie, R. J. et al. *Atoms, Molecules and Reactions*: An Introduction to Chemistry. New Jersey: Prentice-Hall, 1994.

Greenwood, N. N. & Earnshaw, A. *Chemistry of the Elements*. 2. ed. Oxford: Butterworth--Heinemann, 1997.

Hill, J. W. *Chemistry for Changing Times*. 2. ed. New York: Macmillan, 1992.

Kotz, J. C. et al. *The Chemical World*: Concepts and Applications. 1. ed. Saunders College Publishing, 1994.

Kotz, J. C. & Purcell, K. F. *Chemistry & Chemical Reactivity*. 2. ed. Fort Worth: Saunders College Publishing, 1991.

Lide, D. R. *Handbook of Chemistry and Physics*. 87. ed. Boca Raton: CRC Press, 2007.

Mahan, B. H. & Myers, R. J. *University Chemistry*. 4. ed. Menlo Park: Benjamin Cummings, 1987.

March, J. & Smith, M. B. *Advanced Organic Chemistry*. 5. ed. New York: John Wiley, 2001.

Masterton, W. L. & Hurley, C. N. *Chemistry Principles & Reactions*. 3. ed. Fort Worth: Saunders College Publishing, 1997.

McMurry, J. & Fay, R. C. *Chemistry*. 3. ed. New Jersey: Prentice-Hall, 2001.

Mill, J. W. & Petrucci, R. H. *General Chemistry*. 2. ed. Upper Saddle River: Prentice--Hall, 1996.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Morrison, R. T. & Boyd, R. N. *Organic Chemistry*. 6. ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1992

Olmsted III, J. & Williams, G. M. *Chemistry*; The Molecular Science. 1. ed. St. Louis: Mosby-Year Book Inc., 1994.

Panico, R. et al. *Guia Iupac para a nomenclatura de compostos orgânicos*. Trad. Ana Cristina Fernandes et al. 1. ed. Lisboa: Lidel, 2002.

Partington, J. R. *A Short History of Chemistry*. 3. ed. New York: Dover Publications Inc., 1989.

Pauling, L. *General Chemistry*. New York: Dover Publications Inc., 1970.

Rigaudy, J. & Klesney, S. P. *Nomenclature of Organic Chemistry*. 4. ed. Oxford: Pergamon Press/Iupac, 1979.

Schwartz, A. T. *Chemistry in Context*. 2. ed. New York: American Chemical Society, 1997.

Selinger, B. *Chemistry in the Marketplace*. 3. ed. Sydney: Harcourt Brace Jovanovich Publishers, 1998.

Shriver, D. F.; Atkins, P. W. & Langford, C. H. *Inorganic Chemistry*. 2. ed. Oxford: Oxford University Press, 1994.

Snyder, C. H. *The Extraordinary Chemistry of Ordinary Things*. 1. ed. New York: John Wiley & Sons Inc., 1992.

Solomons, G. & Fryhle, C. *Organic Chemistry*. 7. ed. New York: John Wiley & Sons Inc., 1998.

Streitwieser, A. et al. *Introduction to Organic Chemistry*. 4. ed. New Jersey: Prentice--Hall, 1998.

The Merck Index: An Encyclopedia of Chemicals, Drugs and Biologicals. 12. ed. New Jersey: Merck & Co. Inc., 1996.

Vollhardt, K. P. et al. *Organic Chemistry*; structure and function. 5. ed. New York: Freeman, 2006.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.