

Unidades de concentração

Resumo

Concentração comum (C)

A definição mais simples é:

Concentração é a quantidade, em gramas, de soluto existente em 1 litro de solução.

$$C = \frac{\text{Massa do soluto (gramas)}}{\text{Volume do solvente (litros)}} \Rightarrow C = \frac{m_1}{V}$$

É normal confundir com a expressão da densidade que é muito parecida, porém, atente-se as diferenças conceituais:

$C = \frac{\text{Massa do soluto}}{\text{Volume da solução}} \Rightarrow C = \frac{m_1}{V}$	Unidade (em geral): gramas por litro (g/L)
$d = \frac{\text{Massa da solução}}{\text{Volume da solução}} \Rightarrow d = \frac{m}{V}$	Unidade (em geral): gramas por mililitro (g/mL)

A densidade da solução relaciona, portanto, a massa com o volume da própria solução. Ela indica a massa da solução correspondente a uma unidade de volume (por exemplo: 1 mililitro).

Concentração em mols por litro ou molaridade (M)

Até aqui vimos a concentração comum. Nelas aparecem massas (em mg, g, kg, etc.) ou volumes (em mL, L, m³, etc.). Essas concentrações são muito usadas na prática, no comércio, na indústria, etc. Vamos agora estudar outras formas de concentração, nas quais a quantidade do soluto é expressa em mols.

Concentração em mols por litro ou molaridade (M) da solução é a quantidade, em mols, do soluto existente em 1 litro de solução.

Matematicamente, a concentração em mol é expressa por:

$$M = \frac{\text{Quantidade de soluto (mol)}}{\text{volume da solução (L)}} \quad \text{ou} \quad M = \frac{n}{v}$$

Onde o número de mol (n) pode ser encontrado pela expressão:

$$n = \frac{\text{Massa do soluto (g)}}{\text{Massa molar do soluto (g/mol)}} \quad \text{ou} \quad n = \frac{m}{MM}$$

Sendo assim podemos concluir que:

$$M = \frac{m}{MM \cdot v}$$

Título ou percentuais (m/m, v/v e m/v)

Título em massa (%m/m)

Imagine uma solução formada por 20 g de cloreto de sódio e 80 g de água. A massa total será: 20 g + 80 g = 100 g de solução. Assim, podemos dizer que:

$$\frac{20}{100} = 0,2 \% \text{ é a fração da massa total que corresponde ao NaCl}$$

$$\frac{80}{100} = 0,9 \% \text{ é a fração da massa total que corresponde ao H}_2\text{O}.$$

A fração em massa do soluto costuma ser chamada de título em massa da solução (T). Assim, definimos:

Título em massa de uma solução (T) é o quociente entre a massa do soluto e a massa total da solução (soluto + solvente).

Título em volume (%v/v)

Às vezes aparece nos exercícios o título em volume ou a correspondente porcentagem volumétrica de uma solução. As definições são idênticas às anteriores, apenas trocando-se as palavras massa por volume. Isso acontece, por exemplo, em soluções líquido-líquido (dizemos, por exemplo, álcool a 96% quando nos referimos a uma mistura com 96% de álcool e 4% de água em volume)

Exemplo:

A análise de um vinho revelou que ele contém 18 mL de álcool em cada copo de 120 mL. Qual é o título em volume desse vinho?

$$T_{v/v} = \frac{\text{Volume do soluto}}{\text{Volume da solução}} \rightarrow T_{v/v} = \frac{18}{120} \rightarrow T_{v/v} = 0,15$$

Ou seja, corresponde a 15% de álcool, em volume.

Título em massa/volume (%m/v)

Às vezes aparece nos exercícios o título em massa por volume ou a correspondente porcentagem em massa do soluto e volumétrica da solução. As definições são idênticas às anteriores. Isso acontece, por exemplo, em soluções sólido-líquido.

Exemplo: NaCl a 10% m/v quando nos referimos a uma mistura com 10g de NaCl em 100mL de água.

Partes por milhão (ppm)

Além da concentração comum, do título e da molaridade, existem muitas outras maneiras de expressar a concentração de uma solução. Uma delas é o da concentração expressa em partes por milhão (ppm). É usada para soluções extremamente diluídas, ou seja, que apresentam uma quantidade de soluto muito pequena dissolvida em uma quantidade muito grande de solvente (ou de solução). Por exemplo, sabemos que a qualidade do ar atmosférico se torna inadequada quando há mais de 0,000015 g de monóxido de carbono (CO) por grama de ar. Como o uso desse valor pequeno dificulta na hora de fazer certos cálculos, expressamos a seguinte relação:

$$\begin{array}{l} \text{Se } 15 \cdot 10^{-6} \text{ g de CO} \text{ ————— } 1 \text{ g de ar} \\ \text{Multiplicando por } 10^6 \quad \text{então: } 15 \text{ g de CO} \text{ ————— } 10^6 \text{ g de ar (ou 1 milhão de gramas de ar)} \end{array}$$

Assim chegamos a conclusão que 15 partes de CO em 1 milhão de partes do ar ou 15 ppm de CO no ar. Como a comparação foi feita entre massa (gramas de CO) e massa (gramas de ar), costuma-se especificar ppm(m/m). Essa notação evita a confusão entre comparações semelhantes, mas feitas entre massa e volume (m/v), volume e volume (v/v), etc. Análogo ao conceito de ppm é o de partes por bilhão (ppb), no qual a comparação é feita entre 1 parte e 1 bilhão (10^9) de partes.

Relação entre unidades (molaridade, densidade, título e massa molar)

$$C = M \cdot \text{mol} = 10\% \cdot d$$

Aonde:

C= Concentração comum

M = Molaridade

mol = massa molar

% = título em massa

d = densidade

Exercícios

1. A toxicidade de algumas substâncias é normalmente representada por um índice conhecido como DL_{50} (dose letal mediana). Ele representa a dosagem aplicada a uma população de seres vivos que mata 50% desses indivíduos e é normalmente medido utilizando-se ratos como cobaias. Esse índice é muito importante para os seres humanos, pois ao se extrapolar os dados obtidos com o uso de cobaias, pode-se determinar o nível tolerável de contaminação de alimentos, para que possam ser consumidos de forma segura pelas pessoas.

O quadro apresenta três pesticidas e suas toxicidades. A unidade mg/kg indica a massa da substância ingerida pela massa da cobaia.

Pesticidas	DL_{50} (mg/kg)
Diazinon	70
Malation	1.000
Atrazina	3.100

Sessenta ratos, com massa de 200 g cada, foram divididos em três grupos de vinte. Três amostras de ração, contaminadas, cada uma delas com um dos pesticidas indicados no quadro, na concentração de 3 mg por grama de ração, foram administradas para cada grupo de cobaias. Cada rato consumiu 100 g de ração.

Qual(ais) grupo(s) terá(ão) uma mortalidade mínima de 10 ratos?

- a) O grupo que se contaminou somente com atrazina.
 - b) O grupo que se contaminou somente com diazinon.
 - c) Os grupos que se contaminaram com atrazina e malation.
 - d) Os grupos que se contaminaram com diazinon e malation.
 - e) Nenhum dos grupos contaminados com atrazina, diazinon e malation.
2. Para cada litro de etanol produzido em uma indústria de cana-de-açúcar são gerados cerca de 18 L de vinhaça que é utilizada na irrigação das plantações de cana-de-açúcar, já que contém teores médios de nutrientes N, P e K iguais a 357 mg/L, 60 mg/L, e 2.034 mg/L, respectivamente.

SILVA, M. A. S.; GRIEBELER, N. P.; BORGES, L. C. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. n. 1, 2007 (adaptado).

Na produção de 27.000 L de etanol, a quantidade total de fósforo, em kg, disponível na vinhaça será mais próxima de

- a) 1
- b) 29
- c) 60
- d) 170
- e) 1.000

3. A hidroponia pode ser definida como uma técnica de produção de vegetais sem necessariamente a presença de solo. Uma das formas de implementação é manter as plantas com suas raízes suspensas em meio líquido, de onde retiram os nutrientes essenciais. Suponha que um produtor de rúcula hidropônica precise ajustar a concentração de íon nitrato (NO_3^-) para $0,009 \text{ mol/L}$ em um tanque de 5.000 litros e, para tanto, tem em mãos uma solução comercial nutritiva de nitrato de cálcio 90 g/L .

As massas molares dos elementos N, O e Ca são iguais a 14 g/mol , 16 g/mol e 40 g/mol , respectivamente.

Qual o valor mais próximo do volume da solução nutritiva, em litros, que o produtor deve adicionar ao tanque?

- a) 26
b) 41
c) 45
d) 51
e) 82
4. A utilização de processos de biorremediação de resíduos gerados pela combustão incompleta de compostos orgânicos tem se tornado crescente, visando minimizar a poluição ambiental. Para a ocorrência de resíduos de naftaleno, algumas legislações limitam sua concentração em até 30 mg/kg para solo agrícola e $0,14 \text{ mg/L}$ para água subterrânea. A quantificação desse resíduo foi realizada em diferentes ambientes, utilizando-se amostras de 500 g de solo e 100 mL de água, conforme apresentado no quadro.

Ambiente	Resíduo de naftaleno (g)
Solo I	$1,0 \times 10^{-2}$
Solo II	$2,0 \times 10^{-2}$
Água I	$7,0 \times 10^{-6}$
Água II	$8,0 \times 10^{-6}$
Água III	$9,0 \times 10^{-6}$

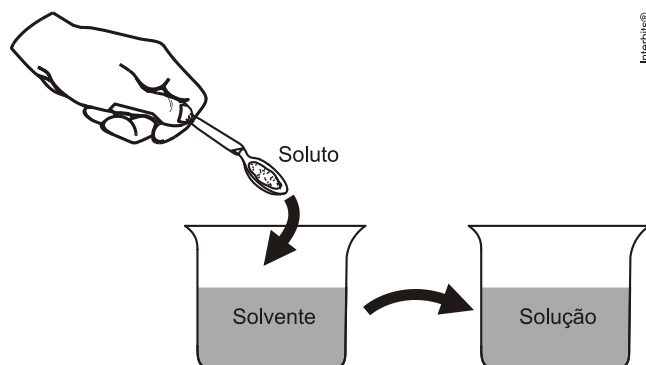
O ambiente que necessita de biorremediação é o(a)

- a) solo I.
b) solo II.
c) água I.
d) água II.
e) água III.

5. A varfarina é um fármaco que diminui a agregação plaquetária, e por isso é utilizada como anticoagulante, desde que esteja presente no plasma, com uma concentração superior a 1,0 mg/L. Entretanto, concentrações plasmáticas superiores a 4,0 mg/L podem desencadear hemorragias. As moléculas desse fármaco ficam retidas no espaço intravascular e dissolvidas exclusivamente no plasma, que representa aproximadamente 60% do sangue em volume. Em um medicamento, a varfarina é administrada por via intravenosa na forma de solução aquosa, com concentração de 3,0 mg/mL. Um indivíduo adulto, com volume sanguíneo total de 5,0 L, será submetido a um tratamento com solução injetável desse medicamento.

Qual é o máximo volume da solução do medicamento que pode ser administrado a esse indivíduo, pela via intravenosa, de maneira que não ocorram hemorragias causadas pelo anticoagulante?

- a) 1,0 mL
 - b) 1,7 mL
 - c) 2,7 mL
 - d) 4,0 mL
 - e) 6,7 mL
6. Ao colocar um pouco de açúcar na água e mexer até a obtenção de uma só fase, prepara-se uma solução. O mesmo acontece ao se adicionar um pouquinho de sal à água e misturar bem. Uma substância capaz de dissolver o soluto é denominada solvente; por exemplo, a água é um solvente para o açúcar, para o sal e para várias outras substâncias. A figura a seguir ilustra essa citação.



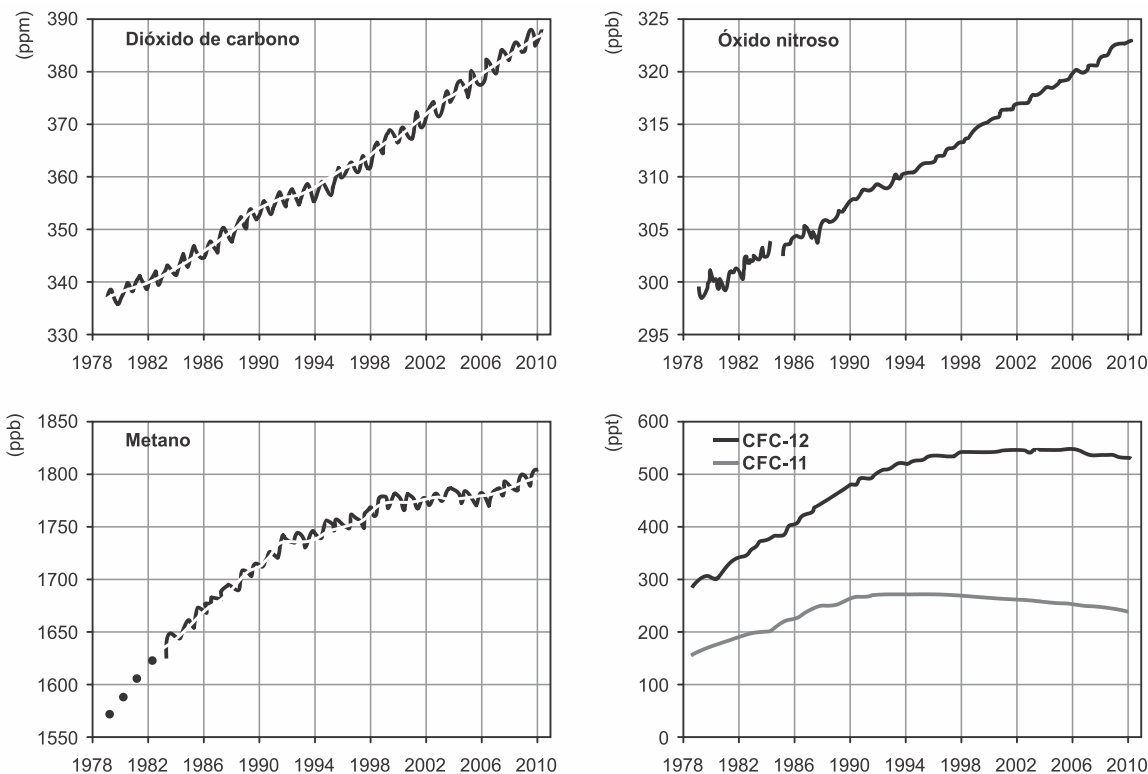
Suponha que uma pessoa, para adoçar seu cafezinho, tenha utilizado 3,42g de sacarose (massa molar igual a 342 g/mol) para uma xícara de 50 mL do líquido. Qual é a concentração final, em mol/L, de sacarose nesse cafezinho?

- a) 0,02
- b) 0,2
- c) 2
- d) 200
- e) 2000

7. O soro fisiológico é uma solução aquosa de cloreto de sódio (NaCl) comumente utilizada para higienização ocular, nasal, de ferimentos e de lentes de contato. Sua concentração é 0,90% em massa e densidade igual a 1,00 g/mL.

Qual massa de NaCl , em grama, deverá ser adicionada à água para preparar 500 mL desse soro?

- a) 0,45
b) 0,90
c) 4,50
d) 9,00
e) 45,00
8. Os gráficos representam a concentração na atmosfera, em partes por milhão (ppm), bilhão (ppb) ou trilhão (ppt), dos cinco gases responsáveis por 97% do efeito estufa durante o período de 1978 a 2010.



Disponível em: www.esrl.noaa.gov. Acesso em: 6 ago. 2012 (adaptado).

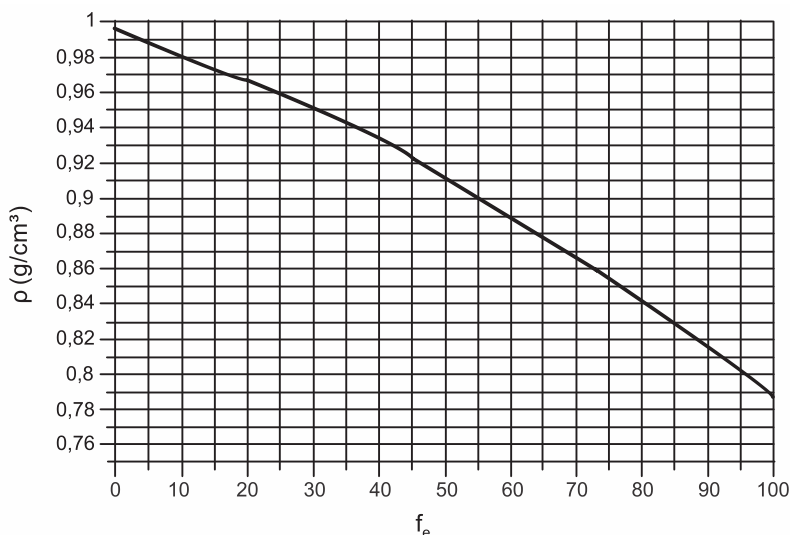
Qual gás teve o maior aumento percentual de concentração na atmosfera nas últimas duas décadas?

- a) CO_2
b) CH_4
c) N_2O
d) CFC-12
e) CFC-11
9. O álcool utilizado como combustível automotivo (etanol hidratado) deve apresentar uma taxa máxima de

água em sua composição para não prejudicar o funcionamento do motor. Uma maneira simples e rápida de estimar a quantidade de etanol em misturas com água é medir a densidade da mistura. O gráfico mostra a variação da densidade da mistura (água e etanol) com a fração percentual da massa de etanol (f_e), dada pela expressão

$$f_e = 100 \times \frac{m_e}{(m_e + m_a)},$$

em que m_e e m_a são as massas de etanol e de água na mistura, respectivamente, a uma temperatura de 20 °C.



Disponível em: www.handymath.com. Acesso em: 8 ago. 2012.

Suponha que, em uma inspeção de rotina realizada em determinado posto, tenha-se verificado que 50,0 cm³ de álcool combustível tenham massa igual a 45,0g Qual é a fração percentual de etanol nessa mistura?

- a) 7%
- b) 10%
- c) 55%
- d) 90%
- e) 93%

10. O vinagre vem sendo usado desde a Antiguidade como conservante de alimentos, bem como agente de

limpeza e condimento. Um dos principais componentes do vinagre é o ácido acético (massa molar 60 g/mol), cuja faixa de concentração deve se situar entre 4% a 6% (m/v). Em um teste de controle de qualidade foram analisadas cinco marcas de diferentes vinagres, e as concentrações de ácido acético, em mol/L, se encontram no quadro.

Amostra	Concentração de ácido acético (mol/L)
1	0,007
2	0,070
3	0,150
4	0,400
5	0,700

RIZZON, L. A. *Sistema de produção de vinagre*.

Disponível em: www.sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br. Acesso em: 14 ago. 2012 (adaptado).

A amostra de vinagre que se encontra dentro do limite de concentração tolerado é a

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

Gabarito

1. D

Cálculo da massa de pesticida ingerida por cada rato:

1 g de ração — 3 mg de pesticida

100 g de ração — $m_{\text{pesticida para cada rato}}$

$$m_{\text{pesticida para cada rato}} = 300 \text{ mg}$$

Como cada rato tem 200 g em massa ou “pesa” 200 g, podemos fazer a seguinte relação e comparar com o quadro fornecido:

$$\frac{300 \text{ mg de pesticida}}{200 \text{ g de rato}} = \frac{5 \times 300 \text{ mg de pesticida}}{5 \times 200 \text{ g de rato}} = \frac{1.500 \text{ mg}}{1.000 \text{ g de rato}} = 1.500 \text{ (mg/kg)}$$

Pesticidas	DL ₅₀ (mg/kg)	Comparação em (mg/kg)
Diazinon	70	1.500 > 70 (letal)
Malation	1.000	1.500 > 1.000 (letal)
Atrazina	3.100	1.500 < 3.100 (não letal)

2. B

De acordo com o enunciado da questão em 18 L de etanol a concentração de fósforo (P) é igual a 60 mg/L. Então:

1 L de etanol — 18 L de vinhaça

27.000 L de etanol — $V_{\text{vinhaça}}$

$$V_{\text{vinhaça}} = 486.000 \text{ L}$$

$$1 \text{ mg} = 10^{-6} \text{ kg}$$

1 L de vinhaça — $60 \times 10^{-6} \text{ kg (P)}$

486.000 L — m_P

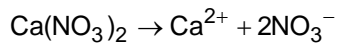
$$m_P = 29,16 \times 10^6 \times 10^{-6} \text{ kg} = 29,16 \text{ kg}$$

$$m_P \approx 29 \text{ kg}$$

3. B

Solução comercial de nitrato de cálcio: 90 g/L.

Em 1 litro de solução nutritiva:



$$1\text{mol} \text{ ————— } 2\text{ mols}$$

$$164\text{ g} \text{ ————— } 2\text{ mols}$$

$$90\text{ g} \text{ ————— } n_{\text{NO}_3^-}$$

$$n_{\text{NO}_3^-} = 1,097\text{ mol}$$

$$[\text{NO}_3^-]_{\text{solução nutritiva}} = 1,097\text{ mol/L}$$

$$[\text{NO}_3^-]_{\text{ajustada}} \times V_{\text{tanque}} = [\text{NO}_3^-]_{\text{solução nutritiva}} \times V_{\text{ajustado}}$$

$$0,009 \times 5.000 = 1,097 \times V_{\text{ajustado}}$$

$$V_{\text{ajustado}} = 41,02\text{ L} \approx 41\text{ L}$$

4. B

Para a ocorrência de resíduos de naftaleno, algumas legislações limitam sua concentração em até 30mg/kg para solo agrícola e 0,14mg/L para água subterrânea.

Devemos comparar os valores tabelados para os solos a 1 kg.

$$1,0 \times 10^{-2}\text{ g de naftaleno} \text{ ————— } 500\text{ g de solo}$$

$$m_{\text{Solo I}}\text{ g de naftaleno} \text{ ————— } 1000\text{ g de solo}$$

$$m_{\text{Solo I}} = 2 \times 10^{-2} = 20\text{ mg} < 30\text{ mg (limite)}$$

$$2,0 \times 10^{-2}\text{ g de naftaleno} \text{ ————— } 500\text{ g de solo}$$

$$m_{\text{Solo II}}\text{ g de naftaleno} \text{ ————— } 1000\text{ g de solo}$$

$$m_{\text{Solo II}} = 4 \times 10^{-2} = 40\text{ mg} > 30\text{ mg (limite)}$$

(necessita de biorremediação)

Devemos comparar os valores tabelados para as águas a 1L.

$$7,0 \times 10^{-6}\text{ g de naftaleno} \text{ ————— } 100\text{ mL de água}$$

$$m_{\text{Água I}}\text{ g de naftaleno} \text{ ————— } 1000\text{ mL de água}$$

$$m_{\text{Água I}} = 70 \times 10^{-6} = 0,07\text{ mg} < 0,14\text{ mg (limite)}$$

$$8,0 \times 10^{-6}\text{ g de naftaleno} \text{ ————— } 100\text{ mL de água}$$

$$m_{\text{Água II}}\text{ g de naftaleno} \text{ ————— } 1000\text{ mL de água}$$

$$m_{\text{Água II}} = 80 \times 10^{-6} = 0,08\text{ mg} < 0,14\text{ mg (limite)}$$

$$9,0 \times 10^{-6}\text{ g de naftaleno} \text{ ————— } 100\text{ mL de água}$$

$$m_{\text{Água III}}\text{ g de naftaleno} \text{ ————— } 1000\text{ mL de água}$$

$$m_{\text{Água III}} = 90 \times 10^{-6} = 0,09\text{ mg} < 0,14\text{ mg (limite)}$$

Conclusão: o ambiente que necessita de biorremediação é o do solo II.

5. D

As moléculas desse fármaco ficam retidas no espaço intravascular e dissolvidas exclusivamente no plasma, que representa aproximadamente 60% do sangue em volume, sendo que o volume sanguíneo total de 5,0 L.

$$5,0 \text{ L (sangue)} \longrightarrow 100 \%$$

$$V_{\text{sangue}} \longrightarrow 60 \%$$

$$V_{\text{sangue}} = 3 \text{ L}$$

Concentrações plasmáticas superiores a 4,0 mg/L podem desencadear hemorragias. A varfarina é administrada por via intravenosa na forma de solução aquosa, com concentração de 3,0 mg/mL, então:

$$C = \frac{m_{\text{solute}}}{V_{\text{solução}}} \Rightarrow m_{\text{solute}} = C \times V$$

$$m_{\text{varfarina (medicamento)}} = m_{\text{varfarina (sangue)}}$$

$$C_{\text{medicamento}} \times V_{\text{solução}} = C_{\text{(no sangue)}} \times V_{\text{sangue}}$$

$$3,0 \text{ mg/mL} \times V_{\text{solução}} = 4,0 \text{ mg/L} \times 3,0 \text{ L}$$

$$\cancel{3,0 \text{ mg/mL}} \times V_{\text{solução}} = 4,0 \times 10^{-3} \cancel{\text{ mg/mL}} \times \cancel{3,0 \text{ L}}$$

$$V_{\text{solução}} = 4,0 \times 10^{-3} \text{ L} = 4,0 \text{ mL}$$

6. B

3,42 g de sacarose equivalem a $\frac{3,42 \text{ g}}{342 \text{ g.mol}^{-1}}$, ou seja, 0,01 mol.

$$0,01 \text{ mol} \longrightarrow 50 \times 10^{-3} \text{ L}$$

$$x \longrightarrow 1 \text{ L}$$

$$X = 0,2 \text{ mol}$$

$$[\text{sacarose}] = 0,2 \text{ mol/L}$$

7. C

$$d = 1,00 \text{ g/mL} = 1.000 \text{ g/L}$$

Em 1 litro (1.000 mL):

$$1.000 \text{ g} \longrightarrow 100\%$$

$$m_{\text{NaCl}} \longrightarrow 0,90\%$$

$$m_{\text{NaCl}} = \frac{0,90\% \times 1.000 \text{ g}}{100\%} = 9,0 \text{ g}$$

$$9,0 \text{ g} \longrightarrow 1.000 \text{ mL}$$

$$m'_{\text{NaCl}} \longrightarrow 500 \text{ mL}$$

$$m'_{\text{NaCl}} = \frac{9,0 \text{ g} \times 500 \text{ mL}}{1.000 \text{ mL}} = 4,50 \text{ g}$$

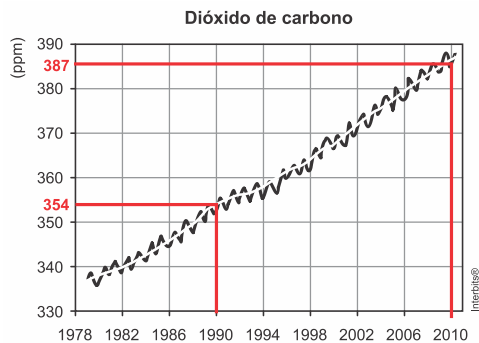
8. ANULADA

Questão anulada no gabarito oficial.

De acordo com o INEP, embora não haja incorreções nos dados, "as escalas apresentadas podem ter dificultado a visualização dos pontos relativos à concentração de gases e assim, a partir de um cálculo mais sofisticado, permitindo uma segunda interpretação por alguns participantes". Porém, utilizando-se as

escalas apresentadas, mesmo com imprecisões e sem a utilização de uma régua milimetrada, pode-se chegar à alternativa [D].

Levando-se em conta as últimas duas décadas (1990 a 2010), vem:

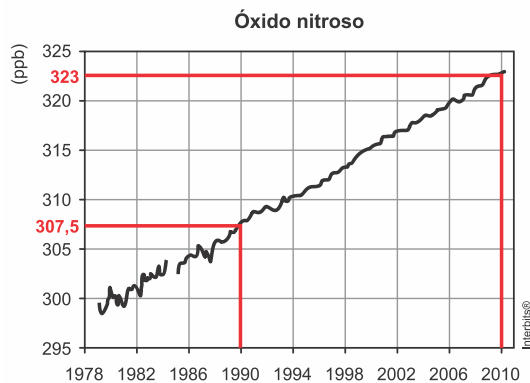


Variação: $387 \text{ ppm} - 354 \text{ ppm} = 33 \text{ ppm} (\approx)$

354 ppm — 100%

33 ppm — P_{CO_2}

$P_{\text{CO}_2} \approx 9,3\%$ de aumento percentual

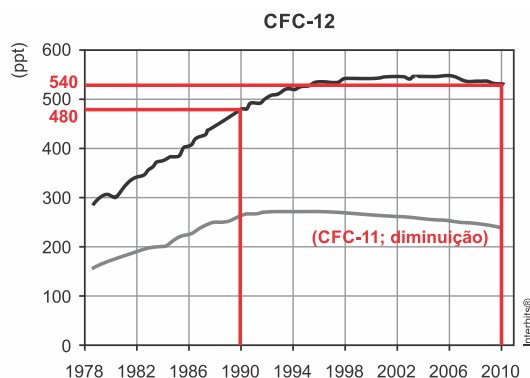


Variação: $323 \text{ ppb} - 307,5 \text{ ppb} = 15,5 \text{ ppb} (\approx)$

323 ppb — 100%

15,5 ppb — $P_{\text{N}_2\text{O}}$

$P_{\text{N}_2\text{O}} \approx 4,8 \%$ de aumento percentual



Variação: $540 \text{ ppt} - 480 \text{ ppt} = 60 \text{ ppt} (\approx)$

540 ppt — 100%

60 ppt — $P_{\text{CFC-12}}$

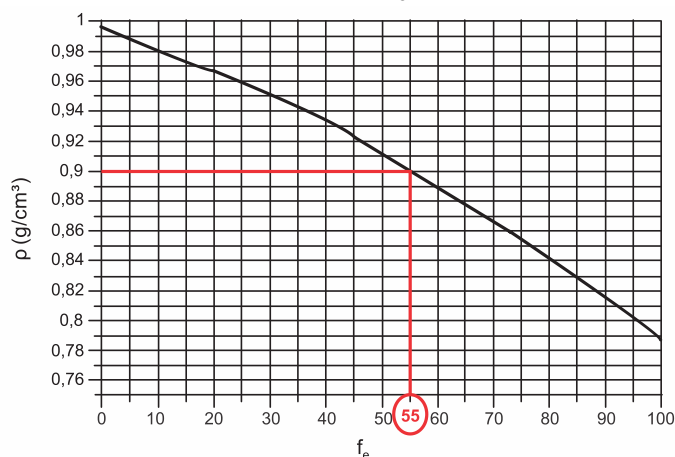
$P_{\text{CFC-12}} \approx 11,11 \%$ de aumento percentual

Conclusão: 11,11 % > 9,3 % > 4,8 %. O maior aumento percentual de concentração na atmosfera nas últimas duas décadas foi do CFC-12.

9. C

$$d = \rho = \frac{m}{V} = \frac{45,0 \text{ g}}{50 \text{ cm}^3} = 0,9 \text{ g/cm}^3$$

Partindo-se do gráfico, obtém-se f_e :



$$f_e = 55 \%$$

10. E

Transformando as unidades de concentração, vem:

$$\% (m/v) = \frac{g}{100 \text{ mL}}$$

$$n \frac{\text{mol}}{L} = n \times M \times \frac{g \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{mol}}{L} = n \times M \times 10^{-1} \times \underbrace{\frac{g}{100 \text{ mL}}}_{\%}$$

$$M = 60 \text{ g/mol}$$

Amostra	% (m/v)
1	$0,007 \times 60 \times 10^{-1} \times \frac{g}{100 \text{ mL}} = 0,042$
2	$0,070 \times 60 \times 10^{-1} \times \frac{g}{100 \text{ mL}} = 0,42$
3	$0,150 \times 60 \times 10^{-1} \times \frac{g}{100 \text{ mL}} = 0,9$
4	$0,400 \times 60 \times 10^{-1} \times \frac{g}{100 \text{ mL}} = 2,4$
5	$0,700 \times 60 \times 10^{-1} \times \frac{g}{100 \text{ mL}} = 4,2$

$$4 \% < \underbrace{4,2 \%}_{\text{Amostra 5}} < 6 \%$$