



## 1 Trabalho e Calor

1. Sistema e Vizinhança.
2. Sistema fechado e isolado.
3. Funções de Estado.
4. Trabalho, W, e Calor, Q.
5. Trabalho de expansão irreversível.
6. Calor específico e capacidade calorífica.

### 1.0.1 Habilidades

- a. **Calcular** o trabalho realizado por expansão de gases.

## 2 Energia Interna

1. Primeira Lei da Termodinâmica:

$$\Delta U = Q - W$$

2. Energia interna.
3. Capacidade calorífica em volume constante:

$$C_V = \frac{\Delta U}{\Delta T}$$

4. Expansão livre.

### 2.0.1 Habilidades

- a. **Calcular** a variação de energia interna para um processo de expansão *irreversível*.

## 3 Entalpia

1. Definição de Entalpia:

$$H = U + PV$$

2. Capacidade calorífica em pressão constante:

$$C_P = \frac{\Delta H}{\Delta T}$$

3. Relação de Meyer:

$$C_P = C_V + R$$

4. Entalpia e estado físico: sólido, líquido e gasoso.
5. Curvas de aquecimento.
6. Relação entre  $\Delta U$  e  $\Delta H$  de transição de fase.

### 3.0.1 Habilidades

- a. **Calcular** a variação de entalpia para um processo de expansão *irreversível*.
- b. **Calcular** a entalpia de mudança de fase.

## 4 Entalpia de Reação

1. Processos endotérmicos e exotérmicos.
2. Equações termoquímicas.
3. Entalpia de formação.
4. Estado padrão e grandezas termodinâmicas padrão.
5. Entalpia de ligação.
6. Lei de Hess.
7. Entalpia de reação e temperatura:

$$\Delta H^T = \Delta H^{T_0} + (T - T_0)\Delta C_P$$

### 4.0.1 Habilidades

- a. **Calcular** a entalpia de reação a partir das entalpias de formação.
- b. **Calcular** a entalpia de reação a partir das entalpias de ligação.
- c. **Calcular** a entalpia de reação aplicando a Lei de Hess.
- d. **Calcular** a variação na entalpia de reação com a temperatura.

## 5 Calorimetria

1. Calorímetro isobárico:

$$Q_P = \Delta H = C_P \Delta T$$

2. Calorímetro isocórico:

$$Q_V = \Delta U = C_V \Delta T$$

3. Relação entre  $\Delta U$  e  $\Delta H$  de reação.
4. Potencial calorífico superior e inferior.
5. Temperatura Adiabática de Reação.
6. Reação autossustentável.

### 5.0.1 Habilidades

- a. **Calcular** o calor liberado em pressão constante a partir do calor liberado em volume constante.
- b. **Calcular** a variação de temperatura causada por uma reação.

## Nível I

### PROBLEMA 5.1

2A01

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima do valor absoluto do trabalho realizado por um gás que se expande em 500 mL contra uma pressão de 1,2 atm.

- A** 54 J      **B** 60 J      **C** 66 J  
**D** 72 J      **E** 70 J

### PROBLEMA 5.2

2A02

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima do valor absoluto do trabalho realizado no congelamento de 100 g de água a 0 °C e 1000 atm.

- A** 720 J      **B** 790 J  
**C** 860 J      **D** 880 J  
**E** 910 J

#### Dados

- $\rho(\text{H}_2\text{O}, \text{l}) = 1,00 \text{ g cm}^{-3}$
- $\rho(\text{H}_2\text{O}, \text{s}) = 0,92 \text{ g cm}^{-3}$

### PROBLEMA 5.3

2A03

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima do valor absoluto do trabalho realizado quando 50 g de ferro reagem com ácido clorídrico formando gás hidrogênio e cloreto de ferro (II) a 25 °C.

- A** 2,2 kJ      **B** 4,4 kJ  
**C** 6,6 kJ      **D** 8,8 kJ  
**E** 5,3 kJ

### PROBLEMA 5.4

2A04

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima do valor absoluto do trabalho realizado na eletrólise de 50 g de água formando gás hidrogênio e oxigênio a 25 °C.

- A** 10 kJ      **B** 12 kJ  
**C** 18 kJ      **D** 15 kJ  
**E** 20 kJ

### PROBLEMA 5.5

2A05

Em um calorímetro foram adicionados 20 g de um metal a 100 °C e 50 g de água a 22 °C. A temperatura final registrada foi 25 °C. **Assinale** a alternativa que mais se aproxima da capacidade calorífica do metal.

- A**  $0,1 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1}$       **B**  $0,2 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1}$   
**C**  $0,3 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1}$       **D**  $0,4 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1}$   
**E**  $0,5 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1}$

### PROBLEMA 5.6

2A06

Em um calorímetro adiabático foram adicionados 300 g de gelo a 0 °C e 400 g de água a 55 °C.

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da temperatura final do sistema.

- A** -4 °C      **B** -3 °C  
**C** 0 °C      **D** 3 °C  
**E** 4 °C

#### Dados

- $C_p(\text{H}_2\text{O}, \text{l}) = 75,3 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $C_p(\text{H}_2\text{O}, \text{s}) = 37,8 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ(\text{H}_2\text{O}, \text{l}) = -286 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ(\text{H}_2\text{O}, \text{s}) = -292 \text{ kJ mol}^{-1}$

### PROBLEMA 5.7

2A11

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da variação de entalpia quando um mol de um gás pressurizado em 1 MPa e 300 K se expande adiabaticamente contra pressão de 0,1 MPa até atingir o equilíbrio.

- A** 1,5 kJ      **B** 1,7 kJ  
**C** 2,0 kJ      **D** 2,2 kJ  
**E** 2,5 kJ

**PROBLEMA 5.8**

2A07

A expansão de um gás ideal em um recipiente de 1 L a 10 atm é realizada de duas maneiras diferentes em temperatura constante.

1. Expansão contra pressão constante de 1 atm, levando o volume final do recipiente a 10 L.
2. Expansão contra pressão constante de 5 atm até atingir um volume de 2 L, seguida de expansão contra pressão constante de 1 atm atingindo o volume final de 10 L.

**Assinale** a alternativa *correta*.

- A** O trabalho realizado pelo gás é igual nos dois processos de expansão.
- B** O trabalho realizado no primeiro processo é metade do trabalho realizado no segundo processo.
- C** A variação de energia interna do gás é igual em ambos os processos.
- D** A variação de energia interna do gás no primeiro processo é metade da do segundo processo.
- E** O calor trocado pelo gás é igual em ambos os processos.

**PROBLEMA 5.9**

2A09

São descritos abaixo dois experimentos em que há sublimação completa de uma mesma quantidade de dióxido de carbono no estado sólido a 25 °C:

1. O processo é realizado em um recipiente hermeticamente fechado, de paredes rígidas e indeformáveis.
2. O processo é realizado em cilindro provido de um pistão, cuja massa e desprezível e se desloca sem atrito.

**Assinale** a alternativa *incorreta*.

- A** O primeiro processo ocorre com absorção de calor.
- B** O valor absoluto do trabalho realizado é maior no segundo.
- C** A variação de energia interna é maior no primeiro processo.
- D** Há realização de trabalho no segundo processo.
- E** A variação de energia interna é igual ao calor no segundo processo.

**PROBLEMA 5.10**

2A12

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da variação de entalpia quando 500 J de energia são transferidos em volume constante a uma amostra contendo 0,9 mol de oxigênio.

- A** -700 J
- B** -500 J
- C** 300 J
- D** 500 J
- E** 700 J

**Dados**

$$\bullet C_P(\text{O}_2, \text{g}) = 29,4 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$$

**PROBLEMA 5.11**

2A08

Considere os processos químicos realizados em temperatura constante.

1. Dissolução do nitrato de potássio.
2. Ebulição da água.
3. Conversão da grafita em diamante.
4. Oxidação do sódio metálico.

**Assinale** a alternativa com os processos que apresentam variação de energia interna não nula.

- A** 1, 2 e 3
- B** 1, 2 e 4
- C** 1, 3 e 4
- D** 2, 3 e 4
- E** 1, 2, 3 e 4

**PROBLEMA 5.12**

2A10

Um sistema termicamente isolado é composto por dois balões idênticos resistentes, porém não inquebráveis, **A** e **B**, conectados por um tubo com uma válvula fechada. O balão **A** contém um mol de um gás ideal monoatômico e **B** encontra-se perfeitamente evacuado. Em um dado instante a válvula é aberta.

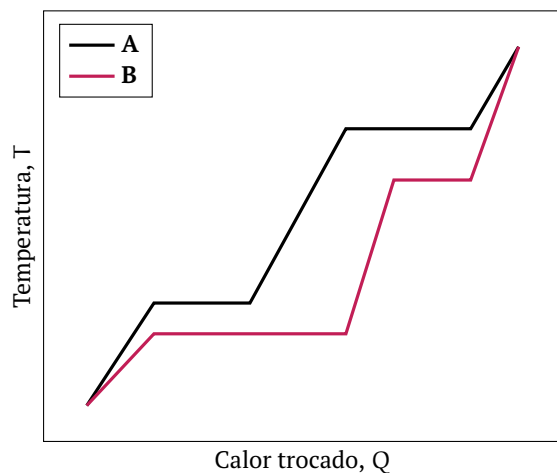
**Assinale** a alternativa *correta*.

- A** O balão B quebrar-se-á devido ao impacto do gás ideal.
- B** O trabalho gerado pela expansão do gás aquecerá o sistema.
- C** O gás em expansão absorverá calor da vizinhança, resfriando o sistema.
- D** A variação da energia interna da expansão será nula.
- E** A variação da energia interna do sistema será negativa.

**PROBLEMA 5.13**

2A14

Amostras de massas iguais de duas substâncias, **A** e **B**, foram submetidas independentemente a um processo de aquecimento em atmosfera inerte e sob pressão constante. A curva de aquecimento das amostras é apresentado a seguir.



**Assinale** a alternativa *incorreta*.

- A** A entalpia de fusão de **A** é menor que a de **B**.
- B** A entalpia de vaporização de **A** é menor que a de **B**.
- C** A capacidade calorífica na fase sólida de **A** é menor que a de **B**.
- D** A capacidade calorífica na fase líquida de **A** é maior que a de **B**.
- E** A capacidade calorífica na fase gasosa de **A** é maior que a de **B**.

**PROBLEMA 5.14**

2A16

A oxidação de aminoácidos no organismo leva a formação de ureia ( $\text{H}_2\text{NCONH}_2$ ), dióxido de carbono e água.

**Assinale** a alternativa do valor mais próximo da entalpia de oxidação da glicina ( $\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$ ).

- A**  $-620 \text{ kJ mol}^{-1}$
- B**  $-650 \text{ kJ mol}^{-1}$
- C**  $-680 \text{ kJ mol}^{-1}$
- D**  $-710 \text{ kJ mol}^{-1}$
- E**  $-740 \text{ kJ mol}^{-1}$

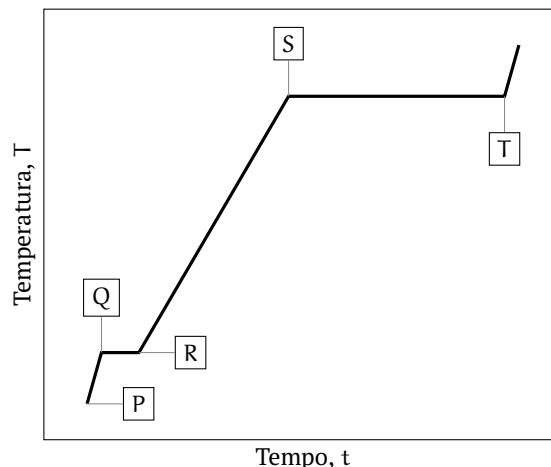
**Dados**

- $\Delta H_f^\circ (\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH}, \text{s}) = -533 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ (\text{CO}, \text{s}) = -334 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ (\text{H}_2\text{O}, \text{l}) = -286 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ (\text{CO}_2, \text{g}) = -394 \text{ kJ mol}^{-1}$

**PROBLEMA 5.15**

2A13

Considere a curva de aquecimento para uma substância sólida com apenas uma fase cristalina.



Considere as proposições.

1. Na região entre P e Q ocorre aumento da energia cinética.
2. Na região entre Q e R ocorre aumento da energia potencial.
3. O calor de fusão da substância é menor que o seu calor de vaporização.
4. O calor específico do sólido é maior que o calor específico do líquido.

**Assinale** a alternativa que relaciona as proposições *incorretas*.

- A** 3
- B** 4
- C** 1 e 4
- D** 2 e 4
- E** 3 e 4

**PROBLEMA 5.16**

2A17

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da entalpia de formação do metano.

- A**  $-225 \text{ kJ mol}^{-1}$
- B**  $-75 \text{ kJ mol}^{-1}$
- C**  $75 \text{ kJ mol}^{-1}$
- D**  $150 \text{ kJ mol}^{-1}$
- E**  $225 \text{ kJ mol}^{-1}$

**Dados**

- $\Delta H_c^\circ (\text{CH}_4, \text{g}) = -890 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ (\text{H}_2\text{O}, \text{l}) = -286 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ (\text{CO}_2, \text{g}) = -394 \text{ kJ mol}^{-1}$

**PROBLEMA 5.17**

2A18

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da razão entre a energia liberada por átomo de hidrogênio na combustão completa do octano gasoso e na célula de combustível de hidrogênio e oxigênio.

- A** 0,2                      **B** 0,5                      **C** 1,0  
**D** 2,5                      **E** 5,0

**Dados**

- $\Delta H_L(\text{C}-\text{C}) = 348 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_L(\text{C}-\text{H}) = 412 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_L(\text{C}=\text{O}) = 743 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_L(\text{H}_2) = 436 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_L(\text{O}_2) = 496 \text{ kJ mol}^{-1}$

**PROBLEMA 5.18**

2A19

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da entalpia de bromação de um mol de propeno ( $\text{CH}_3\text{CHCH}_2$ ), formando 1,2-dibromopropeno ( $\text{CH}_3\text{CHBrCH}_2\text{Br}$ ).

- A** -101 kJ                      **B** -401 kJ  
**C** -302 kJ                      **D** -130 kJ  
**E** -202 kJ

**Dados**

- $H_{\text{vap}}(\text{Br}_2) = 15.44$
- $H_{\text{vap}}(\text{CH}_3\text{CHBrCH}_2\text{Br}) = 35.61$
- $\Delta H_L(\text{Br}_2) = 193 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_L(\text{C}-\text{Br}) = 276 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_L(\text{C}-\text{C}) = 348 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_L(\text{C}=\text{C}) = 612 \text{ kJ mol}^{-1}$

**PROBLEMA 5.19**

2A21

A hidrogenação do monóxido de carbono libera 131 kJ por mol de grafita formado.

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da entalpia de reforma de 1 mol de metano com vapor, método industrial para produção de hidrogênio.

- A**  $207 \text{ kJ mol}^{-1}$                       **B**  $-204 \text{ kJ mol}^{-1}$   
**C**  $302 \text{ kJ mol}^{-1}$                       **D**  $-197 \text{ kJ mol}^{-1}$   
**E**  $250 \text{ kJ mol}^{-1}$

**Dados**

- $\Delta H_c^\circ(\text{CH}_4, \text{g}) = -890 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ(\text{H}_2\text{O}, \text{l}) = -286 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ(\text{CO}_2, \text{g}) = -394 \text{ kJ mol}^{-1}$

**PROBLEMA 5.20**

2A20

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da entalpia de formação do metanol.

- A**  $-260 \text{ kJ mol}^{-1}$                       **B**  $-200 \text{ kJ mol}^{-1}$   
**C**  $-130 \text{ kJ mol}^{-1}$                       **D**  $130 \text{ kJ mol}^{-1}$   
**E**  $260 \text{ kJ mol}^{-1}$

**Dados**

- $H_{\text{sub}}(\text{grafita}) = 716$
- $\Delta H_L(\text{C}-\text{H}) = 412 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_L(\text{C}-\text{O}) = 360 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_L(\text{H}_2) = 436 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_L(\text{O}-\text{H}) = 463 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_L(\text{O}_2) = 496 \text{ kJ mol}^{-1}$

**PROBLEMA 5.21**

2A22

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da entalpia de desidrogenação de 1 mol de propano, formando propeno.

- |                  |                  |
|------------------|------------------|
| <b>A</b> -3,5 MJ | <b>B</b> -2,2 MJ |
| <b>C</b> -2,2 kJ | <b>D</b> 3,5 kJ  |
| <b>E</b> 2,2 MJ  |                  |

**Dados**

- $\Delta H_c^\circ (\text{C}_3\text{H}_8, \text{g}) = -2220 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ (\text{H}_2\text{O}, \text{l}) = -286 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ (\text{CO}_2, \text{g}) = -394 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ (\text{C}_3\text{H}_6, \text{g}) = 20,4 \text{ kJ mol}^{-1}$

**PROBLEMA 5.22**

2A23

Uma amostra de 0,113 g de benzeno é queimada em um calorímetro isobárico ( $C = 551 \text{ J } ^\circ\text{C}^{-1}$ ) com excesso de oxigênio. A elevação de temperatura registrada foi de  $8,60^\circ\text{C}$ .

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da entalpia de combustão do benzeno.

- |                                     |                                     |
|-------------------------------------|-------------------------------------|
| <b>A</b> -3,25 MJ mol <sup>-1</sup> | <b>B</b> -3,50 MJ mol <sup>-1</sup> |
| <b>C</b> -3,75 MJ mol <sup>-1</sup> | <b>D</b> -4,25 MJ mol <sup>-1</sup> |
| <b>E</b> -4,50 MJ mol <sup>-1</sup> |                                     |

**PROBLEMA 5.23**

2A24

Um calorímetro foi calibrado pela queima de 0,825 g de ácido benzoico com excesso de oxigênio. A elevação de temperatura registrada foi de  $8,60^\circ\text{C}$ . Quando uma amostra com 0,725 g de ribose ( $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_5$ ) é queimada no mesmo calorímetro, a temperatura aumenta de  $21,81^\circ\text{C}$  para  $22,72^\circ\text{C}$ .

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da energia de combustão da ribose.

- |                                   |                                    |
|-----------------------------------|------------------------------------|
| <b>A</b> 220 kJ mol <sup>-1</sup> | <b>B</b> 4700 kJ mol <sup>-1</sup> |
| <b>C</b> 580 kJ mol <sup>-1</sup> | <b>D</b> 740 kJ mol <sup>-1</sup>  |
| <b>E</b> 850 kJ mol <sup>-1</sup> |                                    |

**Dados**

- $\Delta H_c^\circ (\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}, \text{s}) = -3230 \text{ kJ mol}^{-1}$

**PROBLEMA 5.24**

2A25

Uma amostra de 180 mg de glicose é queimada em um calorímetro isocórico, com capacidade calorífica  $C = 512 \text{ J } ^\circ\text{C}^{-1}$ , a  $25^\circ\text{C}$  com excesso de oxigênio. A variação de temperatura registrada foi de  $5^\circ\text{C}$ .

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da entalpia de combustão da glicose.

- |                   |                   |
|-------------------|-------------------|
| <b>A</b> -2575 kJ | <b>B</b> -2560 kJ |
| <b>C</b> -2545 kJ | <b>D</b> 2545 kJ  |
| <b>E</b> 2560 kJ  |                   |

**PROBLEMA 5.25**

2A26

Em um cilindro, provido de um pistão móvel sem atrito, é realizada a combustão completa de carbono. A temperatura no interior do cilindro é mantida constante desde a introdução dos reagentes até o final da reação.

1. A variação da energia interna do sistema é igual a zero.
2. O sistema não realiza trabalho.
3. A quantidade de calor trocada entre o sistema e a vizinhança é igual a zero.
4. A variação da entalpia do sistema é igual à variação da energia interna.

**Assinale** a alternativa que relaciona as proposições corretas.

- |                   |                   |
|-------------------|-------------------|
| <b>A</b> 2        | <b>B</b> 4        |
| <b>C</b> 2 e 4    | <b>D</b> 1, 2 e 4 |
| <b>E</b> 2, 3 e 4 |                   |

**PROBLEMA 5.26**

2A27

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da massa de butano necessária para aquecer 1 L de água de  $17^\circ\text{C}$  a  $100^\circ\text{C}$ .

- |               |               |               |
|---------------|---------------|---------------|
| <b>A</b> 3 g  | <b>B</b> 7 g  | <b>C</b> 14 g |
| <b>D</b> 21 g | <b>E</b> 28 g |               |

**Dados**

- $C_p (\text{H}_2\text{O}, \text{l}) = 75,3 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $\Delta H_c^\circ (\text{C}_4\text{H}_{10}, \text{g}) = -2880 \text{ kJ mol}^{-1}$

**PROBLEMA 5.27**

2A28

O poder calorífico superior (PCS) e o poder calorífico inferior (PCI) são definidos como a energia liberada na combustão completa de uma substância formando água líquida e gasosa, respectivamente.

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima do PCI do etanol ( $\text{PCS} = 30 \text{ MJ kg}^{-1}$ ).

- |                                 |                                 |
|---------------------------------|---------------------------------|
| <b>A</b> 21 MJ kg <sup>-1</sup> | <b>B</b> 27 MJ kg <sup>-1</sup> |
| <b>C</b> 30 MJ kg <sup>-1</sup> | <b>D</b> 33 MJ kg <sup>-1</sup> |
| <b>E</b> 39 MJ kg <sup>-1</sup> |                                 |

**Dados**

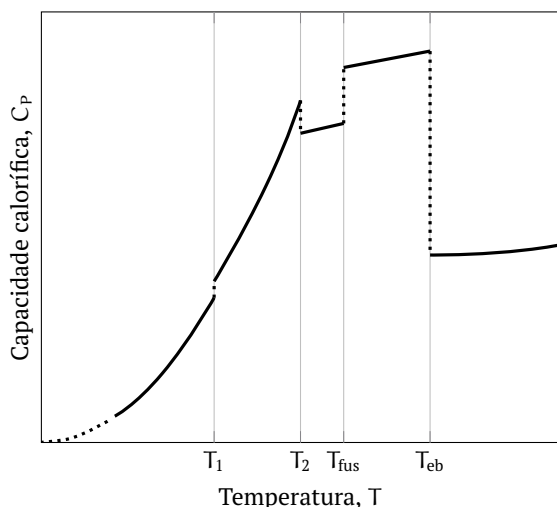
- $\Delta H_{\text{vap}}^\circ (\text{H}_2\text{O}) = 40,7 \text{ kJ mol}^{-1}$

## Nível II

### PROBLEMA 5.28

2A15

Considere a variação da capacidade calorífica de uma substância com a temperatura.



Assinale a alternativa *incorreta*.

- A** A substância apresenta mais de uma estrutura cristalina.
- B** A capacidade calorífica da substância é menor no estado gasoso do que no estado líquido.
- C** A capacidade calorífica para qualquer fase da substância aumenta com o aumento da temperatura.
- D** Caso a substância se mantenha no estado líquido em temperaturas inferiores a  $T_{\text{fus}}$ , a capacidade calorífica da substância líquida é maior que a capacidade calorífica da fase sólida metaestável em temperaturas inferiores a  $T_{\text{fus}}$ .
- E** A variação de entalpia quando essa substância sofre uma reação química no estado líquido aumenta com o aumento da temperatura.

### PROBLEMA 5.29

2A29

Uma substância de massa molar  $200 \text{ g mol}^{-1}$  foi colocada em um recipiente equipado com uma serpentina de aquecimento resistivo, a  $80^\circ\text{C}$  e 1 bar. Para a manutenção da temperatura, foi utilizada uma fonte de 30 V e 900 mA durante 30 s, vaporizando 2 g da substância.

Assinale a alternativa que mais se aproxima da entalpia de vaporização dessa substância.

- A**  $8 \text{ kJ mol}^{-1}$
- B**  $40 \text{ kJ mol}^{-1}$
- C**  $80 \text{ kJ mol}^{-1}$
- D**  $400 \text{ kJ mol}^{-1}$
- E**  $800 \text{ kJ mol}^{-1}$

### PROBLEMA 5.30

2A30

Um calorímetro foi calibrado aplicando uma corrente de 1 A de uma fonte de 9 V por 150 s, sendo registrada uma variação de temperatura de  $5^\circ\text{C}$ . Em um segundo experimento, um mol de uma substância foi queimado nesse calorímetro e a variação de temperatura registrada foi de  $3^\circ\text{C}$ .

Assinale a alternativa que mais se aproxima da entalpia de vaporização dessa substância.

- A**  $510 \text{ kJ mol}^{-1}$
- B**  $610 \text{ kJ mol}^{-1}$
- C**  $710 \text{ kJ mol}^{-1}$
- D**  $810 \text{ kJ mol}^{-1}$
- E**  $910 \text{ kJ mol}^{-1}$

### PROBLEMA 5.31

2A31

O perclorato de amônio é um dos componentes mais utilizados em propelentes de foguetes. Para aperfeiçoar seu desempenho, hidrogênio pode ser utilizado como aditivo. Considere o poder calorífico, PC, dessa mistura em função da fração mássica de hidrogênio.

$x_{\text{H}_2}/\%$	PC/ $\text{kJ g}^{-1}$
2	4,4
5	8,7

- a. **Determine** a entalpia de combustão do perclorato de amônio.
- b. **Determine** a entalpia de combustão do hidrogênio.

### PROBLEMA 5.32

2A32

Uma mistura de metano e eteno foi queimada em um reator de 3,0 L a  $25^\circ\text{C}$ , em presença de excesso de oxigênio. O reator é equipado com uma jaqueta externa, preenchida com 1 L de água, que mantém a temperatura constante em seu interior. A combustão foi realizada a  $25^\circ\text{C}$ , liberando 242,7 kcal, e reduzindo a pressão em 16,3 atm.

- a. **Determine** a energia interna de combustão do metano.
- b. **Determine** a energia interna de combustão do eteno.
- c. **Determine** a massa de metano na mistura inicial.

Dados

- $C_p(\text{H}_2\text{O}, \text{l}) = 75,3 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ(\text{H}_2\text{O}, \text{l}) = -286 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ(\text{CO}_2, \text{g}) = -394 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ(\text{C}_2\text{H}_4, \text{g}) = 52,3 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ(\text{CH}_4, \text{g}) = -74,8 \text{ kJ mol}^{-1}$

## PROBLEMA 5.33

2A33

**Determine** a energia liberada durante a precipitação pluviométrica de 20 mm de chuva sobre uma área de  $100 \text{ km}^2$ .

## Dados

$$\bullet \Delta H_{\text{vap}}^{\circ}(\text{H}_2\text{O}) = 40,7 \text{ kJ mol}^{-1}$$

## PROBLEMA 5.34

2A34

O consumo global anual de energia é cerca de 100 terawatts, sendo 30 % desse valor proveniente da queima de combustíveis fósseis. Considere que os combustíveis fósseis são compostos majoritariamente por octano, contendo 10 ppm de enxofre. Apenas 80 % da energia liberada na combustão completa pode ser aproveitada.

- Apresente** a reação de combustão completa do octano com ar atmosférico.
- Determine** a massa de dióxido de enxofre formada por hora devido à queima de combustíveis fósseis.

## Dados

$$\begin{aligned} \bullet \Delta H_f^{\circ}(\text{H}_2\text{O}, \text{l}) &= -286 \text{ kJ mol}^{-1} \\ \bullet \Delta H_f^{\circ}(\text{CO}_2, \text{g}) &= -394 \text{ kJ mol}^{-1} \\ \bullet \Delta H_f^{\circ}(\text{C}_8\text{H}_{18}, \text{l}) &= -250 \text{ kJ mol}^{-1} \end{aligned}$$

## PROBLEMA 5.35

2A35

Considere os processos químicos a seguir.

- Reação de formação da água gasosa.
- Reação de formação da água líquida.

**Assinale** a alternativa *incorreta*.

- As reações 1 e 2 são exotérmicas.
- O valor absoluto da variação de entalpia é menor que o da variação de energia interna para a reação 1.
- O valor absoluto da variação de energia interna da reação 1 é menor que o da 2.
- O valor absoluto da variação de entalpia da reação 1 é menor que o da 2.
- A capacidade calorífica do produto da reação 1 é menor que o da 2.

## PROBLEMA 5.36

2A36

Considere os processos a seguir, em 298 K e 1 atm. Combustão de 1 g de etanol formando fuligem. Combustão de 1 g de etanol formando monóxido de carbono.

**Assinale** a alternativa *correta*.

- Os processos ocorrem com a mesma variação de energia interna.
- Os processos ocorrem com a mesma variação de entalpia.
- O valor absoluto da variação de energia interna é maior para o primeiro processo.
- O valor absoluto da variação de entalpia é maior que o valor absoluto da variação de energia interna para o primeiro processo.
- O valor absoluto da variação de entalpia é menor que o valor absoluto da variação de energia interna para o segundo processo.

## PROBLEMA 5.37

2A39

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da temperatura adiabática de chama para a combustão octano líquido com 300 % de excesso de ar atmosférico.

- |                |                |
|----------------|----------------|
| <b>A</b> 580 K | <b>B</b> 680 K |
| <b>C</b> 780 K | <b>D</b> 880 K |
| <b>E</b> 980 K |                |

## Dados

$$\begin{aligned} \bullet C_p(\text{CO}_2, \text{g}) &= 37,1 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \\ \bullet C_p(\text{N}_2, \text{g}) &= 29,1 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \\ \bullet C_p(\text{O}_2, \text{g}) &= 29,4 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \\ \bullet C_p(\text{H}_2\text{O}, \text{g}) &= 33,6 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \\ \bullet \Delta H_f^{\circ}(\text{CO}_2, \text{g}) &= -394 \text{ kJ mol}^{-1} \\ \bullet \Delta H_f^{\circ}(\text{C}_8\text{H}_{18}, \text{l}) &= -250 \text{ kJ mol}^{-1} \\ \bullet \Delta H_f^{\circ}(\text{H}_2\text{O}, \text{g}) &= -242 \text{ kJ mol}^{-1} \end{aligned}$$

## PROBLEMA 5.38

2A37

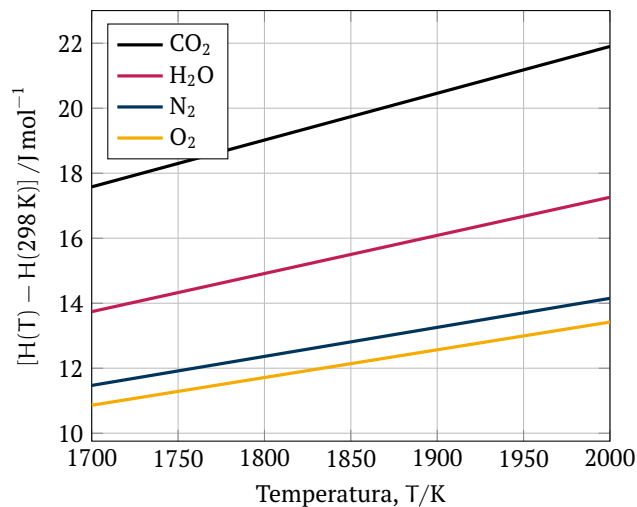
**Determine** a entalpia de combustão do octano.

## Dados

$$\begin{aligned} \bullet \Delta H_c^{\circ}(\text{C}_4\text{H}_{10}, \text{g}) &= -2880 \text{ kJ mol}^{-1} \\ \bullet \Delta H_c^{\circ}(\text{C}_5\text{H}_{12}, \text{g}) &= -3540 \text{ kJ mol}^{-1} \end{aligned}$$



Uma mistura (1 : 15) de metano e ar atmosférico, a 298 K e 1 atm, entra em combustão em um reservatório adiabático, consumindo completamente o metano. O processo ocorre sob pressão constante e os produtos formados permanecem em fase gasosa.



- Determine a temperatura final do sistema.
- Determine a concentração final de vapor.

#### Dados

- $\Delta H_f^\circ(\text{CO}_2, \text{g}) = -394 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ(\text{CH}_4, \text{g}) = -74,8 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ(\text{H}_2\text{O}, \text{g}) = -242 \text{ kJ mol}^{-1}$

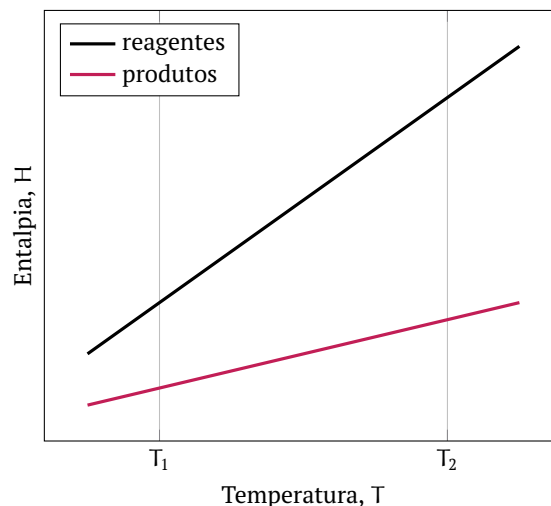
Amostras de 5 g de etano e propano foram queimadas independentemente em um calorímetro a 298 K e 1 atm, liberando 260 kJ e 250 kJ de energia, respectivamente.

- Determine a energia da ligação C—C.
- Determine a energia da ligação C—H.

#### Dados

- $H_{\text{sub}}(\text{grafita}) = 716$
- $\Delta H_f^\circ(\text{H}_2\text{O}, \text{l}) = -286 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ(\text{CO}_2, \text{g}) = -394 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_L(\text{H}_2) = 436 \text{ kJ mol}^{-1}$

Considere a variação da entalpia com a temperatura para os reagentes e produtos de uma reação.



Assinale a alternativa *incorreta*.

- A reação ocorre com liberação de calor em  $T_1$ .
- A capacidade calorífica dos reagentes é maior que a dos produtos em  $T_1$ .
- A reação ocorre com absorção de calor entre  $T_1$  e  $T_2$ .
- O valor absoluto da entalpia de reação aumenta com o aumento de temperatura.
- A capacidade calorífica dos reagentes e dos produtos aumenta com o aumento da temperatura.

Assinale a alternativa que mais se aproxima da entalpia de formação da amônia a 450 °C.

- $-30 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $-45 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $-55 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $-65 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $-70 \text{ kJ mol}^{-1}$

#### Dados

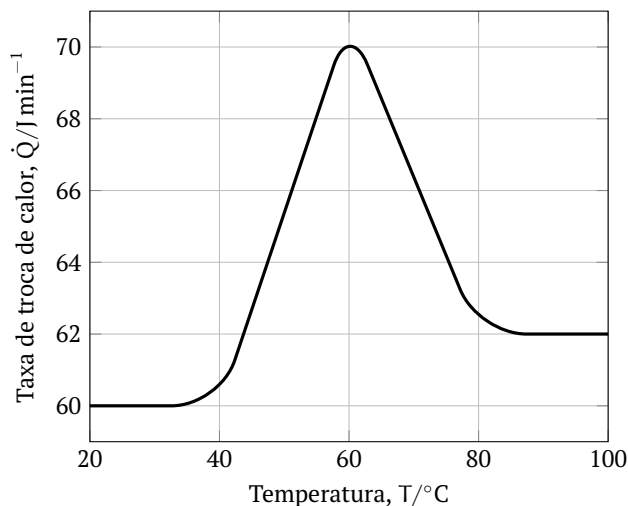
- $C_p(\text{NH}_3, \text{g}) = 35,1 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $C_p(\text{H}_2, \text{g}) = 28,8 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $C_p(\text{N}_2, \text{g}) = 29,1 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ(\text{NH}_3, \text{g}) = -46,1 \text{ kJ mol}^{-1}$

## Nível III

### PROBLEMA 5.43

2A44

A técnica de calorimetria exploratória diferencial pode ser aplicada para determinar a entalpia de desnaturação uma proteína. Uma amostra contendo 1 g da proteína e uma amostra de alumínio são colocadas no equipamento. O alumínio recebe uma taxa constante de calor de forma que sua temperatura varia  $1 \text{ K s}^{-1}$ . A taxa de calor fornecida à proteína varia de forma que a temperatura da proteína e do alumínio permanecem iguais em todo o processo. O termograma a seguir apresenta a taxa de calor fornecida à proteína em função de sua temperatura.



- Classifique** a desnaturação como endotérmica ou exotérmica.
- Compare** a capacidade calorífica da proteína antes e após a desnaturação.
- Estime** a variação de entalpia da desnaturação.

### PROBLEMA 5.44

2A45

Dados termodinâmicos podem ser utilizados para quantificar a estabilidade de compostos aromáticos.

- Determine** a entalpia de hidrogenação do cicloexeno.
- Determine** a entalpia de hidrogenação do benzeno.
- Determine** a entalpia de ressonância do benzeno.

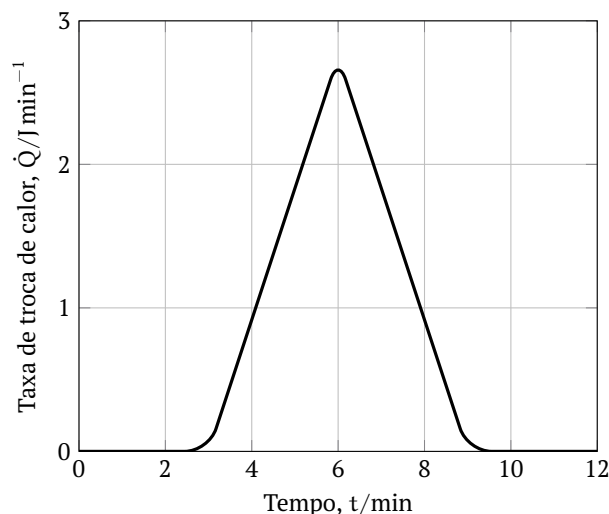
#### Dados

- $\Delta H_c^\circ (\text{C}_6\text{H}_6, \text{l}) = -3270 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_c^\circ (\text{C}_6\text{H}_{12}, \text{l}) = -3920 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_c^\circ (\text{C}_6\text{H}_{10}, \text{l}) = -3750 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ (\text{H}_2\text{O}, \text{l}) = -286 \text{ kJ mol}^{-1}$

### PROBLEMA 5.45

2A43

O gráfico a seguir apresenta a taxa de liberação de calor para uma reação química. Ao final da reação é formado 1 mol de produto.

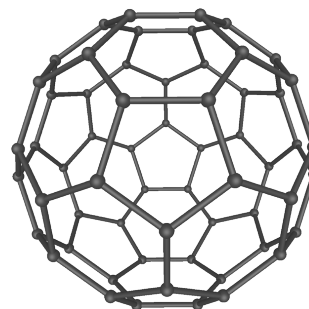


- Determine** a quantidade de produto formada até 4 minutos de reação.
- Determine** o calor liberado até 11 minutos de reação.

### PROBLEMA 5.46

2A46

Considere a estrutura do fulereno,  $\text{C}_{60}$ .



- Determine** a entalpia de formação do fulereno.
- Determine** a entalpia de ressonância do fulereno.

#### Dados

- $H_c(\text{C}_{60}) = -26000$
- $H_{\text{sub}}(\text{C}_{60}) = 1000$
- $\Delta H_f^\circ (\text{H}_2\text{O}, \text{l}) = -286 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ (\text{CO}_2, \text{g}) = -394 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_L (\text{C}-\text{C}) = 348 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_L (\text{C}=\text{C}) = 612 \text{ kJ mol}^{-1}$

**PROBLEMA 5.47**

2A47

Uma massa de óxido ferroso é aquecida a 1273 K e, em seguida, exposta a uma mistura gasosa de monóxido de carbono e hidrogênio. O óxido é reduzido a metal sem qualquer fornecimento adicional de energia. O sistema perde 4,2 kJ de calor para a vizinhança por mol de óxido reduzido.

**Determine** a razão mínima entre as pressões parciais de monóxido de carbono e de hidrogênio na mistura gasosa inicial, para que o processo seja autossustentável.

**Dados**

- $H_f(\text{FeO}, s)$
- $\Delta H_f^\circ(\text{CO}, g) = -111 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ(\text{CO}, g) = -111 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ(\text{H}_2\text{O}, g) = -242 \text{ kJ mol}^{-1}$

**PROBLEMA 5.48**

2A48

A ustulação da blenda de zinco é conduzida a 1300 K em um reator do tipo leito fluidizado. Sulfeto de zinco misturado com sílica e ar são adicionados em fluxo contínuo a 300 K. A reação libera 460 kJ de calor por mol de sulfeto a 1300 K, formando óxido de zinco e dióxido de enxofre.

**Determine** a fração molar máxima da sílica na mistura com sulfeto de zinco para que o processo seja autossustentável a 1300 K.

**Dados**

- $C_p(\text{ZnS}, s) = 45,7$
- $C_p(\text{N}_2, g) = 29,1 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $C_p(\text{O}_2, g) = 29,4 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $C_p(\text{SiO}_2, s) = 44,4 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

**PROBLEMA 5.49**

2A49

Monóxido de carbono a 473 K é queimado com 90% de excesso de ar seco, a 773 K e 1 atm. Os produtos da combustão abandonam a câmara de reação a 1273 K.

**Determine** o calor liberado por mol de monóxido de carbono formado.

**Dados**

- $C_p(\text{CO}_2, g) = 37,1 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $C_p(\text{CO}, g) = 29,1 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $C_p(\text{N}_2, g) = 29,1 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $C_p(\text{O}_2, g) = 29,4 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ(\text{CO}_2, g) = -394 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ(\text{CO}, g) = -111 \text{ kJ mol}^{-1}$

**PROBLEMA 5.50**

2A50

Um carro comum possui quatro cilindros, que totalizam um volume de 1,6 L e um consumo de combustível de 9,5 L por 100 km quando viaja a  $80 \text{ km h}^{-1}$ . Cada cilindro sofre 20 ciclos de queima por segundo. O combustível, octano, e ar são introduzidos a 390 K no cilindro quando seu volume é máximo, até que a pressão seja 1 atm. Na combustão, 10% do carbono é convertido em monóxido e o restante em dióxido. Ao final do ciclo, o cilindro se expande novamente até o volume máximo, sob pressão final de 20 atm.

- Determine** a vazão de entrada de ar no motor.
- Determine** a composição da mistura gasosa de saída.
- Determine** a temperatura dos gases imediatamente após a combustão.
- Determine** a temperatura de saída dos gases.

**Dados**

- $C_p(\text{CO}_2, g) = 37,1 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $C_p(\text{CO}, g) = 29,1 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $C_p(\text{N}_2, g) = 29,1 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $C_p(\text{O}_2, g) = 29,4 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ(\text{CO}_2, g) = -394 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ(\text{CO}, g) = -111 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ(\text{C}_8\text{H}_{18}, l) = -250 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ(\text{H}_2\text{O}, g) = -242 \text{ kJ mol}^{-1}$

**Gabarito**
**Nível I**

1. <b>B</b>	2. <b>C</b>	3. <b>A</b>	4. <b>A</b>	5. <b>D</b>
6. <b>C</b>	7. <b>D</b>	8. <b>C</b>	9. <b>E</b>	10. <b>E</b>
11. <b>E</b>	12. <b>D</b>	13. <b>B</b>	14. <b>B</b>	15. <b>B</b>
16. <b>B</b>	17. <b>D</b>	18. <b>A</b>	19. <b>A</b>	20. <b>B</b>
21. <b>B</b>	22. <b>A</b>	23. <b>C</b>	24. <b>B</b>	25. <b>C</b>
26. <b>B</b>	27. <b>A</b>			

## Nível II

1. **E**
2. **C**
3. **D**
4. a.  $-190 \text{ kJ mol}^{-1}$   
b.  $-286 \text{ kJ mol}^{-1}$
5. a.  $-891,2 \text{ kJ mol}^{-1}$   
b.  $-1412,6 \text{ kJ mol}^{-1}$   
c. 12 g
6.  $4,9 \times 10^{15} \text{ J}$
7. a.  $\text{C}_8\text{H}_{18} + \frac{25}{2} \text{O}_2 \longrightarrow 8 \text{CO}_2 + 9 \text{H}_2\text{O}$   
b. 7 toneladas por hora
8. **B**
9. **E**
10. **E**
11.  $-5520 \text{ kJ}$
12. a. 1733 K  
b.  $5,2 \text{ mmol L}^{-1}$
13. a.  $348 \text{ kJ mol}^{-1}$   
b.  $412 \text{ kJ mol}^{-1}$
14. **C**
15. **C**

## Nível III

1. a. Endotérmica  
b. Aumenta  
c.  $3 \text{ J g}^{-1}$
2. a.  $-120 \text{ kJ mol}^{-1}$   
b.  $-208 \text{ kJ mol}^{-1}$   
c.  $140 \text{ kJ mol}^{-1}$
3. a.  $n = 60 \text{ mmol}$   
b.  $Q = 8,25 \text{ J mol}^{-1}$ .
4. a.  $-40 \text{ MJ mol}^{-1}$   
b.  $2,4 \text{ MJ mol}^{-1}$
5. 1,5
6.  $2/3$
7.  $-193 \text{ kJ}$
8. a.  $40 \text{ L s}^{-1}$   
b. 75%  $\text{N}_2$ , 4%  $\text{O}_2$ , 1%  $\text{CO}$ , 9%  $\text{CO}_2$ , 11%  $\text{H}_2\text{O}$   
c.  $2000^\circ\text{C}$   
d. 750 K