

# Solubilidade

Gabriel Braun

Colégio e Curso Pensí, Coordenação de Química

## 1 Solubilidade em Nível Molecular

1. Solvatação.
2. Interações soluto-solvente.
3. *Semanhante-dissolve-semelhante*.
4. Espécies hidrofílicas e hidrofóbicas.
5. Micelas.
6. Surfactantes.

### 1.0.1 Habilidades

- a. **Comparar** a solubilidades com base na estrutura molecular.

## 2 Limites da Solubilidades

1. Soluções saturadas.
2. Solubilidade e temperatura.
3. Curvas de solubilidades.
4. Soluções supersaturadas.

### 2.0.1 Habilidades

- a. **Determinar** a solubilidade de uma substância a partir da curva de solubilidade.

## 3 Solubilidade de Gases

1. Lei de Henry:  
$$s = k_H P$$
2. Solubulidade de gases e temperatura.

### 3.0.1 Habilidades

- a. **Calcular** a solubilidade de um gás em um líquido a partir da Lei de Henry.

## 4 Termodinâmica da Dissolução

1. Entalpia rede.
2. Ciclo de Born-Haber.
3. Entalpia de hidratação.
4. Entalpia de dissolução.

### 4.0.1 Habilidades

- a. **Calcular** a entalpia de rede utilizando o ciclo de Born-Haber.
- b. **Calcular** a entalpia de dissolução em função das entalpias de rede e de hidratação.

## 5 Coloides

1. Movimento Browniano.
2. Definição de coloides:

$$1 \text{ nm} < d < 1 \text{ }\mu\text{m}$$

3. Classificação de coloides.
4. Efeito Tyndall.

### 5.0.1 Habilidades

- a. **Identificar** os tipos de coloides e suas propriedades.

## Nível I

### PROBLEMA 5.1

2E01

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da solubilidade do dióxido de carbono em uma solução sob 500 Torr desse gás a 20 °C.

- |                                  |                                  |
|----------------------------------|----------------------------------|
| <b>A</b> 5 mmol L <sup>-1</sup>  | <b>B</b> 10 mmol L <sup>-1</sup> |
| <b>C</b> 15 mmol L <sup>-1</sup> | <b>D</b> 20 mmol L <sup>-1</sup> |
| <b>E</b> 25 mmol L <sup>-1</sup> |                                  |

### Dados

- $k_H(\text{CO}_2) = 0,023 \text{ mol L}^{-1} \text{ atm}^{-1}$

### PROBLEMA 5.2

2E02

A concentração mínima em massa de oxigênio necessária para a vida dos peixes é 4 ppm.

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da pressão atmosférica mínima que forneceria a concentração mínima em massa de oxigênio na água para permitir a vida dos peixes a 20 °C.

- |                   |                   |
|-------------------|-------------------|
| <b>A</b> 160 Torr | <b>B</b> 360 Torr |
| <b>C</b> 560 Torr | <b>D</b> 760 Torr |
| <b>E</b> 960 Torr |                   |

## Dados

- $k_H(\text{O}_2) = 0,0013 \text{ mol L}^{-1} \text{ atm}^{-1}$

### PROBLEMA 5.3

2E03

Compressas frias contendo nitrato de amônio, podem ser utilizadas para amenizar a dor. Essas compressas consistem em cristais de nitrato de amônio e água, e esfriam à medida que o nitrato de amônio se dissolve na água.

**Assinale** a alternativa que explica porque dissolução do nitrato de amônio em água é espontânea.

- A** A variação de entalpia reticular é maior que a de solvatação dos íons.
- B** A reação é exergônica, já que é exotérmica e possui variação positiva de entropia.
- C** A reação é endotérmica, e isso faz com que o calor das vizinhanças seja disperso nas compressas.
- D** As partículas de nitrato de amônio dissolvidas estão mais randomicamente organizadas que as do retículo cristalino, favorecendo a espontaneidade do processo endotérmico.
- E** A reação é endotérmica e a solução mais fria apresenta menor energia, o que é favorável.

### PROBLEMA 5.4

2E04

Considere as proposições.

1. O valor absoluto da entalpia de hidratação do  $\text{Na}^+$  é maior que o do  $\text{K}^+$ .
2. O valor absoluto da entalpia de hidratação do  $\text{Br}^-$  é maior que o do  $\text{Cl}^-$ .
3. O valor absoluto da entalpia de hidratação do  $\text{Ca}^{2+}$  é maior que o do  $\text{Al}^{3+}$ .
4. O valor absoluto da entalpia de hidratação do  $\text{Ga}^{3+}$  é maior que o do  $\text{Al}^{3+}$ .

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

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

### PROBLEMA 5.5

2E05

O gás dióxido de carbono dissolvido em uma amostra de água em um recipiente parcialmente cheio e lacrado entrou em equilíbrio com sua pressão parcial no ar que está acima da solução. Considere as operações.

1. A pressão parcial do gás  $\text{CO}_2$  dobra por adição de mais  $\text{CO}_2$ .
2. A pressão total do gás sobre o líquido dobra por adição de nitrogênio.
3. A pressão parcial de  $\text{CO}_2$  é aumentada por compressão do gás até um terço do volume original.

4. A temperatura é aumentada mantendo a pressão total constante.

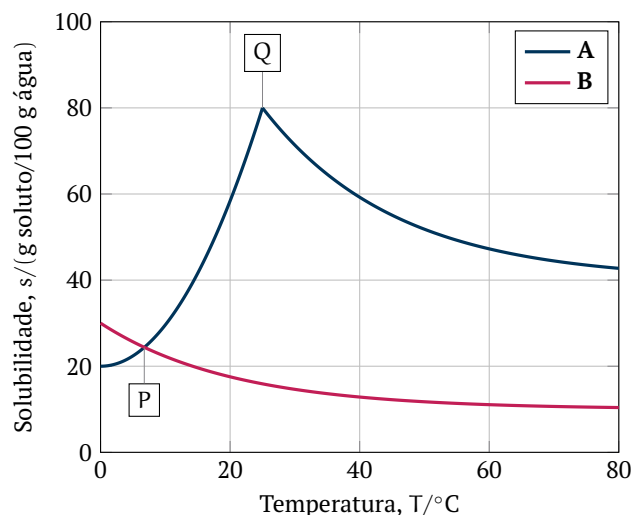
**Assinale** a alternativa que relaciona as operações que levam ao aumento da concentração de  $\text{CO}_2$  em solução.

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

### PROBLEMA 5.6

2E06

Considere as curvas de solubilidade de duas substâncias **A** e **B**.



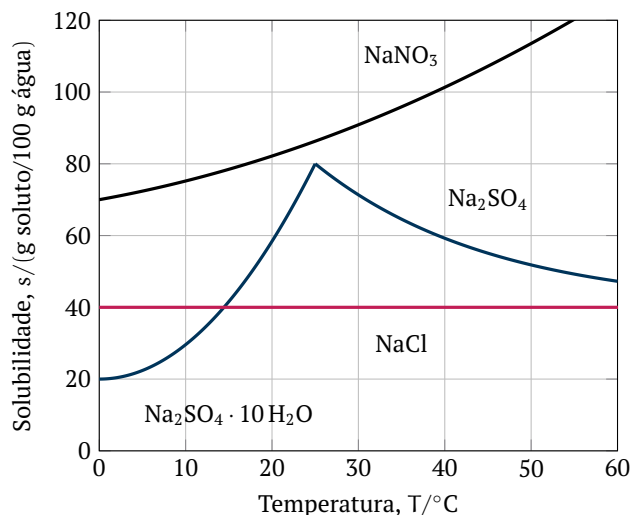
**Assinale** a alternativa *correta*.

- A** No ponto P as soluções apresentam a mesma temperatura mas as solubilidades de **A** e **B** são diferentes.
- B** A solução da substância **A** está supersaturada no ponto Q.
- C** Soluções preparadas com 40 g de **A** ou **B** em 100 g de água são instáveis.
- D** As curvas de solubilidade não indicam mudanças na estrutura dos solutos.
- E** A solubilidade da substância **B** segue o perfil esperado para a solubilidade de gases em água.

### PROBLEMA 5.7

2E07

Considere as curvas de solubilidade.



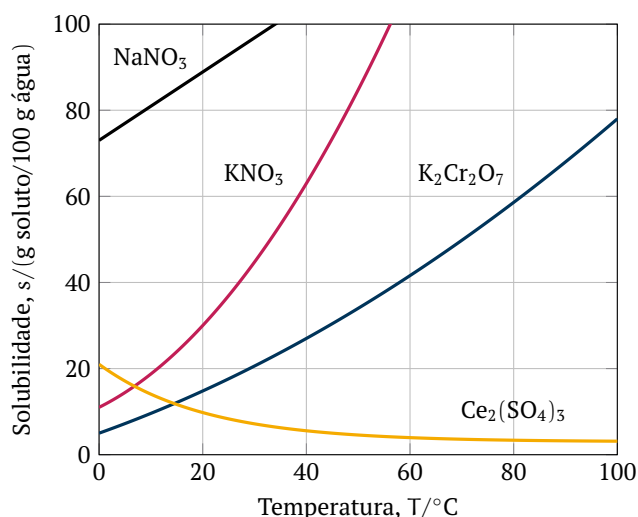
**Assinale** a alternativa *incorreta*.

- A** A 25 °C, a solubilidade em água do  $\text{NaNO}_3$  é maior que a do  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ .
- B** A 25 °C, uma mistura de 120 g de  $\text{NaNO}_3$  com 100 g água é bifásica, sendo uma das fases o nitrato de amônio sólida e a outra a água líquida.
- C** A 0 °C, uma mistura de 20 g de  $\text{NaCl}$  com 100 g de água é monofásica, sendo esta fase uma solução aquosa não saturada em  $\text{NaCl}$ .
- D** A 25 °C, a concentração de íons de sódio existentes na fase líquida de uma mistura preparada pela adição de 6 g de  $\text{NaCl}$  à 100 g de água é  $1 \text{ mol L}^{-1}$ .
- E** A 25 °C, a quantidade de íons de sódio presentes em uma solução preparada pela dissolução de 1 g de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  em 10 g de água é maior do que a existente em outra solução preparada pela dissolução de 1 g de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  em 10 g de água é maior do que a existente em outra solução preparada pela dissolução de 1 g de  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  na mesma quantidade de água.

### PROBLEMA 5.8

2E08

Considere as curvas de solubilidade.



Considere as proposições.

1. Ao dissolver 130 g de  $\text{KNO}_3$  em 200 g de água, a  $40^\circ\text{C}$ , a solução obtida é saturada e possui 70 g de corpo de fundo.
2. Ao dissolver 20 g de  $\text{Ce}_2(\text{SO}_4)_3$  em 300 g de água a  $10^\circ\text{C}$  e, posteriormente, aquecer a solução até  $90^\circ\text{C}$  haverá gradativa precipitação da substância.
3. A menor quantidade de água necessária para dissolver completamente 140 g de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  a  $90^\circ\text{C}$  é cerca de 150 g.
4. O nitrato de sódio é a substância mais solúvel a  $100^\circ\text{C}$ .

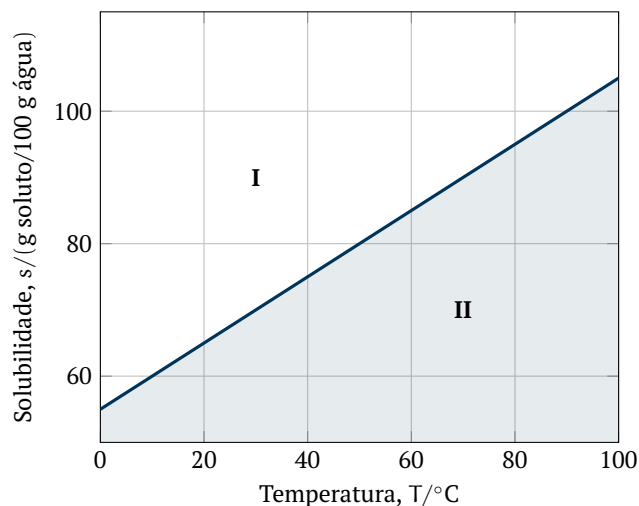
**Assinale** a alternativa que relaciona as proposições *corretas*.

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

### PROBLEMA 5.9

2E11

Considere as curvas de solubilidade do brometo de potássio em água.



**Assinale** a alternativa *incorreta*.

- A** A dissolução do KBr em água é um processo endotérmico.
- B** A 30 °C, a concentração de uma solução aquosa saturada em KBr é de aproximadamente 6 mol kg<sup>-1</sup>.
- C** Misturas correspondentes a pontos situados na região I da figura são bifásicas.
- D** Misturas correspondentes a pontos situados na região II da figura são monofásicas.
- E** Misturas correspondentes a pontos situados sobre a curva são saturadas em KBr.

### PROBLEMA 5.10

2E12

A dissolução do sulfato de lítio ocorre com aumento de temperatura da solução, já a dissolução do nitrato de amônio ocorre com o resfriamento da solução.

1. A entalpia de rede do sulfato de lítio é menor que sua entalpia de hidratação.
2. A entalpia de rede do nitrato de amônio é maior que sua entalpia de hidratação.
3. A dissolução do sulfato de lítio aumenta a entropia do sistema.
4. A dissolução do nitrato de amônio diminui a entropia do sistema.

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

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

#### PROBLEMA 5.11

2E13

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da entalpia de solução do cloreto de sódio.

- |                                  |                                  |
|----------------------------------|----------------------------------|
| <b>A</b> $1 \text{ kJ mol}^{-1}$ | <b>B</b> $2 \text{ kJ mol}^{-1}$ |
| <b>C</b> $3 \text{ kJ mol}^{-1}$ | <b>D</b> $4 \text{ kJ mol}^{-1}$ |
| <b>E</b> $5 \text{ kJ mol}^{-1}$ |                                  |

**Dados**

- $\Delta H_{\text{hid}}(\text{NaCl}) = 784 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_{\text{rede}}^{\circ}(\text{NaCl}) = 787 \text{ kJ mol}^{-1}$

#### PROBLEMA 5.12

2E14

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da entalpia de rede do brometo de cálcio.

- |                                      |                                      |
|--------------------------------------|--------------------------------------|
| <b>A</b> $-983 \text{ kJ mol}^{-1}$  | <b>B</b> $-1125 \text{ kJ mol}^{-1}$ |
| <b>C</b> $-1928 \text{ kJ mol}^{-1}$ | <b>D</b> $-2254 \text{ kJ mol}^{-1}$ |
| <b>E</b> $-2414 \text{ kJ mol}^{-1}$ |                                      |

**Dados**

- $\Delta H_{\text{hid}}(\text{Ca}^{2+}) = -1579 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_{\text{hid}}(\text{Cl}^{-}) = -336 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_{\text{sol}}(\text{CaCl}_2) = -103 \text{ kJ mol}^{-1}$

#### PROBLEMA 5.13

2E15

Uma amostra de 4 g de  $\text{MgBr}_2$  é dissolvida em 100 g de água a  $25^{\circ}\text{C}$ .

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

- |                               |                               |
|-------------------------------|-------------------------------|
| <b>A</b> $15^{\circ}\text{C}$ | <b>B</b> $25^{\circ}\text{C}$ |
| <b>C</b> $35^{\circ}\text{C}$ | <b>D</b> $45^{\circ}\text{C}$ |
| <b>E</b> $55^{\circ}\text{C}$ |                               |

**Dados**

- $\Delta H_{\text{R}}(\text{MgBr}_2) = -2406 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_{\text{hid}}(\text{MgBr}_2) = -2591,6 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $C_{\text{P}}(\text{H}_2\text{O}, \text{l}) = 75,3 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

#### PROBLEMA 5.14

2E16

Uma amostra de 10 g de  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  é dissolvida em 100 g de água a  $25^{\circ}\text{C}$ .

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

- |                               |                               |
|-------------------------------|-------------------------------|
| <b>A</b> $21^{\circ}\text{C}$ | <b>B</b> $23^{\circ}\text{C}$ |
| <b>C</b> $25^{\circ}\text{C}$ | <b>D</b> $27^{\circ}\text{C}$ |
| <b>E</b> $29^{\circ}\text{C}$ |                               |

**Dados**

- $\Delta H_{\text{R}}(\text{NH}_4\text{NO}_3) = -628 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_{\text{hid}}(\text{NH}_4^{+}) = -307 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_{\text{hid}}(\text{NO}_3^{-}) = -314 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $C_{\text{P}}(\text{H}_2\text{O}, \text{l}) = 75,3 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

#### PROBLEMA 5.15

2E17

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

- |                                     |                                     |
|-------------------------------------|-------------------------------------|
| <b>A</b> $-238 \text{ kJ mol}^{-1}$ | <b>B</b> $-347 \text{ kJ mol}^{-1}$ |
| <b>C</b> $-411 \text{ kJ mol}^{-1}$ | <b>D</b> $-513 \text{ kJ mol}^{-1}$ |
| <b>E</b> $-673 \text{ kJ mol}^{-1}$ |                                     |

**Dados**

- $\Delta E(\text{Cl}) = -349 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta E(\text{K}) = 419 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_{\text{R}}(\text{KCl}) = -690 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_{\text{sub}}(\text{K}) = 90 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_{\text{L}}(\text{Cl}_2) = 242 \text{ kJ mol}^{-1}$

#### PROBLEMA 5.16

2E18

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da entalpia de rede do cloreto de cálcio.

- |                                      |                                      |
|--------------------------------------|--------------------------------------|
| <b>A</b> $-790 \text{ kJ mol}^{-1}$  | <b>B</b> $-1029 \text{ kJ mol}^{-1}$ |
| <b>C</b> $-2070 \text{ kJ mol}^{-1}$ | <b>D</b> $-2260 \text{ kJ mol}^{-1}$ |
| <b>E</b> $-2609 \text{ kJ mol}^{-1}$ |                                      |

### Dados

- $A E(\text{Cl}) = -349 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $E I_1(\text{Ca}) = 590 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $E I_2(\text{Ca}) = 1146 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_{\text{sub}}(\text{Ca}) = 190 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ(\text{CaCl}_2, \text{s}) = -796 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_L(\text{Cl}_2) = 242 \text{ kJ mol}^{-1}$

#### PROBLEMA 5.17

2E19

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da entalpia de sublimação do lítio.

- |                                   |                                   |
|-----------------------------------|-----------------------------------|
| <b>A</b> 80 kJ mol <sup>-1</sup>  | <b>B</b> 161 kJ mol <sup>-1</sup> |
| <b>C</b> 242 kJ mol <sup>-1</sup> | <b>D</b> 324 kJ mol <sup>-1</sup> |
| <b>E</b> 405 kJ mol <sup>-1</sup> |                                   |

### Dados

- $A E_1(\text{I}) = -295 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $E I(\text{Li}) = 520 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_R(\text{LiI}) = -753 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f(\text{LiI}) = -292 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_L(\text{I}_2) = 151 \text{ kJ mol}^{-1}$

#### PROBLEMA 5.18

2E20

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da segunda afinidade eletrônica do enxofre.

- |               |               |               |
|---------------|---------------|---------------|
| <b>A</b> 2 eV | <b>B</b> 3 eV | <b>C</b> 4 eV |
| <b>D</b> 5 eV | <b>E</b> 6 eV |               |

### Dados

- $A E_1(\text{S}) = 2,1 \text{ eV}$
- $E I(\text{K}) = 4,4 \text{ eV}$
- $\Delta H_R(\text{K}_2\text{S}) = 2052 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_{\text{sub}}(\text{K}) = 90 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_{\text{sub}}(\text{S}) = 277 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ(\text{K}_2\text{S}, \text{s}) = -381 \text{ kJ mol}^{-1}$

#### PROBLEMA 5.19

2E21

Os mingaus contêm grandes moléculas de amido que fazem a mistura engrossar por um mecanismo semelhante ao da gelatina.

**Assinale** a alternativa com a descrição para o mecanismo de endurecimento dos mingaus.

- |  |
|--|
| <b>A</b> As moléculas de amido dos mingaus são insolúveis em água e precipitam quando misturadas com água. |
| <b>B</b> As moléculas de amido dos mingaus são solubilizadas em água, aumentando a densidade da solução.   |

- |  |
|--|
| <b>C</b> Os fios das moléculas de amido se ligam uns aos outros por ligações covalentes.                                       |
| <b>D</b> As moléculas de amido formam ligações hidrogênio com as moléculas de água e encapsulam a água em uma rede.            |
| <b>E</b> As moléculas de água hidratam as moléculas de amido do pudim, e o calor de hidratação decompõe as moléculas de amido. |

## Nível II

#### PROBLEMA 5.20

2E22

Quando submersos em águas profundas, os mergulhadores necessitam voltar lentamente à superfície para evitar a formação de bolhas de gás no sangue.

- Explique** o motivo da não formação de bolhas de gás no sangue quando o mergulhador desloca-se de regiões próximas à superfície para as regiões de águas profundas.
- Explique** o motivo da não formação de bolhas de gás no sangue quando o mergulhador desloca-se muito lentamente de regiões de águas profundas para as regiões próximas da superfície.
- Explique** o motivo da formação de bolhas de gás no sangue quando o mergulhador desloca-se muito rapidamente de regiões de águas profundas para as regiões próximas da superfície.

#### PROBLEMA 5.21

2E23

O volume de sangue no corpo de um mergulhador de mar profundo é cerca de 6 L. As células sanguíneas compõem cerca de 55% do volume do sangue. Os restantes 45% formam a solução em água conhecida como plasma. A solubilidade do  $\text{N}_2$  no sangue a uma pressão parcial de 1 atm é  $5,8 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1} \text{ atm}^{-1}$ .

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima do volume de nitrogênio, medido sob 1 atm e 37 °C, eliminado por um mergulhador em profundidade de 90 m em seu retorno à superfície.

- |                 |                 |
|-----------------|-----------------|
| <b>A</b> 100 mL | <b>B</b> 200 mL |
| <b>C</b> 300 mL | <b>D</b> 400 mL |
| <b>E</b> 500 mL |                 |

#### PROBLEMA 5.22

2E24

Um recipiente **A**, dotado de uma válvula na parte superior, está totalmente preenchido por uma solução de  $n$  mols de  $\text{CO}_2$  em 1800 g de água. O recipiente **A** foi, então, conectado ao recipiente **B** previamente evacuado, fechado por válvula e com volume de 1,64 L. Em um dado momento, as válvulas foram abertas deixando o sistema nesta condição durante tempo suficiente para atingir o equilíbrio. Após o equilíbrio, as válvulas foram fechadas e os recipientes foram desconectados. Todo o processo ocorreu à temperatura constante de 300 K. A constante de Henry para a solubilidade do  $\text{CO}_2$  na água,  $k_H = 33,3 \text{ atm}^{-1}$ . **Determine** o número de mols de  $\text{CO}_2$  que migraram para o recipiente **B** em função de  $n$ .

#### PROBLEMA 5.23

2E28

Considere as propriedades dos sólidos iônicos.

- a. **Explique** porque o valor absoluto da entalpia de rede cresce na ordem  $\text{Na}_2\text{Te} < \text{Na}_2\text{Se} < \text{CaTe} < \text{CaSe}$ .
- b. **Ordene** os compostos  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{FeCl}_2$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  em função do valor absoluto de entalpia de rede.

PROBLEMA 5.24

2E29

Considere as propriedades dos sólidos iônicos.

- a. **Explique** porque, mesmo sendo a primeira afinidade eletrônica do oxigênio exotérmica e a segunda é endotérmica, na maioria dos compostos iônicos o oxigênio está na forma de óxido.
- b. **Explique** porque o composto  $\text{NaCl}_2$  é improvável, supondo que sua entalpia de rede seja igual à do  $\text{MgCl}_2$ .

## Gabarito

### Nível I

- |              |              |              |              |              |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1. <b>C</b>  | 2. <b>B</b>  | 3. <b>D</b>  | 4. <b>C</b>  | 5. <b>C</b>  |
| 6. <b>E</b>  | 7. <b>B</b>  | 8. <b>B</b>  | 9. <b>B</b>  | 10. <b>D</b> |
| 11. <b>C</b> | 12. <b>C</b> | 13. <b>C</b> | 14. <b>B</b> | 15. <b>C</b> |
| 16. <b>D</b> | 17. <b>B</b> | 18. <b>E</b> | 19. <b>D</b> |              |

### Nível II

1. a. O aumento da solubilidade do gás no sangue devido ao aumento da pressão é o motivo de não haver a formação de bolhas de gás no sangue quando o mergulhador se desloca de regiões próximas à superfície para as regiões de águas profundas.
- b. O motivo de não se formarem bolhas de gás no sangue quando o mergulhador se desloca muito lentamente de regiões de águas profundas para as regiões próximas da superfície é o fato da variação de pressão ocorrer lentamente e, portanto, a liberação de gás ser pequena.
- c. A formação de bolhas de gás no sangue quando o mergulhador se desloca muito rapidamente de regiões de águas profundas para águas superficiais é a repentina variação de pressão, diminuindo a solubilidade do gás no sangue. Ocorre intensa liberação do gás, com formação de bolhas.

2. **D**

3. 
$$\frac{102 + n + \sqrt{(102 + n)^2 - 8n}}{2}$$

4. -

5. -