

## Propriedade Coligativas das Soluções

1. (IME) Um instrumento desenvolvido para medida de concentração de soluções aquosas não eletrolíticas, consta de:
- um recipiente contendo água destilada;
  - um tubo cilíndrico feito de uma membrana semipermeável, que permite apenas passagem de água, fechado em sua extremidade inferior;
  - um sistema mecânico que permite comprimir a solução no interior do tubo, pela utilização de pesos de massa padrão.

O tubo cilíndrico possui uma seção transversal de  $1,0 \text{ cm}^2$  e apresenta duas marcas distanciadas de  $12,7 \text{ cm}$  uma da outra.

Para medir a concentração de uma solução, coloca-se a solução em questão no interior do tubo, até atingir a primeira marca. Faz-se a imersão do tubo no recipiente com água, até que a primeira marca fique no nível da superfície da água do recipiente. Comprime-se então a solução no tubo, adicionando as massas padrão, até que, no equilíbrio, a solução fique na altura da segunda marca do tubo, anotando-se a massa total utilizada.

Devido a considerações experimentais, especialmente da resistência da membrana, o esforço máximo que pode ser aplicado corresponde à colocação de uma massa de  $5,07 \text{ kg}$ .

Considerando a massa específica das soluções como sendo a mesma da água e que todas as medidas devem ser realizadas a  $27 \text{ }^\circ\text{C}$ , calcule as concentrações mínima e máxima que tal instrumento pode medir.

Dados:

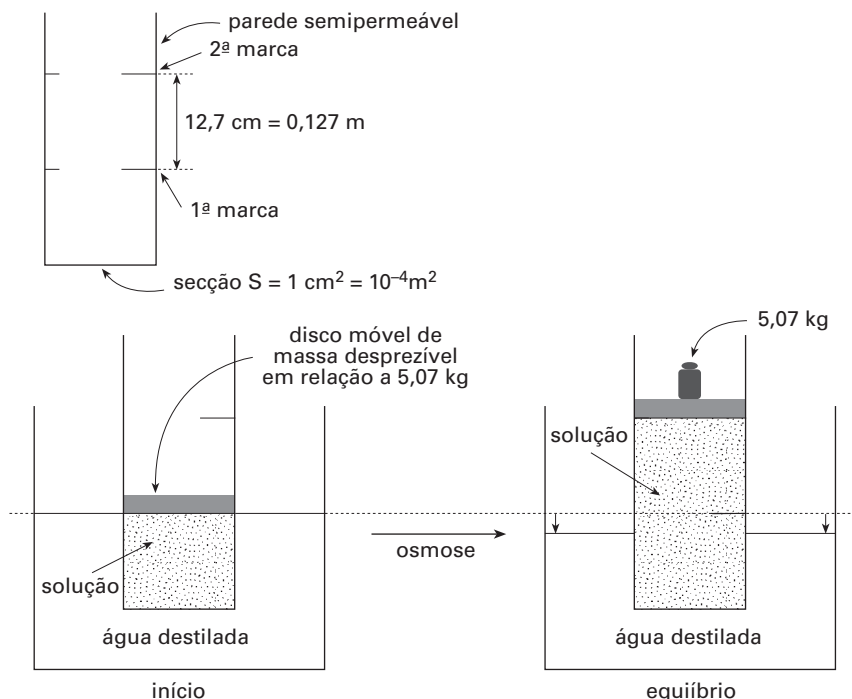
$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mm Hg} = 10,33 \text{ m H}_2\text{O} = 1,013 \times 10^5 \text{ Pa};$$

$$\text{aceleração da gravidade} = 9,80 \text{ m/s}^2;$$

$$\text{constante universal dos gases} = 0,082 \text{ atm} \cdot \text{L/mol} \cdot \text{K};$$

$$\text{massa específica da água a } 27 \text{ }^\circ\text{C} = 1,00 \text{ g/cm}^3.$$

Resolução:



A pressão osmótica máxima que pode ser medida por esse instrumento é a pressão exercida sobre a solução por uma massa de 5,07 kg e essa pressão (P) será:

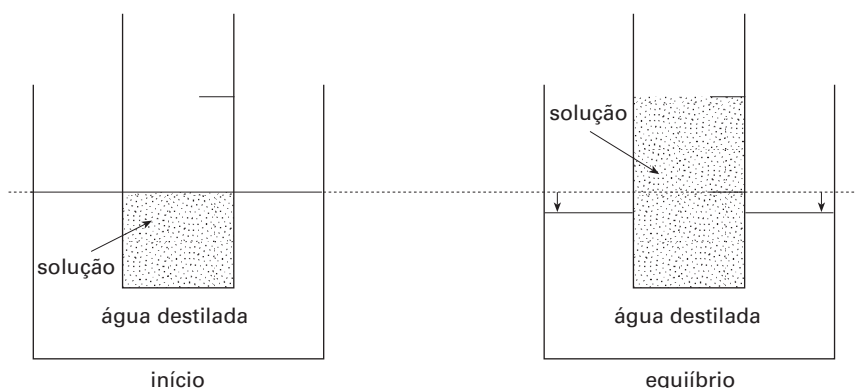
$$P = \frac{mg}{S} = \frac{5,07 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2}{10^{-4} \text{ m}^2} = 5 \times 10^5 \text{ Pa} \approx 5 \text{ atm}$$

A concentração em mol/L  $\eta$  da solução com essa pressão osmótica é:

$$\eta = \frac{\pi}{RT} = \frac{5 \text{ atm}}{0,082 \text{ L} \cdot \text{atm} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 300\text{K}} = 0,2 \text{ mol/L}$$

Essa será a concentração máxima da solução em que esse instrumento pode ser utilizado. (Resposta)

Suponhamos que sem colocar massas na superfície do líquido no tubo houve osmose e a coluna líquida no tubo subiu até a marca 12,7 cm e aí ficou parada.



A pressão osmótica dessa solução é igual à de uma coluna de água de 12,7 cm de altura e será pressão osmótica mínima que pode ser medida com esse instrumento e seu valor será:

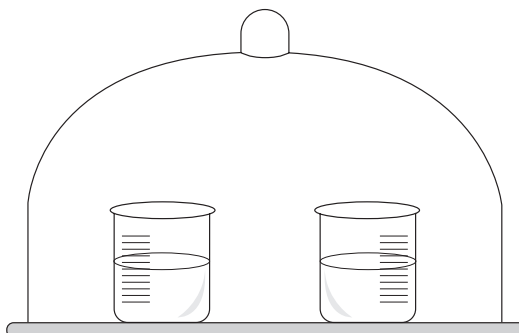
$$p = h \rho g = 0,127 \text{ m} \times 10^3 \text{ kg/m}^3 \times 9,8 \text{ m/s}^2 = 1,24 \times 10^3 \text{ Pa} = 1,24 \times 10^{-2} \text{ atm}$$

A concentração em mol/L  $\eta$  da solução com essa pressão osmótica será:

$$\eta = \frac{\pi}{RT} = \frac{1,24 \times 10^{-2} \text{ atm}}{0,082 \text{ L} \cdot \text{atm} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 300\text{K}} = 5 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$$

Essa será a concentração mínima que esse instrumento pode medir. (Resposta)

2. (UFMG/2010) Na realização de um experimento, dois frascos foram colocados no interior de uma campânula hermeticamente fechada, como mostrado na figura:

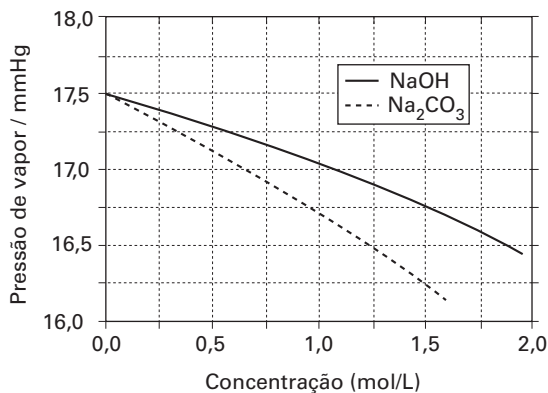


Durante todo o experimento, a temperatura, no interior da campânula, foi mantida constante.

Um dos frascos continha uma solução de  $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$  e o outro, uma solução de  $\text{Na}_2\text{CO}_{3(\text{aq})}$ . Ambas as soluções apresentavam a mesma concentração inicial de 1,25 mol/L.

Começado o experimento, observaram-se alterações no volume dos frascos, que cessaram após alguns dias. Após cessarem essas alterações, uma análise da solução de NaOH indicou que sua concentração havia aumentado para 1,50 mol/L.

Analise este gráfico, em que está representada a variação da pressão do vapor em função da concentração das duas soluções usadas:

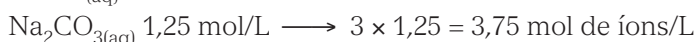
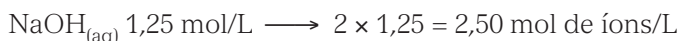
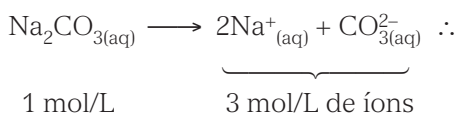
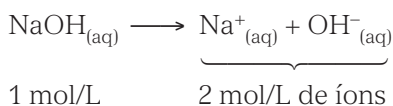


- a) Indique a concentração da solução de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  que se encontra em equilíbrio com a solução de  $\text{NaOH}$ .  
 b) Indique a solução –  $\text{Na}_2\text{CO}_3(\text{aq})$  ou  $\text{NaOH}(\text{aq})$  – que apresenta maior variação da pressão de vapor em decorrência da variação de concentração observada.

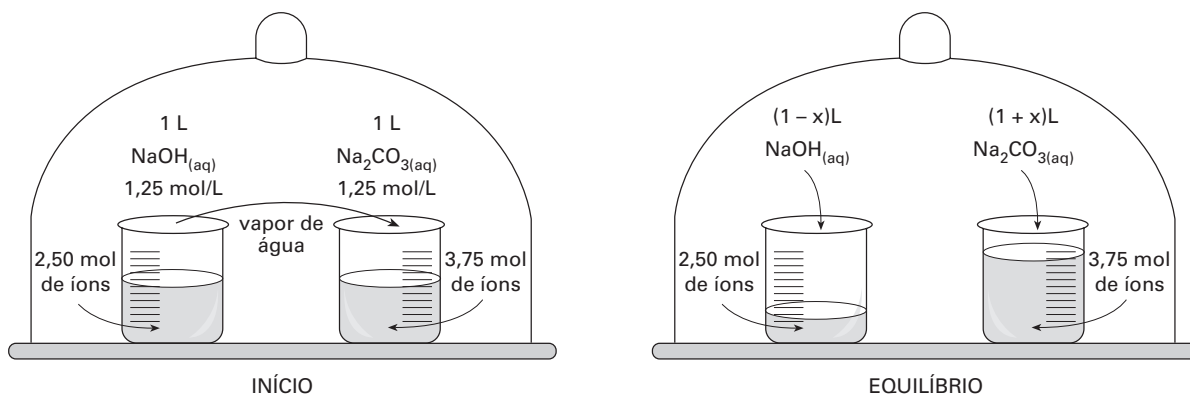
### Resolução:

Quando se dissolve um soluto não-volátil num solvente volátil o soluto abaixa a pressão de vapor do solvente. Esta é uma das propriedades coligativas das soluções e, como tal, o abaixamento da pressão de vapor do solvente, provocado pelo soluto, na mesma temperatura, é proporcional à concentração em mol/L das partículas (moléculas ou íons) do soluto.

Concentração em mol/L de íons nas soluções:



Conclusão: a pressão de vapor da solução da solução de  $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$  é maior que a do  $\text{Na}_2\text{CO}_{3(\text{aq})}$ , portanto, a solução  $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$  é *mais volátil* que a solução  $\text{Na}_2\text{CO}_{3(\text{aq})}$ . Por isso, quando as duas soluções são recobertas com a campânula, a água *vaporiza* da solução de  $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$  e *condensa* na solução de  $\text{Na}_2\text{CO}_{3(\text{aq})}$ . Com isso, a concentração da solução de  $\text{NaOH}$  (mol de íons/L) aumenta e a concentração da solução de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (mol de íons/L) diminui. Depois de certo tempo as concentrações em mol/L dos íons nas duas soluções se igualam e o sistema atinge o equilíbrio.



No equilíbrio  $[\text{NaOH}]_{\text{aq}} = \frac{2,50 \text{ mol}}{(1-x) \text{ L}}$   $[\text{Na}_2\text{CO}_3]_{\text{aq}} = \frac{3,75 \text{ mol}}{(1+x) \text{ L}}$

$$\text{No equilíbrio} \longrightarrow \frac{2,50}{1-x} = \frac{3,75}{1+x}$$

$$3,75 - 3,75x = 2,50 + 2,50x$$

$$6,25x = 1,25$$

$$x = \frac{1,25}{6,25} = 0,2 \text{ L}$$

Início  $\rightarrow$  1,25 mol de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  — 1L de solução

Equilíbrio  $\rightarrow$  1,25 mol de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  — 0,8L de solução

$$[\text{Na}_2\text{CO}_3]_{\text{aq}} = \frac{1,25 \text{ mol}}{1,2 \text{ L}} = 1,04 \text{ mol/L (Resposta a)}$$

Início  $\rightarrow$  1,25 mol de NaOH — 1L de solução

Equilíbrio  $\rightarrow$  1,25 mol de NaOH — 0,8L de solução

$$[\text{NaOH}]_{\text{aq}} = \frac{1,25 \text{ mol}}{0,8 \text{ L}} = 1,56 \text{ mol/L (Resposta a)}$$

Varição do  $[\text{Na}_2\text{CO}_3]_{\text{aq}} = 1,25 \text{ mol/L} - 1,04 \text{ mol/L} = 0,21 \text{ mol/L}$

Varição do  $[\text{NaOH}]_{\text{aq}} = 1,25 \text{ mol/L} - 1,56 \text{ mol/L} = |0,31| \text{ mol/L}$

A variação da concentração do  $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$  foi maior que a do  $\text{Na}_2\text{CO}_{3(\text{aq})}$ , portanto, a variação da pressão de vapor na solução do  $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$  foi maior que a do  $\text{Na}_2\text{CO}_{3(\text{aq})}$ . (Resposta b)

### Observações:

- O gráfico fornecido no enunciado da questão é desnecessário, porque, o abaixamento da pressão de vapor é uma propriedade coligativa das soluções.
  - A concentração da solução de NaOH no equilíbrio é 1,56 mol/L e não 1,50 mol/L como está no enunciado da questão.
3. (IME) Na produção de uma solução de cloreto de sódio em água a 0,90% (p/p), as quantidades de solvente e soluto são pesadas separadamente e, posteriormente, promove-se a solubilização. Certo dia, suspeitou-se que a balança de soluto estivesse descalibrada. Por este motivo, a temperatura de ebulição de uma amostra da solução foi medida, obtendo-se 100,14 °C. Considerando o sal totalmente dissociado, determine a massa de soluto a ser acrescentada de modo a produzir um lote de 1000 kg com a concentração correta.

Dados: Massas atômicas: Na = 23; Cl = 35,5

Constante ebullioscópica = 0,52 °C<sup>-1</sup> · (molal)<sup>-1</sup>

### Resolução:

$$\Delta t_e = K_e W i \text{ (Lei de Raoult)}$$

$\Delta t_e$  = elevação do ponto de ebulição do solvente

$K_e$  = constante ebulliométrica ou ebullioscópica.

$i$  = fator de van't Hoff

$W$  = molalidade da solução (quantidade em mol do soluto/kg de solvente)

Não confunda molaridade com molalidade

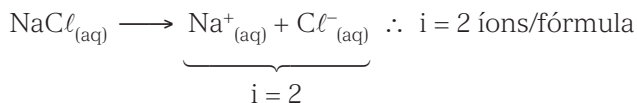
Solução x molar = x mols de soluto/1L de solução

Solução x molal = x moles de soluto/1 kg de solvente

Em solução aquosa, como a densidade da água é 1 kg/L, para soluções diluídas molaridade é aproximadamente igual a molalidade.

$$W = \frac{\Delta t_e}{K_e i} \quad \Delta t_e = 100,14 - 100,00 = 0,14 \text{ }^\circ\text{C}$$

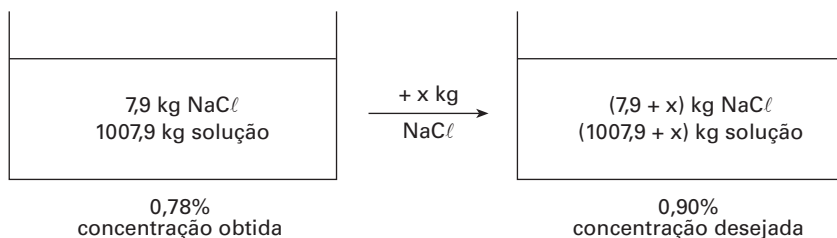
$$K_e = 0,52 \text{ }^\circ\text{C}^{-1} \text{ mol}^{-1} \text{ kg}$$



$$W = \frac{0,14}{0,52 \times 2} = 0,135 \text{ mol/kg (solu\u00e7\u00e3o 0,135 molar)}$$

Transformando molalidade por % em massa de NaCl:

$$\frac{m_{\text{NaCl}}}{m_{\text{solvente}}} = \frac{0,135 \text{ mol} \times 58,5 \text{ g/mol}}{1000 \text{ g}} = \frac{7,9 \text{ g}}{1000} = 0,79\%$$



$$\frac{7,9 + x}{1007,9 + x} = 0,90\% = 0,009$$

$$x = 1,1 \text{ kg (Resposta)}$$

4. (ITA) Uma solu\u00e7\u00e3o aquosa 0,15 mol/L de um \u00e1cido fraco HX \u00e9 isot\u00f4nica com uma solu\u00e7\u00e3o aquosa 0,20 mol/L de glicose. Qual o grau de dissocia\u00e7\u00e3o,  $\alpha = \frac{[X^-]}{[X^-] + [HX]}$ , do \u00e1cido HX na solu\u00e7\u00e3o 0,15 mol/L?

**Resolu\u00e7\u00e3o:**

Press\u00e3o osm\u00f3tica da solu\u00e7\u00e3o de glicose 0,20 mol/L

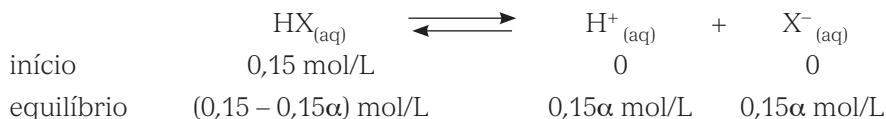
$$\pi_{\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6} = 0,20 \text{ RT}$$

Press\u00e3o osm\u00f3tica da solu\u00e7\u00e3o de HX 0,15 mol/L

$$\pi_{\text{HX}} = 0,15 \text{ RT}i$$

$i$  = fator de van't Hoff

$$0,20 \text{ RT} = 0,15 \text{ RT}i \therefore i = \frac{0,20}{0,15} = \frac{4}{3}$$



0,15 mol de HX dissolvido  $\rightarrow [(0,15 - 0,15\alpha) + 0,15\alpha + 0,15\alpha]$  mol de part\u00edculas de soluto

0,15 mol de HX dissolvido  $\rightarrow (0,15 + 0,15\alpha)$  mol de part\u00edculas de soluto

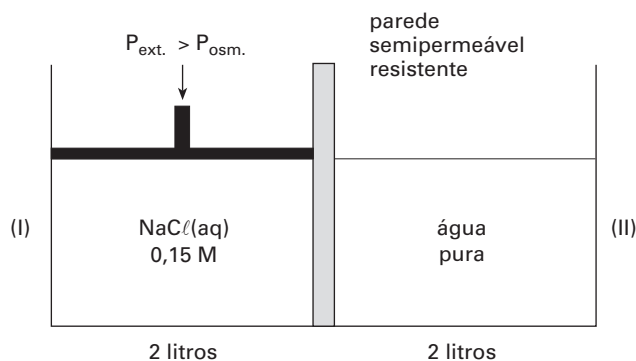
$$i = \frac{0,15 + 0,15\alpha}{0,15} = \frac{4}{3}$$

$$\frac{0,15(1 + \alpha)}{0,15} = \frac{4}{3} \therefore \alpha = \frac{1}{3} = 33,3 \dots\% \text{ (Resposta)}$$

5. (ITA) Deseja-se desdobrar 2 litros de uma solução aquosa 0,15 M de NaCl em : 1 litro de água pura e 1 litro de solução 0,30 M de NaCl, isto sem haver afastamento de temperatura ambiente e sem usar destilação, mas utilizando apenas os princípios envolvidos no fenômeno da osmose. Explique como isto poderia ser feito e que tipo de trabalho estaria em jogo. Ilustre sua resposta com uma figura que deixe claro a aparelhagem a ser utilizada.

**Resolução:**

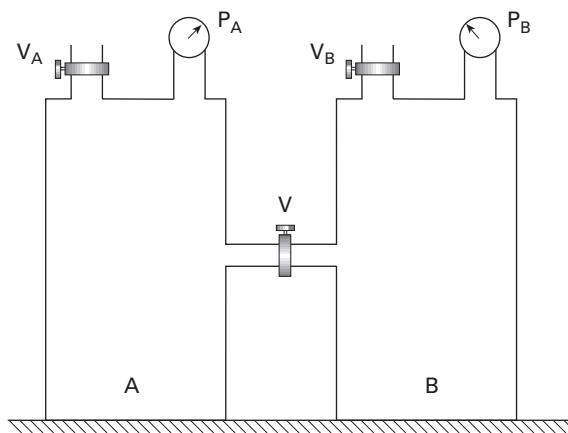
M= concentração em mol/L.



Exercendo sobre a solução 0,15 M de NaCl uma pressão maior que a pressão osmótica dessa solução haverá passagem da água da solução para a água pura (processo de osmose reversa).

Quando o volume da solução se reduzir a 1 litro interrompe-se o processo. Assim, ficamos com 1 litro de solução 0,30 M de NaCl no compartimento (I). Por outro lado, no compartimento (II) teremos 3L de água pura. Com qualquer aparelho de medir volume separamos 1L de água pura dos 2L de água iniciais.

6. (ITA) A figura abaixo representa um sistema constituído por dois recipientes, **A** e **B**, de igual volume, que se comunicam através da válvula **V**. Água pura é adicionada ao recipiente **A** através da válvula **V<sub>A</sub>**, que é fechada logo a seguir. Uma solução aquosa 1,0 mol/L de NaCl é adicionada ao recipiente **B** através da válvula **V<sub>B</sub>**, que também é fechada a seguir. Após o equilíbrio ter sido atingido, o volume de água líquida no recipiente **A** é igual a 5,0mL, sendo a pressão igual a **P<sub>A</sub>**; e o volume de solução aquosa de NaCl no recipiente **B** é igual a 1,0L, sendo a pressão igual a **P<sub>B</sub>**. A seguir, a válvula **V** é aberta (tempo t = zero), sendo a temperatura mantida constante durante todo o experimento.



- a) Em um mesmo gráfico de pressão (ordenada) versus tempo (abscissa), mostre como varia a pressão em cada um dos recipientes, desde o tempo t = zero até um tempo t = ∞ .  
 b) Descreva o que se observa neste experimento, desde tempo t = 0 até t = ∞ , em termos dos valores das pressões indicadas nos medidores e dos volumes das fases líquidas em cada recipiente

**Resolução:**

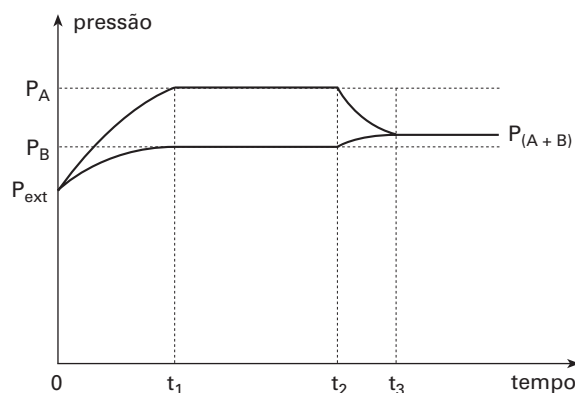
- a) A pressão em A no instante em que a água é colocada no recipiente A e a válvula **V<sub>A</sub>** é fechada será igual à pressão exterior. Depois de estabelecido o equilíbrio líquido ⇌ vapor, a pressão **P<sub>B</sub>** será:  
 $P_A = \text{Pressão exterior} + \text{Pressão de vapor de água}$

A pressão em B no instante em que a solução é colocada no recipiente B e a válvula  $V_B$  é fechada será igual à pressão exterior. Depois de estabelecido o equilíbrio líquido  $\rightleftharpoons$  vapor, a pressão  $P_B$  será:

$P_B = \text{Pressão exterior} + \text{Pressão de vapor "da solução"}$

$P_A$  é ligeiramente superior a  $P_B$  porque o NaCl dissolvido em B diminui a pressão de vapor de água.

Abrindo a válvula V a água vaporiza em A e se condensa em B e ao estabelecer o novo equilíbrio a pressão em (A + B) será intermediária entre  $P_A$  e  $P_B$ .



$t =$  O instante em que são fechadas as válvulas  $V_A$  e  $V_B$

$t_1 =$  instante em que é atingido o equilíbrio em A e em B

$t_2 =$  instante em que foi aberta a válvula V

$t_3 =$  instante em que foi estabelecido o equilíbrio final

- b) O que se observa neste experimento em relação às pressões está indicado no gráfico do item a. Em relação à variação do volume da fase líquida, ele diminui no frasco A e aumenta no frasco B.

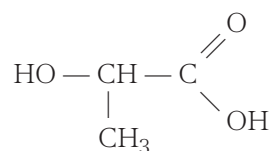
Início do experimento: volume em A = 5,0 mL; volume em B = 1000 mL

Final do experimento: volume em A = 0 mL; volume em B = 1005 mL

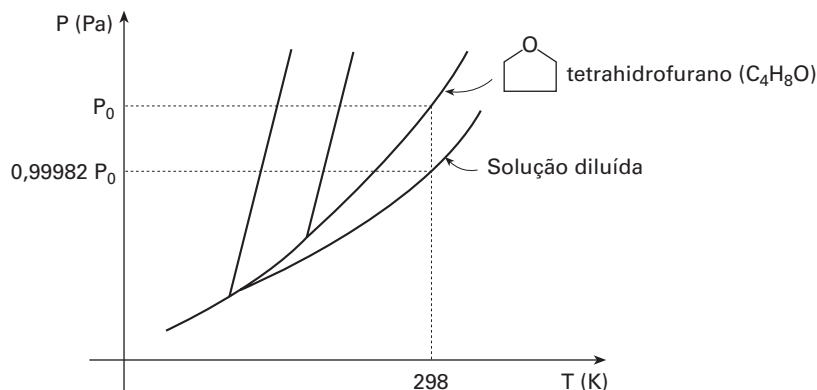
Toda a água líquida de A vaporiza e se condensa em B.

**Observação:** O volume do recipiente B deve ser tal que o volume abaixo do tubo de comunicação entre A e B seja maior que 1L, para não passar solução de NaCl de B para A. Esta observação não foi fornecida no original da questão.

7. (IME) Considere o polímero bio-absorvível obtido pela reação de polimerização do monômero a seguir:



Prepara-se uma solução diluída com 30,60 g deste polímero em 2000 g de tetrahydrofurano (THF). O gráfico abaixo apresenta os diagramas de fase (sólido-líquido-vapor) desta solução diluída e de THF puro.



A partir dessas informações, determine:

- o efeito coligativo numericamente evidenciado pelo gráfico;
- a função orgânica formada na reação de polimerização;
- a fórmula estrutural plana do mero (unidade repetitiva do polímero);
- a massa molar média deste polímero na solução especificada; e
- quantos gramas de água serão gerados na produção de 1 mol do polímero.

**Resolução:**

- a) Efeito coligativo é o abaixamento da pressão de vapor do solvente produzido pelo soluto não volátil.

Leitura do gráfico:

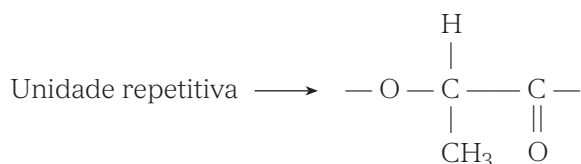
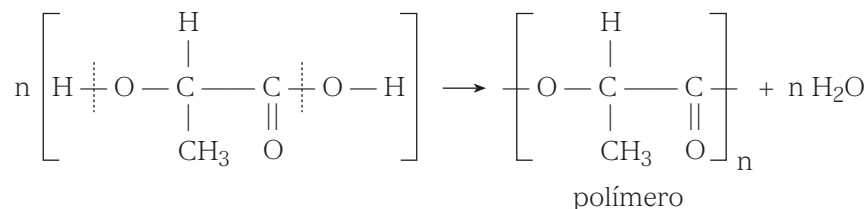
Pressão de vapor do solvente (THF) =  $P_o$

Pressão de vapor da solução =  $0,99982 P_o$

Efeito coligativo =  $P_o - 0,99982 P_o = 0,00018 P_o$

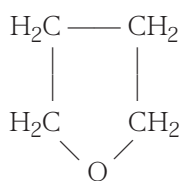
- b) Na polimerização forma-se um éster.

c)



- d) Lei de Raoult:  $\frac{\Delta P}{P_o} = \text{fração molar do soluto (polímero)}$

$$\frac{0,00018 P_o}{P_o} = \frac{n_{\text{polímero}}}{n_{\text{polímero}} + n_{\text{THF}}}$$



THF =  $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}$  (solvente)

MM = 72 g/mol

$$n_{\text{THF}} = \frac{2000 \text{ g}}{72 \text{ g/mol}} = \frac{2000}{72} \text{ mol}$$

$$n_{\text{polímero}} = \frac{30,6 \text{ g}}{M_p \text{ g/mol}} = \frac{30,6}{M_p} \text{ mol}$$

$$0,00018 = \frac{\frac{30,6}{M_p}}{\frac{30,6}{M_p} + \frac{2000}{72}}$$

$$0,00018 \left( \frac{30,6}{M_p} \right) + 0,00018 \left( \frac{2000}{72} \right) = \frac{30,6}{M_p}$$

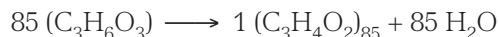
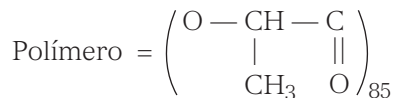
$$0,00018 \left( \frac{2000}{72} \right) = \frac{30,6}{M_p} - 0,00018 \left( \frac{30,6}{M_p} \right)$$



$$0,005 = \frac{30,6}{M_p} (1 - 0,00018)$$

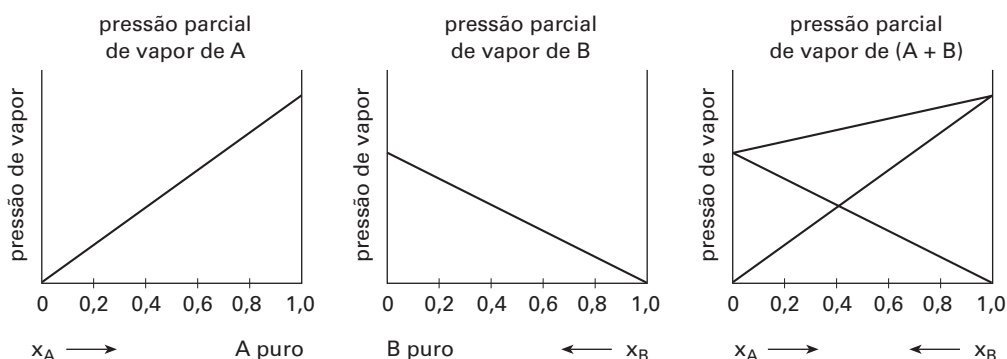
$$M_p = \frac{30,6}{0,005} = 6120$$

e) Polímero =  $(C_3H_4O_2)_n \therefore 72n = 6120 \therefore n = 85$



Massa de água =  $85 \text{ mol} \times 18 \text{ g/mol} = 1530 \text{ g}$

8. Numa solução de dois líquidos A e B, a pressão parcial de vapor de cada líquido, na mesma temperatura é diretamente proporcional à respectiva fração molar.



No caso de solução de dois líquidos A e B, a lei de Raoult se aplica separadamente a cada componente.

$P_A^*$  = pressão de vapor de A puro

$P_B^*$  = pressão de vapor de B puro

$x_A$  = fração molar de A, na mistura líquida

$x_B$  = fração molar de B, na mistura líquida

$P_A$  = pressão de vapor da solução considerando A como solvente

$P_B$  = pressão de vapor da solução considerando B como solvente.

De acordo com a lei de Raoult.

$$P_A = x_A P_A^* \quad \text{e} \quad P_B = x_B P_B^*$$

$$\text{Pressão de vapor total da solução} = P_T = P_A + P_B$$

A composição da fase gasosa é diferente da composição da fase líquida.

$x'_A$  = fração molar de A na fase gasosa

$x'_B$  = fração molar de B na fase gasosa

$$x'_A = \frac{P_A}{P_T} \quad \text{e} \quad x'_B = \frac{P_B}{P_T}$$

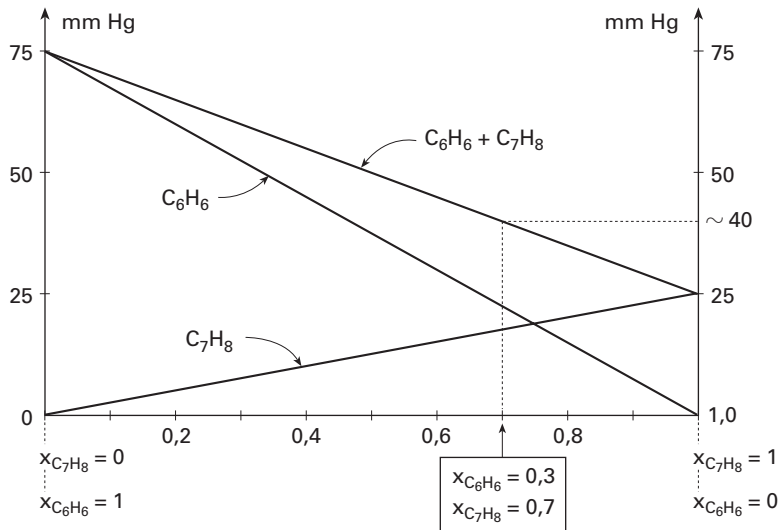
Sendo dados:

Pressão de vapor do benzeno a  $20^\circ\text{C} = 75 \text{ mmHg}$

Pressão de vapor do tolueno a  $20^\circ\text{C} = 25 \text{ mmHg}$

- Faça um esboço da variação da pressão de vapor das soluções de benzeno e tolueno, em função da fração molar da mistura, a  $20^\circ\text{C}$ .
- Qual a pressão de vapor de uma mistura cuja fração molar do benzeno é igual a 0,3?
- Qual a fração molar do benzeno e do tolueno na fase gasosa?

**Resolução:**



(Resposta a)

Considerando A = benzeno e B = tolueno

$$P_A = x_A P_A^* = 0,3 \times 75 = 22,5 \text{ mmHg}$$

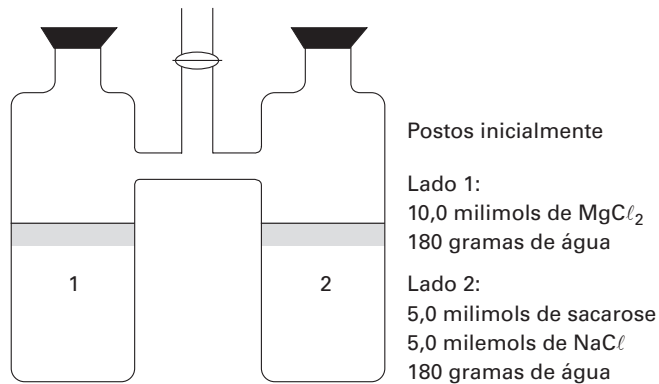
$$P_B = x_B P_B^* = 0,7 \times 25 = 17,5 \text{ mmHg}$$

$$P_T = P_A + P_B = 22,5 + 17,5 = 40 \text{ mmHg} \quad (\text{Resposta b})$$

Frações molares na fase gasosa

$$\left. \begin{aligned} x'_A &= \frac{P_A}{P_T} = \frac{22,5}{40} = 0,56 \\ x'_B &= \frac{P_B}{P_T} = \frac{17,5}{40} = 0,44 \end{aligned} \right\} (\text{Resposta c})$$

9. (ITA) Em dois recipientes ligados entre si (ver figura), são colocadas as substâncias conforme indicada abaixo:



Após a introdução dos solutos e das porções de solvente indicadas, são fechadas as duas tampas e o ar é removido por sucção através da torneira. Uma vez removido o ar, a torneira é fechada. Desta forma, o espaço dentro do recipiente acima das soluções contém apenas vapor de água. O recipiente carregado e fechado é mantido sob temperatura constante. Em face dos princípios físico-químicos em questão num dos lados o volume da solução aumenta e no outro ele diminui até que seja atingido o equilíbrio. Vamos supor que  $MgCl_2$  e  $NaCl$  estejam 100% dissociados e que a quantidade de água na forma de vapor é desprezível em relação aos (180 + 180) gramas postos.

Dadas estas informações pedem-se RESPOSTAS JUSTIFICADAS para as seguinte perguntas:

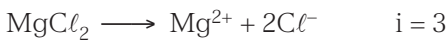
- a) Em que lado a quantidade de água vai aumentar?  
 b) Quais serão as massas de água no lado 1 e no lado 2 quando o equilíbrio for atingido?  
 c) Discuta que princípios, leis e tipo de equilíbrio estão em jogo.  
 d) Discuta: faz diferença, ou não, se a temperatura constante for 70 °C ao invés de 20 °C?

**Resolução:**

a)  $\frac{\Delta P}{P} = \text{fração molar do soluto} \times i$

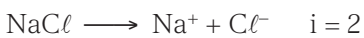
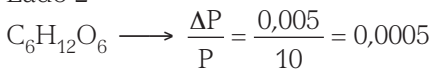
$$n_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{180 \text{ g}}{18 \text{ g/mol}} = 10 \text{ mol}$$

Lado 1



$$\text{MgCl}_2 \longrightarrow \frac{\Delta P}{P} = \frac{0,010}{10} \times 3 = 0,0030$$

Lado 2



$$\text{NaCl} \longrightarrow \frac{\Delta P}{P} = \frac{0,005}{10} \times 2 = 0,0010$$

$$\frac{\Delta P}{P} \text{ total em (2)} = 0,0005 + 0,0010 = 0,0015$$

O abaixamento da pressão de vapor em (1) é maior que em (2). Portanto a pressão de vapor em (2) é maior que em (1) e irá passar água de (2) para (1). Com isso a quantidade de água irá aumentar em (1) e diminuir em (2). (Resposta a)

- b) Supondo que x mols de H<sub>2</sub>O passem de (2) para (1).

$$(1) \frac{\Delta P}{P} = \frac{0,030}{10 + x}$$

$$(2) \frac{\Delta P}{P} = \frac{0,005}{10 - x} + \frac{0,010}{10 - x} = \frac{0,015}{10 - x}$$

$$\frac{0,030}{10 + x} = \frac{0,015}{10 - x} \quad \therefore x = \frac{10}{3} \text{ mols de H}_2\text{O}$$

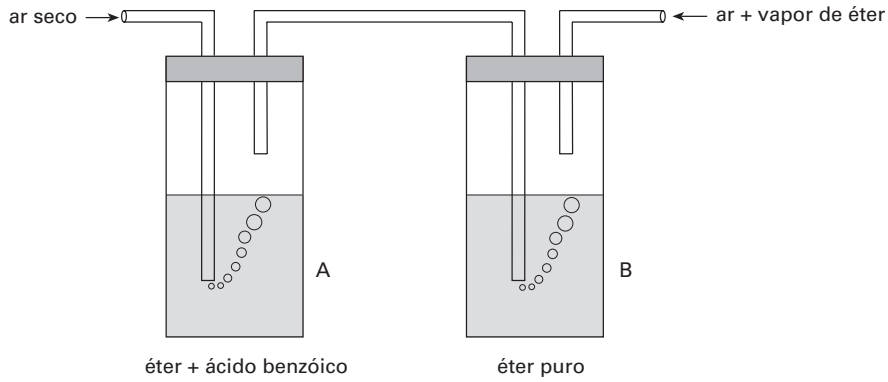
$$\text{massa de H}_2\text{O} = \frac{10}{3} \times 18 = 60 \text{ g}$$

$$\text{massa de H}_2\text{O em (1)} = 180 + 60 = 240 \text{ g}$$

$$\text{Massa de H}_2\text{O em (2)} = 180 - 60 = 120 \text{ g} \quad (\text{Resposta b})$$

- c) A resolução dos itens (a) e (b) inclui a resolução deste item (c). (Resposta c)  
 d) Desde que a pressão de vapor do solvente e da solução sejam medidas na mesma temperatura, não importa qual ela seja. Pela lei de Raoult,  $\Delta P/P_{\text{solvente}}$  é igual à fração molar do soluto, cujo valor não varia com a temperatura. (Resposta d)

10. A figura abaixo representa um experimento no qual o ar seco borbulha nos frascos A e B em comunicação.



Dados:

- O frasco A contém solução de ácido benzóico em éter etílico e o frasco B contém éter etílico puro.
- Depois de certo tempo de iniciado o borbulhamento do ar seco verificou-se uma diminuição das massas nos frascos A e B, iguais a 0,10 g e 2,00 g, respectivamente.
- Outros dados fornecidos:  
 Massa molar do ácido benzóico ( $C_6H_5 - COOH$ ) = 122 g/mol  
 PE do ácido benzóico = 250 °C  
 PE do éter etílico = 35 °C

Com os dados fornecidos calcule a massa de ácido benzóico dissolvido no frasco A.

**Resolução:**

As temperaturas de ebulição do éter etílico e do ácido benzóico mostram que o éter etílico é muito volátil e o ácido benzóico é praticamente não volátil. Por isso, a lei de Raoult pode ser aplicada na resolução da questão.

Sejam:

$P_A$  = pressão de vapor do éter na solução (frasco A)

$P_B$  = pressão de vapor do éter puro (solvente)

$x$  = fração molar do éter na solução

De acordo com a lei de Raoult da tonoscopia, a pressão de vapor da solução é igual ao produto da pressão de vapor do solvente pela fração molar do solvente.

$P_A = xP_B$  (Lei de Raoult)

$$x = \frac{P_A}{P_B} = \frac{n_{\text{éter}}}{n_{\text{éter}} + n_{\text{ácido benzóico}}}$$

As massas de éter vaporizadas em A e B são proporcionais às respectivas pressões de vapor.

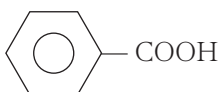
$$\frac{2,00 \text{ g}}{2,10 \text{ g}} = \frac{150 \text{ g} / 74 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}{150 \text{ g} / 74 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} + y \text{ mol}}$$

$$0,95 = \frac{2,03}{2,03 + y}$$

$$1,93 + 0,95y = 2,03$$

$$0,95 y = 0,10$$

$$y = 0,105 \text{ mol de ácido benzóico}$$



ácido benzóico ( $C_7H_6O_2$ )

Massa molar = 122 g/mol

Massa de  $C_7H_6O_2 = 0,105 \text{ mol} \times 122 \text{ g/mol} = 12,8 \text{ g}$  (Resposta)

11. (IME) Deseja-se preparar uma solução com pH igual a 3,0 a partir de 1,0 L de solução aquosa de um ácido monoprotico não-volátil desconhecido, a qual possui pH igual a 2,0 e ponto de congelamento de  $-0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Considere o experimento realizado ao nível do mar e os valores numéricos das molalidades iguais aos das respectivas molaridades. Desprezando as interações iônicas nas soluções, determine o volume de água que deve ser adicionado à solução inicial.

Dados:

$$\text{Constante criométrica da água} = 2\text{ K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$\text{Massa específica da água} = 1,0\text{ g/mL}$$

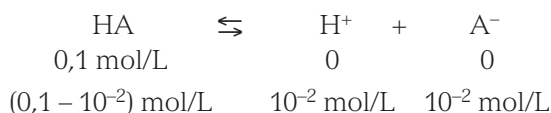
### Resolução:

Cálculo da molalidade (W) da solução de HA com pH = 2

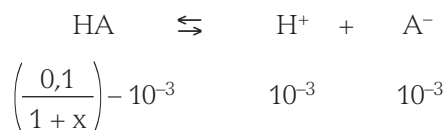
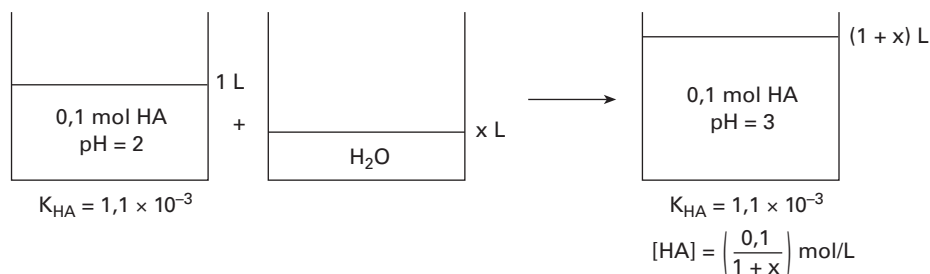
$$W = \frac{\Delta t_c}{K_c} = \frac{0,2\text{ K}}{2\text{ K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0,1\text{ mol/kg} = 0,1\text{ molal} \approx 0,1\text{ mol/L}$$

$$\text{Solução } 0,1\text{ mol/L} \Rightarrow \text{pH} = 2 \therefore [\text{H}^+] = 10^{-2}\text{ mol/L}$$

Cálculo da constante de ionização ( $K_{\text{HA}}$ ) do ácido HA.



$$K_{\text{HA}} = \frac{10^{-2} \times 10^{-2}}{0,1 - 10^{-2}} = \frac{10^{-4}}{0,09} = 1,1 \times 10^{-3}$$



$$1,1 \times 10^{-3} = \frac{10^{-3} \times 10^{-3}}{\left(\frac{0,1}{1+x}\right) - 10^{-3}}$$

$$\frac{0,1}{1+x} = \frac{10^{-3} \times 10^{-3}}{1,1 \times 10^{-3}}$$

$$1+x = \frac{0,11}{10^{-3}} \therefore 1+x = 110 \therefore x = 109\text{ L de água (Resposta)}$$

Comentário – No cálculo de concentração inicial do ácido pela crioscopia deveríamos utilizar o fator de Van't Haff (i).

$$\Delta t_c = K_H \cdot W \cdot i$$

Os dados da questão mostram que o ácido é fraco e por isso consideramos  $i = 1$ .