

## LISTA UNIDADE 5 - Difusão em regime permanente sem reação química

1. Circule a opção que mostre as relações corretas para derivada parcial em  $t$ , gradiente de escalar, divergente de vetor e laplaciano de escalar. considere que em todos os casos o escalar será representado por  $p$  e o vetor por  $\vec{v}$ .

- |    |                                 |                        |                        |                           |
|----|---------------------------------|------------------------|------------------------|---------------------------|
| a) | $\partial p / \partial t$       | $\vec{\nabla} p$       | $\vec{\nabla} \vec{v}$ | $\nabla^2 p$              |
| b) | $\partial v / \partial p$       | $\vec{\nabla} p$       | $\nabla^2 p$           | $\vec{\nabla} \vec{v}$    |
| c) | $\partial \vec{v} / \partial t$ | $\vec{\nabla} v$       | $\vec{\nabla} \vec{p}$ | $\nabla^3 p$              |
| d) | $\vec{\nabla} p$                | $\vec{\nabla} \vec{p}$ | $\nabla^4 v$           | $\partial p / \partial T$ |

2. Escreva a equação diferencial da continuidade de A – molar (EDCA) e explique o significado de cada um dos seus termos.

3. Escreva a equação do fluxo global de A – molar (EFGA) e explique o significado de cada um dos seus termos.

4. Considere a difusão do componente A no meio B em um tubo cilíndrico. O meio é inerte e estagnado, ambos os componentes são gasosos e a difusão de A ocorre apenas na direção  $z$ . Liste as 7 principais hipóteses necessárias para a dedução da equação do fluxo e da equação do perfil da fração molar de A ( $y_A$ ).

5. Obtenha a distribuição de fração molar do dióxido de carbono que difunde em uma película estagnada de ar seco de 1 cm de profundidade a 1 atm e 25 °C. Essa película está em um capilar, o qual contém ácido sulfúrico. O CO<sub>2</sub> é absorvido instantaneamente ao atingir o líquido. A concentração de CO<sub>2</sub> na boca do capilar é 1 % em mol. Calcule também a concentração molar média e o fluxo global molar de CO<sub>2</sub> absorvido na interface gás/líquido. (CREMASCO, 3ed. 2015)

6. Deseja-se remover água de uma corrente de ar úmido que contém 30 % (mol) de água. A água se difunde através de uma coluna capilar de 0,5 cm de comprimento de ar estagnado até atingir uma solução líquida na qual é instantaneamente absorvida. O sistema opera a 1 atm e 60 °C. Determine o fluxo de água através do filme estagnado considerando que a massa molecular do ar é 29 g/mol. (Adaptado de CREMASCO, 2ed, 2009)

7. Uma esfera de iodo, de 1 cm de diâmetro, é colocada em um ar quiescente mantido a 40 °C e pressão de 747 mmHg. Nessa temperatura a pressão de vapor do iodo é de cerca 1,03 mmHg. Estime o valor da difusividade do sistema iodo-ar sabendo que medidas experimentais da taxa de sublimação foram de  $1,06 \times 10^{-4}$  gmol/h.

8. Um tanque cilíndrico aberto para a atmosfera contém metanol líquido em seu fundo. O tanque é mantido a 30 °C. O diâmetro do tanque é 1 m, e sua altura é 3 m. O nível do líquido no fundo é mantido a 0,5 m. O gás contido dentro do tanque está estagnado e o metanol evapora e é imediatamente disperso quando sai do mesmo. A esta temperatura, a pressão de vapor do metanol é 163 mmHg e a 40 °C é 265 mmHg. Dados para o metanol: massa molecular = 32 g/mol, difusividade do metanol no ar (298 K, 1 atm) =  $1,62 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ . Determine:

- Qual é a taxa de emissão de vapor de metanol do tanque em unidades de kg/dia quando o tanque está a 30 °C?
- Se a temperatura do tanque aumentar para 40 °C, qual será a nova taxa de emissão de metanol por dia?

9. Gás hélio a 25°C e 4 bar está contido no interior de um cilindro de vidro com 100 mm de diâmetro interno e parede com 5 mm de espessura. Qual é a taxa de perda de massa de hélio nas paredes por unidade de comprimento do cilindro? Considere a difusividade do hélio no vidro a essa temperatura igual a  $0,4 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{s}$ . (INCROPERA et al., 7ed. 2014)

10. Um capilar está semipreenchido com 2,5 cm de etanol. Assume-se que o ar seco contido no interior do capilar esteja estagnado a 750 mmHg e 25°C. Determine a altura do capilar, sabendo que houve um desnível do líquido de 0,5 cm no final de 5 h. Dados para o etanol: massa molecular = 46,069 g/mol; massa específica =  $0,787 \text{ g/cm}^3$ ; e,

$$\ln P^{vap}(\text{mmHg}) = 18,9119 - \frac{3803,98}{T(K) - 41,68}$$

(Adaptado de CREMASCO, 2ed, 2009).

11. Considere os casos a seguir:

- Através da abertura accidental de uma válvula foi derramada água sobre uma planta industrial em uma área remota, de difícil acesso. A capa de água, que possui 0,1 cm de espessura, ocupa uma área de  $0,093 \text{ m}^2$  em uma atmosfera de ar que se encontra em repouso a pressão de 1 atm e temperatura de 25 °C. A água evapora e se difunde em uma película de ar de 0,5 cm de espessura até ser completamente carregada por uma leve brisa de ar seco. A 25 °C, a pressão de vapor da água é de 3,113 kPa e a difusividade da água no ar é de  $0,260 \text{ cm}^2/\text{s}$ . Qual é o tempo necessário para que toda a água evapore?
- Calcule o tempo necessário para que toda a água evapore sem levar em conta a variação da superfície de contorno e calcule o erro.

(Adaptado de WELTY, 2ed, 2010).

12. Um capilar contém acetona cujo nível se distancia do topo em 1,10 cm. O capilar é mantido a 20 °C e 755 mmHg enquanto uma corrente de ar escoia sobre o topo do tubo. Após 8 horas de operação, o nível do líquido cai para 2,05 cm da corrente de ar. Determine a difusividade mássica da acetona no ar. Sabe-se que, a 20 °C, a pressão de vapor da acetona é 180 mmHg, a densidade da acetona líquida é de  $0,792 \text{ g/cm}^3$  e a massa molecular é de 58 g/mol. (CREMASCO, 2ed, 2009)

13. A célula de Arnold é um dispositivo que, de forma simples, permite a medição de coeficientes de difusão mássica. Em um experimento com uma célula de Arnold, a distância entre a superfície

da água e o topo da célula passou de 13,0 cm para 15,50 cm em 292 h. A célula é mantida a 54 °C e 1 atm. Sabendo-se que a pressão de vapor da água a esta temperatura é de 0,1486 atm, determine a difusividade mássica da água no ar. Considere que no topo da célula escoar ar puro e que na superfície da água as condições de saturação são descritas pela Lei de Raoult.

14. Uma gota de água é suspensa em um ambiente que contém ar seco e estagnado a 25°C e 1 atm. A pressão de vapor da água nessa temperatura é 22,2 mmHg, e sua massa específica enquanto líquida é 0,994 g/cm<sup>3</sup>. Quanto tempo levará para a esfera líquida reduzir o seu diâmetro de 0,4 cm para 0,2 cm? Dados: massa molecular da água = 18 g/mol. (*Adaptado de CREMASCO, 2009, 2ed*)

15. Dois tanques grandes, mantidos a temperatura de 323 K e pressão total de 1 atm, são conectados por um duto cilíndrico de 0,1 m de diâmetro e 5 m de comprimento. O primeiro tanque contém um gás com 60 % de acetona e 40 % de ar (em mols), enquanto o segundo tanque contém um gás com 10 % de acetona e 90 % de ar. Determine a taxa inicial de transferência de acetona entre os dois tanques. Dados: difusividade da acetona no ar (323 K, 1 atm) = 0,093 cm<sup>2</sup>/s.

#### Respostas:

1. a
2. EDCA – molar:  $\frac{\partial C_A}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot \vec{N}_A = R_A'''$
3. EFGA – molar:  $\vec{N}_A = -D_{AB} \vec{\nabla} C_A + y_A (\vec{N}_A + \vec{N}_B)$
4. Principais hipóteses: regime permanente; coordenadas cilíndricas, fluxo unidirecional em z; meio inerte; meio estagnado (contribuição convectiva de B é desprezível); pressão e temperatura constantes → concentração e coeficiente de difusão constantes; mistura de gases ideais.
5.  $y_{CO_2} = 1 - 0,99^{(1-z)}$ ;  $4,09 \times 10^{-5}$  mol/cm<sup>3</sup>;  $6,58 \times 10^{-8}$  mol/(cm<sup>2</sup>.s).
6.  $8,6 \times 10^{-6}$  mol/(cm<sup>2</sup>.s).
7.  $8,73 \times 10^{-2}$  cm<sup>2</sup>/s.
8. a) 1,42 kg/dia; b) 1,37 kg/dia.
9.  $1,7 \times 10^{-12}$  kg/(ms).
10. 3,16 cm.
11. a) 2,56 h; b) 2,79 h.
12. 0,063 cm<sup>2</sup>/s.
13. 0,315 cm<sup>2</sup>/s.
14. 42,9 minutos.
15.  $2,23 \times 10^{-7}$  mol/s.