Fenómenos de Transferência II

1º Teste – 11 de Abril de 2023

O enunciado do teste é composto por duas páginas (<u>veja o verso desta folha</u>)

I. Uma partícula de carvão queima numa atmosfera gasosa enriquecida (40% de percentagem molar em oxigénio) a 1400 K, à pressão atmosférica ($1{,}013 \times 10^5$ Pa). O processo é limitado pela difusão de O_2 em sentido oposto ao do CO que se forma, através de uma reacção instantânea com o carvão à sua superfície. O carvão, constituído por esferas com diâmetro de 0,6 mm, consiste em carbono puro com uma massa específica de 1280 $kg.m^{-3}$.

$2\,C_{(s)} + O_{2\,(g)} \rightarrow 2CO_{(g)}$

<u>Considere:</u>

$D_{O2\text{-mistura gasosa}} = 1 \times 10^{-4}\ m^2 s^{-1}$

$R = 8{,}314\ Pa.m^3.mole^{-1}.K^{-1}$

Nas alíneas seguintes, de a) a d) assuma que o processo de difusão ocorre em estado estacionário.

a) Faça um esquema do processo que está a ocorrer, apresente a respectiva equação de conservação de massa e explicite as condições fronteira que considerou.

b) Com base na sua resposta à alínea a) deduza uma expressão para a velocidade de difusão do oxigénio e calcule o valor da velocidade de difusão do oxigénio. $= -1{,}1 \times 10^{-6}$ mol/s $\quad Q = -\frac{PD\,4\pi R_1}{RT} \ln(1{,}4)$

c) Quanto tempo demora uma partícula de carvão a arder completamente? 11 s

$-1{,}55 \times 10^{-6}$ mol/s d) Se o processo se realizar à temperatura de 1000 K qual é a velocidade de queima da partícula de carvão? Justifique a sua resposta (analise com cuidado o impacto da temperatura nos vários parâmetros relevantes.

e) **Assuma agora que o processo de difusão ocorre em estado pseudo-estacionário.** Nestas circunstâncias, deduza uma expressão para a velocidade de difusão do oxigénio. $Q = -\frac{\rho}{M} 4\pi x^2 \frac{dx}{dt}$

II. Pretende-se transferir oxigénio para o meio aquoso de um reactor biológico, através da utilização de um "manto" de gás contendo oxigénio, o qual cobre toda a superfície do meio aquoso. A concentração inicial de oxigénio no meio aquoso é de 1 kg/m^3. Se a concentração do oxigénio no meio aquoso for subitamente elevada à superfície para 9 kg/m^3, <u>calcule</u>:

a) A concentração de oxigénio, 1 hora depois da elevação de concentração à superfície, a 1 cm de profundidade. 1,018 kg/m³

b) O fluxo de oxigénio a essa profundidade (1 cm), após 30 min e após 1 hora. Compare os valores obtidos e comente.

$3{,}13 \times 10^{-12}$ kg m^{-2} s^{-1} $\quad$ $2{,}29 \times 10^{-9}$ kg m^{-2} s^{-1}

$D_{O2\text{-água}} = 10^{-9}$ m^2/s

$$\frac{c_{As} - c_A}{c_{As} - c_{A0}} = erf\left(\frac{z}{\sqrt{4Dt}}\right)$$

$$J_A^* = -D\frac{\partial c_A}{\partial z} = \sqrt{D/\pi t}\, e^{-z^2/4Dt}(c_{As} - c_{A0})$$

$$J_A^*\Big|_{z=0} = \sqrt{D/\pi t}\,(c_{As} - c_{A0})$$

Table 7-1. Error function values. For negative a, erf(a) is negative

a	erf(a)	a	erf(a)	a	erf(a)
0.0	0.0	0.48	0.50275	0.96	0.82542
0.04	0.04511	0.52	0.53790	1.00	0.84270
0.08	0.09008	0.56	0.57162	1.10	0.88021
0.12	0.13476	0.60	0.60386	1.20	0.91031
0.16	0.17901	0.64	0.63459	1.30	0.93401
0.20	0.22270	0.68	0.66378	1.40	0.95229
0.24	0.26570	0.72	0.69143	1.50	0.96611
0.28	0.30788	0.76	0.71754	1.60	0.97635
0.32	0.34913	0.80	0.7421	1.70	0.98379
0.36	0.38933	0.84	0.76514	1.80	0.98909
0.40	0.42839	0.88	0.78669	2.00	0.99532
0.44	0.46622	0.92	0.80677	3.2[illegible]	0.99999

Cotação:

Comentário: Em estado transiente, o reator é descontínuo e por isso altera-se ao longo do tempo e o fluxo difusional não é constante.

Observa-se que quando t ↑, J_A ↑, logo são direct. proporcionais

I.

a) 2 valores → 1,9

b) 5 valores → 4,8

c) 3 valores → 2,8

d) 2,5 valores → 2

e) 3,5 valores → 3

II.

a) 2 valores → 2

b) 2 valores → 1,5

2º Semestre
2º Ano

Resolução Teste 2019-2020 FT2

① **DADOS:** $y_{O_2} = 0{,}20$ $\quad T = 1200\,K$ $\quad P_t = 1{,}013 \times 10^5\ Pa$ $\quad N_{CO_2} = -N_{O_2}$

$D_{esfera} = 0{,}3\ mm$ $\quad \rho = 1280\ Kg/m^3$ $\quad R = 8{,}314\ Pa\,m^3\,mol^{-1}\,K^{-1}$

$D_{O_2-mist} = 1 \times 10^{-4}\ m^2/s$ $\quad$ Reação instantânea com a superfície:

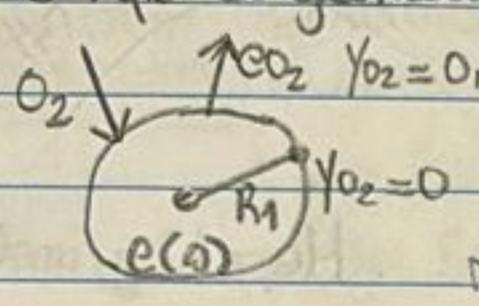
$$C(s) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g)$$

a) $D_{O_2} = ?$ $\qquad \underset{=202600\,Pa}{P = 2P_t}$ $\qquad T = 1550\,K$

$$\underset{(1550\,K,\ 202600\,Pa)}{D_{O_2-mist}} = \underbrace{\underset{(1200K,\ 101300\,Pa)}{D_{O_2-mist}}}_{1\times10^{-4}\,m^2/s} \times \frac{101300\ Pa}{202600\ Pa} \times \left(\frac{1550\,K}{1200\,K}\right)^{3/2} = 7{,}34 \times 10^{-5}\ m^2/s$$

b) Esquema; Eq. Conservação; Condições Fronteira + Justificação. $\boxed{\text{E. Estacionário}}$

O tipo de geometria aplicado é geometria esférica pois é considerada uma esfera de carvão.



Eq. Conservação: $\boxed{N_A \times x^2 = N_{A1} \times R_1^2} \Leftrightarrow \boxed{N_A = N_{A1} \times R_1^2 \times \frac{1}{x^2}}$ à medida que a área de reação aumenta, o produto entre o fluxo (N_A) e raio^2 são constantes.

(A → O_2 B → CO_2)

Condições Fronteira:
$$\begin{cases} x = R_1 \longrightarrow y_A = 0 \quad (1) \\ x = \infty \longrightarrow y_A = 0{,}20 \quad (2) \end{cases}$$

(1) – Onde ocorre reação é à superfície esférica. Como esta reação é instantânea, o passo lento é controlado por difusão, em que $V_{reação} >>> V_{difusão}$ (Q, W). Logo, $y_A = 0$, O_2 chega e reage logo muito rápido.

(2) – Justificável pela lei de Raoult, pois é um composto puro e ideal: $y_A = y_A^* = 0{,}20$

$y_A = x_A \times \gamma_A \times y_A^*$

$\boxed{y_A = y_A^*}$

c) Expressão para a velocidade de difusão do oxigénio.

Eq. Cinética: $\overline{N_{Ax}} = y_A(\overline{N_{Ax}} + \overline{N_{Bx}}) - c\,D_{A-B}\frac{dy_A}{dx}$, $\quad c = \frac{P_{total}}{RT}$

$$\Leftrightarrow N_{O_2} = y_{O_2}(N_{O_2} + N_{CO_2}) - \frac{P D_{O_2-mist}}{RT}\frac{dy_{O_2}}{dx} \qquad \boxed{N_{CO_2} = -N_{O_2}}$$

$$\Leftrightarrow N_{O_2} = y_{O_2}\underbrace{(N_{O_2} - N_{O_2})}_{0} - \frac{P D_{O_2-mist}}{RT}\frac{dy_{O_2}}{dx}$$

$$\Leftrightarrow N_{O_2}\,dx = -\frac{P D_{O_2-mist}}{RT}\,dy_{O_2}$$

Pela eq. conservação: $N_{O_2} = N_{O_2(s)} \times R_1^2 \times \frac{1}{x^2}$

$$\Leftrightarrow N_{O_2} \times R_1^2 \times \frac{1}{x^2}\,dx = -\frac{P D_{O_2-mist}}{RT}\,dy_{O_2}$$

Pela velocidade de difusão para geometria esférica: $Q = N_{O_2} \times 4\pi R_1^2 \Leftrightarrow N_{O_2} = Q/4\pi R_1^2$

$$\Leftrightarrow \frac{Q}{4\pi \cancel{R_1^2}} \times \cancel{R_1^2} \times \frac{1}{x^2}\,dx = -\frac{P D_{O_2-mist}}{RT}\,dy_{O_2}$$

Pelas condições fronteira, vem:

$$\frac{Q}{4\pi}\int_{x=R_1}^{x=\infty}\frac{1}{x^2}\,dx = -\frac{PD_{O_2-mist}}{RT}\int_{y_{O_2}=0}^{y_{O_2}=0,20} dy_{O_2}$$

$$\Leftrightarrow \frac{Q}{4\pi}\left[-\frac{1}{x}\right]_{x=R_1}^{x=\infty} = -\frac{PD_{O_2-mist}}{RT}\left[y_{O_2}\right]_0^{0,20}$$

$$\Leftrightarrow \frac{Q}{4\pi}\left[\underbrace{-\frac{1}{\infty}}_{0}+\frac{1}{R_1}\right] = -\frac{PD_{O_2-mist}}{RT}(0,20-0)$$

$$\Leftrightarrow \frac{Q}{4\pi R_1} = -\frac{PD_{O_2-mist}\times 0,20}{RT} \Leftrightarrow \boxed{Q = \frac{-PD_{O_2-mist}\times 0,20\times 4\pi R_1}{RT}}$$

d) Calcular velocidade de difusão.

$$\Leftrightarrow Q = -\frac{1,013\times10^{5}\,\cancel{Pa}\times 1\times10^{-4}\,\cancel{m^2}\,s^{-1}\times 0,20\times 4\pi\times\left(\frac{0,3\times10^{-3}}{2}\right)\cancel{m}}{8,314\,\cancel{Pa}\,\cancel{m^3}\,mol^{-1}\,\cancel{K^{-1}}\times 1200\,\cancel{K}} = -3,83\times10^{-7}\,mol/s$$

e) Quanto tempo demora uma partícula de carvão a arder completamente? $M_C = 12\,g/mol$

Para o cálculo do tempo, considera-se o seu valor absoluto: $Q = 3,83\times10^{-7}\,mol/s$

Q é negativo pois considerar a coordenada de posição a variar em sentido inverso.

$$V_{esfera} = \frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{4}{3}\times\pi\times\left(\frac{0,3\times10^{-3}}{2}\right)^3 = 1,41\times10^{-11}\,m^3$$

$$m = \rho\times V = 1280\,kg\,\cancel{m^{-3}}\times 1,41\times10^{-11}\,\cancel{m^3} = 1,81\times10^{-8}\,kg = 1,81\times10^{-5}\,g$$

$$n = \frac{m}{M} = \frac{1,81\times10^{-5}\,\cancel{g}}{12\,\cancel{g}\,mol^{-1}} = 1,51\times10^{-6}\,mol$$

$$t = \frac{n}{Q} = \frac{1,51\times10^{-6}\,\cancel{mol}}{3,83\times10^{-7}\,\cancel{mol}\,s^{-1}} = 3,94\,s \simeq 4\text{ segundos}$$

f) $\boxed{\text{Estado Pseudo-Estacionário}}$ Calcular tempo. Comparar e Comentar.

$$Q_A = -C_{AL}\frac{dV}{dt}, \quad C_{AL} = \frac{\rho}{M} \quad e \quad \frac{dV}{dt} = \frac{dV}{dx}\times\frac{dx}{dt} \qquad V_{esfera} = \frac{4}{3}\pi x^3 \longrightarrow \frac{dV}{dx} = 4\pi x^2$$

$$\text{Logo, } \frac{dV}{dt} = 4\pi x^2\frac{dx}{dt} \longrightarrow \boxed{Q_A = -\frac{\rho}{M}\times 4\pi R_1^2\times\frac{dR_1}{dt}}$$

Substituindo na expressão obtida em (c), vem:

$$\Leftrightarrow \frac{\cancel{-}PD_{O_2-mist}\times 0,20\times \cancel{4\pi R_1}}{RT} = \cancel{-}\frac{\rho}{M}\times \cancel{4\pi}R_1^{\cancel{2}}\times\frac{dR_1}{dt}$$

$$\Leftrightarrow \frac{PD_{O_2-mist}\times 0,20}{RT} = \frac{\rho}{M}\times R_1\times\frac{dR_1}{dt} \Leftrightarrow \frac{PD_{O_2-mist}\times 0,20}{RT}\,dt = \frac{\rho}{M}R_1\,dR_1$$

Novas Condições Fronteira: $\begin{cases} R = R_0 \longrightarrow t=0 \\ R = R_t = 0 \longrightarrow t = t \end{cases}$

$$\frac{P D_{O_2\text{-mist}} \times 0{,}20}{RT}\int_0^t dt = \frac{\rho}{M}\times\int_{R_0}^{0} R_1\, dR_1 \quad (=)$$

$$(=) \frac{P D_{O_2\text{-mist}} \times 0{,}20 \times t}{RT} = \frac{\rho}{M}\left[\frac{R_1^2}{2}\right]_0^{R_t} \quad (=) \frac{P D_{O_2\text{-mist}} \times 0{,}20 \times t}{RT} = \frac{\rho}{M}\times\left(-\frac{\overset{\text{Raio}}{R^2}}{2}\right)$$

$$(=) \boxed{t = \frac{\rho \times R^2 \times RT}{M \times 2 \times 0{,}20 \times P \times D_{O_2\text{-mist}}}} = \frac{1280\ kg\,m^{-3} \times \left(\frac{0{,}3\times10^{-3}}{2}\right)^2 \cancel{m^2} \times 8{,}314\ \cancel{Pa}\,m^3\,\cancel{mol^{-1}}\,\cancel{K^{-1}} \times 1200\,\cancel{K}}{12\times10^{-3}\ \cancel{kg}\,\cancel{mol^{-1}} \times 2 \times 0{,}20 \times 1{,}013\times10^5\ \cancel{Pa} \times 1\times10^{-4}\ \cancel{m^2}\,s^{-1}}$$

$(=) t = 5{,}9\ s$ //

Comparação: Comparando os tempos obtidos para estado estacionário ($t = 4\ s$) e para estado pseudo-estacionário ($t \simeq 6\ s$), observa-se que a difusão é mais lenta em estado pseudo-estacionário //

E. Estacionário
↓
Q cte

Comentário: À medida que evapora, o percurso difusional e a sua camada limite aumentam, o que faz com que o raio varie com o tempo, logo faz mais sentido e é mais correto (corresponde mais à realidade), fazer uma abordagem deste problema em estado pseudo-estacionário. Em estado estacionário, a variação do raio com o tempo não afeta as condições da partícula, sendo isto mais difícil de ocorrer (não corresponde à realidade, pois é apenas num instante e os tempos são avaliados em minutos, segundos ou horas e não apenas só em um instante de tempo) //
Os tempos obtidos fazem sentido comparando com a dimensão (diâmetro) da esfera de carvão //

②. $C_{A0} = 1\ kg/m^3$. $C_{As} = 9\ kg/m^3$ $z = 1\ cm$ $D_{\overset{A}{O_2}\text{-água}} = 10^{-9}\ m^2/s$. $t = ?$

$$J_{A(z=1cm)} = 0{,}4\, J_{A(z=0)}$$

$$J_{A(z=0)} = \sqrt{D/\pi t}\,(C_{As} - C_{A0}) = \sqrt{10^{-9}/\pi t}\,(9-1)$$

$$0{,}4\, J_{A(z=0)} = J_{A(z=1)} = \sqrt{D/\pi t}\; e^{-z^2/4Dt}\,(C_{As} - C_{A0}) = \sqrt{10^{-9}/\pi t}\; e^{-(1\times10^{-2})^2/4\times10^{-9}\times t}\,(9-1)$$

$$(=) 0{,}4 \times \sqrt{\frac{\cancel{10^{-9}}}{\cancel{\pi t}}} \times \cancel{8} = \sqrt{\frac{\cancel{10^{-9}}}{\cancel{\pi t}}} \times \cancel{8} \times e^{-(1\times10^{-2})^2/4\times10^{-9}\times t}$$

$$(=) \ln(0{,}4) = \frac{-(1\times10^{-2})^2}{4\times10^{-9}\times t} \quad (=) t = \frac{-(1\times10^{-2})^2}{\ln(0{,}4)\times4\times10^{-9}} = 27284\ s \underset{(:3600)}{=} 7{,}6\ horas //$$

Resolução Teste 2017 – 2018 FT2

① **DADOS:** $y_{O_2} = 0{,}50$ $T = 1400\,K$ $P_t = 10^5\,Pa$ $N_{CO_2} = -N_{O_2}$

Reação Instantânea com a superfície: $C(s) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g)$

$D_{esfera} = 1\,mm$ $\rho = 1280\,kg/m^3$ $D_{O_2-mist} = 1\times10^{-4}\,m^2/s$ $R = 8{,}314\,Pa\,m^3\,mol^{-1}\,K^{-1}$

a) $\boxed{\text{Estado Estacionário}}$ $Q = ?$

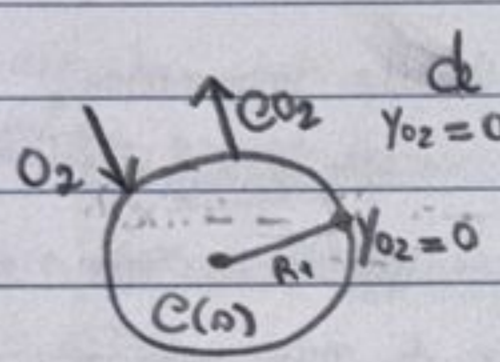
$A \rightarrow O_2$

$B \rightarrow CO_2$

Geometria Esférica $\longrightarrow$ Esfera de carvão

Eq. Cinética: $\bar{N}_{Ax} = y_A(\bar{N}_{Ax} + \bar{N}_{Bx}) - c D_{A-B} \dfrac{dy_A}{dx}$, $c = \dfrac{P_{total}}{RT}$ (*)

Eq. Conservação: $N_A \times x^2 = N_{A1} \times R_1^2 \Leftrightarrow N_A = \boxed{N_{A1} \times R_1^2 \times \dfrac{1}{x^2}}$, à medida que a área de secção aumenta, o produto entre o fluxo e o raio² são constantes.



Condições Fronteira: $\begin{cases} x = R_1 \longrightarrow y_{O_2} = 0 & (1) \\ x = \infty \longrightarrow y_{O_2} = 0{,}5 & (2) \end{cases}$

(1) – Onde ocorre reação é na superfície esférica. Como esta reação é instantânea, o passo lento é controlado por difusão. $V_{reação} >>> V_{difusão} = Q = (J)$. Portanto, $y_{O_2} = 0$ visto que o oxigénio chega e reage logo muito rápido.

(2) – Justificável pela lei de Raoult, pois O_2 é considerado um composto puro e ideal:

$y_A = \underset{1}{\underset{\parallel}{\gamma_A}} \times \underset{1}{\underset{\parallel}{x_A}} \times y_A^* \Leftrightarrow y_A = y_A^* = 0{,}5$

(*) $N_{O_2} = \underbrace{y_{O_2}(N_{O_2} + N_{CO_2})}_{0} - \dfrac{P\,D_{O_2-mist}}{RT} \times \dfrac{dy_{O_2}}{dx}$ $N_{CO_2} = -N_{O_2}$

$\Leftrightarrow N_{O_2}\,dx = -\dfrac{PD}{RT}\,dy_{O_2}$ $\overset{(\text{Eq. Cons})}{\Leftrightarrow} N_{O_2} \times R_1^2 \times \dfrac{1}{x^2}\,dx = -\dfrac{PD}{RT}\,dy_{O_2}$

$Q = N_{A1} \times 4\pi R_1^2 \Leftrightarrow \boxed{N_{O_2} = \dfrac{Q}{4\pi R_1^2}}$

$\Leftrightarrow \dfrac{Q}{4\pi \cancel{R_1^2}} \times \cancel{R_1^2} \times \dfrac{1}{x^2}\,dx = -\dfrac{PD}{RT}\,dy_{O_2}$ Cond. Fronteira

$\Leftrightarrow \dfrac{Q}{4\pi} \displaystyle\int_{x=R_1}^{x=\infty} \dfrac{1}{x^2}\,dx = -\dfrac{PD}{RT} \displaystyle\int_{y_{O_2}=0}^{y_{O_2}=0{,}5} dy_{O_2}$

$\Leftrightarrow \dfrac{Q}{4\pi}\left[-\dfrac{1}{x}\right]_{R_1}^{\infty} = -\dfrac{PD}{RT}\left[y_{O_2}\right]_0^{0{,}5}$ $\Leftrightarrow \dfrac{Q}{4\pi} \times \dfrac{1}{R_1} = -\dfrac{PD}{RT} \times 0{,}5$

$\Leftrightarrow \boxed{Q = \dfrac{-0{,}5\,PD \times 4\pi \times R_1}{RT}}$

$$(\Leftrightarrow)\ Q = \frac{-0,5\times10^{5}\,\cancel{Pa}\times 1\times10^{-4}\,\cancel{m^2}\,s^{-1}\times 4\pi\times\left(\frac{1\times10^{-3}}{2}\right)\cancel{m}}{8,314\,\cancel{Pa}\,\cancel{m^3}\,mol^{-1}\,\cancel{K^{-1}}\times 1400\,\cancel{K}} = -2,7\times10^{-6}\ mol/s$$

b) tempo = ? $\qquad Q = 2,7\times10^{-6}\ mol/s$

$$V_{esfera} = \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{4}{3}\pi\times\left(\frac{1\times10^{-3}}{2}\right)^3 = 5,236\times10^{-10}\ m^3$$

$$m = \rho\times V = 1280\ kg\,\cancel{m^{-3}}\times 5,236\times10^{-10}\,\cancel{m^3} = 6,7\times10^{-7}\ kg$$

$$n = \frac{m}{M} = \frac{6,7\times10^{-7}\,\cancel{kg}}{12\times10^{-3}\,\cancel{kg}\,mol^{-1}} = 5,86\times10^{-5}\ mol$$

$$t = \frac{n}{Q} = \frac{5,86\times10^{-5}\,\cancel{mol}}{2,7\times10^{-6}\,\cancel{mol}\,s^{-1}} = 20,7\ s$$

c) $\boxed{\text{Estado Pseudo-Estacionário}}$ $\qquad$ tempo = ? $\qquad$ Comparar // Comentar.

$$Q_A = -C_A\frac{dV}{dt}\ ,\quad C_A = \frac{\rho}{M}\quad e\quad \frac{dV}{dt} = \frac{dV}{dr}\times\frac{dr}{dt}\qquad V_{esfera} = \frac{4}{3}\pi R^3 \rightarrow \frac{dV}{dr} = 4\pi r^2$$

$$\text{Logo, } \frac{dV}{dt} = 4\pi r^2\frac{dr}{dt} \longrightarrow \boxed{Q_A = -\frac{\rho}{M}\times4\pi r^2\times\frac{dr}{dt}}$$

Substituindo na expressão obtida em (a), vem:

$$\cancel{-}\frac{\rho}{M}\times\cancel{4\pi r^2}\times\frac{dr}{dt} = \frac{\cancel{-}0,5\,PD\times\cancel{4\pi r}}{RT} \Leftrightarrow \frac{\rho r}{M}\frac{dr}{dt} = \frac{0,5\,PD}{RT}$$

$$(\Leftrightarrow)\ \frac{\rho}{M}\,r\,dr = \frac{0,5\,PD}{RT}\,dt$$

Novas Condições Fronteira: $\begin{cases} r = R_0 = R \longrightarrow t = 0 \\ r = R_t \longrightarrow t = t \end{cases}$

$$(\Leftrightarrow)\ \frac{\rho}{M}\int_{R_0=0}^{R_t=r} r\,dr = \frac{0,5\,PD}{RT}\int_0^t dt \qquad (\Leftrightarrow)\ \frac{\rho}{M}\left[\frac{r^2}{2}\right]_0^R = \frac{0,5\,PD}{RT}\times t$$

$$(\Leftrightarrow)\ \frac{\rho\times R^2}{M\times2} = \frac{0,5\,PD\,t}{RT} \qquad (\Leftrightarrow)\ \boxed{t = \frac{\rho\times R^2\times R\times T}{M\times2\times0,5\times P\times D}}$$

$$(\Leftrightarrow)\ t = \frac{1280\,\cancel{kg}\,\cancel{m^{-3}}\times\left(\frac{1\times10^{-3}}{2}\right)^2\cancel{m^2}\times8,314\,\cancel{Pa}\,\cancel{m^3}\,\cancel{mol^{-1}}\,\cancel{K^{-1}}\times1400\,\cancel{K}}{12\times10^{-3}\,\cancel{kg}\,\cancel{mol^{-1}}\times2\times0,5\times10^5\,\cancel{Pa}\times10^{-4}\,\cancel{m^2}\,s^{-1}} = 31\ s$$

• Comentários iguais ao resolvido no teste de 2020

d) $Q = ?$ $\qquad y_{O_2} = 0,25$

$$Q = \frac{-0,25\times P\times D\times4\pi\times R_1}{RT} = -1,35\times10^{-6}\ mol/s$$

$$Q = \frac{-1,35\times10^{-6}\ mol/s}{-2,7\times10^{-6}\ mol/s} = 0,5$$ → Aumenta num fator de 0,5 quando y_{O_2} passa para metade

e) $Q = ?$ $T = 1100K$

$$Q = \frac{-0,5 \times P \times D \times 4\pi \times R_1}{R \times 1100} = -3,44 \times 10^{-6}\ mol/s \quad \text{Quociente} = \frac{-3,44 \times 10^{-6}}{-2,7 \times 10^{-6}} = 1,27$$

R: Diminui num fator de 1,27 (grandezas inversamente proporcionais)

2. $C_{A0} = 2\ mol/L$ $t = 45\ min$ $z = 4\ cm$ $C_A = 5 \times 10^{-3}\ mol/cm^3$

$$5 \times 10^{-3} \frac{mol}{cm^3} \times \frac{1\ cm^3}{10^{-3}\ dm^3} = 5\ mol/L$$

a) $D_{CO_2\text{-solvente}} = 5 \times 10^{-5}\ m^2/s$. $C_{As} = ?$ $A \rightarrow CO_2$

$$a = \frac{z}{\sqrt{4Dt}} = \frac{4 \times 10^{-2}\ m}{\sqrt{4 \times 5 \times 10^{-5}\ m^2 s^{-1} \times 45 \times 60\ s}} = 0,0544$$

$$erf(|a|) = erf(0,0544) = 1 - (1 + 0,2784 \times 0,0544 + 0,2314 \times 0,0544^2 + 0,0781 \times 0,0544^4)^{-4} = 0,061$$

$$\frac{C_{As} - C_A}{C_{As} - C_{A0}} = erf(a) \Leftrightarrow \frac{C_{As} - 5}{C_{As} - 2} = 0,061 \Leftrightarrow C_{As} - 5 = 0,061\ C_{As} - 0,12186$$

$$\Leftrightarrow 0,93907\ C_{As} = 4,87814 \quad \Leftrightarrow C_{As} = 5,2\ mol/L$$

b) $t = 2h$ $C_A = ?$

$$a = \frac{z}{\sqrt{4Dt}} = \frac{4 \times 10^{-2}\ m}{\sqrt{4 \times 5 \times 10^{-5} \times 2 \times 3600}} = 0,033$$

$$erf(|a|) = erf(0,033) = 0,037$$

$$\frac{C_{As} - C_A}{C_{As} - C_{A0}} = erf(0,033) \Leftrightarrow \frac{5,2 - C_A}{5,2 - 2} = 0,037 \Leftrightarrow 5,2 - C_A = 0,119208 \Leftrightarrow C_A = 5,3\ mol/L$$

Resolução Teste 2019 - FT2

1. $z = 5\ cm$ $z_0 = 2\ cm$ $T = 298,15K$ $P = 1,013 \times 10^5\ Pa$ (1 atm)

$D = 0,102 \times 10^{-4}\ m^2/s$ $P^* = 59\ mmHg$

1 atm — 760 mmHg
x — 59 mmHg

$x = 0,078\ atm$ $P^* = 7864,08\ Pa$

$P^* = 0,078 \times 1,013 \times 10^5\ atm = 7864,08\ Pa$

a) $t = 24h$ $R = 8,314\ J\,mol^{-1}K^{-1}$ $M = 46\ g/mol$ $\rho = 0,789\ g/cm^3$ $z = ?$

Geometria ~~Plana~~ → tubo

Equação de Conservação: $N_{A1} S_1 = N_{A2} \times S_2$

Os fluxos N_{A1} e N_{A2} são constantes na direção z, sendo S_1 e S_2 as superfícies de entrada e saída, respetivamente, constantes.