

FENÔMENOS DE TRANSPORTES III – ZEA0764

Exercícios Capítulo 5.4 - Difusão em Regime Transiente com Resistência Externa

$\bar{\theta}(Fo_M)$	$\theta(\eta, Fo_M)$	γ_n	z_1
$2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{Bi_M^2}{\gamma_n^2 (\gamma_n^2 + Bi_M^2 + Bi_M)} e^{-\gamma_n^2 Fo_M}$	$2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{Bi_M}{\gamma_n^2 + Bi_M^2 + Bi_M} \frac{\cos(\gamma_n \eta)}{\cos(\gamma_n)} e^{-\gamma_n^2 Fo_M}$	tab.(5.3)	a
$6 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{Bi_M^2}{\gamma_n^2 [\gamma_n^2 + Bi_M (Bi_M - 1)]} e^{-\gamma_n^2 Fo_M}$	$\frac{2}{\eta} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{Bi_M}{\gamma_n^2 + Bi_M (Bi_M - 1)} \frac{\text{sen}(\gamma_n \eta)}{\text{sen}(\gamma_n)} e^{-\gamma_n^2 Fo_M}$	tab.(5.4)	R
$4 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{Bi_M^2}{\gamma_n^2 (\gamma_n^2 + Bi_M^2)} e^{-\gamma_n^2 Fo_M}$	$2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{Bi_M}{\gamma_n^2 + Bi_M^2} \left[\frac{J_0(\gamma_n \eta)}{J_0(\gamma_n)} \right] e^{-\gamma_n^2 Fo_M}$	tab.(5.5)	R

^a Tabela 5.3 — Raízes da eq.(5.97)¹⁰

Bi_M	γ_1	γ_2	γ_3	γ_4	γ_5	γ_6
0	0	3,1416	6,2832	9,4248	12,5664	15,7080
0,01	0,0998	3,1448	6,2848	9,4258	12,5672	15,7086
0,1	0,3111	3,1731	6,2991	9,4354	12,5743	15,7143
0,2	0,4328	3,2039	6,3148	9,4459	12,5823	15,7207
0,5	0,6533	3,2923	6,3616	9,4775	12,6060	15,7397
1,0	0,8603	3,4256	6,4373	9,5293	12,6453	15,7713
2,0	1,0769	3,6436	6,5783	9,6296	12,7223	15,8336
5,0	1,3138	4,0336	6,9096	9,8928	12,9352	16,0107
10,0	1,4289	4,3058	7,2281	10,2003	13,2142	16,2594
100,0	1,5552	4,6658	7,7764	10,8871	13,9981	17,1093
∞	1,5708	4,7124	7,8540	10,9956	14,1372	17,2788

^a Fonte: J. Crank, *The mathematics of diffusion*. Londres: Oxford University Press, 1956.

^a Tabela 5.4 — Raízes da eq.(5.114)¹¹

Bi_M	γ_1	γ_2	γ_3	γ_4	γ_5	γ_6
0	0	4,4934	7,7253	10,9041	14,0662	17,2208
0,01	0,1730	4,4956	7,7256	10,9050	14,0669	17,2213
0,1	0,5423	4,5157	7,7382	10,9133	14,0733	17,2266
0,2	0,7593	4,5379	7,7511	10,9225	14,0804	17,2324
0,5	1,1656	4,6042	7,7899	10,9499	14,1017	17,2498
1,0	1,5708	4,7124	7,8540	10,9956	14,1372	17,2788
2,0	2,0288	4,9132	7,9787	11,0856	14,2075	17,3364
5,0	2,5704	5,3540	8,3029	11,3349	14,4080	17,5034
10,0	2,8363	5,7172	8,6587	11,6532	14,6870	17,7481
100,0	3,1102	6,2204	9,3309	12,4414	15,5522	18,6633
∞	3,1416	6,2832	9,4248	12,5664	15,7080	18,8496

^a Fonte: J. Crank, *The mathematics of diffusion*. Londres: Oxford University Press, 1956.

^a Tabela 5.5 — Raízes da eq.(5.130)

Bi_M	γ_1	γ_2	γ_3	γ_4	γ_5	γ_6
0	0	3,8137	7,0156	10,1735	13,3237	16,4706
0,01	0,1412	3,8343	7,0170	10,1745	13,3244	16,4712
0,1	0,4417	3,8577	7,0298	10,1833	13,3312	16,4767
0,2	0,6170	3,8835	7,0440	10,1931	13,3387	16,4828
0,5	0,9408	3,9594	7,0864	10,2225	13,3611	16,5010
1,0	1,2558	4,0795	7,1558	10,2710	13,3984	16,5312
2,0	1,5994	4,2910	7,2884	10,3658	13,4719	16,5910
5,0	1,9898	4,7131	7,6177	10,6223	13,6786	16,7630
10,0	2,1795	5,0332	7,9569	10,9363	13,9580	17,0099
100,0	2,3809	5,4652	8,5678	11,6747	14,7834	17,8931
∞	¹² 2,4048	5,5201	8,6537	11,7915	14,9309	18,0711

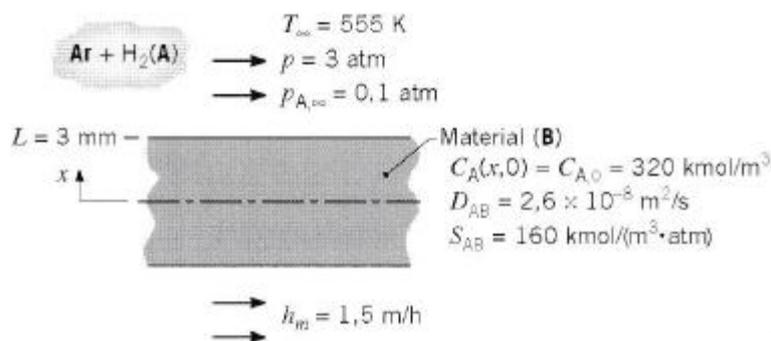
^a Fonte: J. Crank, *The mathematics of diffusion*. Londres: Oxford University Press, 1956.

1. Um florista transporta uma carga de bolas de esponja com diâmetro de 50,8 mm num caminhão descoberto. As bolas estão completamente secas na parte externa, porém uma chuva repentina ocorre na rota. Considere que a umidade de equilíbrio vale 1 g água/g esponja seca e que a difusividade de água na esponja é $4,645 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{h}$. Qual é a umidade média das bolas, em base úmida, 3 h após o início da chuva (a) se o número de Biot mássico vale 5? (b) Reconsidere o exercício sabendo que a chuva foi violenta e acompanhada de fortes ventos (Ex. 7.10-1 modificado, Fenômenos de Transporte, Leighton E. Sissom e Donald R. Pitts, 2001).

2. Uma barra porosa muito longa e com diâmetro de 50,8 mm está sujeita a um fluxo cruzado de certo fluido A tal que o coeficiente de transferência de massa é de 1,524 m/h. A difusividade do fluido A para dentro da barra é igual a $0,3345 \text{ m}^2/\text{h}$. Determine a fração mássica de A no centro da barra depois de 3 minutos. Suponha que a fração mássica inicial de A na barra é igual a zero e que o coeficiente de partição vale 1 (Ex. 7.43 modificado, Fenômenos de Transporte, Leighton E. Sissom e Donald R. Pitts, 2001).

3. Hidrogênio gasoso é usado em um processo para fabricar uma folha de um material A com 6 mm de espessura. No final do processo, H_2 permanece no interior do material com uma concentração uniforme de 320 kmol/m^3 . Para remover o H_2 do material, as duas superfícies da folha são expostas a uma corrente de ar a 555 K e uma pressão total de 3 atm , que fornece um coeficiente de transferência de massa por convecção de $1,5 \text{ m/h}$ e, devido à contaminação do ar, uma pressão parcial de H_2 de $0,1 \text{ atm}$. A difusividade mássica e a solubilidade do H_2 no material A são, respectivamente, $2,6 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ e $160 \text{ kmol}/(\text{m}^3 \cdot \text{atm})$.

Dados: $R = 8,314 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$; $P = 1 \text{ atm} = 101,3 \text{ kPa}$



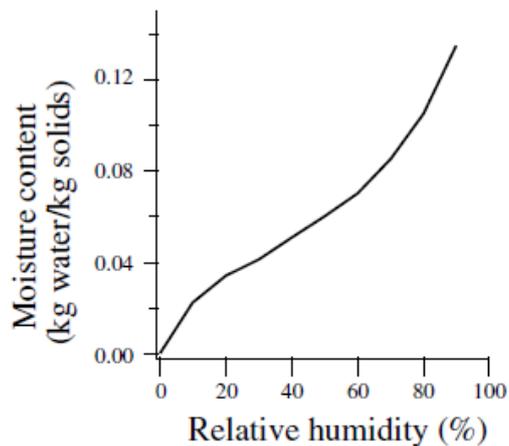
- Se o material for deixado exposto à corrente de ar por um longo tempo, qual a quantidade final de H_2 no material A (kmol/m^3)?
- Pelo cálculo do número de Biot mássico, justifique se a resistência externa é desprezível ou considerável na situação exposta no exercício.
- Qual o tempo necessário para reduzir a concentração mássica do H_2 no centro da folha para o dobro do valor limite calculado no item (a) (Ex. 14.46 modificado, Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa 6ª ed., Incropera, DeWitt, Bergman e Lavine, 2018)?



4. Considere o mesmo processo do exercício anterior, mas sob a condição da difusividade mássica do H_2 no material A ser de $1,8 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$. Supondo uma concentração uniforme em todo o tempo do processo de remoção de H_2 do material A, calcule o tempo necessário para que a concentração média de H_2 atinja o dobro do valor calculado no item (a) do exercício anterior (Ex. 14.47, Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa 6ª ed., Incropera, DeWitt, Bergman e Lavine, 2018).

5. Considere a possibilidade de secagem de uma camada de adubo de 30 cm de espessura espalhada sobre uma superfície que é impermeável ao vapor de água, ou seja, que o vapor não pode passar através da superfície. Ar a 20% de umidade relativa está soprando sobre a parte superior do adubo e conduz a uma pressão de vapor de 0,34 mmHg e um coeficiente de transferência de massa médio de 0,1 m/s. O adubo tem um teor de umidade inicial uniforme de 1 kg de água/kg de matéria seca. A difusividade da umidade no adubo é de aproximadamente 10^{-6} m²/s. O teor de umidade de equilíbrio do adubo, para efeitos deste problema, pode ser obtido da isoterma de sorção a seguir. (a) Quanto tempo leva para o local mais úmido na camada de adubo atingir 0,3 kg de água/kg de matéria seca? (b) Qual é a umidade da superfície superior do adubo neste momento? (Ex. 13.8.5 modificado, Biological and Bioenvironmental Heat and Mass Transfer, Ashim K. Datta, 2002).

Dados: $R = 8,314 \text{ J/mol.K}$; $P = 760 \text{ mmHg} = 101,3 \text{ kPa}$;
 $M_{H_2O} = 18,015 \text{ g/mol}$; $M_{ar} = 28,85 \text{ g/mol}$



6. Uma grande fatia de cloreto de cálcio molhado com 10,16 cm de espessura é colocado para secar no ar ambiente. A umidade inicial (base úmida) é de 0,2 g água/g cloreto de cálcio. A razão da umidade do ar ambiente é de 0,018. Se a resistência da superfície para a transferência de massa for o dobro da resistência interna e se a difusividade da água no cloreto de cálcio for $8,361 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{h}$, calcule a umidade a 25,40 mm da superfície depois de 50 h. Suponha que $P = 760 \text{ mmHg}$, $T = 27 \text{ }^\circ\text{C}$ e $k_p = 50$ (Ex. 7.37 modificado, Fenômenos de Transporte, Leighton E. Sissom e Donald R. Pitts, 2001).

$$\text{Dados: } M_{\text{CaCl}_2} = 110,98 \text{ g/mol}; M_{\text{H}_2\text{O}} = 18 \text{ g/mol}; \ln P_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{vap}} [\text{mmHg}] = 18,3036 - \frac{3816,44}{T[\text{K}] - 46,13}$$