Fenômenos de Transportes 3 (ZEA0764)

Difusão em Regime Permanente

Prof. Responsável:
Paulo José do Amaral Sobral

Março de 2024

Capítulo 4 do Livro Texto (Cremasco):**

Estudar todos os subcapítulos, com exceção do 4.4.

E, relembrar da primeira aula os conceitos de:

- Concentrações.
- Velocidades médias.
- E de fluxos.
- Lei de Fick e equação de Fick generalizada.

E, da aula sobre equação da continuidade do componente A, e quarta simplificação.

** Disponível em https://fdocumentos.tips/document/fundamentos-de-transferencia-de-massa-cremasco.html

- Tópicos

I. Difusão unidimensional em regime permanente

II. Difusão em RP através de um gás estagnado

II.1. Cálculo do perfil de A no meio de difusão [y_A=f(z)]

II.2. Cálculo do concentração média de A no meio de difusão

II.3. Cálculo do fluxo de A

II.4 Difusão pseudo-estacionária através de um gás estagnado

III. Contradifusão equimolar

III.1. Cálculo do perfil de A no capilar [C_A=f(z)]

III.2. Cálculo do fluxo de A

III.3. Demonstrando que neste caso, D_{AB} = D_{BA}

IV. Exercícios

FACULDADE DE ZOOTECNIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

I. Difusão unidimensional em regime permanente

Relembrando as equações da continuidade do componente A, em termos mássico (Eq.1) e molar (Eq.2), expressas em função do fluxo:

$$\frac{\partial \rho_A}{\partial t} + \vec{\nabla}\,\vec{n}_A = r_A''' \qquad (1)$$

$$\frac{\partial c_A}{\partial t} + \vec{\nabla}\,\vec{N}_A = R_A''' \qquad (2)$$

Relembrando as equações da continuidade do componente A, em termos mássico (Eq.1) e molar (Eq.2), expressas em função do fluxo:

$$\cancel{\frac{\partial \rho_A}{\partial t}} + \vec{\nabla}\,\vec{n}_A = \cancel{r_A'''} \qquad (1)$$

$$\cancel{\frac{\partial C_A}{\partial t}} + \vec{\nabla}\,\vec{N}_A = \cancel{R_A'''} \qquad (2)$$

Que, simplificadas para o caso de regime permanente e sem reação química, ficam assim:

$$\vec{\nabla}\,\vec{n}_A = 0 \qquad (3)$$

$$\vec{\nabla}\,\vec{N}_A = 0 \qquad (4)$$

Em coordenada Retangular

$$\frac{d}{dz}(\vec{n}_{A,Z}) = 0 \qquad (5) \qquad\qquad \frac{d}{dz}(\vec{N}_{A,Z}) = 0 \qquad (6)$$

Em coordenada Retangular

$$\frac{d}{dz}(\vec{n}_{A,Z}) = 0 \qquad (5) \qquad\qquad \frac{d}{dz}(\vec{N}_{A,Z}) = 0 \qquad (6)$$

Coordenada Cilíndrica

$$\frac{d}{dr}\left(r\,\vec{n}_{A,r}\right) = 0 \quad (7) \qquad\qquad \frac{d}{dr}\left(r\,\vec{N}_{A,r}\right) = 0 \quad (8)$$

FACULDADE DE ZOOTECNIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

Em coordenada Retangular

$$\frac{d}{dz}(\vec{n}_{A,Z}) = 0 \qquad (5) \qquad\qquad \frac{d}{dz}(\vec{N}_{A,Z}) = 0 \qquad (6)$$

Coordenada Cilíndrica

$$\frac{d}{dr}\left(r\,\vec{n}_{A,r}\right) = 0 \quad (7) \qquad\qquad \frac{d}{dr}\left(r\,\vec{N}_{A,r}\right) = 0 \quad (8)$$

Coordenada Esférica

$$\frac{d}{dr}\left(r^2\vec{n}_{A,r}\right) = 0 \quad (9) \qquad\qquad \frac{d}{dr}\left(r^2\vec{N}_{A,r}\right) = 0 \quad (10)$$

Observem que apenas em coordenada cartesiana, o fluxo é constante em regime permanente.

$$\frac{d}{dz}(\vec{n}_{A,Z}) = 0 \quad \text{ou} \quad \frac{d}{dz}(\vec{N}_{A,Z}) = 0$$

Observem que apenas em coordenada cartesiana, o fluxo é constante em regime permanente.

Em coordenadas radiais, a taxa (W_A) é que é constante.

Taxa é o fluxo vezes a superfície transversal, ou seja:

$$W_A = \text{Área x Fluxo}$$

Observem que apenas em coordenada cartesiana, o fluxo é constante em regime permanente.

Em coordenadas radiais, a taxa (W_A) é que é constante.

Taxa é o fluxo vezes a superfície transversal, ou seja:

$$W_A = \text{Área x Fluxo}$$

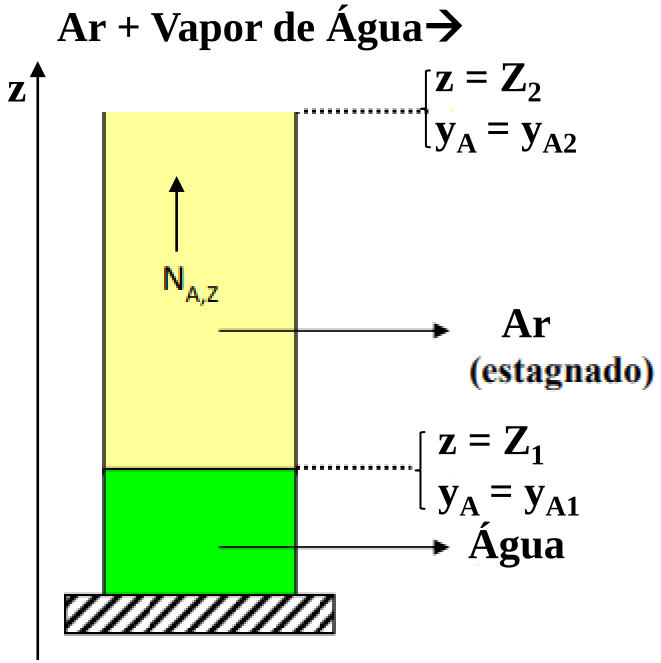
Que, para cilindro será: $\overrightarrow{W}_{A,r} = (2\,\pi\, Z)r\overrightarrow{N}_{A,r}$

E para a esfera, será: $\overrightarrow{W}_{A,r} = (4\,\pi\,)r^2\overrightarrow{N}_{A,r}$

Ambos os termos entre parênteses são constantes e podem entrar e sair das derivadas (Eqs. 7-10).

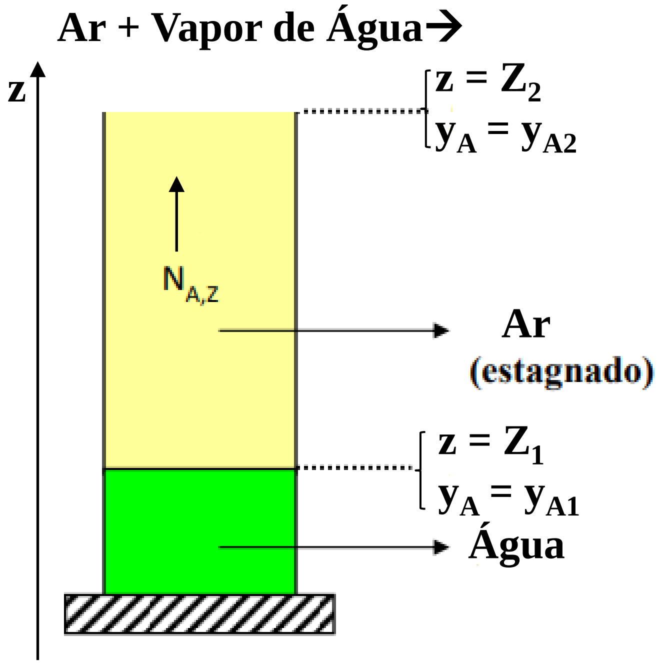
II. Difusão em RP através de um gás estagnado

Considere, na figura abaixo, que a água volatiliza criando uma fronteira de alta C_{A1}, e que na boca do tubo, o vapor é conduzido pelo ar, de forma que a C_{A2} fique constante.



II. Difusão em RP através de um gás estagnado

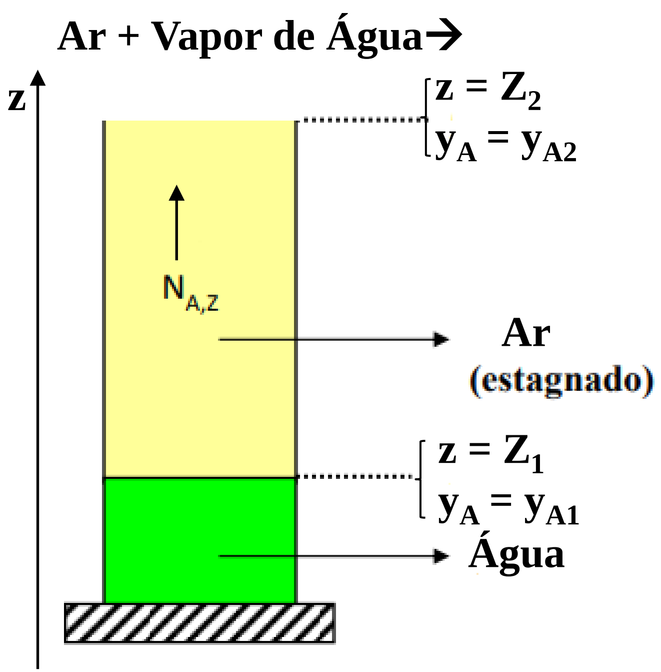
Considere, na figura abaixo, que a água volatiliza criando uma fronteira de alta C_{A1}, e que na boca do tubo, o vapor é conduzido pelo ar, de forma que a C_{A2} fique constante. Então veremos um ΔC_A constante, e por isso N_A é constante (e sua derivada, nula, Eq. 6):



$$\frac{d}{dz}(\vec{N}_{A,Z}) = 0$$

II. Difusão em RP através de um gás estagnado

Considere, na figura abaixo, que a água volatiliza criando uma fronteira de alta C_{A1}, e que na boca do tubo, o vapor é conduzido pelo ar, de forma que a C_{A2} fique constante. Então veremos um ΔC_A constante, e por isso N_A é constante (e sua derivada, nula, Eq. 6):



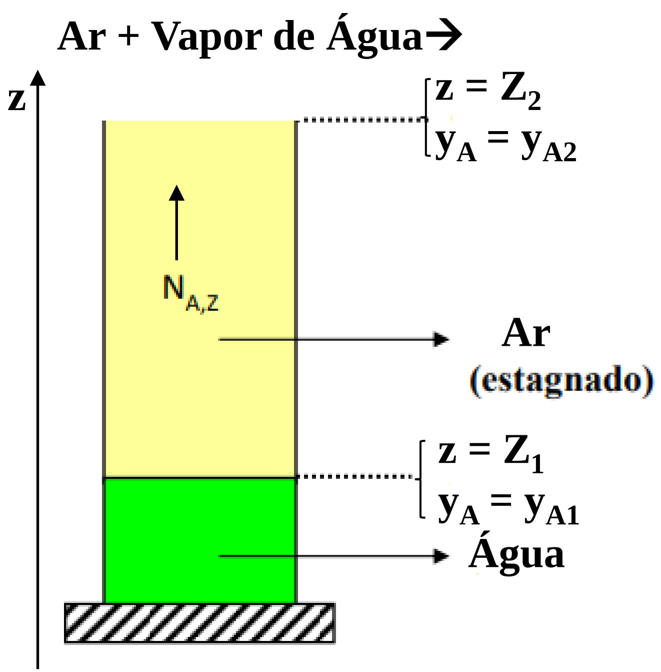
$$\frac{d}{dz}(\vec{N}_{A,Z}) = 0$$

Onde

$$\overrightarrow{N_{A,Z}} = -CD_{AB}\frac{dy_A}{dz} + y_A(\overrightarrow{N_{A,Z}} + \overrightarrow{N_{B,Z}})$$

II. Difusão em RP através de um gás estagnado

Considere, na figura abaixo, que a água volatiliza criando uma fronteira de alta C_{A1}, e que na boca do tubo, o vapor é conduzido pelo ar, de forma que a C_{A2} fique constante. Então veremos um ΔC_A constante, e por isso N_A é constante (e sua derivada, nula, Eq. 6):



$$\frac{d}{dz}(\vec{N}_{A,Z}) = 0$$

Onde

$$\overrightarrow{N_{A,Z}} = -CD_{AB}\frac{dy_A}{dz} + y_A(\overrightarrow{N_{A,Z}} + \cancel{\overrightarrow{N_{B,Z}}}) \quad (11)$$

E, $\overrightarrow{N_{B,z}} = 0$

II.1. Cálculo do perfil de A no meio de difusão [y_A=f(z)]

$$\overrightarrow{N_{A,Z}} = -CD_{AB}\frac{dy_A}{dz} + y_A(\overrightarrow{N_{A,Z}}) \quad (12)$$

II.1. Cálculo do perfil de A no meio de difusão [y_A=f(z)]

$$\overrightarrow{N_{A,Z}} = -CD_{AB}\frac{dy_A}{dz} + y_A(\overrightarrow{N_{A,Z}}) \quad (12)$$

Que, rearranjando, fica:

$$\overrightarrow{N_{A,Z}} = \frac{-CD_{AB}}{1-y_A}\frac{dy_A}{dz} \quad (13)$$

FACULDADE DE ZOOTECNIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

II.1. Cálculo do perfil de A no meio de difusão [y_A=f(z)]

$$\overrightarrow{N_{A,Z}} = -CD_{AB}\frac{dy_A}{dz} + y_A(\overrightarrow{N_{A,Z}}) \quad (12)$$

Que, rearranjando, fica:

$$\overrightarrow{N_{A,Z}} = \frac{-CD_{AB}}{1-y_A}\frac{dy_A}{dz} \quad (13)$$

E, substituindo na Eq. 10:

$$\frac{d}{dz}\left(\frac{-CD_{AB}}{1-y_A}\frac{dy_A}{dz}\right) = 0 \quad (14)$$

Uma vez que o produto (–C D_{AB}) é constante, a equação 14 se torna:

$$\frac{d}{dz}\left(\frac{1}{1-y_A}\frac{dy_A}{dz}\right) = 0 \qquad (15)$$

Uma vez que o produto (–C D_{AB}) é constante, a equação 14 se torna:

$$\frac{d}{dz}\left(\frac{1}{1-y_A}\frac{dy_A}{dz}\right) = 0 \qquad (15)$$

A solução desta equação exige 2 condições de contorno:

CC1: em $z = Z_1 \rightarrow y_A = y_{A1}$

Uma vez que o produto ($-C\,D_{AB}$) é constante, a equação 14 se torna:

$$\frac{d}{dz}\left(\frac{1}{1-y_A}\frac{dy_A}{dz}\right) = 0 \qquad (15)$$

A solução desta equação exige 2 condições de contorno:

CC1: em $z = Z_1 \rightarrow y_A = y_{A1}$

CC2: em $z = Z_2 \rightarrow y_A = y_{A2}$

Como a derivada externa da Eq 15 é zero:

$$\frac{d}{dz}\left(\frac{1}{1-y_A}\frac{dy_A}{dz}\right) = 0$$

Seu argumento é uma constante (K_1).

$$\frac{1}{1-y_A}\frac{dy_A}{dz} = K_1 \qquad (16)$$

A Eq.16 pode ser rearranjada, ficando:

$$\int \frac{dy_A}{1-y_A} = \int K_1 dz \qquad (17)$$

A Eq.16 pode ser rearranjada, ficando:

$$\int \frac{dy_A}{1-y_A} = \int K_1 dz \qquad (17)$$

A integração da Eq.17 dá:

$$\boxed{-Ln(1-y_A) = K_1 z + K_2} \qquad (18)$$

Aplicando as CCs:

CC1: em $z=Z_1 \rightarrow y_A=y_{A1}$ $\quad -Ln(1- y_{A1}) = K_1 Z_1 + K_2 \qquad (19)$

Aplicando as CCs:

CC1: em $z=Z_1 \rightarrow y_A=y_{A1}$ $\quad -Ln(1- y_{A1}) = K_1 Z_1 + K_2$ (19)

CC2: em $z=Z_2 \rightarrow y_A=y_{A2}$ $\quad -Ln(1- y_{A2}) = K_1 Z_2 + K_2$ (20)

Aplicando as CCs:

CC1: em $z=Z_1 \rightarrow y_A=y_{A1}$ $\quad -Ln(1-y_{A1}) = K_1 Z_1 + K_2 \qquad (19)$

CC2: em $z=Z_2 \rightarrow y_A=y_{A2}$ $\quad -Ln(1-y_{A2}) = K_1 Z_2 + K_2 \qquad (20)$

Subtraindo: $\quad -Ln(1-y_{A1})+Ln(1-y_{A2}) = K_1 (Z_1 - Z_2)$

Aplicando as CCs:

CC1: em $z=Z_1 \rightarrow y_A=y_{A1}$ $\quad -Ln(1- y_{A1}) = K_1 Z_1 + K_2$ (19)

CC2: em $z=Z_2 \rightarrow y_A=y_{A2}$ $\quad -Ln(1- y_{A2}) = K_1 Z_2 + K_2$ (20)

Subtraindo: $\quad -Ln(1- y_{A1})+Ln(1- y_{A2}) = K_1 (Z_1 - Z_2)$

Portanto: $$K_1 = Ln\frac{(1-yA_2)}{(1-yA_1)}/(Z_1 - Z_2) \qquad (21)$$

Aplicando as CCs:

CC1: em $z=Z_1 \rightarrow y_A=y_{A1}$ $\quad -Ln(1-y_{A1}) = K_1 Z_1 + K_2 \qquad (19)$

CC2: em $z=Z_2 \rightarrow y_A=y_{A2}$ $\quad -Ln(1-y_{A2}) = K_1 Z_2 + K_2 \qquad (20)$

Subtraindo: $\quad -Ln(1-y_{A1})+Ln(1-y_{A2}) = K_1 (Z_1 - Z_2)$

Portanto: $\quad K_1 = Ln\dfrac{(1-yA_2)}{(1-yA_1)}/(Z_1 - Z_2) \qquad (21)$

Substituindo na Eq 19, temos:

$$-Ln(1-y_{A1}) = \{Ln\frac{(1-yA_2)}{(1-yA_1)}/(Z_1 - Z_2)\}\, Z_1 + K_2 \qquad (22)$$

Colocando K_2 em evidência:

$$K_2 = - Ln(1 - y_{A1}) - \{Ln\frac{(1 - yA_2)}{(1 - yA_1)}/(Z_1 - Z_2)\}\ Z_1 \qquad (23)$$

Colocando K_2 em evidência:

$$K_2 = -\,Ln(1 - y_{A1}) - \{Ln\frac{(1-yA_2)}{(1-yA_1)}/(Z_1 - Z_2)\}\,Z_1 \qquad (23)$$

E, finalmente, substituindo as Eqs 22 e 23, na equação solução (Eq. 18), temos

$$-Ln(1 - y_A) = \{Ln\frac{(1-yA_2)}{(1-yA_1)}/(Z_1 - Z_2)\}\,z +$$

$$\{-\,Ln(1 - y_{A1}) - \{Ln\frac{(1-yA_2)}{(1-yA_1)}/(Z_1 - Z_2)\}\,Z_1\} \qquad (24)$$

Que, após rearranjos, se apresenta:

$$-Ln(1 - y_A) = \{Ln\frac{(1 - yA_2)}{(1 - yA_1)}/(Z_1 - Z_2)\}(z - Z_1) - Ln(1 - y_{A1}) \quad (25)$$

Que, após rearranjos, se apresenta:

$$-\mathrm{Ln}(1-y_A) = \{\mathrm{Ln}\frac{(1-yA_2)}{(1-yA_1)}/(Z_1-Z_2)\}(z-Z_1) - \mathrm{Ln}(1-y_{A1}) \quad (25)$$

ou

$$\mathrm{Ln}\frac{(1-yA_1)}{(1-y_A)} = \{\mathrm{Ln}\frac{(1-yA_2)}{(1-yA_1)}\}\frac{(z-Z_1)}{(Z_1-Z_2)} \quad (26)$$

FACULDADE DE ZOOTECNIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

Que, após rearranjos, se apresenta:

$$-Ln(1- y_A) = \{Ln\frac{(1- yA_2)}{(1- yA_1)}/(Z_1 - Z_2)\}(z - Z_1) - Ln(1- y_{A1}) \quad (25)$$

ou

$$Ln\frac{(1- yA_1)}{(1- y_A)} = \{Ln\frac{(1- yA_2)}{(1- yA_1)}\}\frac{(z - Z_1)}{(Z_1 - Z_2)} \qquad (26)$$

Ou ainda (x -1)

$$Ln\frac{(1- y_A)}{(1- yA_1)} = \{Ln\frac{(1- yA_2)}{(1- yA_1)}\}\frac{(z - Z_1)}{(Z_2 - Z_1)} \qquad (27)$$

Aplicando o exponencial Neperiano, temos a solução definitiva [$y_A = f(z)$]:

$$\boxed{\frac{(1-y_A)}{(1-yA_1)} = \frac{(1-yA_2)}{(1-yA_1)}^{\frac{(z-Z_1)}{(Z_2-Z_1)}}} \qquad (28a)$$

Aplicando o exponencial Neperiano, temos a solução definitiva [$y_A = f(z)$]:

$$\boxed{\frac{(1-y_A)}{(1-yA_1)} = \frac{(1-yA_2)}{(1-yA_1)}^{\frac{(z-Z_1)}{(Z_2-Z_1)}}} \qquad (28a)$$

E, como $y_A + y_B = 1$, temos:

$$\left(\frac{y_B}{y_{B1}}\right) = \left(\frac{y_{B2}}{y_{B1}}\right)^{\frac{(z-Z_1)}{(Z_2-Z_1)}} \qquad (28b)$$

II.2. Cálculo da concentração média de A no meio de difusão

Vamos aplicar o conceito de média de uma função. Neste caso, a função é $y_B = f(z)$. E, considerando-se que $dV = x.y.dz$ (x e y = constantes), temos o conceito:

$$\overline{y_B} = \frac{\int_V \; y_B \, dV}{\int_V \; dV} = \frac{\int_V \; y_B \, dz}{\int_V \; dz} = \qquad (29)$$

II.2. Cálculo da concentração média de A no meio de difusão

Vamos aplicar o conceito de média de uma função. Neste caso, a função é $y_B = f(z)$. E, considerando-se que dV= x.y.dz (x e y = constantes), temos o conceito:

$$\overline{y_B} = \frac{\int_V \; y_B \, dV}{\int_V \; dV} = \frac{\int_V \; y_B \, dz}{\int_V \; dz} = \qquad (29)$$

Onde y_B sai da equação 28b:

$$y_B = y_{B1} \left(\frac{y_{B2}}{y_{B1}}\right)^{\frac{(z - Z_1)}{(Z_2 - Z_1)}} \qquad (30)$$

Então, aplicando a Eq. 30 na Eq. 29, teríamos:

$$\overline{y_B} = y_{B1}\,\frac{\int_{Z_1}^{Z_2} \left(\frac{y_{B2}}{y_{B1}}\right)^{\frac{(z-Z_1)}{(Z_2-Z_1)}} dz}{\int_{Z_1}^{Z_2} dz} \qquad (31)$$

Então, aplicando a Eq. 30 na Eq. 29, teríamos:

$$\overline{y_B} = y_{B1} \frac{\int_{Z_1}^{Z_2} \left(\frac{y_{B2}}{y_{B1}}\right)^{\frac{(z - Z_1)}{(Z_2 - Z_1)}} dz}{\int_{Z_1}^{Z_2} dz} \qquad (31)$$

Consultando "Handbooks", identificamos essa integral da Eq 31 como:

$$\int a^{bx}\, dx = \frac{1}{b} \frac{a^x}{Lna} \qquad (32)$$

Identificando a= y_{B2}/y_{B1} e b=$1/(Z_2$-$Z_1)$

Então, temos:

$$\overline{y_B} = \frac{y_{B1}}{Z_2 - Z_1}\left[\frac{\left(\frac{y_{B2}}{y_{B1}}\right)^{\frac{(Z_2 - Z_1)}{(Z_2 - Z_1)}} - \left(\frac{y_{B2}}{y_{B1}}\right)^{\frac{(Z_1 - Z_1)}{(Z_2 - Z_1)}}}{Ln\left(\frac{y_{B2}}{y_{B1}}\right)}\right](Z_2 - Z_1) \quad (33)$$

Então, temos:

$$\overline{y_B} = \frac{y_{B1}}{Z_2 - Z_1}\left[\frac{\left(\frac{y_{B2}}{y_{B1}}\right)^{\cancelto{1}{\frac{(Z_2 - Z_1)}{(Z_2 - Z_1)}}} - \left(\frac{y_{B2}}{y_{B1}}\right)^{\cancelto{0}{\frac{(Z_1 - Z_1)}{(Z_2 - Z_1)}}}}{Ln\left(\frac{y_{B2}}{y_{B1}}\right)}\right](Z_2 - Z_1) \quad (33)$$

Então, temos:

$$\overline{y_B} = \frac{y_{B1}}{Z_2 - Z_1}\left[\frac{\left(\frac{y_{B2}}{y_{B1}}\right)^{\cancelto{1}{\frac{(Z_2 - Z_1)}{(Z_2 - Z_1)}}} - \left(\frac{y_{B2}}{y_{B1}}\right)^{\cancelto{0}{\frac{(Z_1 - Z_1)}{(Z_2 - Z_1)}}}}{Ln\left(\frac{y_{B2}}{y_{B1}}\right)}\right](Z_2 - Z_1) \quad (33)$$

Que fica:

$$\overline{y_B} = \frac{y_{B1}}{(Z_2 - Z_1)}\left[\frac{\left(\frac{y_{B2}}{y_{B1}}\right) - 1}{Ln\left(\frac{y_{B2}}{y_{B1}}\right)}\right](Z_2 - Z_1) \qquad (34)$$

Então, temos:

$$\overline{y_B} = \frac{y_{B1}}{Z_2 - Z_1}\left[\frac{\left(\frac{y_{B2}}{y_{B1}}\right)^{\cancelto{1}{\frac{(Z_2 - Z_1)}{(Z_2 - Z_1)}}} - \left(\frac{y_{B2}}{y_{B1}}\right)^{\cancelto{0}{\frac{(Z_1 - Z_1)}{(Z_2 - Z_1)}}}}{Ln\left(\frac{y_{B2}}{y_{B1}}\right)}\right](Z_2 - Z_1) \quad (33)$$

Que fica:

$$\overline{y_B} = \frac{y_{B1}}{\cancel{(Z_2 - Z_1)}}\left[\frac{\left(\frac{y_{B2}}{y_{B1}}\right) - 1}{Ln\left(\frac{y_{B2}}{y_{B1}}\right)}\right]\cancel{(Z_2 - Z_1)} \qquad (34)$$

A Eq. 34 fica então:

$$\overline{y_B} = y_{B1}\left[\frac{\left(\frac{y_{B2}}{y_{B1}}-1\right)}{Ln\left(\frac{y_{B2}}{y_{B1}}\right)}\right] \qquad (35)$$

A Eq. 34 fica então:

$$\overline{y_B} = y_{B1}\left[\frac{\left(\frac{y_{B2}}{y_{B1}} - 1\right)}{Ln\left(\frac{y_{B2}}{y_{B1}}\right)}\right] = y_{B1}\left[\frac{\left(\frac{y_{B2} - y_{B1}}{y_{B1}}\right)}{Ln\left(\frac{y_{B2}}{y_{B1}}\right)}\right] \quad (35)$$

A Eq. 34 fica então:

$$\overline{y_B} = y_{B1}\left[\frac{\left(\frac{y_{B2}}{y_{B1}}-1\right)}{Ln\left(\frac{y_{B2}}{y_{B1}}\right)}\right] = \cancel{y_{B1}}\left[\frac{\left(\frac{y_{B2}-y_{B1}}{\cancel{y_{B1}}}\right)}{Ln\left(\frac{y_{B2}}{y_{B1}}\right)}\right] \quad (35)$$

A Eq. 34 fica então:

$$\overline{y_B} = y_{B1}\left[\frac{\left(\frac{y_{B2}}{y_{B1}}-1\right)}{Ln\left(\frac{y_{B2}}{y_{B1}}\right)}\right] = \cancel{y_{B1}}\left[\frac{\left(\frac{y_{B2}-y_{B1}}{\cancel{y_{B1}}}\right)}{Ln\left(\frac{y_{B2}}{y_{B1}}\right)}\right] \quad (35)$$

Portanto:

$$\boxed{\overline{y_B} = \frac{y_{B2}-y_{B1}}{Ln\left(\frac{y_{B2}}{y_{B1}}\right)}} \quad (36)$$

A Eq. 34 fica então:

$$\overline{y_B} = y_{B1}\left[\frac{\left(\frac{y_{B2}}{y_{B1}} - 1\right)}{Ln\left(\frac{y_{B2}}{y_{B1}}\right)}\right] = \cancel{y_{B1}}\left[\frac{\left(\frac{y_{B2} - y_{B1}}{\cancel{y_{B1}}}\right)}{Ln\left(\frac{y_{B2}}{y_{B1}}\right)}\right] \quad (35)$$

Portanto:

$$\boxed{\overline{y_B} = \frac{y_{B2} - y_{B1}}{Ln\left(\frac{y_{B2}}{y_{B1}}\right)}} \quad (36)$$

Que é a média logarítmica de y_B:

$$\overline{y_B} = y_{BLM}$$

A Eq. 34 fica então:

$$\overline{y_B} = y_{B1}\left[\frac{\left(\frac{y_{B2}}{y_{B1}}-1\right)}{Ln\left(\frac{y_{B2}}{y_{B1}}\right)}\right] = \cancel{y_{B1}}\left[\frac{\left(\frac{y_{B2}-y_{B1}}{\cancel{y_{B1}}}\right)}{Ln\left(\frac{y_{B2}}{y_{B1}}\right)}\right] \qquad (35)$$

Portanto:

$$\boxed{\overline{y_B} = \frac{y_{B2}-y_{B1}}{Ln\left(\frac{y_{B2}}{y_{B1}}\right)}} \qquad (36)$$

Que é a média logarítmica de y_B:

$$\rightarrow \quad \overline{y_B} = y_{BLM} \quad \text{e} \quad \overline{y_A} = 1 - y_{BLM}$$

II.3. Cálculo do fluxo de A

Retomando a equação do fluxo para este caso em particular (Eq. 13):

$$\overrightarrow{N_{A,Z}} = \frac{-CD_{AB}}{1-y_A}\frac{dy_A}{dz} = \frac{CD_{AB}}{y_B}\frac{dy_B}{dz}$$

FACULDADE DE ZOOTECNIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

II.3. Cálculo do fluxo de A

Retomando a equação do fluxo para este caso em particular (Eq. 13):

$$\overrightarrow{N_{A,Z}} = \frac{-CD_{AB}}{1-y_A}\frac{dy_A}{dz} = \frac{CD_{AB}}{y_B}\frac{dy_B}{dz}$$

Separando as variáveis:

$$\overrightarrow{N_{A,Z}} \int_{Z_1}^{Z_2} dz = CD_{AB} \int_{y_{B1}}^{y_{B2}} \frac{dy_B}{y_B} \qquad (37)$$

II.3. Cálculo do fluxo de A

Retomando a equação do fluxo para este caso em particular (Eq. 13):

$$\overrightarrow{N_{A,Z}} = \frac{-CD_{AB}}{1-y_A}\frac{dy_A}{dz} = \frac{CD_{AB}}{y_B}\frac{dy_B}{dz}$$

Separando as variáveis:

$$\overrightarrow{N_{A,Z}} \int_{Z_1}^{Z_2} dz = CD_{AB} \int_{y_{B1}}^{y_{B2}} \frac{dy_B}{y_B} \qquad (37)$$

Cuja integral é

$$\overrightarrow{N_{A,Z}} \left(Z_2 - Z_1\right) = CD_{AB}\left[Ln(y_B)\right]_{y_{B1}}^{y_{B2}} \qquad (38)$$

Portanto:

$$\overrightarrow{N_{A,Z}} = \frac{CD_{AB}}{(Z_2 - Z_1)} \; Ln\left(\frac{y_{B2}}{y_{B1}}\right) \qquad (38)$$

Portanto:

$$\overrightarrow{N_{A,Z}} = \frac{CD_{AB}}{(Z_2 - Z_1)}\ Ln(\frac{y_{B2}}{y_{B1}}) \qquad (38)$$

Veja que, diferente da TC, o fluxo não é função de um Δ.

Portanto:

$$\overrightarrow{N_{A,Z}} = \frac{CD_{AB}}{(Z_2 - Z_1)} \, Ln\left(\frac{y_{B2}}{y_{B1}}\right) \qquad (38)$$

Veja que, diferente da TC, o fluxo não é função de um Δ.

Para deixá-lo em função de um Δ, vamos lançar mão do conceito da média logarítmica (Eq. 36):

$$Ln\left(\frac{y_{B2}}{y_{B1}}\right) = \frac{y_{B2} - y_{B1}}{\overline{y_{BLM}}} = \frac{y_{A1} - y_{A2}}{\overline{y_{BLM}}} \qquad (39)$$

Portanto:

$$\overrightarrow{N_{A,Z}} = \frac{CD_{AB}}{(Z_2 - Z_1)} \; Ln(\frac{y_{B2}}{y_{B1}}) \qquad (38)$$

Veja que, diferente da TC, o fluxo não é função de um Δ.

Para deixá-lo em função de um Δ, vamos lançar mão do conceito da média logarítmica (Eq. 36):

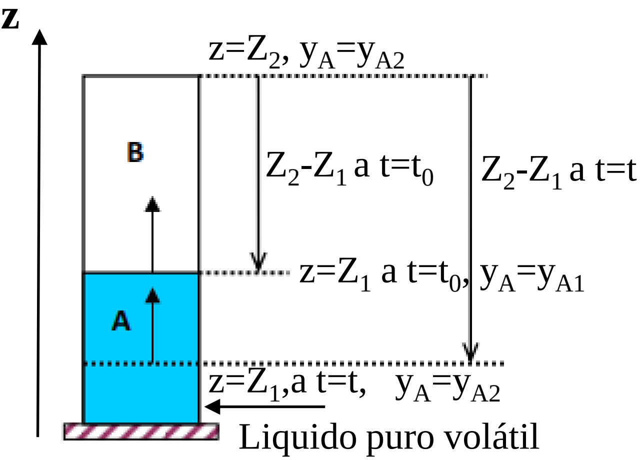
$$Ln\left(\frac{y_{B2}}{y_{B1}}\right) = \frac{y_{B2} - y_{B1}}{\overline{y_{BLM}}} = \frac{y_{A1} - y_{A2}}{\overline{y_{BLM}}} \qquad (39)$$

Portanto, a Eq. 38 fica, finalmente:

$$\boxed{\overrightarrow{N_{A,Z}} = \frac{CD_{AB}}{(Z_2 - Z_1)} \frac{(y_{A1} - y_{A2})}{\overline{y_{BLM}}}} \qquad (40)$$

II.4 Difusão pseudo-estacionária através de um gás estagnado

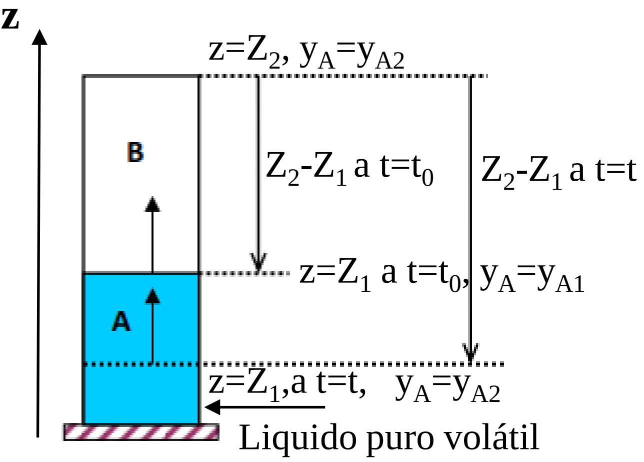
Quando o nível do líquido, que volatiza e provoca o fluxo de A para cima, diminui, o regime não é verdadeiramente permanente. Mas, pode-se ainda usar os conceitos aprendidos para os cálculos desse problema.



II.4 Difusão pseudo-estacionária através de um gás estagnado

Quando o nível do líquido, que volatiza e provoca o fluxo de A para cima, diminui, o regime não é verdadeiramente permanente. Mas, pode-se ainda usar os conceitos aprendidos para os cálculos desse problema.

Nesse caso, o interesse é calcular a difusividade de A em B, conhecendo-se a diminuição do nível do líquido, que permite o cálculo do fluxo:



$$\vec{N}_A = \frac{\rho_{AL}}{M_A}\frac{dz}{dt} \qquad (41)$$

ρ_{AL} é a densidade do líquido.

O cálculo inicial pode ser feito com a Eq. 40, igualando com a Eq. 41, eliminando-se assim, o termo em fluxo:

$$\frac{\rho_{AL}}{M_A}\frac{dz}{dt} = \frac{CD_{AB}}{Z}\frac{(y_{A1} - y_{A2})}{\overline{y_{BLM}}} \quad (42)$$

Sendo $Z = Z_2 - Z_1$

O cálculo inicial pode ser feito com a Eq. 40, igualando com a Eq. 41, eliminando-se assim, o termo em fluxo:

$$\frac{\rho_{AL}}{M_A}\frac{dz}{dt} = \frac{cD_{AB}}{Z}\frac{(y_{A1} - y_{A2})}{\overline{y_{BLM}}} \quad (42)$$

Sendo Z = $Z_2 - Z_1$

Separando as variáveis e integrando:

$$\int_0^t dt = \frac{\rho_{AL}\,\overline{y_{BLM}}}{cM_A D_{AB}(y_{A1} - y_{A2})}\int_{Z_{t0}}^{Z_t} Z\,dz \quad (43)$$

Onde $Z_t = Z_2 - Z_{1t}$ e $Z_{t0} = Z_2 - Z_{1t0}$

A solução da integral é:

$$t = \frac{\rho_{AL}\ \overline{y_{BLM}}}{cM_A D_{AB}(y_{A1} - y_{A2})}\left(\frac{Z_t^2 - Z_{t0}^2}{2}\right) \quad (44)$$

A solução da integral é:

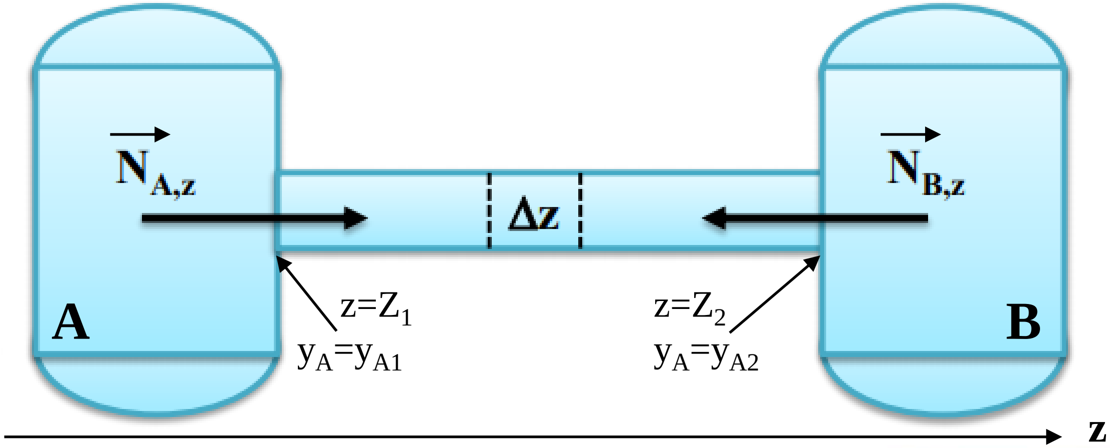
$$t = \frac{\rho_{AL}\ \overline{y_{BLM}}}{cM_A D_{AB}(y_{A1} - y_{A2})} \left(\frac{Z_t^2 - Z_{t0}^2}{2}\right) \quad (44)$$

Logo

$$\boxed{D_{AB} = \frac{\rho_{AL}\ \overline{y_{BLM}}}{c\,MA\,(y_{A1} - y_{A2})\,t} \left(\frac{Z_t^2 - Z_{t0}^2}{2}\right)} \quad (45)$$

III. Contradifusão equimolar

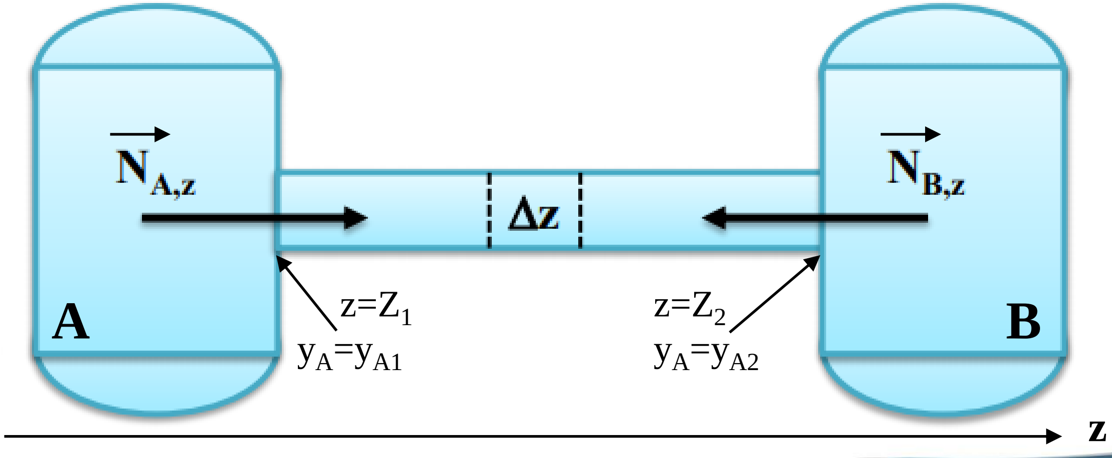
Este problema ocorre apenas em caso de difusão entre dois reservatórios contendo componentes de massas moleculares similares (Figura abaixo).



III. Contradifusão equimolar

Este problema ocorre apenas em caso de difusão entre dois reservatórios contendo componentes de massas moleculares similares (Figura abaixo).

Nesse caso, para cada mol de A que flui da esquerda para a direita, outro mol de B fluirá da direita para a esquerda. Logo, os respectivos fluxos molares serão iguais mas em direção oposta:



$$\vec{N}_{A,z} = -\vec{N}_{B,z} \quad (46)$$

III.1. Cálculo do perfil de A no capilar [C_A=f(z)]

Partindo da Equação de Fick Generalizada (Eq. 11):

$$\overrightarrow{N_{A,z}} = -D_{AB}\frac{dC_A}{dz} + y_A(\overrightarrow{N_{A,Z}} + \overrightarrow{N_{B,Z}})$$

III.1. Cálculo do perfil de A no capilar [$C_A=f(z)$]

Partindo da Equação de Fick Generalizada (Eq. 11):

$$\overrightarrow{N_{A,z}} = -D_{AB}\frac{dC_A}{dz} + y_A\cancelto{0}{(\overrightarrow{N_{A,z}} + \overrightarrow{N_{B,z}})}$$

O termo da direita é nulo porque $\vec{N}_{A,z} = -\vec{N}_{B,z}$.

III.1. Cálculo do perfil de A no capilar [C_A=f(z)]

Partindo da Equação de Fick Generalizada (Eq. 11):

$$\overrightarrow{N_{A,z}} = -D_{AB}\frac{dC_A}{dz} + y_A\cancelto{0}{(\overrightarrow{N_{A,Z}} + \overrightarrow{N_{B,Z}})}$$

O termo da direita é nulo porque $\vec{N}_{A,z} = -\vec{N}_{B,z}$.

Então

$$\overrightarrow{N_{A,z}} = -D_{AB}\frac{dC_A}{dz} \qquad (47)$$

III.1. Cálculo do perfil de A no capilar [C_A=f(z)]

Partindo da Equação de Fick Generalizada (Eq. 11):

$$\overrightarrow{N_{A,z}} = -D_{AB}\frac{dC_A}{dz} + y_A\cancelto{0}{(\overrightarrow{N_{A,Z}} + \overrightarrow{N_{B,Z}})}$$

O termo da direita é nulo porque $\vec{N}_{A,z} = -\vec{N}_{B,z}$.

Então

$$\overrightarrow{N_{A,z}} = -D_{AB}\frac{dC_A}{dz} \qquad (47)$$

Substituindo a Eq. 47 na Eq. 6:

$$\frac{d}{dz}\left(-D_{AB}\frac{dC_A}{dz}\right) = 0 \qquad (48)$$

Mas, como ($-D_{AB}$)= constante, a Eq. 48 se torna uma Laplaciana:

$$\frac{d}{dz}\left(\frac{dC_A}{dz}\right) = \frac{d^2C_A}{dz^2} = 0 \qquad (49)$$

Mas, como ($-D_{AB}$)= constante, a Eq. 48 se torna uma Laplaciana:

$$\frac{d}{dz}\left(\frac{dC_A}{dz}\right) = \frac{d^2C_A}{dz^2} = 0 \qquad (49)$$

Cuja integração é muito simples.

Mas, como $(-D_{AB})$= constante, a Eq. 48 se torna uma Laplaciana:

$$\frac{d}{dz}\left(\frac{dC_A}{dz}\right) = \frac{d^2C_A}{dz^2} = 0 \qquad (49)$$

Cuja integração é muito simples. Se a derivada externa é nula, então seu argumento é uma constante:

$$\frac{dC_A}{dz} = K_1 \qquad (50)$$

FACULDADE DE ZOOTECNIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

Mas, como ($-D_{AB}$)= constante, a Eq. 48 se torna uma Laplaciana:

$$\frac{d}{dz}\left(\frac{dC_A}{dz}\right) = \frac{d^2C_A}{dz^2} = 0 \qquad (49)$$

Cuja integração é muito simples. Se a derivada externa é nula, então seu argumento é uma constante:

$$\frac{dC_A}{dz} = K_1 \qquad (50)$$

E, a solução da segunda integral é a equação da reta:

$$C_A = K_1 z + K_2 \qquad (51)$$

Aplicando as condições de contorno (que estão ilustradas na respectiva figura):

Em $z=Z_1 \rightarrow C_A=C_{A1}$: $C_{A1} = K_1 Z_1 + K_2$

Em $z=Z_2 \rightarrow C_A=C_{A2}$: $C_{A2} = K_1 Z_2 + K_2$

Subtraindo, temos: $C_{A1} - C_{A2} = K_1 (Z_1 - Z_2)$

Aplicando as condições de contorno (que estão ilustradas na respectiva figura):

Em $z=Z_1 \rightarrow C_A=C_{A1}$: $C_{A1} = K_1 Z_1 + K_2$

Em $z=Z_2 \rightarrow C_A=C_{A2}$: $C_{A2} = K_1 Z_2 + K_2$

Subtraindo, temos: $C_{A1} - C_{A2} = K_1 (Z_1 - Z_2)$

E, portanto:

$$K_1 = \frac{(C_{A1} - C_{A2})}{(Z_1 - Z_2)} \quad (52)$$

Substituindo em C_{A1}:

$$C_{A1} = \frac{(C_{A1} - C_{A2})}{(Z_1 - Z_2)} Z_1 + K_2$$

Substituindo em C_{A1}:

$$C_{A1} = \frac{(C_{A1} - C_{A2})}{(Z_1 - Z_2)} Z_1 + K_2$$

Temos:

$$K_2 = C_{A1} - \frac{(C_{A1} - C_{A2})}{(Z_1 - Z_2)} Z_1 \quad (53)$$

Substituindo em C_{A1}:

$$C_{A1} = \frac{(C_{A1} - C_{A2})}{(Z_1 - Z_2)} Z_1 + K_2$$

Temos:

$$K_2 = C_{A1} - \frac{(C_{A1} - C_{A2})}{(Z_1 - Z_2)} Z_1 \quad (53)$$

E, substituindo na Eq. Solução (Eq. 51):

$$C_A = \frac{(C_{A1} - C_{A2})}{(Z_1 - Z_2)} z + CA_1 - \frac{(C_{A1} - C_{A2})}{(Z_1 - Z_2)} Z_1$$

E, rearranjando, fica:

$$\boxed{\frac{(C_A - C_{A1})}{(C_{A2} - C_{A1})} = \frac{(z - Z_1)}{(Z_2 - Z_1)}} \qquad (54)$$

III.2. Cálculo do fluxo de A

O fluxo de A pode ser calculado com a Eq. 47:

$$\overrightarrow{N_{A,z}} = -D_{AB}\frac{dC_A}{dz}$$

III.2. Cálculo do fluxo de A

O fluxo de A pode ser calculado com a Eq. 47:

$$\overrightarrow{N_{A,z}} = -D_{AB}\frac{dC_A}{dz}$$

Que, integrando: $\overrightarrow{N_{A,z}}\int_{Z_1}^{Z_2} dz = -D_{AB}\int_{C_{A1}}^{C_{A2}} dC_A$ (55)

III.2. Cálculo do fluxo de A

O fluxo de A pode ser calculado com a Eq. 47:

$$\overrightarrow{N_{A,z}} = -D_{AB}\frac{dC_A}{dz}$$

Que, integrando: $\overrightarrow{N_{A,z}} \int_{Z_1}^{Z_2} dz = -D_{AB} \int_{C_{A1}}^{C_{A2}} dC_A$ (55)

fica: $\overrightarrow{N_{A,z}}\,(Z_2 - Z_1) = D_{AB}\,(C_{A1} - C_{A2})$ (56)

III.2. Cálculo do fluxo de A

O fluxo de A pode ser calculado com a Eq. 47:

$$\overrightarrow{N_{A,z}} = -D_{AB}\frac{dC_A}{dz}$$

Que, integrando: $\overrightarrow{N_{A,z}}\int_{Z_1}^{Z_2} dz = -D_{AB}\int_{C_{A1}}^{C_{A2}} dC_A$ (55)

fica: $\overrightarrow{N_{A,z}}\,(Z_2 - Z_1) = D_{AB}\,(C_{A1} - C_{A2})$ (56)

E, finalmente:

$$\boxed{\overrightarrow{N_{A,z}} = D_{AB}\frac{(C_{A1} - C_{A2})}{(Z_2 - Z_1)}} \qquad (57)$$

III.2. Cálculo do fluxo de A

O fluxo de A pode ser calculado com a Eq. 47:

$$\overrightarrow{N_{A,z}} = -D_{AB}\frac{dC_A}{dz}$$

Que, integrando: $\overrightarrow{N_{A,z}}\int_{Z_1}^{Z_2} dz = -D_{AB}\int_{C_{A1}}^{C_{A2}} dC_A$ (55)

fica: $\overrightarrow{N_{A,z}}\,(Z_2 - Z_1) = D_{AB}\,(C_{A1} - C_{A2})$ (56)

E, finalmente:

$$\boxed{\overrightarrow{N_{A,z}} = D_{AB}\,\frac{(C_{A1} - C_{A2})}{(Z_2 - Z_1)} = \frac{D_{AB}}{L}\,(C_{A1} - C_{A2})} \quad (57)$$

III.3. Demonstrando que, neste caso, $D_{AB} = D_{BA}$

Sabemos que $\vec{N}_{A,z} = -\vec{N}_{B,z}$, e, que

$$\overrightarrow{N_{A,z}} = -D_{AB}\frac{dC_A}{dz} \quad \text{e} \quad \overrightarrow{N_{B,z}} = -D_{BA}\frac{dC_B}{dz}$$

III.3. Demonstrando que, neste caso, $D_{AB} = D_{BA}$

Sabemos que $\vec{N}_{A,z} = -\,\vec{N}_{B,z}$, e, que

$$\overrightarrow{N_{A,z}} = -D_{AB}\frac{dC_A}{dz} \qquad \text{e} \qquad \overrightarrow{N_{B,z}} = -D_{BA}\frac{dC_B}{dz}$$

Igualando-se essas duas equações, fica:

$$-D_{AB}\frac{dC_A}{dz} = D_{BA}\frac{dC_B}{dz} \qquad (58)$$

III.3. Demonstrando que, neste caso, $D_{AB} = D_{BA}$

Sabemos que $\vec{N}_{A,z} = -\vec{N}_{B,z}$, e, que

$$\overrightarrow{N_{A,z}} = -D_{AB}\frac{dC_A}{dz} \quad \text{e} \quad \overrightarrow{N_{B,z}} = -D_{BA}\frac{dC_B}{dz}$$

Igualando-se essas duas equações, fica:

$$-D_{AB}\frac{dC_A}{dz} = D_{BA}\frac{dC_B}{dz} \qquad (58)$$

Agora, sabendo que $C = C_A + C_B$:

$$\frac{dC_A}{dz} + \frac{dC_B}{dz} = \frac{dC}{dz} \qquad (59)$$

III.3. Demonstrando que, neste caso, $D_{AB} = D_{BA}$

Sabemos que $\vec{N}_{A,z} = -\vec{N}_{B,z}$, e, que

$$\overrightarrow{N_{A,z}} = -D_{AB}\frac{dC_A}{dz} \quad \text{e} \quad \overrightarrow{N_{B,z}} = -D_{BA}\frac{dC_B}{dz}$$

Igualando-se essas duas equações, fica:

$$-D_{AB}\frac{dC_A}{dz} = D_{BA}\frac{dC_B}{dz} \qquad (58)$$

Agora, sabendo que $C = C_A + C_B$:

$$\frac{dC_A}{dz} + \frac{dC_B}{dz} = \cancelto{0}{\frac{dC}{dz}} \qquad (59)$$

Portanto:

$$- \frac{dC_A}{dz} = \frac{dC_B}{dz} \qquad (60)$$

Portanto:

$$-\frac{dC_A}{dz} = \frac{dC_B}{dz} \quad (60)$$

E, substituindo a Eq. 60 na Eq. 58, temos:

$$-D_{AB}\frac{dC_A}{dz} = -D_{BA}\frac{dC_A}{dz} \qquad (61)$$

Portanto:

$$-\frac{dC_A}{dz} = \frac{dC_B}{dz} \qquad (60)$$

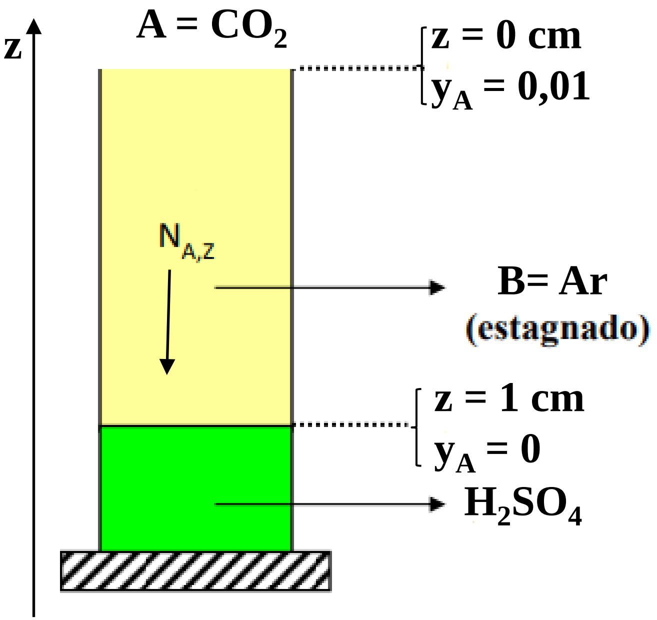
E, substituindo a Eq. 60 na Eq. 58, temos:

$$\cancel{-}D_{AB}\cancel{\frac{dC_A}{dz}} = \cancel{-}D_{BA}\cancel{\frac{dC_A}{dz}} \qquad (61)$$

Portanto, $\boxed{D_{AB} = D_{BA}}$ cqd

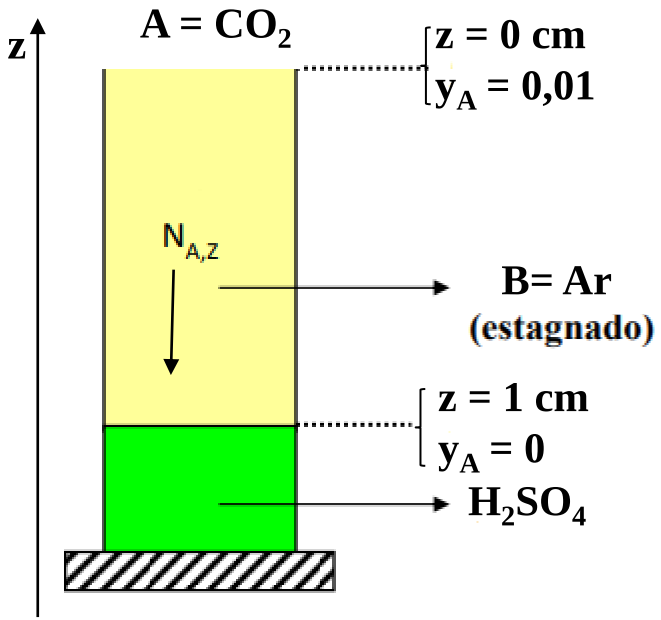
IV. Exercícios

Exemplo 4.1 do Livro texto: Obtenha a distribuição da fração molar do dióxido de carbono que difunde em uma película estagnada de ar de 1 cm de profundidade a 1 atm e 25°C. Essa película está num capilar, o qual contém ácido sulfúrico. O dióxido de carbono é adsorvido instantaneamente no ácido. A concentração de dióxido de carbono na boca do capilar é 1% em mol.



IV. Exercícios

Exemplo 4.1 do Livro texto: Obtenha a distribuição da fração molar do dióxido de carbono que difunde em uma película estagnada de ar de 1 cm de profundidade a 1 atm e 25°C. Essa película está num capilar, o qual contém ácido sulfúrico. O dióxido de carbono é adsorvido instantaneamente no ácido. A concentração de dióxido de carbono na boca do capilar é 1% em mol.



Quem se lembrar da Eq. 28, começa usando ela. Caso contrário, será necessário desenvolvê-la:

$$\frac{(1-y_A)}{(1-yA_1)} = \left(\frac{(1-yA_2)}{(1-yA_1)}\right)^{\frac{(z-Z_1)}{(Z_2-Z_1)}}$$

Que rearranjada, fica:

$$y_A = 1 - (1 - yA_1)\left(\frac{(1 - yA_2)}{(1 - yA_1)}\right)^{\frac{(z - Z_1)}{(Z_2 - Z_1)}} \quad (62)$$

Que rearranjada, fica:

$$y_A = 1 - (1 - yA_1)\left(\frac{(1 - yA_2)}{(1 - yA_1)}\right)^{\frac{(z - Z_1)}{(Z_2 - Z_1)}} \quad (62)$$

Aplicando as condições de contorno, fica:

$$y_A = 1 - (1 - 0{,}01)\left(\frac{(1 - 0)}{(1 - 0{,}01)}\right)^{\frac{(z - 0)}{(1)}} \quad (63)$$

Que rearranjada, fica:

$$y_A = 1 - (1 - yA_1)\left(\frac{(1 - yA_2)}{(1 - yA_1)}\right)^{\frac{(z - Z_1)}{(Z_2 - Z_1)}} \qquad (62)$$

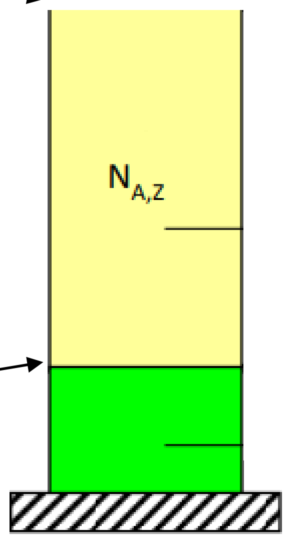
Aplicando as condições de contorno, fica:

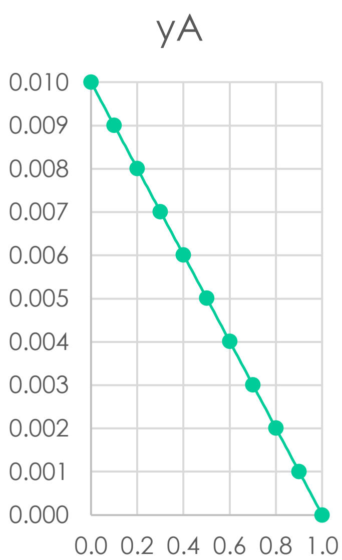
$$y_A = 1 - (1 - 0{,}01)\left(\frac{(1 - 0)}{(1 - 0{,}01)}\right)^{\frac{(z - 0)}{(1)}} \qquad (63)$$

Ou seja,

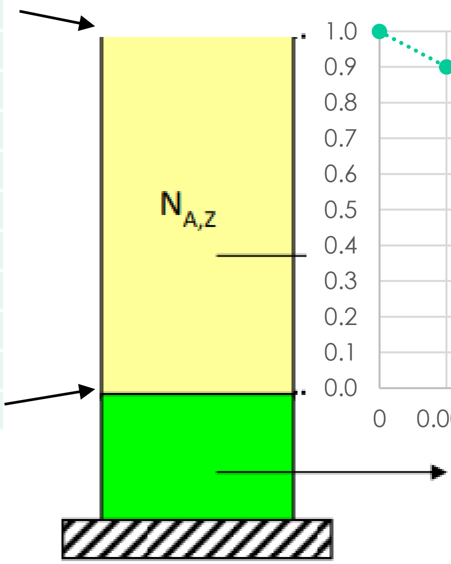
$$\boxed{y_A = 1 - (0{,}99)\left\{\frac{(1)}{(0{,}99)}\right\}^{z}}$$

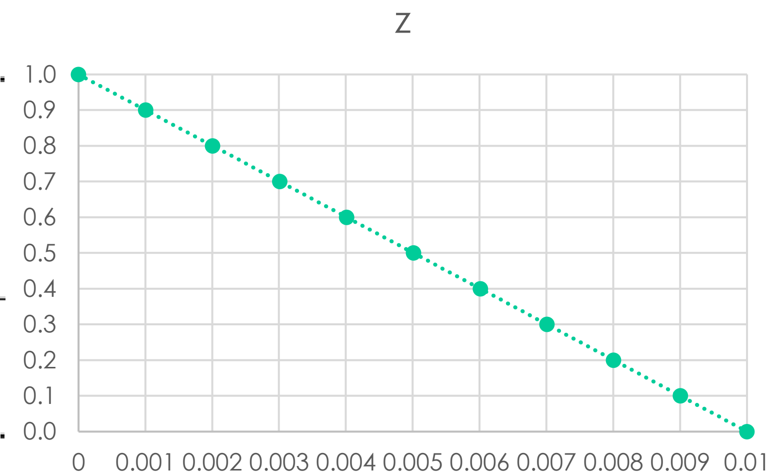
Z (cm)	y_A
0,0	0,010
0,1	0,009
0,2	0,008
0,3	0,007
0,4	0,006
0,5	0,005
0,6	0,004
0,7	0,003
0,8	0,002
0,9	0,001
1,0	0,000



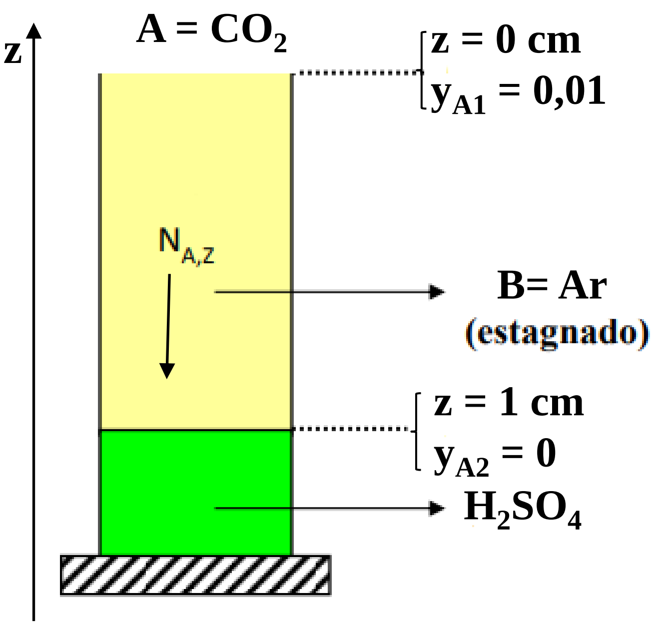


Z (cm)	y_A
0,0	0,010
0,1	0,009
0,2	0,008
0,3	0,007
0,4	0,006
0,5	0,005
0,6	0,004
0,7	0,003
0,8	0,002
0,9	0,001
1,0	0,000





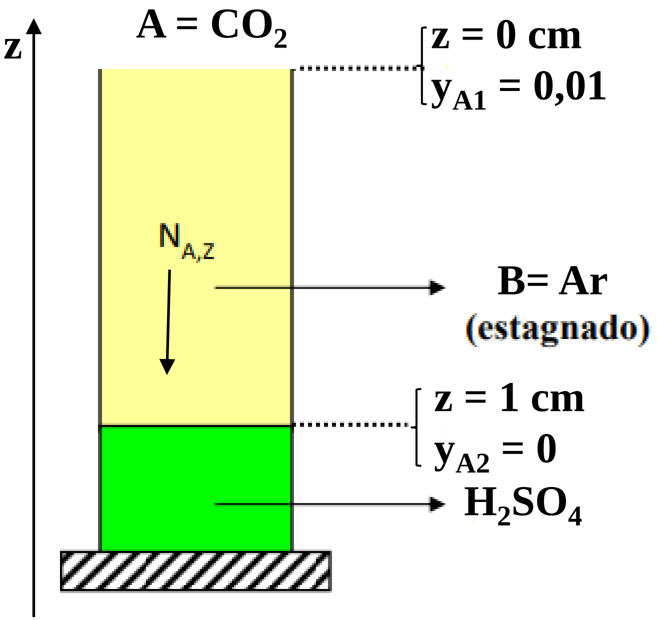
Exemplo 4.2: Calcule a concentração média e o fluxo do dióxido de carbono adsorvido no ácido, referente ao exercício 4.1.



Exemplo 4.2: Calcule a concentração média e o fluxo do dióxido de carbono adsorvido no ácido, referente ao exercício 4.1.

Recordando: $y_{ALM} = 1 - y_{BLM}$, logo, vamos calcular y_{BLM} (Eq. 36):

$$y_{BLM} = \frac{y_{B2} - y_{B1}}{Ln\left(\frac{y_{B2}}{y_{B1}}\right)}$$



Exemplo 4.2: Calcule a concentração média e o fluxo do dióxido de carbono adsorvido no ácido, referente ao exercício 4.1.

Recordando: $y_{ALM} = 1 - y_{BLM}$, logo, vamos calcular y_{BLM} (Eq. 36):

$$y_{BLM} = \frac{y_{B2} - y_{B1}}{Ln\left(\frac{y_{B2}}{y_{B1}}\right)}$$

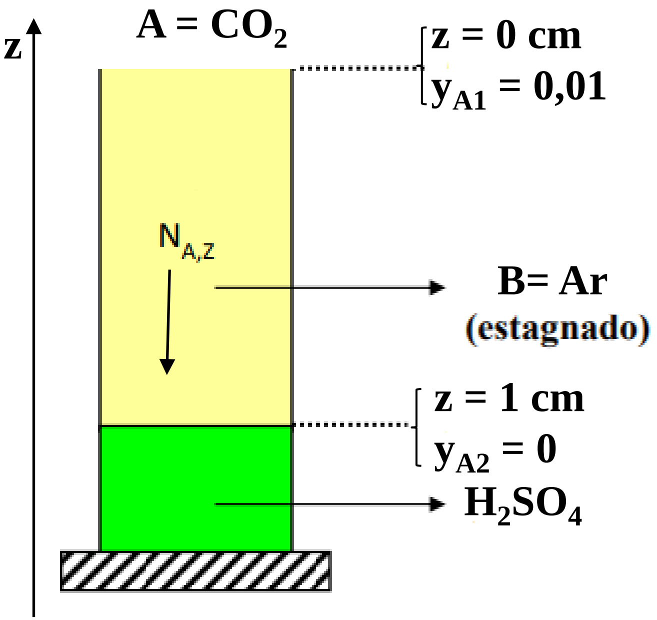
Com

$y_{B1} = 1 - y_{A1} = 1 - 0{,}01 = 0{,}99$

$y_{B2} = 1 - y_{A2} = 1 - 0 = 1$

Portanto

$$y_{BLM} = \frac{1 - 0{,}99}{Ln\left(\frac{1}{0{,}99}\right)} =$$



Exemplo 4.2: Calcule a concentração média e o fluxo do dióxido de carbono adsorvido no ácido, referente ao exercício 4.1.

Recordando: $y_{ALM} = 1 - y_{BLM}$, logo, vamos calcular y_{BLM} (Eq. 36):

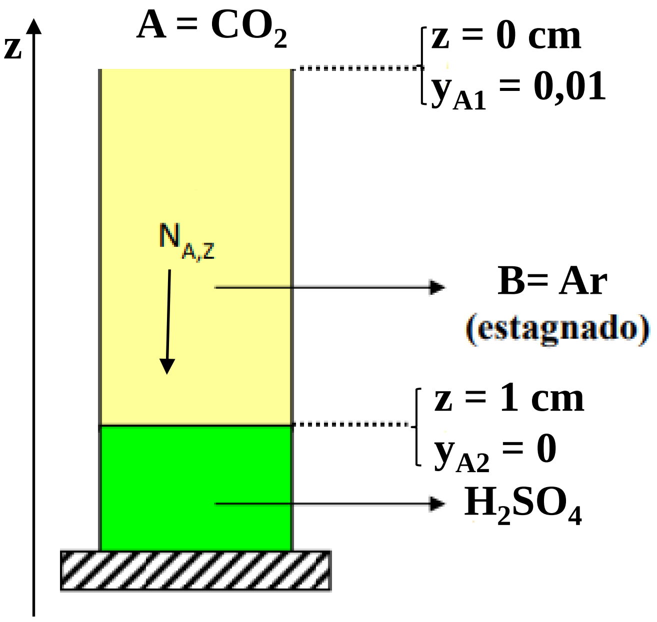
$$y_{BLM} = \frac{y_{B2} - y_{B1}}{Ln\left(\frac{y_{B2}}{y_{B1}}\right)}$$

Com

$y_{B1} = 1 - y_{A1} = 1 - 0{,}01 = 0{,}99$

$y_{B2} = 1 - y_{A2} = 1 - 0 = 1$

Portanto



$$y_{BLM} = \frac{1 - 0{,}99}{Ln\left(\frac{1}{0{,}99}\right)} = 0{,}995$$

Logo, $y_{ALM} = 1 - y_{BLM} \rightarrow y_{ALM} = 1 - 0,995 = 0,005$

Agora, é necessário calcular C_A, com a equação dos gases ideais:

$$PV = nRT \rightarrow n/V = C = P/RT$$

$$\text{e, } C_A = y_A\, C$$

Logo, $y_{ALM} = 1 - y_{BLM} \rightarrow y_{ALM} = 1 - 0{,}995 = 0{,}005$

Agora, é necessário calcular C_A, com a equação dos gases ideais:

$$PV = nRT \rightarrow n/V = C = P/RT$$

$$\text{e, } C_A = y_A\, C$$

Dados: P = 1 atm, T= 25ºC = 298,15K, e R=82,05 atm. cm^3/K.mol.

Então, temos:

$$C_A = 0{,}005.\ 1(\text{atm})/[82{,}05\ (\text{atm. } cm^3/\text{K.mol}).298{,}15\text{K}]$$

Logo, $y_{ALM} = 1 - y_{BLM} \rightarrow y_{ALM} = 1 - 0{,}995 = 0{,}005$

Agora, é necessário calcular C_A, com a equação dos gases ideais:

$$PV = nRT \rightarrow n/V = C = P/RT$$

$$\text{e, } C_A = y_A\, C$$

Dados: P = 1 atm, T= 25ºC = 298,15K, e R=82,05 atm. cm^3/K.mol.

Então, temos:

$$C_A = 0{,}005.\ 1(\cancel{atm})/[82{,}05\ (\cancel{atm}.\ cm^3/K.mol).298{,}15K]$$

Logo, $y_{ALM} = 1 - y_{BLM} \rightarrow y_{ALM} = 1 - 0{,}995 = 0{,}005$

Agora, é necessário calcular C_A, com a equação dos gases ideais:

$$PV = nRT \rightarrow n/V = C = P/RT$$

$$\text{e, } C_A = y_A\, C$$

Dados: $P = 1$ atm, $T = 25°C = 298{,}15K$, e $R = 82{,}05$ atm. $cm^3/K.mol$.

Então, temos:

$$C_A = 0{,}005.\ 1(\cancel{atm})/[82{,}05\ (\cancel{atm}.\ cm^3/\cancel{K}.mol).298{,}15\cancel{K}]$$

Logo, $y_{ALM} = 1 - y_{BLM} \rightarrow y_{ALM} = 1 - 0{,}995 = 0{,}005$

Agora, é necessário calcular C_A, com a equação dos gases ideais:

$$PV = nRT \rightarrow n/V = C = P/RT$$

$$\text{e, } C_A = y_A\, C$$

Dados: P = 1 atm, T= 25ºC = 298,15K, e R=82,05 atm. cm^3/K.mol.

Então, temos:

$$C_A = 0{,}005.\ 1(\cancel{atm})/[82{,}05\ (\cancel{atm}.\ cm^3/\cancel{K}.mol).298{,}15\cancel{K}]$$

Logo, $\overline{C_A} =$

Logo, $y_{ALM} = 1 - y_{BLM} \rightarrow y_{ALM} = 1 - 0{,}995 = 0{,}005$

Agora, é necessário calcular C_A, com a equação dos gases ideais:

$$PV = nRT \rightarrow n/V = C = P/RT$$

$$\text{e, } C_A = y_A\, C$$

Dados: P = 1 atm, T= 25ºC = 298,15K, e R=82,05 atm. cm^3/K.mol.

Então, temos:

$$C_A = 0{,}005.\ 1(\cancel{atm})/[82{,}05\ (\cancel{atm}.\ cm^3/\cancel{K}.mol).298{,}15\cancel{K}]$$

Logo, $\boxed{\overline{C_A} = 2{,}05\text{x}10^{-7}\ mol/cm^3}$

Agora, vamos calcular o fluxo de CO_2. Para isso, tomamos a Eq. 40, por exemplo:

$$\overrightarrow{N_{A,Z}} = \frac{CD_{AB}}{(Z_2 - Z_1)} \frac{(y_{A1} - y_{A2})}{\overline{y_{BLM}}}$$

Além dos dados já conhecidos, temos D_{AB} = 0,159 cm^2/s.

Agora, vamos calcular o fluxo de CO_2. Para isso, tomamos a Eq. 40, por exemplo:

$$\overrightarrow{N_{A,Z}} = \frac{CD_{AB}}{(Z_2 - Z_1)} \frac{(y_{A1} - y_{A2})}{\overline{y_{BLM}}}$$

Além dos dados já conhecidos, temos D_{AB} = 0,159 cm^2/s.

Então, fazemos:

$$\overrightarrow{N_{A,Z}} = \frac{\left(\frac{2{,}05x10-7\ mol/cm^3}{0{,}005}\right) 0{,}159\ cm^2/s}{1\ cm} \frac{(0{,}01-0)}{0{,}995}$$

$$\overrightarrow{N_{A,Z}} =$$

Agora, vamos calcular o fluxo de CO_2. Para isso, tomamos a Eq. 40, por exemplo:

$$\overrightarrow{N_{A,Z}} = \frac{C D_{AB}}{(Z_2 - Z_1)} \frac{(y_{A1} - y_{A2})}{\overline{y_{BLM}}}$$

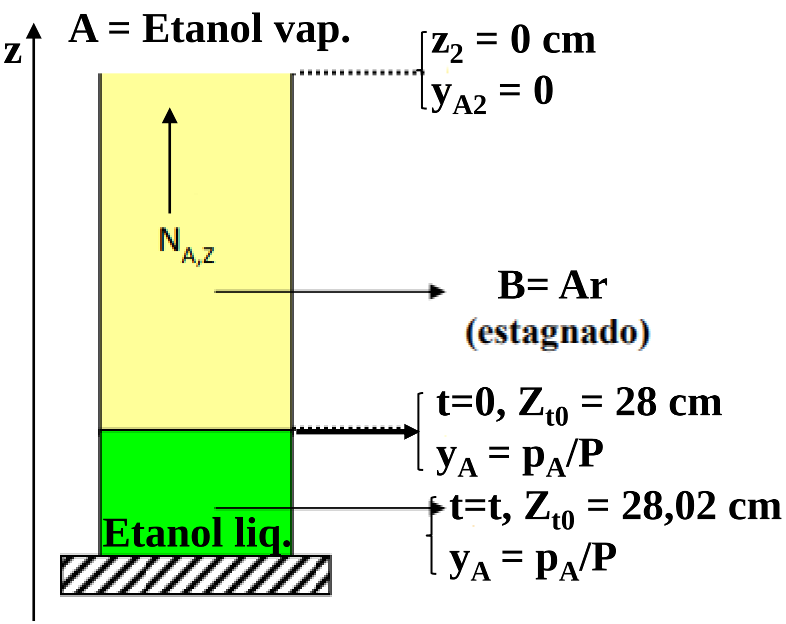
Além dos dados já conhecidos, temos D_{AB} = 0,159 cm²/s.

Então, fazemos:

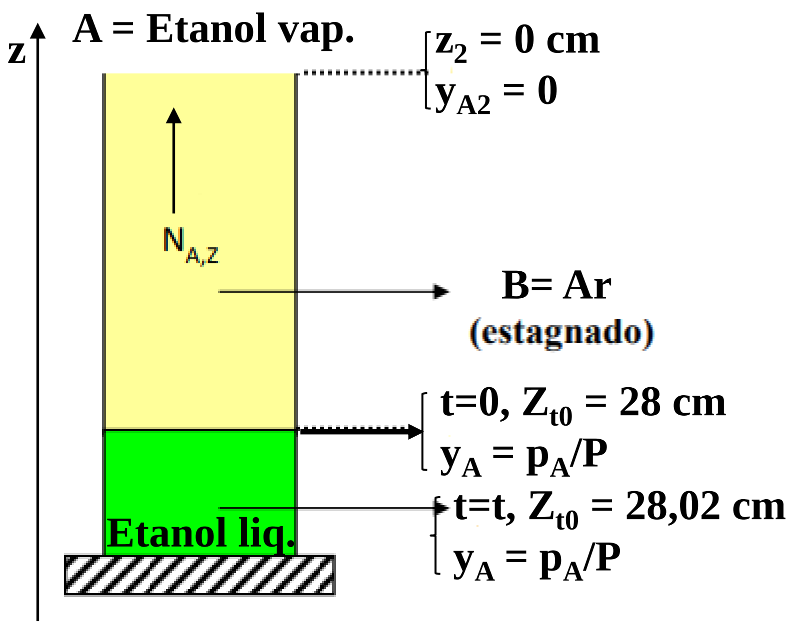
$$\overrightarrow{N_{A,Z}} = \frac{\left(\frac{2{,}05\text{x}10{-}7\ \text{mol/cm}^3}{0{,}005}\right) 0{,}159\ cm^2/s}{1\ cm} \frac{(0{,}01 - 0)}{0{,}995}$$

$$\boxed{\overrightarrow{N_{A,Z}} = 6{,}54\text{x}10^{-8}\ \text{moles/cm}^2\text{.s}}$$

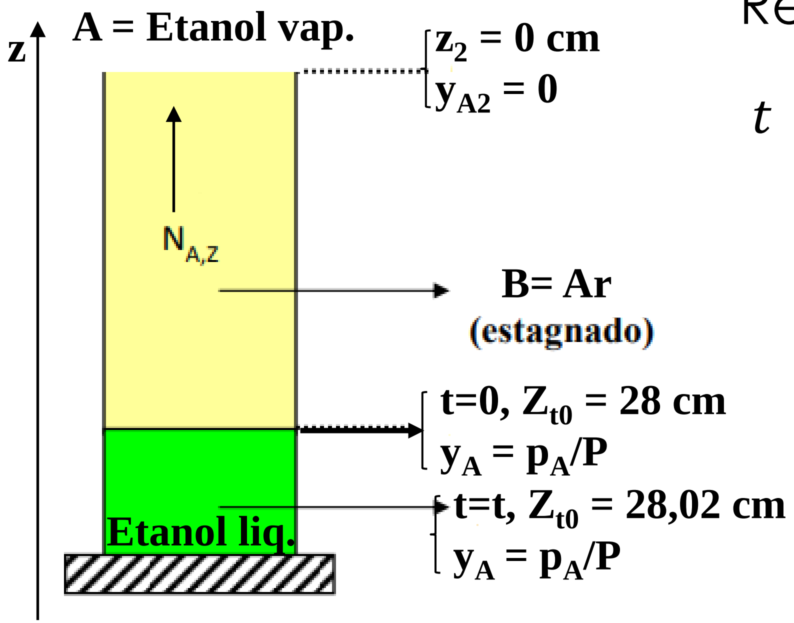
Exemplo 4.4: Um tubo de 30 cm de altura contem 2 cm de etanol (A). Calcule o tempo para que o nível do etanol decresça em 0,02 cm, considerando que o tubo contenha ar (B) estagnado, a (P) 1 atm e 25°C. Suponha que o vapor do etanol é totalmente arrastado no topo do tubo.



Exemplo 4.4: Um tubo de 30 cm de altura contem 2 cm de etanol (A). Calcule o tempo para que o nível do etanol decresça em 0,02 cm, considerando que o tubo contenha ar (B) estagnado, a (P) 1 atm e 25°C. Suponha que o vapor do etanol é totalmente arrastado no topo do tubo. Dados: ρ_{AL}= 0,787 g/cm^3; pressão de vapor do etanol (p_A)= 160,75 mmHg; M_A= 46,069 g/mol; D_{AB}= 0,132 cm^2/s.



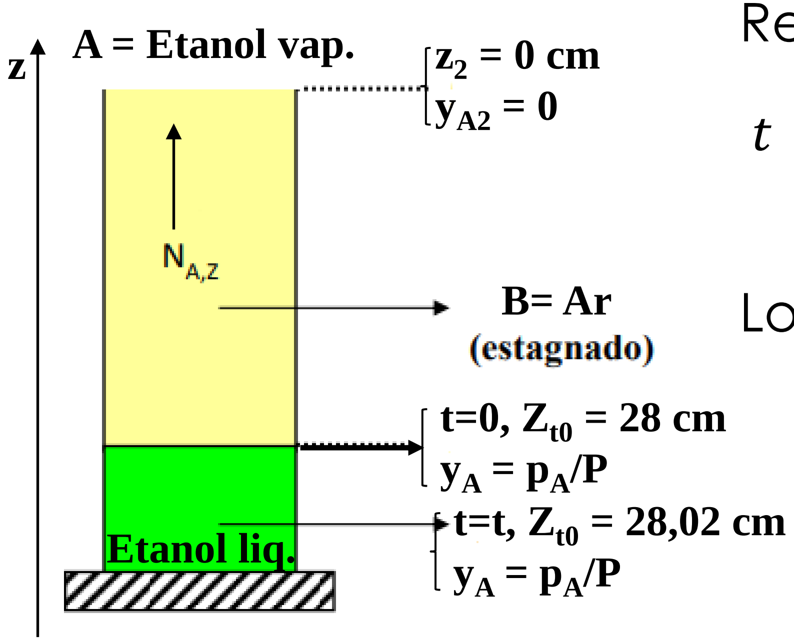
Exemplo 4.4: Um tubo de 30 cm de altura contem 2 cm de etanol (A). Calcule o tempo para que o nível do etanol decresça em 0,02 cm, considerando que o tubo contenha ar (B) estagnado, a (P) 1 atm e 25°C. Suponha que o vapor do etanol é totalmente arrastado no topo do tubo. Dados: ρ_{AL}= 0,787 g/cm^3; pressão de vapor do etanol (p_A)= 160,75 mmHg; M_A= 46,069 g/mol; D_{AB}= 0,132 cm^2/s.



Retomando a Eq. 44:

$$t = \frac{\rho_{AL}\,\overline{y_{BLM}}}{c M_A D_{AB}(y_{A1} - y_{A2})}\left(\frac{Z_t^2 - Z_{t0}^2}{2}\right)$$

Exemplo 4.4: Um tubo de 30 cm de altura contem 2 cm de etanol (A). Calcule o tempo para que o nível do etanol decresça em 0,02 cm, considerando que o tubo contenha ar (B) estagnado, a (P) 1 atm e 25°C. Suponha que o vapor do etanol é totalmente arrastado no topo do tubo. Dados: ρ_{AL}= 0,787 g/cm^3; pressão de vapor do etanol (p_A)= 160,75 mmHg; M_A= 46,069 g/mol; D_{AB}= 0,132 cm^2/s.



Retomando a Eq. 44:

$$t = \frac{\rho_{AL}\ \overline{y_{BLM}}}{c M_A D_{AB}(y_{A1} - y_{A2})}\left(\frac{Z_t^2 - Z_{t0}^2}{2}\right)$$

Logo, temos que calcular y_{BLM}

y_{B2}= 1 – y_{A2} = 1 – 0 = 1

y_{B1}= 1–y_{A1}= 1–160,75/760=1-0,2115

y_{B1}= 0,7885

Então:

$$y_{BLM} = \frac{1 - 0{,}7885}{Ln\left(\dfrac{1}{0{,}7885}\right)} = 0{,}89$$

Então:

$$y_{BLM} = \frac{1 - 0{,}7885}{Ln\left(\frac{1}{0{,}7885}\right)} = 0{,}89$$

E, calcular C= P/RT:

$$C = 1\cancel{atm}/[82{,}05(\cancel{atm}.\ cm^3/\cancel{K}.mol).298{,}15(\cancel{K})] =$$

Então:

$$y_{BLM} = \frac{1 - 0,7885}{Ln\left(\frac{1}{0,7885}\right)} = 0,89$$

E, calcular C= P/RT:

$$C = 1\cancel{atm}/[82,05(\cancel{atm}.\ cm^3/\cancel{K}.mol).298,15(\cancel{K})] = 4,088x10^{-7}\ mol/cm^3.$$

Então:

$$y_{BLM} = \frac{1 - 0{,}7885}{Ln\left(\frac{1}{0{,}7885}\right)} = 0{,}89$$

E, calcular C= P/RT:

$C = 1\cancel{atm}/[82{,}05(\cancel{atm}.\ cm^3/\cancel{K}.mol).298{,}15(\cancel{K})] = 4{,}088x10^{-7}\ mol/cm^3.$

Então, teremos:

$$t = \frac{0{,}787\ x\ 0{,}89}{4{,}088\ x\ 10{-}7\ x\ 46{,}069\ x\ 0{,}132\ (0{,}2115 - 0)}\left(\frac{28{,}02^2 - 28^2}{2}\right)$$

Então:

$$y_{BLM} = \frac{1 - 0,7885}{Ln\left(\frac{1}{0,7885}\right)} = 0,89$$

E, calcular C= P/RT:

$$C = 1\cancel{atm}/[82,05(\cancel{atm}.\ cm^3/\cancel{K}.mol).298,15(\cancel{K})] = 4,088x10^{-7}\ mol/cm^3.$$

Então, teremos:

$$t = \frac{0,787 \text{ x } 0,89}{4,088 \text{ x } 10{-}7 \text{ x } 46,069 \text{ x } 0,132\ (0,2115 - 0)}\left(\frac{28,02^2 - 28^2}{2}\right)$$

$$t =$$

Então:

$$y_{BLM} = \frac{1 - 0{,}7885}{Ln\left(\frac{1}{0{,}7885}\right)} = 0{,}89$$

E, calcular C= P/RT:

C = 1~~atm~~/[82,05(~~atm~~. cm^3/~~K~~.mol).298,15(~~K~~)] = 4,088x10^{-7} mol/cm^3.

Então, teremos:

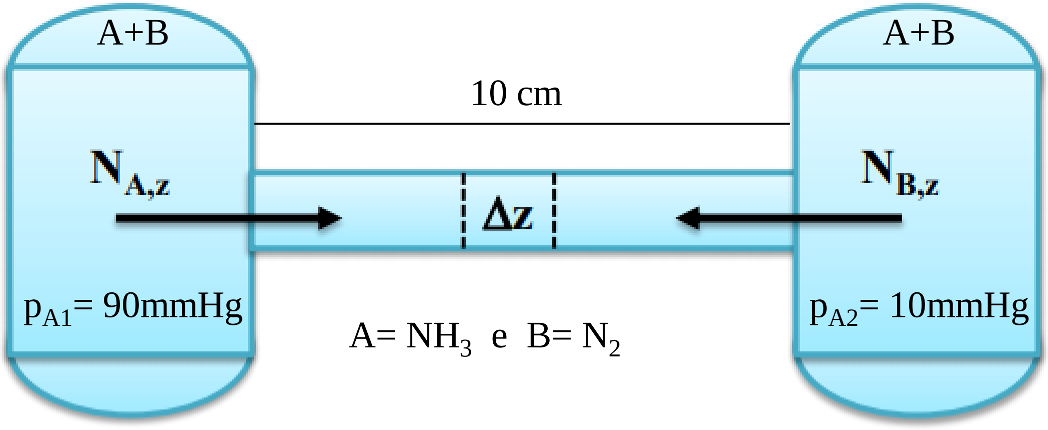
$$t = \frac{0{,}787 \text{ x } 0{,}89}{4{,}088 \text{ x } 10{-}7 \text{ x } 46{,}069 \text{ x } 0{,}132\ (0{,}2115 - 0)} \left(\frac{28{,}02^2 - 28^2}{2}\right)$$

$$\boxed{t = 7462{,}8 \text{ s } (\sim 2\text{h})}$$

Exemplo 4.6: Calcule o fluxo molar da amônia (A) gasosa, sabendo que ela difunde em um capilar de 10 cm de comprimento que une dois reservatórios (figura) contendo nitrogênio (B), a 25°C e 1 atm. A pressão parcial da amônia em um dos reservatórios é (p_{A1}) 90 mmHg e no outro, (p_{A2}) 10 mmHg. Dados: D_{AB}= 0,249 cm^2/s.

Considerando que ocorrerá difusão equimolar, o fluxo poderá ser calculado com a Eq. 47:

$$\overrightarrow{N_{A,z}} = \frac{D_{AB}}{L}(C_{A1} - C_{A2})$$



Sabendo-se que $C_{A1} = p_{A1}/RT$ e $C_{A2} = p_{A2}/RT$, a equação fica:

$$\overrightarrow{N_{A,z}} = \frac{D_{AB}}{R\,T\,L}\,(pA_1 - p_{A2}) \qquad (64)$$

Sabendo-se que $C_{A1} = p_{A1}/RT$ e $C_{A2} = p_{A2}/RT$, a equação fica:

$$\overrightarrow{N_{A,z}} = \frac{D_{AB}}{R\,T\,L}\left(pA_1 - pA_2\right) \qquad (64)$$

Então, é só substituir os valores:

$$\overrightarrow{N_{A,z}} = \frac{0{,}249\ \cancel{cm^2}/s}{82{,}05(\cancel{atm}.\ \cancel{cm^3}/\cancel{K}.mol)\ .\ 298{,}15\ \cancel{K}\ .\ 10\ cm}\left(\frac{90}{760} - \frac{10}{760}\right)\cancel{atm}$$

Sabendo-se que C_{A1}= p_{A1}/RT e C_{A2}= p_{A2}/RT, a equação fica:

$$\overrightarrow{N_{A,z}} = \frac{D_{AB}}{R\,T\,L}(pA_1 - pA_2) \quad (64)$$

Então, é só substituir os valores:

$$\overrightarrow{N_{A,z}} = \frac{0{,}249\ \cancel{cm^2}/s}{82{,}05(\cancel{atm}.\ \cancel{cm^3}/\cancel{K}.mol)\ .\ 298{,}15\ \cancel{K}\ .\ 10\ cm}\left(\frac{90}{760} - \frac{10}{760}\right)\cancel{atm}$$

E, $\overrightarrow{N_{A,z}} =$

Sabendo-se que $C_{A1} = p_{A1}/RT$ e $C_{A2} = p_{A2}/RT$, a equação fica:

$$\overrightarrow{N_{A,z}} = \frac{D_{AB}}{R\,T\,L}\left(pA_1 - pA_2\right) \qquad (64)$$

Então, é só substituir os valores:

$$\overrightarrow{N_{A,z}} = \frac{0{,}249\ \cancel{cm^2}/s}{82{,}05(\cancel{atm}.\ \cancel{cm^3}/\cancel{K}.mol)\ .\ 298{,}15\ \cancel{K}\ .\ 10\ cm}\left(\frac{90}{760} - \frac{10}{760}\right)\cancel{atm}$$

E,

$$\boxed{\overrightarrow{N_{A,z}} = 1{,}07x10^{-7}\ mol/cm^2.s}$$

Boa semana e se cuidem!