ENGENHARIA QUÍMICA
Universidade Federal de Goiás

Transferência de Massa por Convecção: Considerações Fundamentais

Professor Dyrney Araújo dos Santos
Universidade Federal de Goiás
Curso de Engenharia Química
Disciplina: Fenômenos de Transporte 3
site: www.dyrney.com

Prof. Dyrney Araújo dos Santos

Professor Dyrney Araújo dos Santos
Universidade Federal de Goiás
Engenharia Química
site: www.dyrney.com

4 . Transferência de Massa por Convecção

4.1 Equação do Fluxo Convectivo de Massa

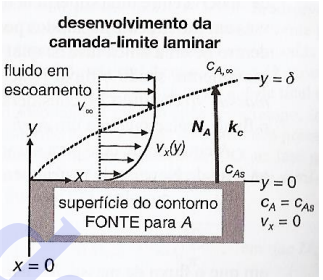
A equação do fluxo para a transferência de massa por convecção é dada de maneira análoga à "Lei de Resfriamento de Newton", sendo:

$$N_A = k_c \Delta C_A$$

Os coeficientes de transferência de massa são classificados em: Coeficientes Individuais e Coeficientes Globais, como explicitado abaixo

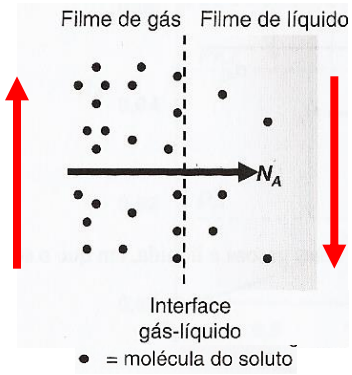
- **Coeficiente Convectivo Individual: relativo à transferência de massa dentro de uma única fase na qual a massa é trocada entre uma superfície de contorno e um fluido em movimento.**

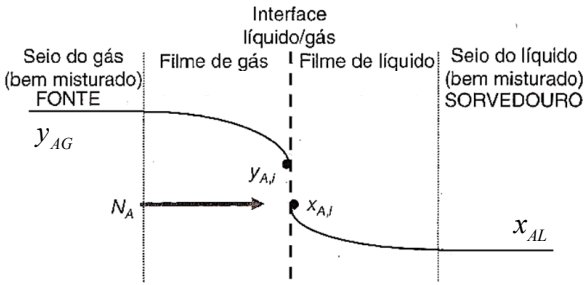
$$N_A = k_C \left(C_{A,s} - C_{A,\infty} \right)$$



Fonte: Welty et al. (2017)

- **Coeficiente Convectivo Global: relativo à transferência de massa entre duas fases em contanto.**





$y_{A,i}$ e $x_{A,i}$ são as concentrações em condições de equilíbrio

Fonte: Welty et al. (2017)

Coeficiente Convectivo Global: $N_A = K\left(y_{AG} - x_{AL}\right)$

ou

Coeficientes Individuais:

$$\begin{cases} N_A = k_y \left(y_{AG} - y_{Ai}\right) \\ N_A = k_x \left(x_{A,i} - x_{AL}\right) \end{cases}$$

Prof. Dyrney Araújo dos Santos

Professor Dyrney Araújo dos Santos
Universidade Federal de Goiás
Engenharia Química
site: www.dyrney.com

4 . Transferência de Massa por Convecção

4.2 Tipos de Coeficientes Individuais de Transferência de Massa

Comentário: **Ao contrário do caso da troca térmica convectiva, onde existe apenas um coeficiente, no caso da transferência de massa podem existir diversos, dependendo da forma utilizada para se quantificar a concentração. Seguem alguns tipos:**

Fase – Gás

Força Motriz	Equação de Fluxo	Unidades de k
Pressão Parcial (P_A)	$N_A = k_P\left(P_{A,s} - P_{A,\infty}\right)$	$kgmol/(m^2.s.atm)$
Concentração Molar (C_A) ou Mássica (ρ_A)	$N_A = k_C\left(C_{A,s} - C_{A,\infty}\right)$ **ou** $n_A = k_C\left(\rho_{A,s} - \rho_{A,\infty}\right)$	m/s
Fração Molar (y_A) ou Mássica (w_A)	$N_A = k_y\left(y_{A,s} - y_{A,\infty}\right)$ **ou** $n_A = k_y\left(w_{A,\text{gas},s} - w_{A,\text{gas},\infty}\right)$	$kgmol/(m^2.s)$ **ou** $kg/(m^2.s)$

Fase – Líquido

Força Motriz	Equação de Fluxo	Unidades de k
Concentração Molar (C_A) ou Mássica (ρ_A)	$N_A = k_L\left(C_{A,s} - C_{A,\infty}\right)$ **ou** $n_A = k_L\left(\rho_{A,s} - \rho_{A,\infty}\right)$	m/s
Fração Molar (x_A) ou Mássica (w_A)	$N_A = k_x\left(x_{A,s} - x_{A,\infty}\right)$ **ou** $n_A = k_x\left(w_{A,\text{liq},s} - w_{A,\text{liq},\infty}\right)$	$kgmol/(m^2.s)$ **ou** $kg/(m^2.s)$

Conversão entre coeficientes: **Visto que o fluxo é o mesmo, independentemente do tipo de coeficiente, igualando-se os fluxos obtém-se inter-relações entre os coeficientes acima.**

Exemplo:

$$N_A = k_y\left(y_{A,s} - y_{A,\infty}\right) = k_P\left(P_{A,s} - P_{A,\infty}\right) = k_P P\left(y_{A,s} - y_{A,\infty}\right) \quad \text{e} \quad N_A = k_y\left(y_{A,s} - y_{A,\infty}\right) = k_C\left(C_{A,s} - C_{A,\infty}\right) = k_C C\left(y_{A,s} - y_{A,\infty}\right)$$

Logo: $\boxed{k_P = \dfrac{k_y}{P} = \dfrac{k_c}{RT}}$ ***OBS.: considerando gases ideais***

Similarmente, para a fase líquida tem-se: $\boxed{k_L = \dfrac{k_x}{C} \cong k_x \dfrac{M_B}{\rho_{B,líq}}}$ ***OBS.: para soluções diluídas, a concentração total é aproximada pela concentração do solvente "B"***

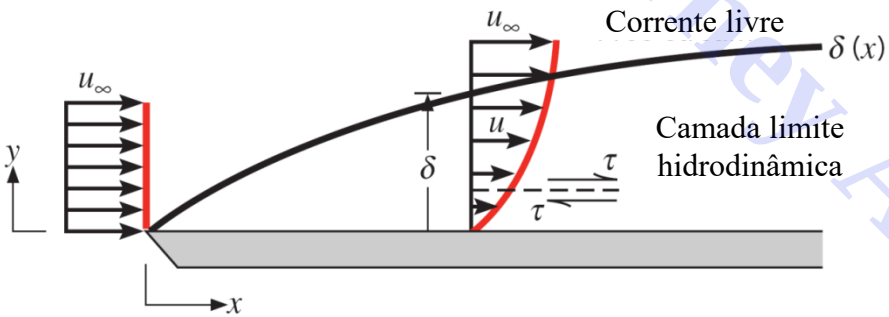
Prof. Dyrney Araújo dos Santos

Professor Dyrney Araújo dos Santos
Universidade Federal de Goiás
Engenharia Química
site: www.dyrney.com

4 . Transferência de Massa por Convecção

4.3 Coeficiente Individual Local de Transferência por Convecção

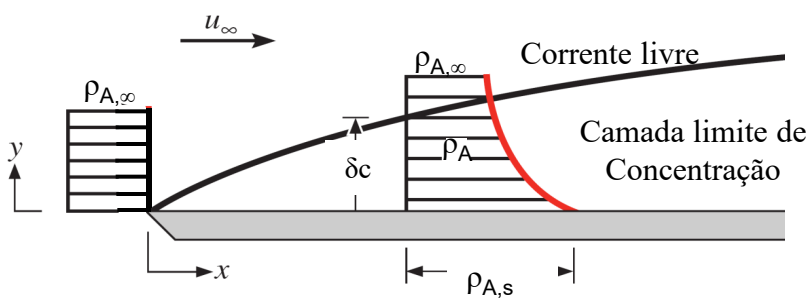
A transferência de massa de um componente "A" por convecção se dá pelo contato entre um fluido em movimento e uma superfície, estando os dois a diferentes concentrações do componente "A".



Quando um fluido escoa sobre uma superfície sólida, há a formação da *camada limite hidrodinâmica* (u varia de 0 em y = 0 até u_∞ na corrente livre), local único onde ocorrem os gradientes de velocidade.

Espessura da camada limite hidrodinâmica

$$y \text{ para o qual } u = 0,99u_\infty$$



Quando um fluido (Ex.: ar) escoa sobre uma superfície (Ex.: lago) e há diferença de concentração (Ex.: vapor de água) entre o fluido e a superfície, há a formação da *camada limite de concentração* (ρ_A varia de $\rho_{A,s}$ em y = 0 até $\rho_{A,\infty}$ na corrente livre), local único onde ocorrem os gradientes de concentração.

Espessura da camada limite da concentração

$$y \text{ para o qual } \frac{(\rho_{A,s} - \rho_A)}{(\rho_{A,s} - \rho_{A,\infty})} = 0,99$$

A transferência ocorre tanto devido à difusão quanto à advecção (movimento da massa de fluido), ou seja, convecção = difusão + advecção

Fonte (modificado): Çengel e Ghajar (2012)

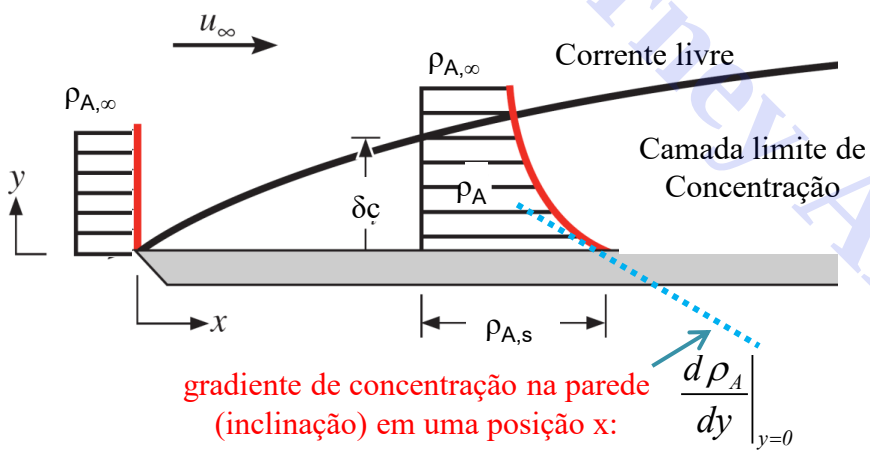
Prof. Dyrney Araújo dos Santos

Professor Dyrney Araújo dos Santos
Universidade Federal de Goiás
Engenharia Química
site: www.dyrney.com

4 . Transferência de Massa por Convecção

4.3 Coeficiente Individual Local de Transferência por Convecção

Comentário: A qualquer distância x da aresta frontal, o fluxo de transferência de massa para um componente ("A") local na superfície (y = 0) pode ser obtido utilizando-se a Lei de Fick, pois na superfície o fluido está em repouso e o processo é puramente difusivo



Fonte (modificado): Çengel e Ghajar (2012)

Logo, a Lei de Fick para o fluxo na superfície, em uma dada posição x, é dado por

$$n_{A,y} = -D_{AB}\left.\frac{\partial \rho_A}{\partial y}\right|_{y=0} \quad \text{(Eq. 1)}$$

O fluxo mássico para o componente "A" também pode ser dado por (em termos de $k_{c,x}$ = local)

$$n_{A,y} = k_{c,x}\left(\rho_{A,s} - \rho_{A,\infty}\right) \quad \text{(Eq. 2)}$$

As Eq.1 e Eq.2 podem ser igualadas, uma vez que elas definem o mesmo fluxo do componente "A" que deixa a superfície e entra no fluido. Logo,

$$k_{c,x}\left(\rho_{A,s} - \rho_{A,\infty}\right) = -D_{AB}\left.\frac{\partial \rho_A}{\partial y}\right|_{y=0} \rightarrow \boxed{k_{c,x} = \frac{-D_{AB}\,\partial\rho_A/\partial y|_{y=0}}{\left(\rho_{A,s} - \rho_{A,\infty}\right)}} \rightarrow$$

- δ_c cresce com o aumento de x
- $\partial\rho_A/\partial y|_{y=0}$ diminui com o aumento de x
- $k_{c,x}$ diminui com o aumento de x
- $n_{A,y}$ diminui com o aumento de x

Para calcular $k_{c,x}$, deve-se avaliar o gradiente de concentração local que, por sua vez, só pode ser analisado caso se conheça a distribuição de Concentração. COMPLEXIDADE: a distribuição de concentração é encontrada resolvendo-se, normalmente de forma acoplada, as *Equações do Movimento*, da Continuidade e da *Conservação da Massa do Componente!!!!*

Prof. Dyrney Araújo dos Santos

Professor Dyrney Araújo dos Santos
Universidade Federal de Goiás
Engenharia Química
site: www.dyrney.com

4 . Transferência de Massa por Convecção

4.3 Coeficiente Individual Local de Transferência por Convecção

Como dito anteriormente, para se calcular $k_{c,x}$, é necessário encontrar a Distribuição de Concentração.

Exemplo: A equação envolvida no cálculo da distribuição de concentração para um escoamento envolvendo um fluido newtoniano, mistura binária com reação química homogênea, incompressível, em estado estacionário, bidimensional e sistema isotérmico com pressão total constante, seria:

Equação da Conservação de Massa para o componente "A" (base mássica)

$$u\frac{\partial \rho_A}{\partial x}+v\frac{\partial \rho_A}{\partial y}=D_{AB}\left[\frac{\partial^2 \rho_A}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 \rho_A}{\partial y^2}\right]+r_A$$

Para encontrar os termos advectivos na Equação da Conservação da Massa para o componente "A", deve-se calcular a distribuição de velocidades nas direções x e y (Navier-Stokes), ou seja, u e v, respectivamente, que satisfaça a equação da continuidade (massa total)

Navier-Stokes direção x

$$\rho\left(u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}\right)=\rho g_x-\frac{\partial p}{\partial x}+\mu\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right)$$

Navier-Stokes direção y

$$\rho\left(u\frac{\partial v}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}\right)=\rho g_y-\frac{\partial p}{\partial y}+\mu\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}\right)$$

Continuidade

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}=0$$

Estas equações devem ser resolvidas de forma numérica!!!! Mais adiante, neste curso, serão propostas outras estratégias para o cálculo de $k_{c,x}$ que envolvem um menor grau de complexidade.

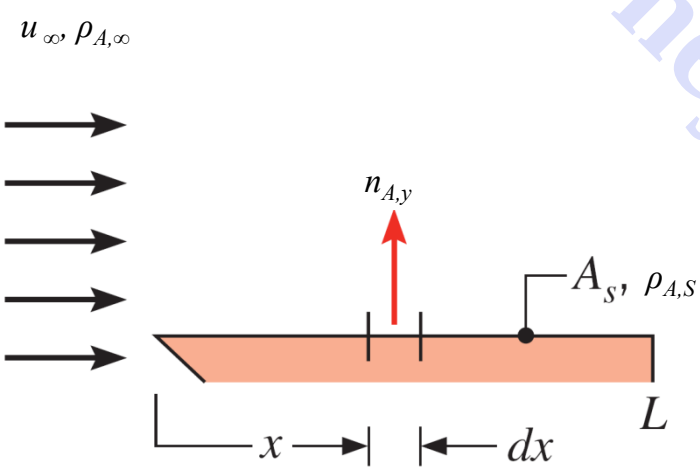
Prof. Dyrney Araújo dos Santos

Professor Dyrney Araújo dos Santos
Universidade Federal de Goiás
Engenharia Química
site: www.dyrney.com

4 . Transferência de Massa por Convecção

4.4 Coeficiente Individual Médio de Transferência por Convecção

Comentário: Como visto anteriormente, o fluxo mássico na superfície e o coeficiente de transferência de massa por convecção variam ao longo da superfície



Fonte (modificado): Çengel e Ghajar (2012)

A taxa total de transferência de massa pode ser obtida pela integração do fluxo local ao longo da superfície

$$\dot{n}_A = \int_{A_S} n_{A,y} dA_s \quad \text{ou} \quad \dot{n}_A = \left(\rho_{A,S} - \rho_{A,\infty}\right) \int_{A_S} k_{c,x} dA_s \quad \text{(Eq. 1)}$$

Definindo um *coeficiente individual convectivo médio* $\bar{k}_c$ para toda a superfície, a taxa total de massa pode ser dada por

$$\dot{n}_A = \bar{k}_c A_s \left(\rho_{A,S} - \rho_{A,\infty}\right) \quad \text{(Eq. 2)}$$

Logo, igualando-se Eq.1 e Eq.2, tem-se uma expressão para o cálculo do coeficiente convectivo médio em função dos coeficientes convectivos locais

$$\boxed{\bar{k}_c = \frac{1}{A_s} \int_{A_S} k_{c,x} dA_s}$$

ou, para o caso da placa plana acima, tem-se:

$$\boxed{\bar{k}_c = \frac{1}{L} \int_0^L k_{c,x} dx}$$

Prof. Dyrney Araújo dos Santos

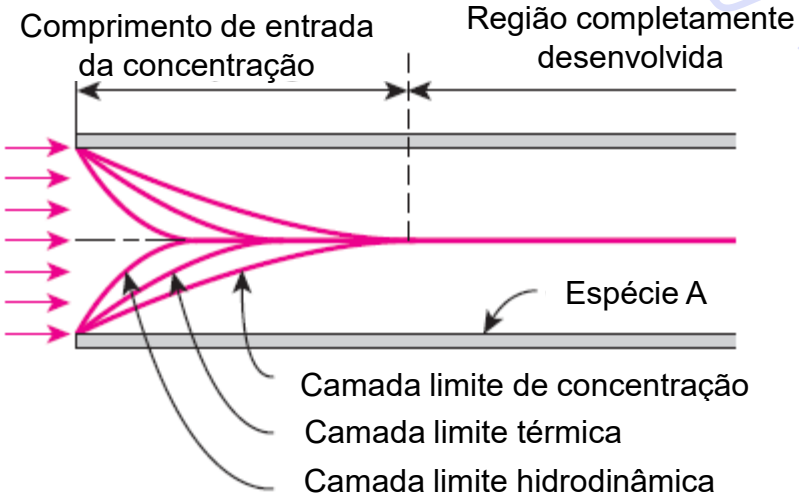
Professor Dyrney Araújo dos Santos
Universidade Federal de Goiás
Engenharia Química
site: www.dyrney.com

4 . Transferência de Massa por Convecção

4.5 Comprimento de Entrada da Concentração em Escoamento Interno

Escoamento interno: no escoamento interno tem-se a região de entrada da concentração, onde o perfil de concentração se desenvolve na direção e no sentido do escoamento até que a espessura da camada limite de concentração atinja o centro do tubo e as camadas limites se fundem (a distância da entrada até a "fusão" é chamado de **comprimento de entrada da concentração**).

Exemplo das camadas limites térmica, de concentração e hidrodinâmica em um tubo:



Fonte (modificado): Çengel e Ghajar (2012)

- Vimos, em **transferência de calor**, que a magnitude relativa entre as camadas limites **térmica** e **hidrodinâmica** era dada pelo "**Número de Prandlt (Pr)**", a seguir

$$\Pr = \frac{\nu}{\alpha}$$

sendo: ν [μ/ρ] a difusividade de quantidade de movimento e α [k/(ρ.cp)] a difusividade térmica.

- Por analogia, a magnitude relativa entre as camadas limites de concentração e hidrodinâmica, é dada pelo conhecido "**Número de Schmidt (Sc)**", a seguir

$$Sc = \frac{\nu}{D_{AB}}$$

- E, por conseguinte, a magnitude relativa entre as camadas limites de concentração e térmica, é dada pelo conhecido "**Número de Lewis (Le)**", a seguir

$$Le = \frac{\alpha}{D_{AB}}$$

Para Refletir: O que ocorreria com os respectivos comprimentos de entrada (térmico, de concentração e hidrodinâmico), caso os números adimensionais fossem muito grandes ou muito pequenos?

Iremos retornar à discussão a respeito destes números adimensionais, assim como demostrar suas obtenções, mais adiante neste curso ("Análise Dimensional")

Prof. Dyrney Araújo dos Santos

Professor Dyrney Araújo dos Santos
Universidade Federal de Goiás
Engenharia Química
site: www.dyrney.com

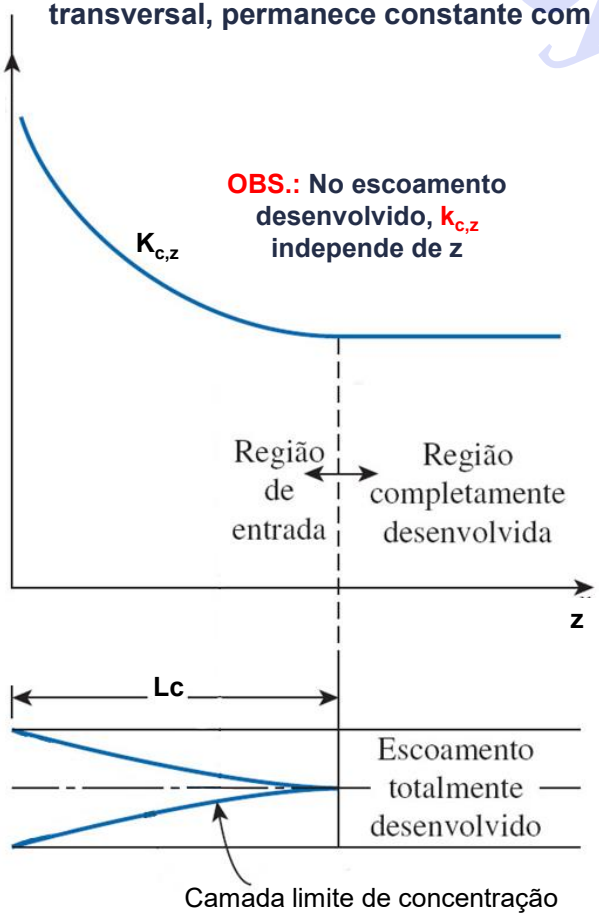
4 . Transferência de Massa por Convecção

4.5 Comprimento de Entrada da Concentração em Escoamento Interno

Quando o escoamento se encontra completamente desenvolvido (em termos da concentração), o perfil adimensional de concentração, expresso como $(\rho_{A,S} - \rho_A)/(\rho_{A,S} - \rho_{A,méd})$, sendo $\rho_{A,méd}$ a concentração média ao longo da área da seção transversal, permanece constante com z. Logo:

$$\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{\rho_{A,S}-\rho_A}{\rho_{A,S}-\rho_{A,médio}}\right)=0$$

OBS.: a partir desta expressão para a concentração adimensional, prove que em um escoamento desenvolvido (em termos de concentração) k_c permanece constante!!!



Fonte: Çengel e Ghajar (2012)

A concentração média da massa da espécie "A" é deduzida abaixo

- **sabe-se que a taxa mássica advectiva do componente "A" varia ao longo da distância radial no tubo, visto que V_z e ρ_A são funções do raio, como mostrado abaixo:**

$$\dot{n}_A(r)=V_z(r)\rho_A(r)A_c$$

- **definindo uma taxa média advectiva de massa como abaixo e igualando com a expressão acima**

$$\bar{\dot{n}}_A=V_{méd}\rho_{A,méd}A_c=\int_A V_z\rho_A dA$$

sendo: A_c a área da seção transversal, $V_{méd}$ a velocidade média do escoamento e V_z *a velocidade em z (varia com r)*

- **Logo, tem-se a concentração média da massa da espécie "A" em uma posição z:**

$$\boxed{\rho_{A,méd}=\frac{1}{A_cV_{méd}}\int_{A_c}V_z\rho_A dA_c}$$

Desta forma, o fluxo de massa de "A" por convecção da parede para o fluido em um escoamento interno é melhor representado como sendo:

$$n_A=k_C\left(\rho_{A,s}-\rho_{A,méd}\right)$$

O perfil adimensional de concentração, assim como o coeficiente de transferência de massa, permanecem constantes na região completamente desenvolvida (em termos de concentração).

Prof. Dyrney Araújo dos Santos

ENGENHARIA QUÍMICA
Universidade Federal de Goiás

Transferência de Massa por Convecção: Transferência entre Fases

Professor Dyrney Araújo dos Santos
Universidade Federal de Goiás
Curso de Engenharia Química
Disciplina: Fenômenos de Transporte 3
site: www.dyrney.com

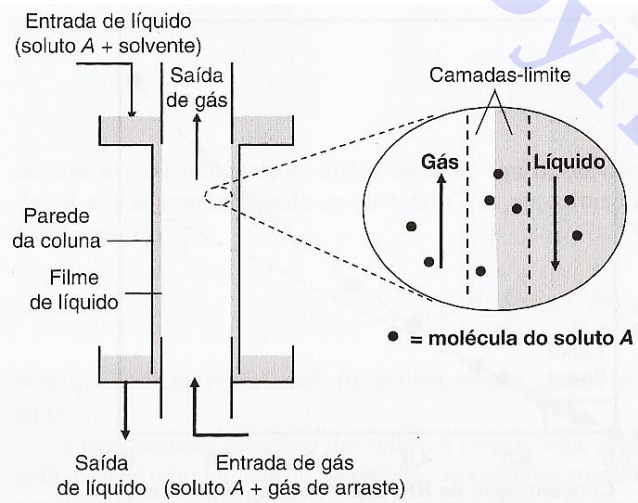
Prof. Dyrney Araújo dos Santos

Professor Dyrney Araújo dos Santos
Universidade Federal de Goiás
Engenharia Química
site: www.dyrney.com

4 . Transferência de Massa por Convecção

4.6 Determinação do Coeficiente Global de Transferência de Massa

Seja a transferência de um componente "A" de uma mistura de uma fase I (gás) para uma fase II (líquido) ("Absorção Gasosa")



Exemplo: Coluna de parede molhada
Fonte: Welty et al. (2017)

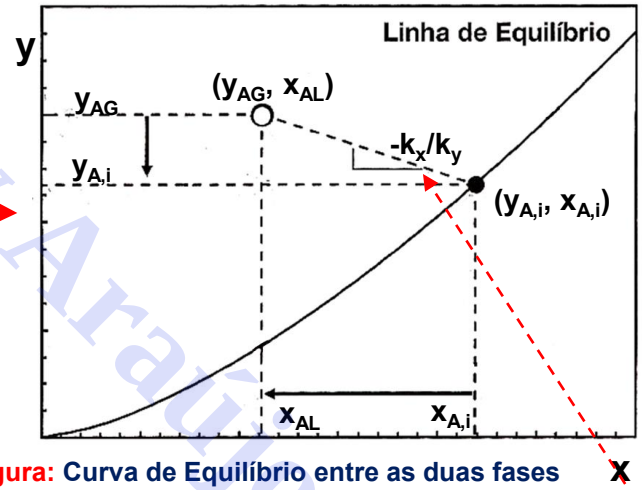


Figura: Curva de Equilíbrio entre as duas fases
Fonte (Modificado): Welty et al. (2017)

sendo:

y_{AG}: fração molar de A no seio da fase I;

x_{AL}: fração molar de A no seio da fase II

$y_{A,i}$: fração molar de A na interface na fase I

$x_{A,i}$: fração molar de A na interface na fase II

O fluxo de massa de "A" pode ser escrito em função da fase gasosa e da fase líquida, respectivamente, em termos dos coeficientes individuais de transferência de massa e em estado estacionário, como:

$$N_A = k_y\left(y_{AG} - y_{A,i}\right) = -k_x\left(x_{AL} - x_{A,i}\right) \text{ ou } \left(y_{AG} - y_{A,i}\right) = -\frac{k_x}{k_y}\left(x_{AL} - x_{A,i}\right) \quad \text{Eq.1}$$

A Eq.1 representa uma reta que passa pelos seguintes pontos:

$$\begin{cases} \left(y_{AG}, x_{AL}\right), \text{ ponto de operação} \\ \left(y_{A,i}, x_{A,i}\right), \text{ ponto de equilíbrio na interface} \end{cases}$$

, cuja inclinação é dada por: $-\dfrac{k_x}{k_y} = \dfrac{\left(y_{AG} - y_{A,i}\right)}{\left(x_{AL} - x_{A,i}\right)}$

Assim, conhecendo-se k_x/k_y, x_{AL} e y_{AG} é possível determinar graficamente as composições interfaciais $x_{A,i}$ e $y_{A,i}$ ou vice versa e, consequentemente, o fluxo de massa

Prof. Dyrney Araújo dos Santos

Professor Dyrney Araújo dos Santos
Universidade Federal de Goiás
Engenharia Química
site: www.dyrney.com

4 . Transferência de Massa por Convecção

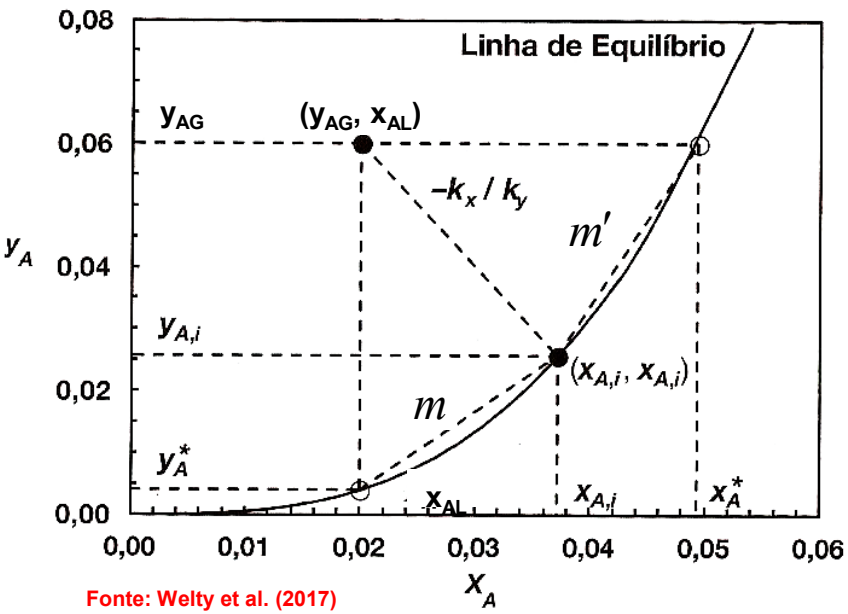
4.6 Determinação do Coeficiente Global de Transferência de Massa

O coeficiente global de transferência de massa ("K") é aquele que relaciona o fluxo de matéria com a diferença global de concentração, podendo ser representado na seguinte equação do fluxo

$$N_A = K\left(y_{AG} - x_{AL}\right)$$

Como pode-se notar, "K" depende de propriedades das duas fases, o que o torna de pouca utilidade em virtude da complexidade na sua obtenção.

Logo, para evitar isto, pode-se definir coeficientes globais dependentes das propriedades de uma <u>única fase</u> e da <u>curva de equilíbrio</u>, como mostrado a seguir



Fonte: Welty et al. (2017)

$$N_A = K_y\left(y_{AG} - y_A^*\right) = K_x\left(x_A^* - x_{AL}\right)$$

sendo:

K_y: coeficiente global de transferência de massa em termos de frações molares na fase I;

K_x: coeficiente global de transferência de massa em termos de frações molares na fase II;

y_A^*: fração molar de "A" na fase I que estaria em equilíbrio com "A" na fase II com fração x_{AL};

x_A^*: fração molar de "A" na fase II que estaria em equilíbrio com "A" na fase I com fração y_{AG};

m e m': inclinações médias da curva de equilíbrio nos intervalos considerados.

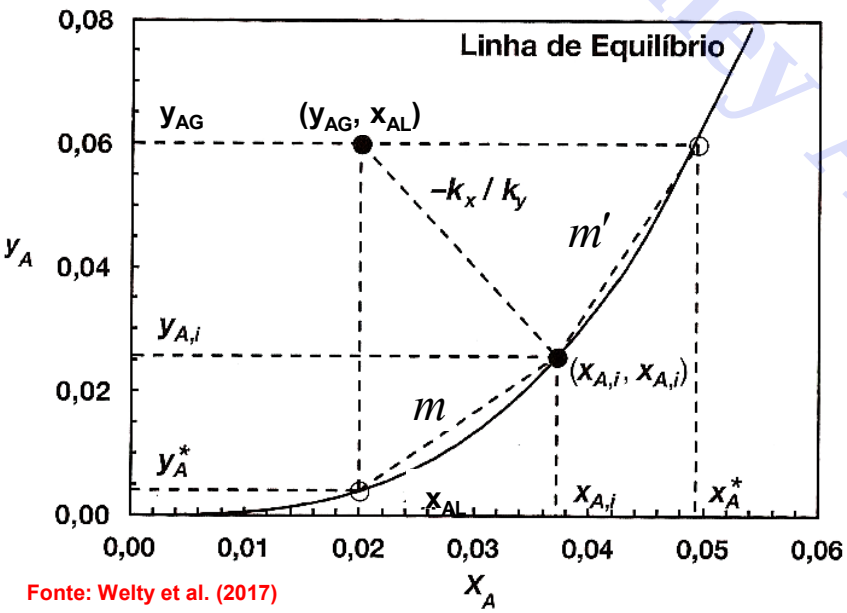
Prof. Dyrney Araújo dos Santos

Professor Dyrney Araújo dos Santos
Universidade Federal de Goiás
Engenharia Química
site: www.dyrney.com

4 . Transferência de Massa por Convecção

4.6 Determinação do Coeficiente Global de Transferência de Massa

De acordo com o gráfico de equilíbrio abaixo, pode-se escrever as seguintes relações para a determinação dos coeficientes globais em função dos coeficientes individuais e das informações de equilíbrio, tanto para a fase I, quanto para a fase II:



Fonte: Welty et al. (2017)

- **Expressão para a Fase I (força motriz na Fase Gasosa):**

$$\left(y_{AG} - y_A^*\right) = \left(y_{AG} - y_{A,i}\right) + \left(y_{A,i} - y_A^*\right) \quad \text{Eq.2}$$

Visto que:

$$N_A = K_y\left(y_{AG} - y_A^*\right), N_A = k_y\left(y_{AG} - y_{A,i}\right) \text{ e } m = \frac{\left(y_{A,i} - y_A^*\right)}{\left(x_{A,i} - x_{AL}\right)}$$

Tem-se, após as substituições na Eq. 2:

$$\frac{N_A}{K_y} = \frac{N_A}{k_y} + m\left(x_{A,i} - x_{AL}\right) \quad \text{ou} \quad \boxed{\frac{1}{K_y} = \frac{1}{k_y} + \frac{m}{k_x}}$$

Os termos 1/Ky, 1/ky e m/kx podem ser vistos como "resistências"

Pode-se realizar a mesma análise para a a Fase II de acordo com a curva de equilíbrio

- **Expressão para a Fase II (força motriz na Fase Líquida):**

$$\left(x_A^* - x_{AL}\right) = \left(x_A^* - x_{A,i}\right) + \left(x_{A,i} - x_{AL}\right)$$

Após análise dos fluxos e da inclinação "m´", tem-se →

$$\boxed{\frac{1}{K_x} = \frac{1}{k_x} + \frac{1}{m' k_y}}$$

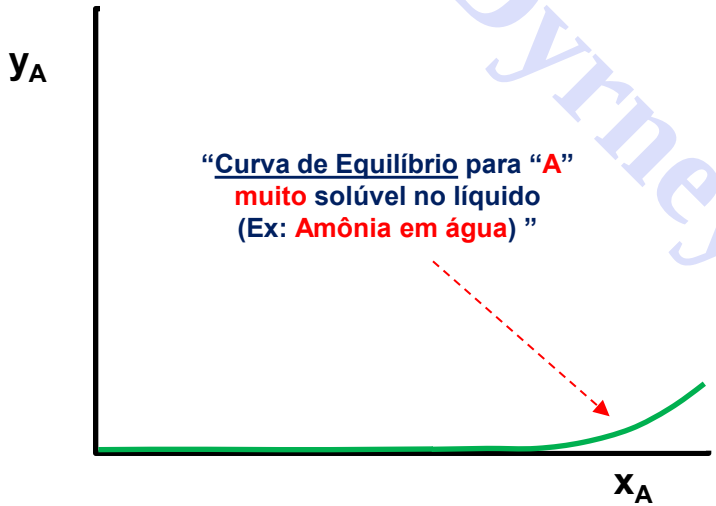
Prof. Dyrney Araújo dos Santos

Professor Dyrney Araújo dos Santos
Universidade Federal de Goiás
Engenharia Química
site: www.dyrney.com

4 . Transferência de Massa por Convecção

4.7 Casos Extremos das Curvas de Equilíbrio

- **a) O componente "A" é muito solúvel no líquido:**



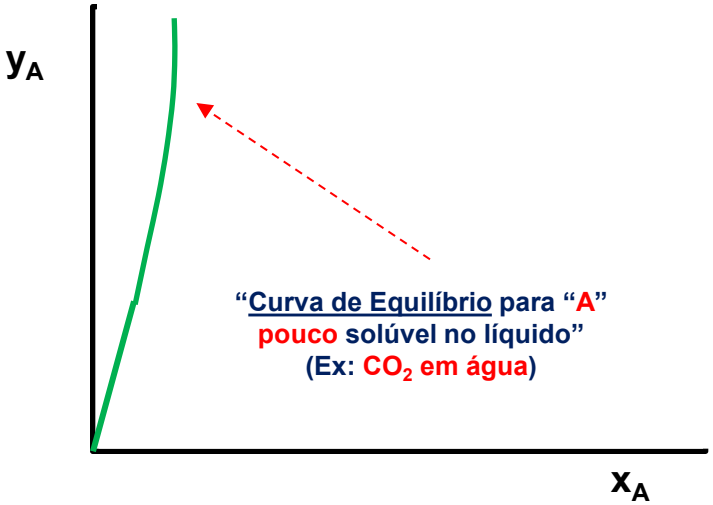
Reescrevendo a relação mostrada anteriormente para os coeficientes global e local para a Fase I, tem-se

$$\frac{1}{K_y} = \frac{1}{k_y} + \frac{m}{k_x}$$

De acordo com o gráfico, tem-se: $m \rightarrow 0$ → $\boxed{K_y \simeq k_y}$

A transferência de massa é controlada pela Fase I (Fase Gasosa)

- **b) O componente "A" é pouco solúvel no líquido:**



Reescrevendo a relação mostrada anteriormente para os coeficientes global e local para a Fase II, tem-se

$$\frac{1}{K_x} = \frac{1}{k_x} + \frac{1}{m' k_y}$$

De acordo com o gráfico, tem-se: $m' \rightarrow \infty$ → $\boxed{K_x \simeq k_x}$

A transferência de massa é controlada pela Fase II (Fase Líquida)

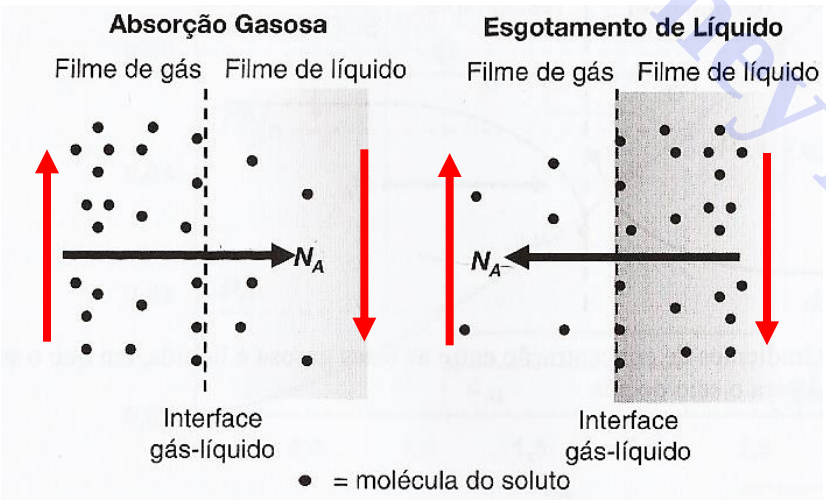
Prof. Dyrney Araújo dos Santos

Professor Dyrney Araújo dos Santos
Universidade Federal de Goiás
Engenharia Química
site: www.dyrney.com

4 . Transferência de Massa por Convecção

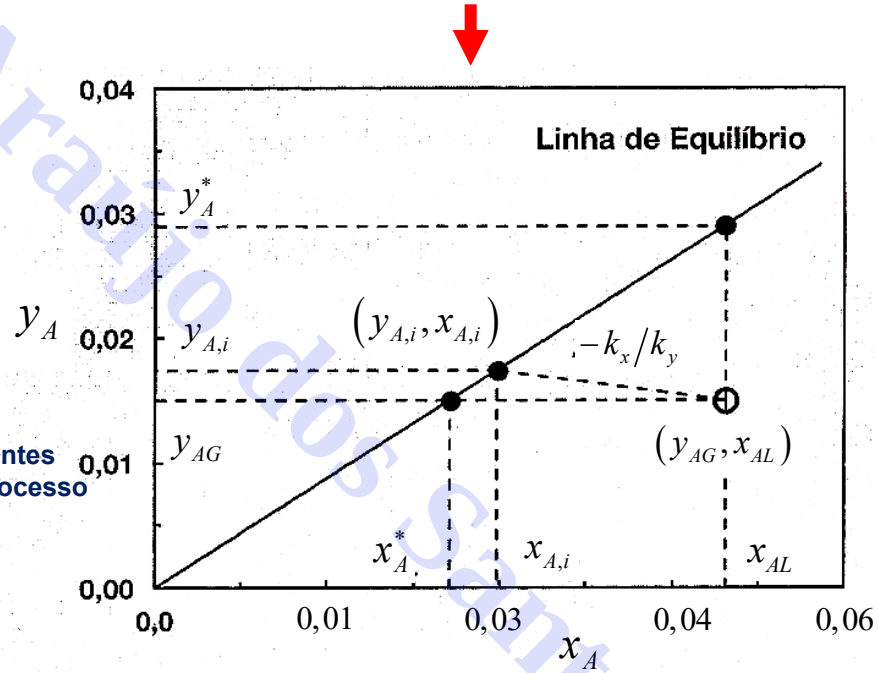
4.8 "Absorção Gasosa" versus "Esgotamento de Líquido"

No processo de "Esgotamento de Líquido", o soluto "A" dissolvido no seio do líquido é a fonte para transferência de massa e o seio da fase gasosa é o sorvedouro para a transferência de massa (é o processo inverso ao da "Absorção Gasosa")



Fonte: Welty et al. (2017)

No processo de "Esgotamento de Líquido" o ponto de operação (x_{AL} e y_{AG}) está abaixo da curva de equilíbrio, como pode ser visto no gráfico abaixo (sentido do fluxo de "A" da fase líquida para a fase gasosa)



Fonte (Modificado): Welty et al. (2017)

Desta forma geral, para uma linha não linear de equilíbrio, as seguintes relações entre os coeficientes globais e individuais são das para o processo de "Esgotamento de Líquido":

$$\frac{1}{K_y} = \frac{1}{k_y} + \frac{m}{k_x} \quad \text{e} \quad \frac{1}{K_x} = \frac{1}{k_x} + \frac{1}{m' k_y}$$

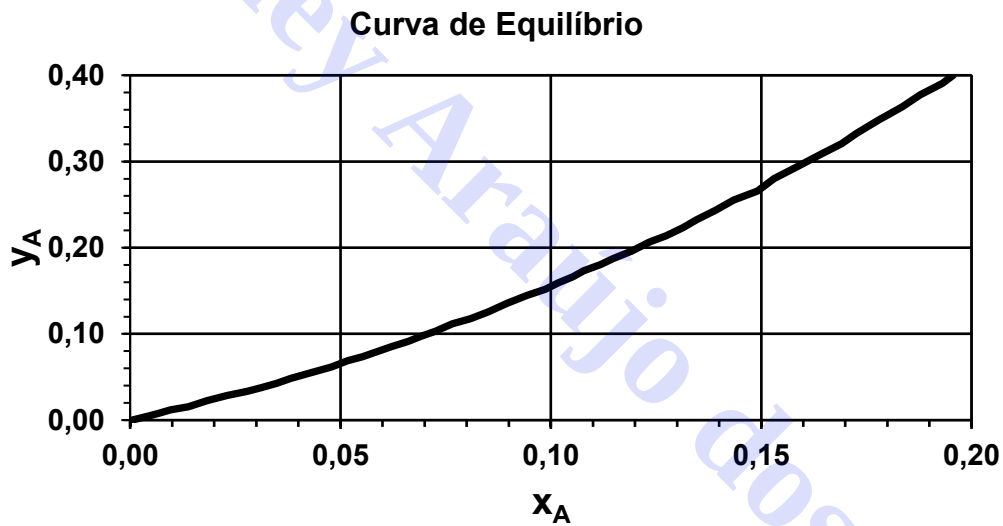
Com: $m = \dfrac{y_{A,i} - y_{AG}}{x_{A,i} - x_A^*}$ **e** $m' = \dfrac{y_A^* - y_{A,i}}{x_{AL} - x_{A,i}}$

Prof. Dyrney Araújo dos Santos

Professor Dyrney Araújo dos Santos
Universidade Federal de Goiás
Engenharia Química
site: www.dyrney.com

4 . Transferência de Massa por Convecção

Exercício Proposto 6: Um processo de absorção gasosa é usado para remover amônia (NH_3) de uma mistura gasosa de amônia e ar, usando água líquida como solvente. No presente processo, o seio da corrente gasosa contém 30% em mol de NH_3 e o seio da corrente líquida contém 5% em mol de NH_3 dissolvida. A distribuição de equilíbrio de NH_3 entre as fases gasosa e líquida a 30ºC e 1,0 atm de pressão total do sistema é apresentada na figura abaixo. Nas condições do processo, o coeficiente individual de transferência de massa do filme líquido é k_x = 0,030 kmol/m².s e o coeficiente individual de transferência de massa do filme de gás é k_y = 0,010 kmol/m².s.



Determine as composições da interface nas fases gasosa e líquida ($x_{A,i}$ e $y_{A,i}$), o coeficiente global de transferência de massa baseado na força motriz na fase gasosa (K_y) e o fluxo de NH_3 da fase gasosa para a fase líquida

Prof. Dyrney Araújo dos Santos

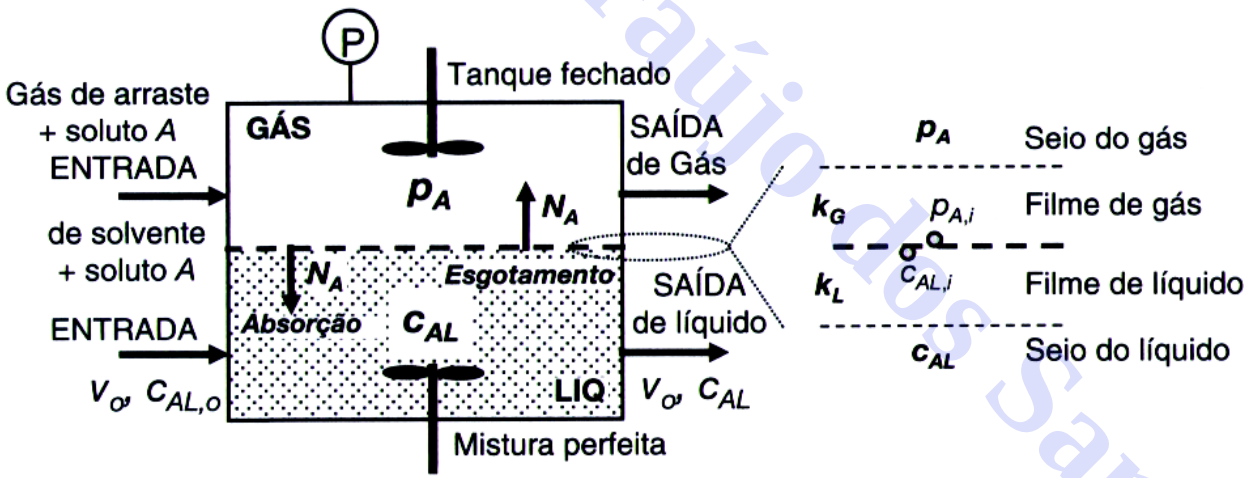
Exercício retirado (Modificado) de Welty et al. (2017)

Professor Dyrney Araújo dos Santos
Universidade Federal de Goiás
Engenharia Química
site: www.dyrney.com

4 . Transferência de Massa por Convecção

Exercício Proposto 7: O processo mostrado na figura abaixo é usado para transferir CO_2 de uma mistura de gás de exaustão comprimido para um tanque de água líquida. O espaço contendo gás sobre o líquido dentro do tanque é considerado em mistura perfeita e a composição do gás que sai desse espaço é 10% em mol de CO_2 e 90% de N_2 a 2,0 atm de pressão total do sistema e 25ºC. Água sem CO_2 dissolvido entra no tanque a uma vazão volumétrica (Q) de 0,20 m^3/h. O líquido está bem misturado (mistura perfeita). O diâmetro do tanque cilíndrico (d) é 3,0 m e a altura de líquido é 1,0 m. Pode ser admitido que o gás N_2 não se dissolve apreciavelmente no líquido e que o solvente não é volátil. Qual é a concentração do CO_2 dissolvido na corrente líquida que sai do tanque?

Dados: $k_p = 2{,}05\times10^{-3}$ kmol/(m².s.atm); $k_L = 1{,}5\times10^{-5}$ m/s; $\rho_{H2O} = 995{,}2$ kg/m³ a 25ºC; $M_{H2O} = 18$ kg/kmol
Considere a Lei de Henry na forma dada a seguir: $P_{A,i} = HC_{A,i}$, sendo H = 29,5 m³.atm/kmol



Prof. Dyrney Araújo dos Santos

Exercício retirado (Modificado) de Welty et al. (2017)

Bibliografia

ÇENGEL, Y.A e GHAJAR, A.J.; Transferência de calor e massa, McGraw Hill, 4ª edição, 2012.

WELTY, J. R.; RORRER, G. L.; FOSTER, D.G. Fundamentos de Transferência de Momento, de Calor e de Massa; tradução e revisão técnica Verônica Calado, 6. ed., Rio de Janeiro: LTC, 2017.

Prof. Dyrney Araújo dos Santos