

Transferência de Massa: Fundamentos

Isabel Coelho

imrc@fct.unl.pt

Engenharia Química e Biológica

Fenómenos de Transferência II

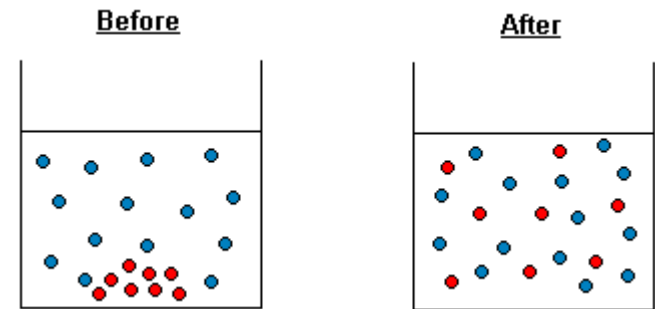
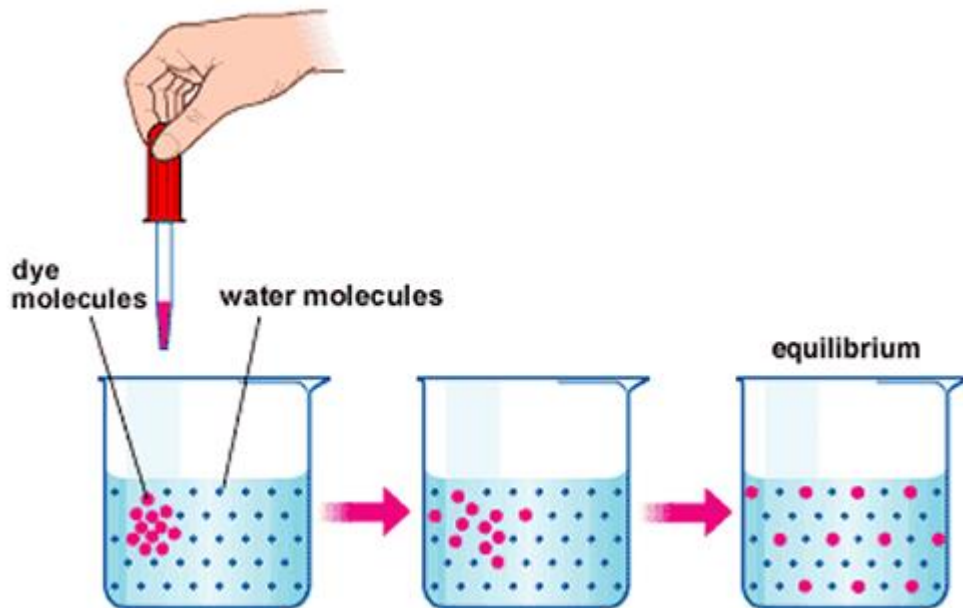
Fundamentos

- ❑ Quando um sistema contém 2 ou mais componentes cuja concentração varia de ponto para ponto, há tendência para se transferir massa, minimizando a diferença de concentração no sistema.
- ❑ Ao transporte de um componente de uma região de concentração mais elevada para outra de menor concentração chama-se transferência de massa.

O mecanismo de transferência de massa envolve os processos de difusão e de convecção.

Fundamentos

- Corante adicionado num recipiente com água difunde-se de modo a tornar a concentração uniforme.
- Açúcar adicionado a uma chávena de café dissolve-se e depois difunde-se de modo a tornar a concentração uniforme.



Fundamentos

Transferência de Massa

Gradiente de Concentração

Composição não uniforme

Sistemas de duas fases

Equilíbrio

Operações de Transferência de Massa

- Destilação

- Absorção Gasosa

- Secagem

- Extração Líquido-Líquido

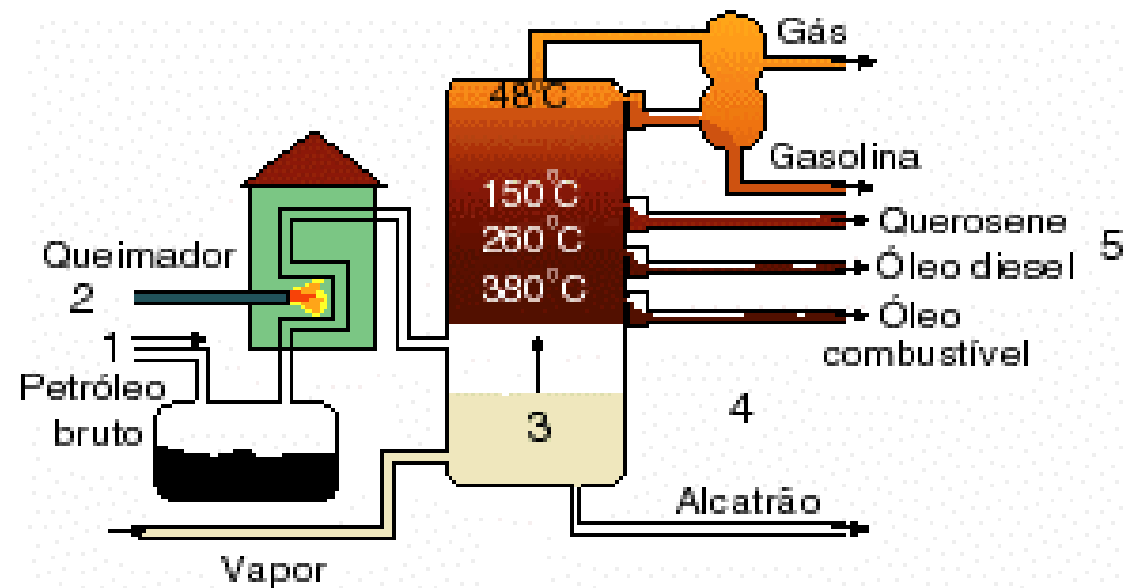
Operações de Transferência de Massa

Destilação

- Líquido - Vapor
- Todos os componentes nas duas fases
- Composição diferente em cada fase

Operações de Transferência de Massa

Destilação



Operações de Transferência de Massa

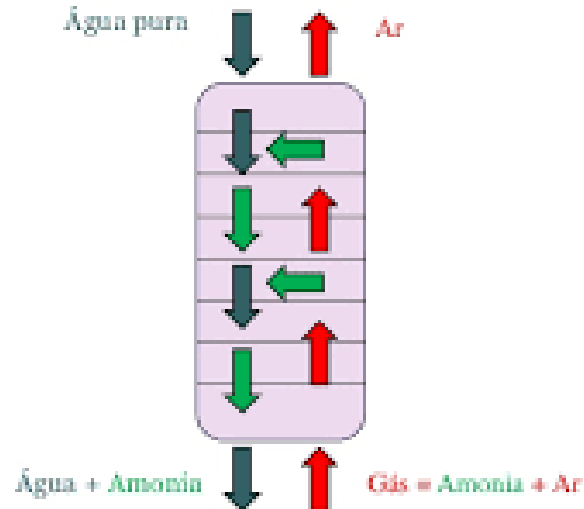
Absorção Gasosa

- Gás - Líquido
- Apenas um componente se distribui pelas duas fases

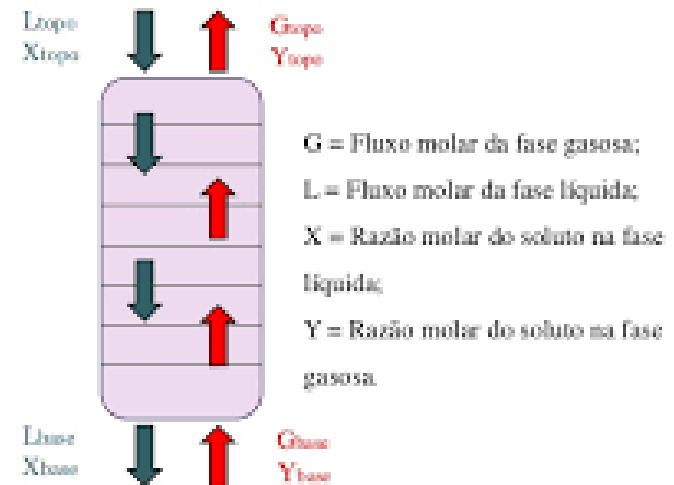
Operações de Transferência de Massa

Absorção Gasosa

FUNCIONAMENTO DA COLUNA DE ABSORÇÃO



FUNCIONAMENTO DA COLUNA DE ABSORÇÃO



Operações de Transferência de Massa

Secagem

- Gás - sólido
- Difusão do líquido presente no sólido para o gás

Operações de Transferência de Massa

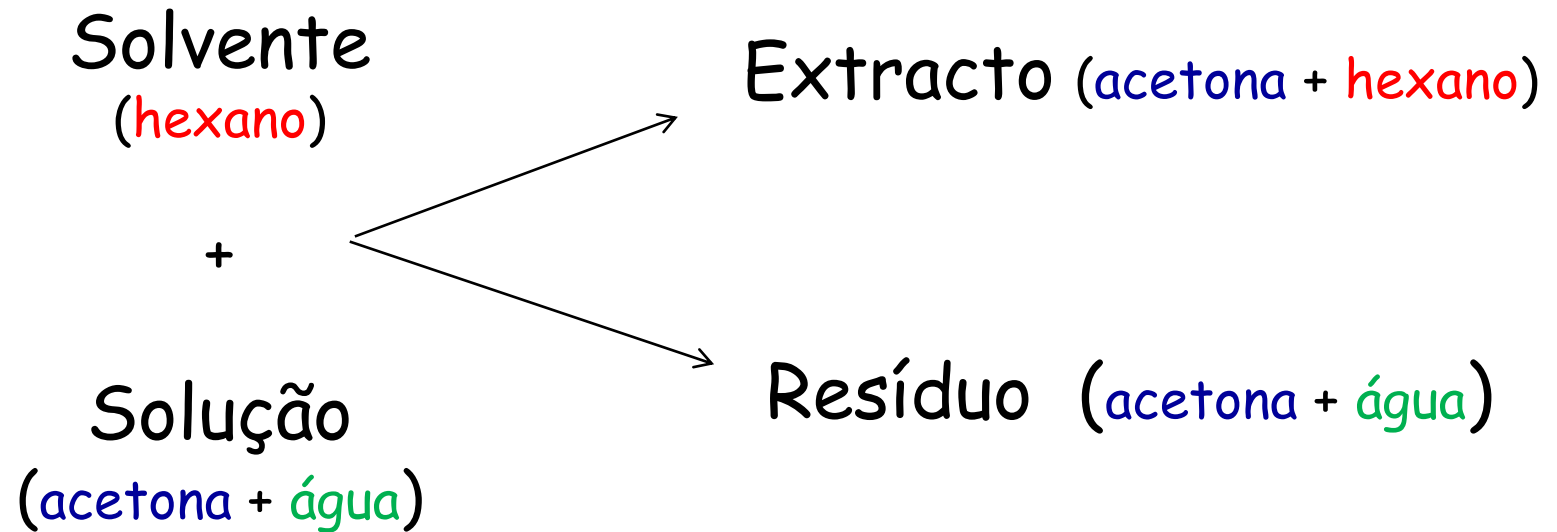
Secagem



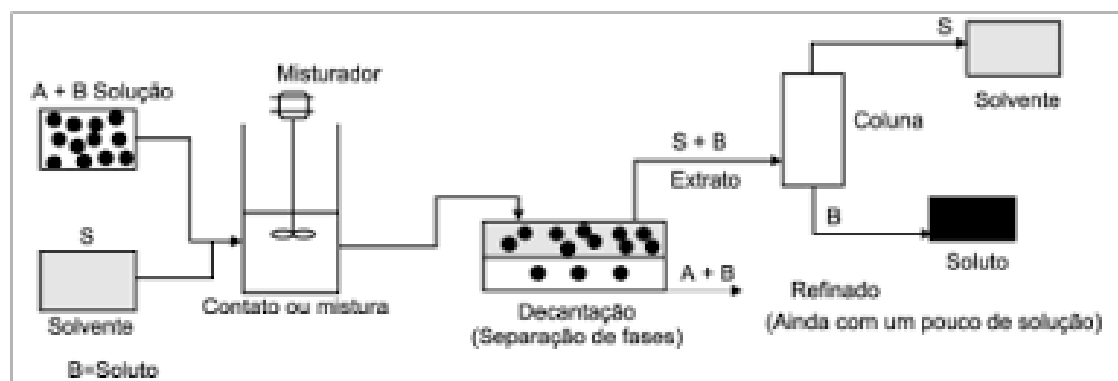
Por que é que roupas molhadas secam mais rápido em dias de vento?

Operações de Transferência de Massa

Extracção Líquido - líquido



Operações de Transferência de Massa



Definição de Composições

Concentração mássica

$$\rho_A = \frac{m_A}{V} \quad \rho = \sum_i \rho_i$$

Concentração molar

$$c_A = \frac{\rho_A}{M_A} = \frac{n_A}{V} = \frac{p_A}{RT}$$

Fracção molar

$$x_A = \frac{c_A}{c} \quad y_A = \frac{c_A}{c}$$

$$y_A = \frac{p_A/RT}{P/RT} = \frac{p_A}{P}$$

A composição molar de uma mistura gasosa a 273 K e $1.5 \cdot 10^5$ Pa é:

O_2	7%
CO	10%
CO_2	15%
N_2	68%

Determine:

- a) A composição em percentagem mássica
- b) A massa específica da mistura gasosa

Para 1 mole da mistura:



Peso molecular dos componentes:



Massa dos componentes: (1 mol mistura)



$$\begin{aligned} \text{Massa total} &= 2.24 + 2.80 + 6.60 + 19.04 \\ &= 30.68 \text{ g} \end{aligned}$$

Composição em percentagem mássica:

$$O_2 = \frac{2.24}{30.68} * 100 = 7.30\%$$

$$CO = \frac{2.80}{30.68} * 100 = 9.13\%$$

$$CO_2 = \frac{6.60}{30.68} * 100 = 21.51\%$$

$$N_2 = \frac{19.04}{30.68} * 100 = 62.06\%$$

b) Assumindo gás ideal,

$$PV = nRT$$

$$\frac{n}{V} = C$$

$$\frac{n}{V} = \frac{P}{RT}$$

Então, a massa específica = $C \times M$

sendo M a massa molecular

$$M = \frac{30.68}{1} = 30.68 \text{ g/mol}$$

$$\rho = \frac{PM}{RT} = \frac{1.5 * 10^5 * 30.68 * 10^{-3}}{8.314 * 273} \text{ kg/m}^3$$

$$= 2.03 \text{ kg/m}^3$$

Definição de Velocidades

Velocidade média mássica

$$v = \frac{\sum_{i=1}^n \rho_i v_i}{\sum_{i=1}^n \rho_i} = \frac{\sum_{i=1}^n \rho_i v_i}{\rho}$$

Velocidade média molar

$$V = \frac{\sum_{i=1}^n c_i v_i}{c}$$

Definem-se também velocidades relativas ao movimento da corrente:

$(v_i - v)$ velocidade do componente i relativamente à velocidade média mássica

$(v_i - V)$ velocidade do componente i relativamente à velocidade média molar

Lei da Difusão

1ª Lei de Fick

$$\mathbf{J}_A = -D_{AB} \nabla c_A$$

Coeficiente de Difusão

Sistema unidireccional

$$J_{A,z} = -D_{AB} \frac{dc_A}{dz}$$

Sistema isobárico e isotérmico

$$J_{A,z} = -cD_{AB} \frac{dy_A}{dz}$$

Fluxo

Fluxo mássico (molar) de i

Vector relacionado com a massa (moles) do componente i transferidas por unidade de área e por unidade de tempo

$$J_{A,z} = c_A (v_{A,z} - V_z)$$

$$J_{A,z} = c_A (v_{A,z} - V_z) = -cD_{AB} \frac{dy_A}{dz}$$

$$c_A v_{A,z} = -cD_{AB} \frac{dy_A}{dz} + c_A V_z$$

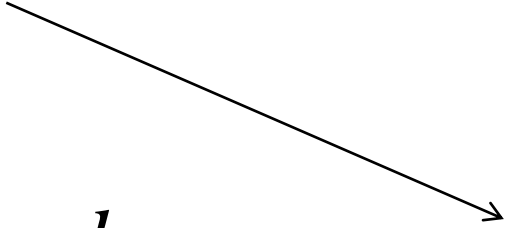
Fluxo

Como

$$V_z = \frac{1}{c} (c_A v_{A,z} + c_B v_{B,z})$$

$\times c_A$

$$c_A V_z = y_A (c_A v_{A,z} + c_B v_{B,z})$$


$$c_A v_{A,z} = -c D_{AB} \frac{dy_A}{dz} + y_A (c_A v_{A,z} + c_B v_{B,z})$$

Fluxo

Se o fluxo for referido a um referencial fixo

$$\mathbf{N}_A = c_A \mathbf{v}_A$$

$$N_{A,z} = -cD_{AB} \frac{dy_A}{dz} + y_A (N_{A,z} + N_{B,z})$$

$$\boxed{\mathbf{N}_A = -cD_{AB} \nabla y_A + y_A (\mathbf{N}_A + \mathbf{N}_B)}$$

Fluxo

Equivalent forms of the Mass Flux Equation for Binary

System A and B

Flux	Gradient	Fick rate equation	Restrictions
\mathbf{n}_A	$\nabla \omega_A$	$\mathbf{n}_A = -\rho D_{AB} \nabla \omega_A + \omega_A(\mathbf{n}_A + \mathbf{n}_B)$	Constant ρ
	$\nabla \rho_A$	$\mathbf{n}_A = -D_{AB} \nabla \rho_A + \omega_A(\mathbf{n}_A + \mathbf{n}_B)$	
\mathbf{N}_A	∇y_A	$\mathbf{N}_A = -c D_{AB} \nabla y_A + y_A(\mathbf{N}_A + \mathbf{N}_B)$	Constant c
	∇c_A	$\mathbf{N}_A = -D_{AB} \nabla c_A + y_A(\mathbf{N}_A + \mathbf{N}_B)$	
\mathbf{j}_A	$\nabla \omega_A$	$\mathbf{j}_A = -\rho D_{AB} \nabla \omega_A$	Constant ρ
	$\nabla \rho_A$	$\mathbf{j}_A = -D_{AB} \nabla \rho_A$	
\mathbf{J}_A	∇y_A	$\mathbf{J}_A = -c D_{AB} \nabla y_A$	Constant c
	∇c_A	$\mathbf{J}_A = -D_{AB} \nabla c_A$	

Coeficiente de Difusão

$$\mathbf{J}_A = -D_{AB} \nabla c_A$$

$D = f(P, T, \text{nat. componente})$

Valores típicos de D :

Gases: $1 \times 10^{-5} - 1 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$

Líquidos: $0.5 \times 10^{-9} - 2 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$

Sólidos: $1 \times 10^{-24} - 1 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$



<https://www.youtube.com/watch?v=H7QsDs8ZRMl>

<https://www.youtube.com/watch?v=lxHMJaXOzP4>

[Diffusion: How Molecules Actually Move \(youtube.com\)](#)