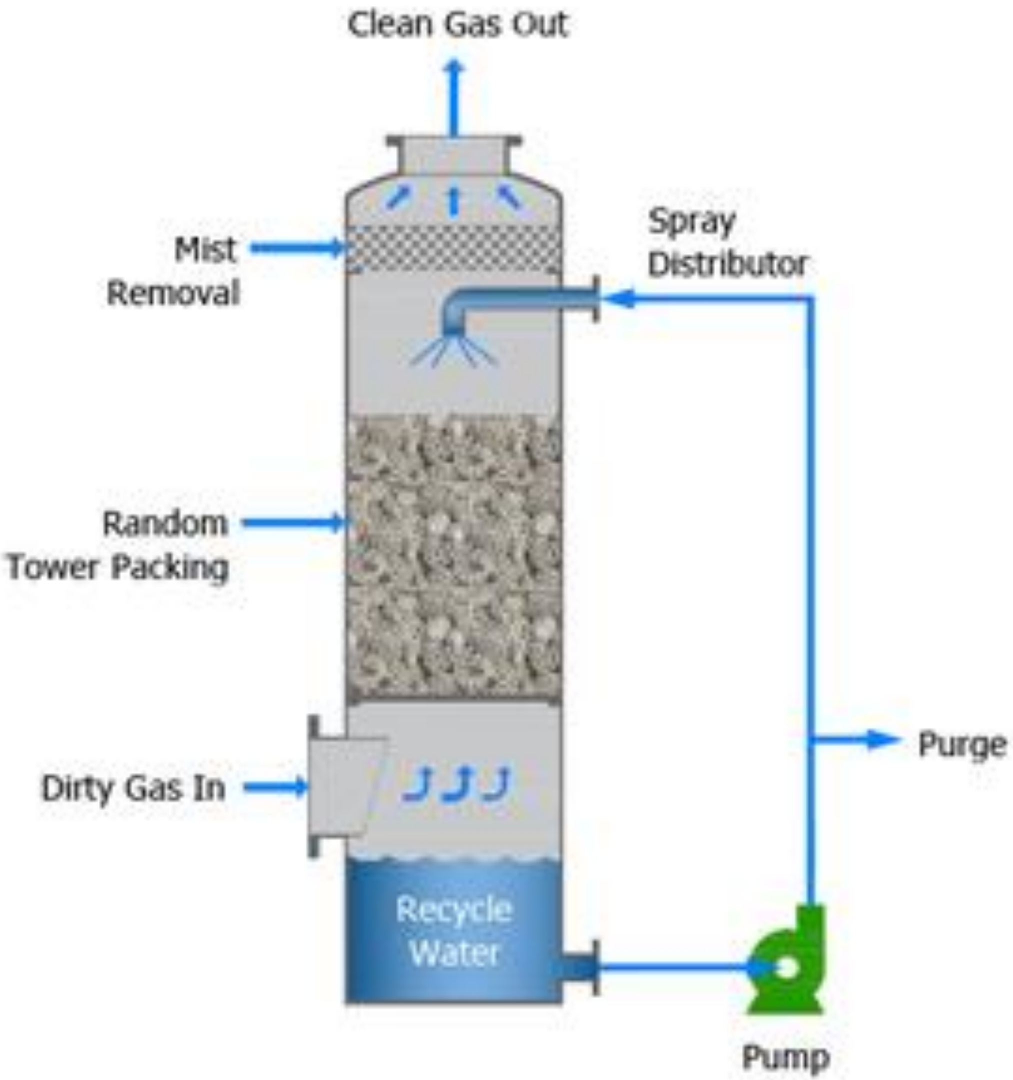
PQI – 3303 – Fenômenos de Transporte III
Aula 8 - Absorção - Desabsorção

José Luís de Paiva

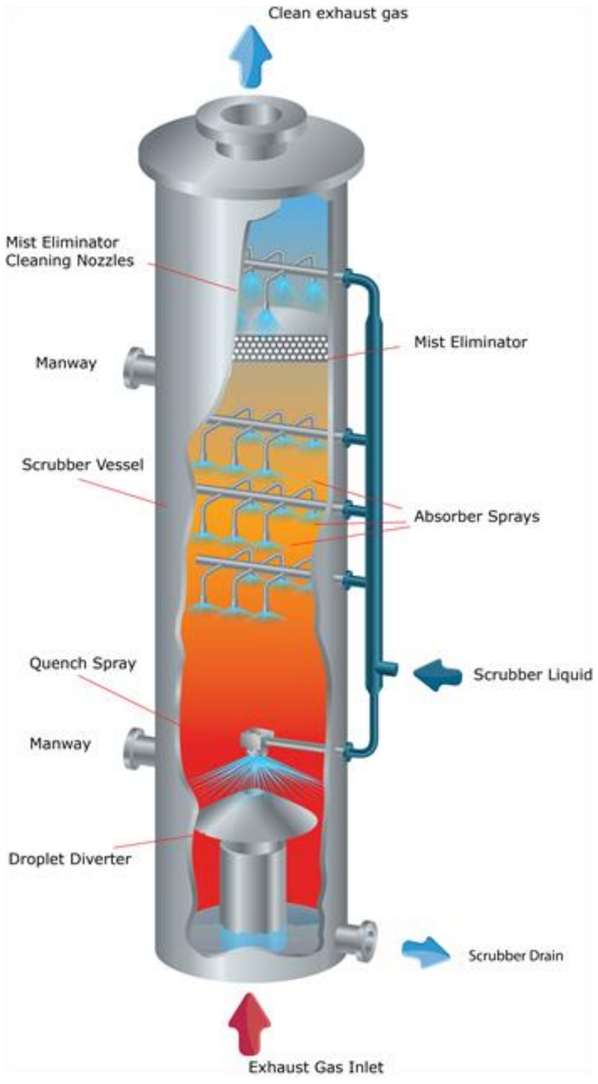
Departamento de Engenharia Química da EPUSP

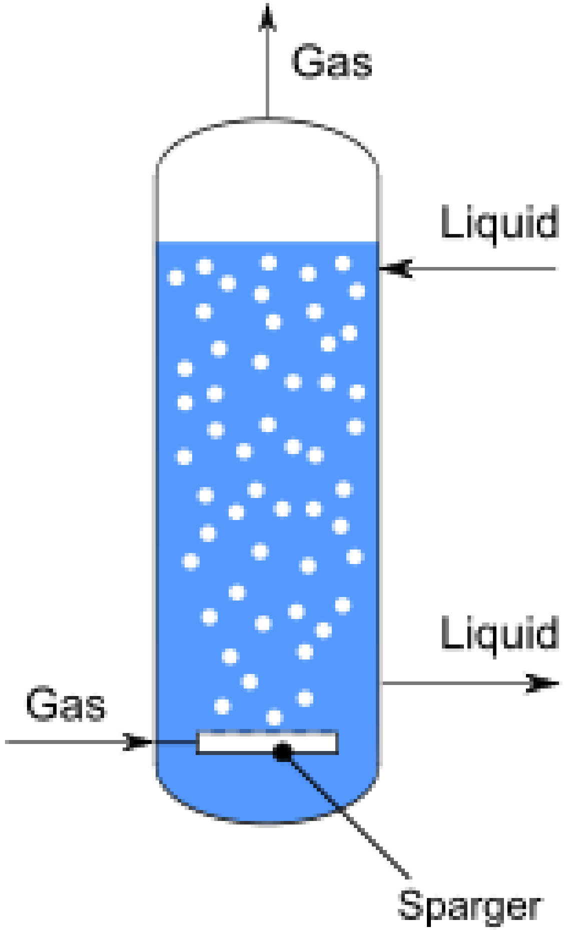
ABSORÇÃO E DESABSORÇÃO (DESSORÇÃO)

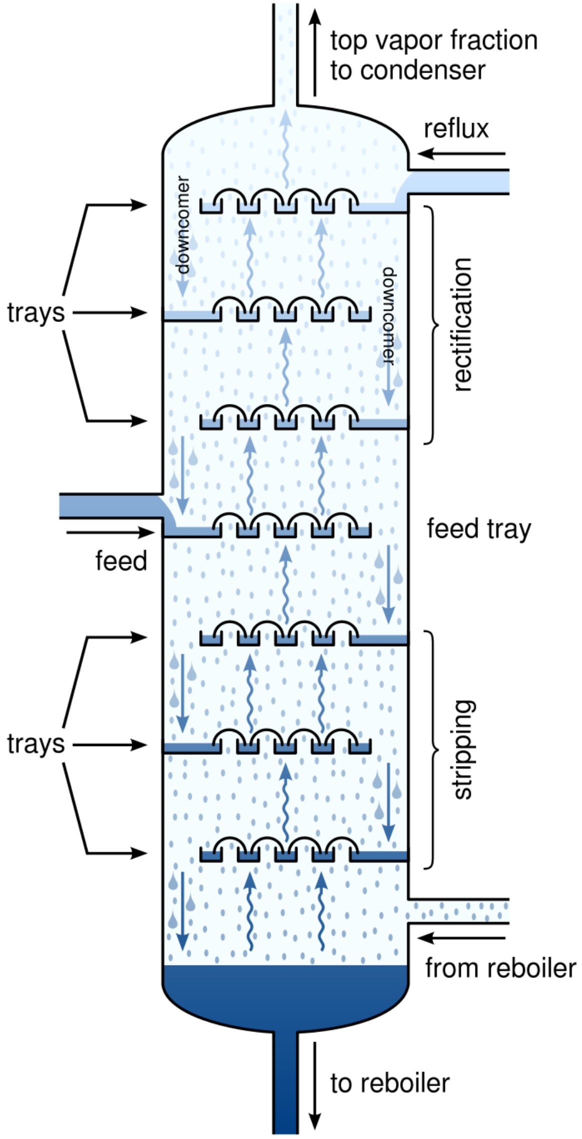


Branch Packed Towers for gas absorption

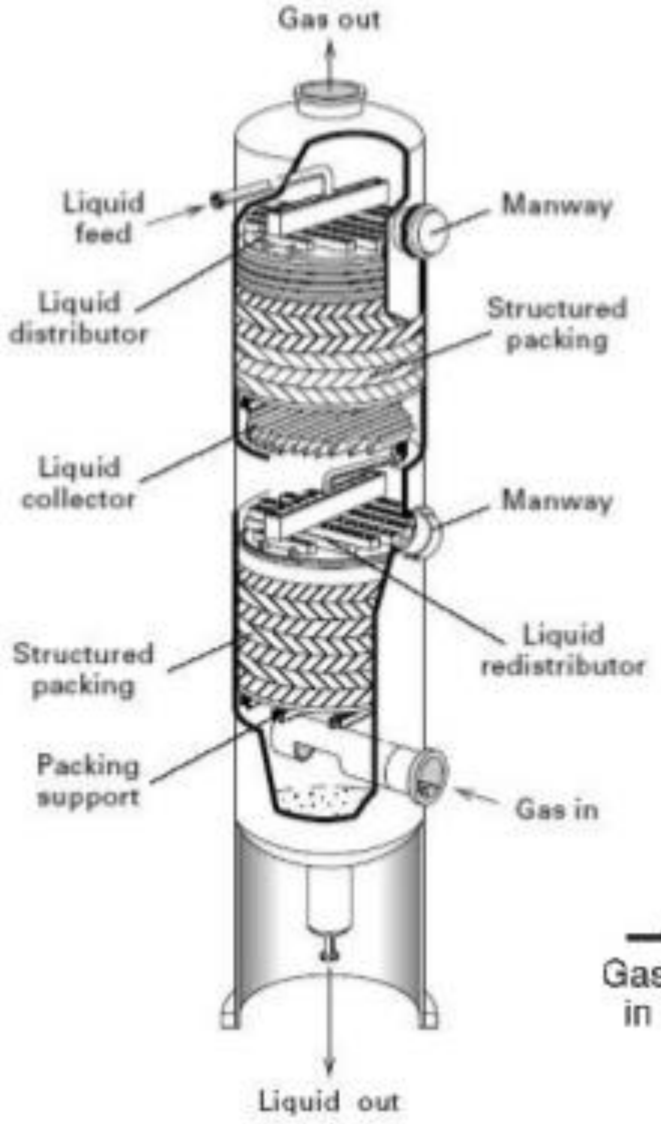
COLUNA SPRAY, PRATOS E BORBULHAMENTO

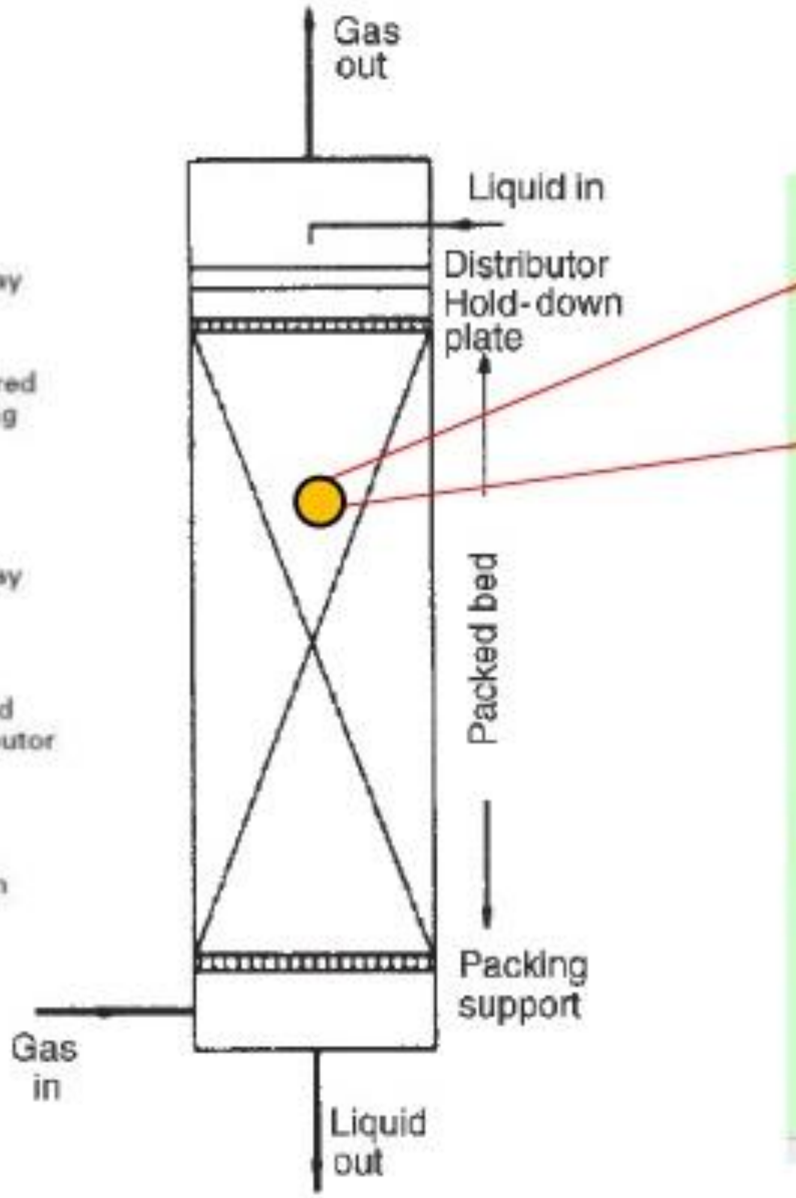


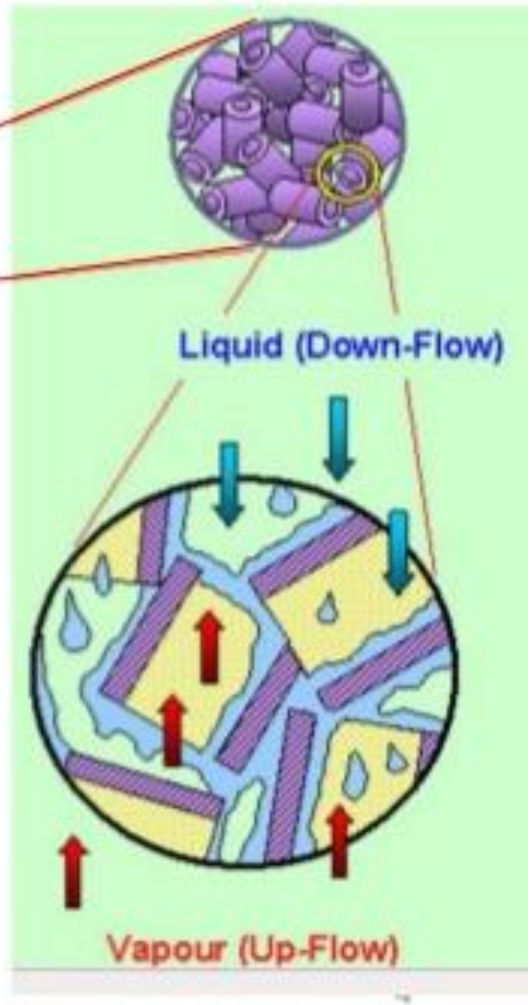




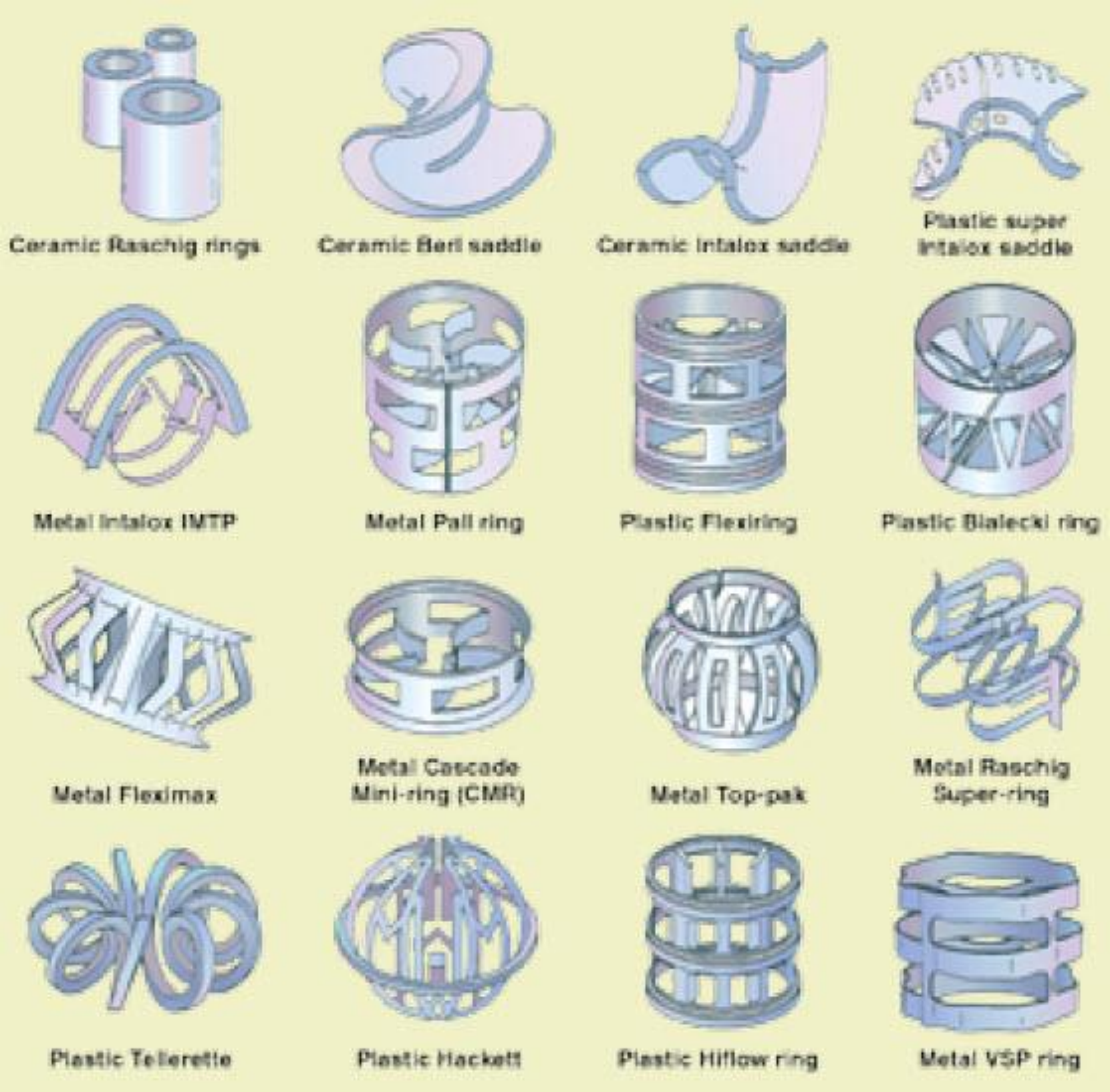
COLUNA RECHEADA – RANDOMICO E ESTRUTURADO







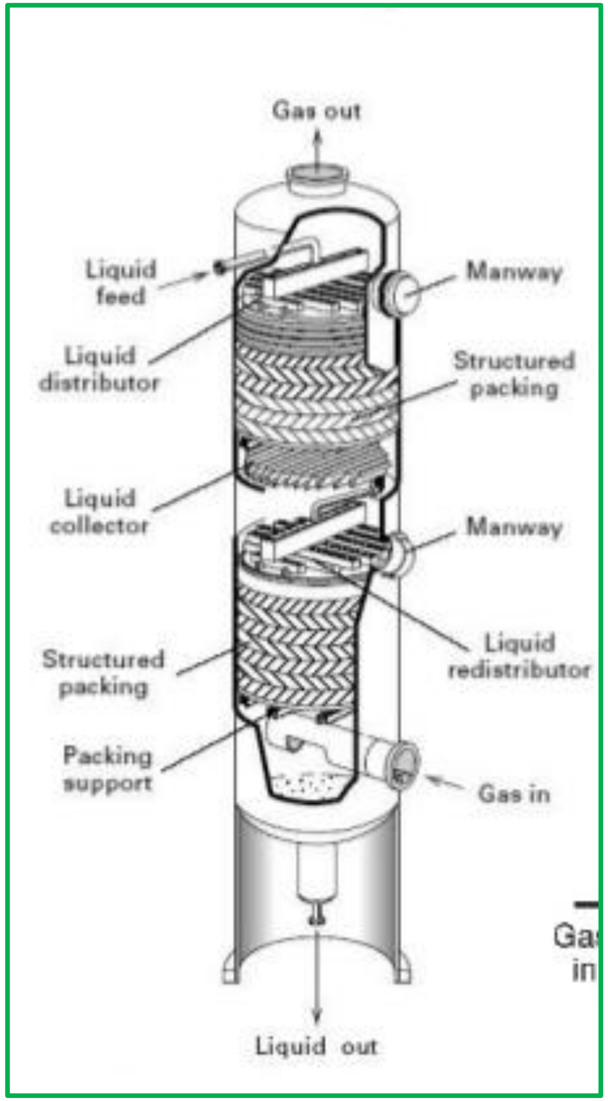
COLUNA RECHEADA – RANDOMICO E ESTRUTURADO



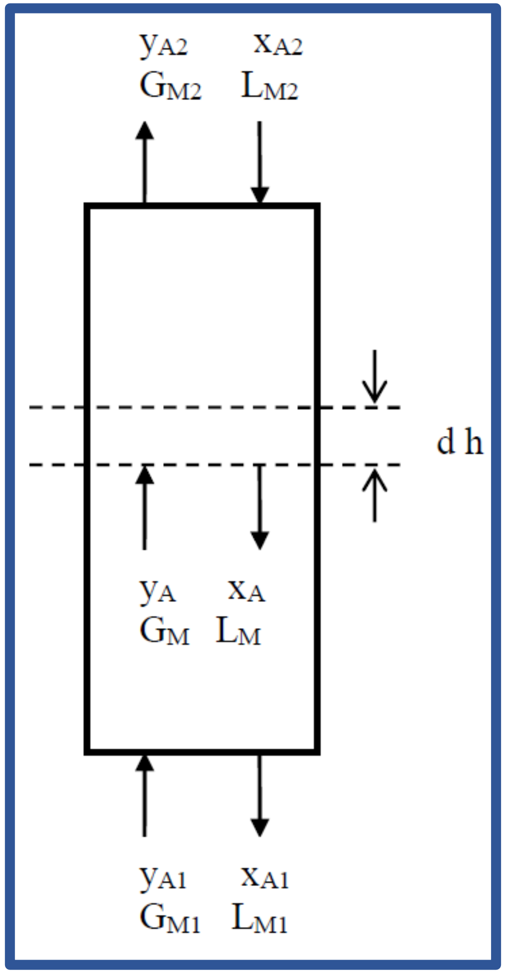
Absorção Gasosa

- **Absorção gasosa é uma operação de separação que envolve a transferência de um ou mais componentes de uma fase gasosa para um solvente líquido.**
- **Exemplos clássicos são: absorção de cloro em água e absorção de amônia em água.**
- **O processo de transferência de massa no sentido inverso – da fase líquida para a gasosa – é denominado "stripping" ou "desorption" (desabsorção).**

Absorção Gasosa



Esquema da coluna de absorção – contracorrente



G – vazão molar do gás, kmol/s

L – vazão molar de líquido, kmol/s

G_M – fluxo molar de gás, kmol/(m^2 s)

L_M – fluxo molar de líquido, kmol/(m^2s)

x_A – fração molar do soluto A na fase líquida

y_A – fração molar do soluto A na fase gasosa

h – altura da coluna

Balanço de Massa – Absorção monocomponente

$$d\left(G_M y_A\right) = d\left(L_M x_A\right)$$

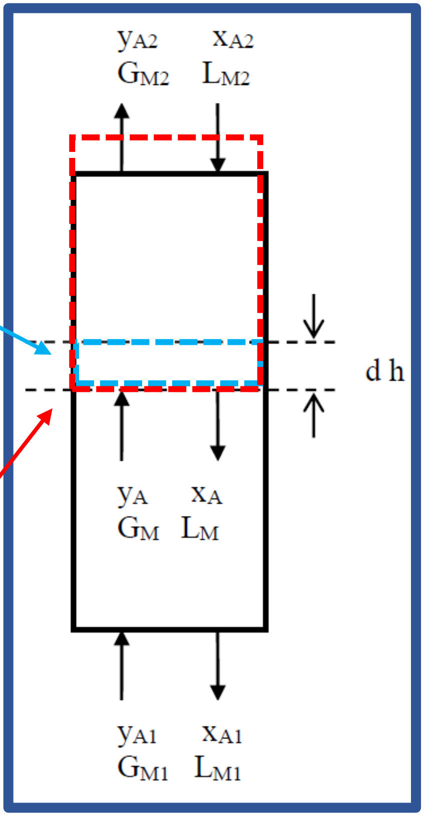
O fluxos molares G_M e L_M podem ser expressos pelos respectivos fluxos molares de inertes G_M' e L_M', conforme as expressões:

- G – vazão molar do gás, kmol/s
- L – vazão molar de líquido, kmol/s
- G_M – fluxo molar de gás, kmol/(m² s)
- L_M – fluxo molar de líquido, kmol/(m²s)
- x_A – fração molar do soluto A na fase líquida
- y_A – fração molar do soluto A na fase gasosa
- h – altura da coluna

$$G_M = \frac{G_M'}{1-y_A} \quad ; \qquad L_M = \frac{L_M'}{1-x_A}$$

$$d\left(\frac{y_A\, G_M'}{1-y_A}\right) = d\left(\frac{x_A\, L_M'}{1-x_A}\right)$$

$$G_M' \frac{d\, y_A}{\left(1-y_A\right)^2} = L_M' \frac{d\, x_A}{\left(1-x_A\right)^2}$$



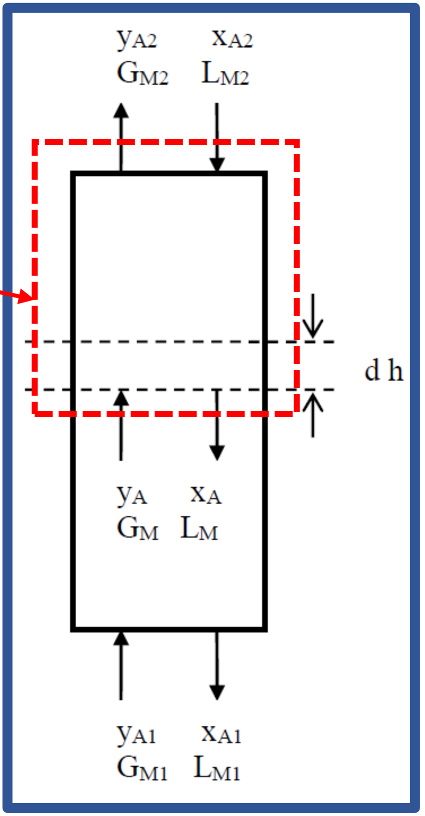
Integrando-se a equação (4) ao longo da coluna, do topo até uma altura genérica, resulta:

$$G_M'\left[\frac{y_A}{1-y_A} - \frac{y_{A2}}{1-y_{A2}}\right] = L_M'\left[\frac{x_A}{1-x_A} - \frac{x_{A2}}{1-x_{A2}}\right]$$

Balanço de Massa - Absorção monocomponente

Linha de operação

$$G_M'\left[\frac{y_A}{1-y_A}-\frac{y_{A2}}{1-y_{A2}}\right]=L_M'\left[\frac{x_A}{1-x_A}-\frac{x_{A2}}{1-x_{A2}}\right]$$



No caso de sistemas diluídos, tem-se : $G_M' \cong G_M$, $L_M' \cong L_M$, $1-y_A \cong 1$, $1-x_A \cong 1$

$$G_M(y_A-y_{A2})=L_M(x_A-x_{A2})$$

$$y_A=\frac{L_M}{G_M}(x_A-x_{A2})+y_{A2}$$

G – vazão molar do gás, kmol/s

L – vazão molar de líquido, kmol/s

G_M – fluxo molar de gás, kmol/(m^2 s)

L_M – fluxo molar de líquido, kmol/(m^2s)

x_A – fração molar do soluto A na fase líquida

y_A – fração molar do soluto A na fase gasosa

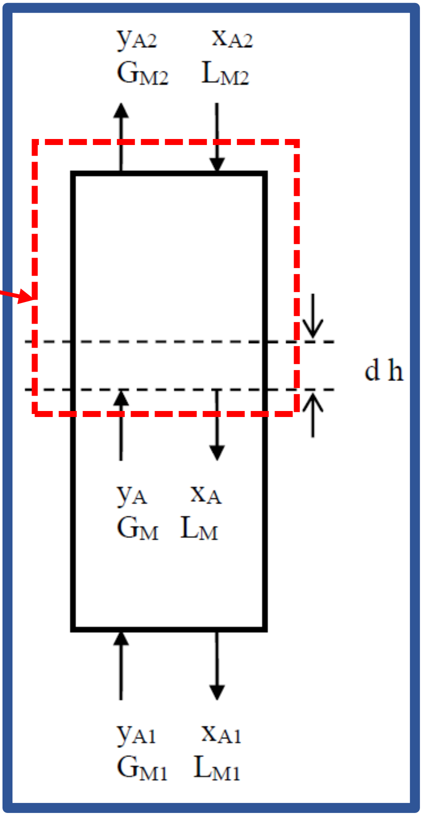
h – altura da coluna

Balanço de Massa - Absorção monocomponente

Linha de operação

$$G_M(y_A - y_{A2}) = L_M(x_A - x_{A2})$$

$$y_A = \frac{L_M}{G_M}(x_A - x_{A2}) + y_{A2}$$



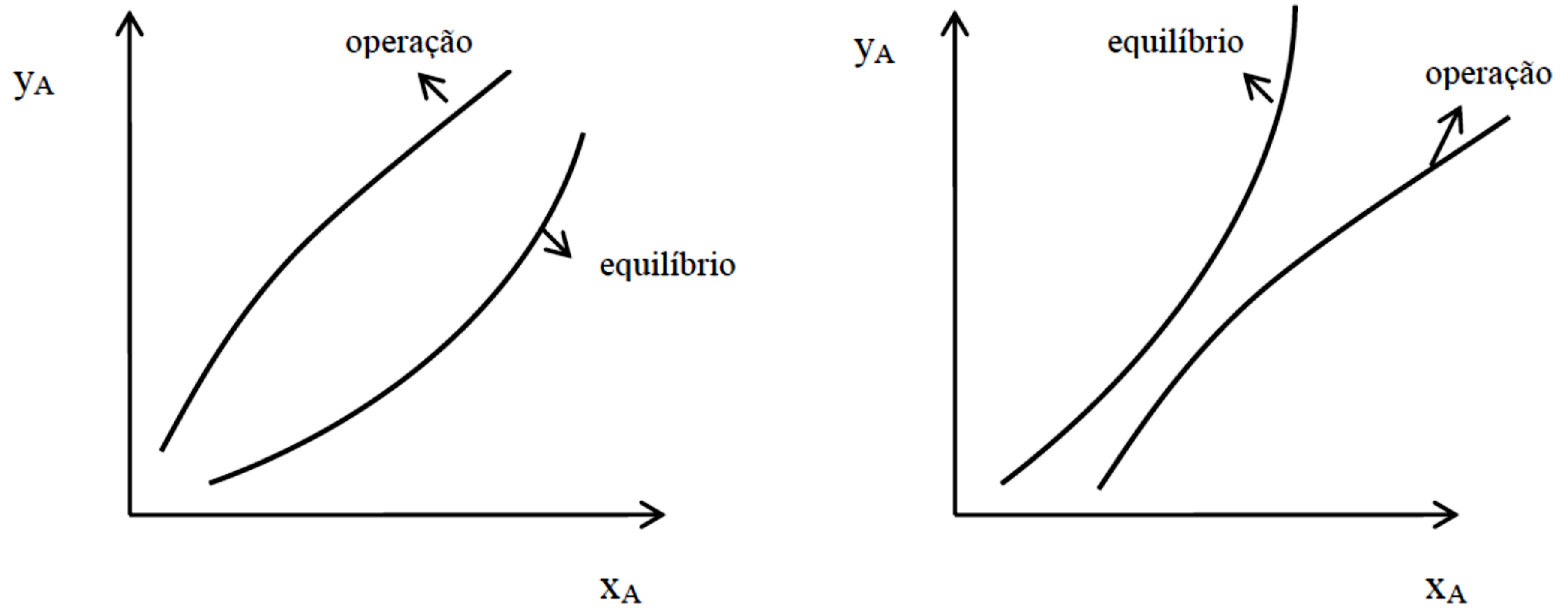
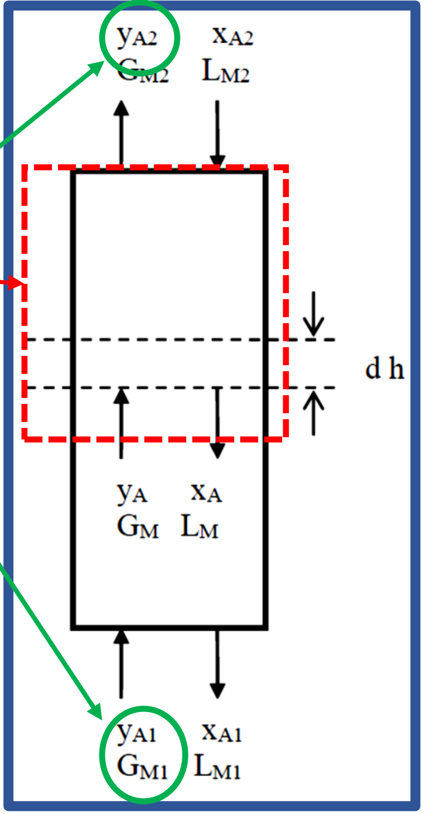


Figura 2 : a) Absorção b) "Stripping"

Balanço de Massa - Absorção monocomponente

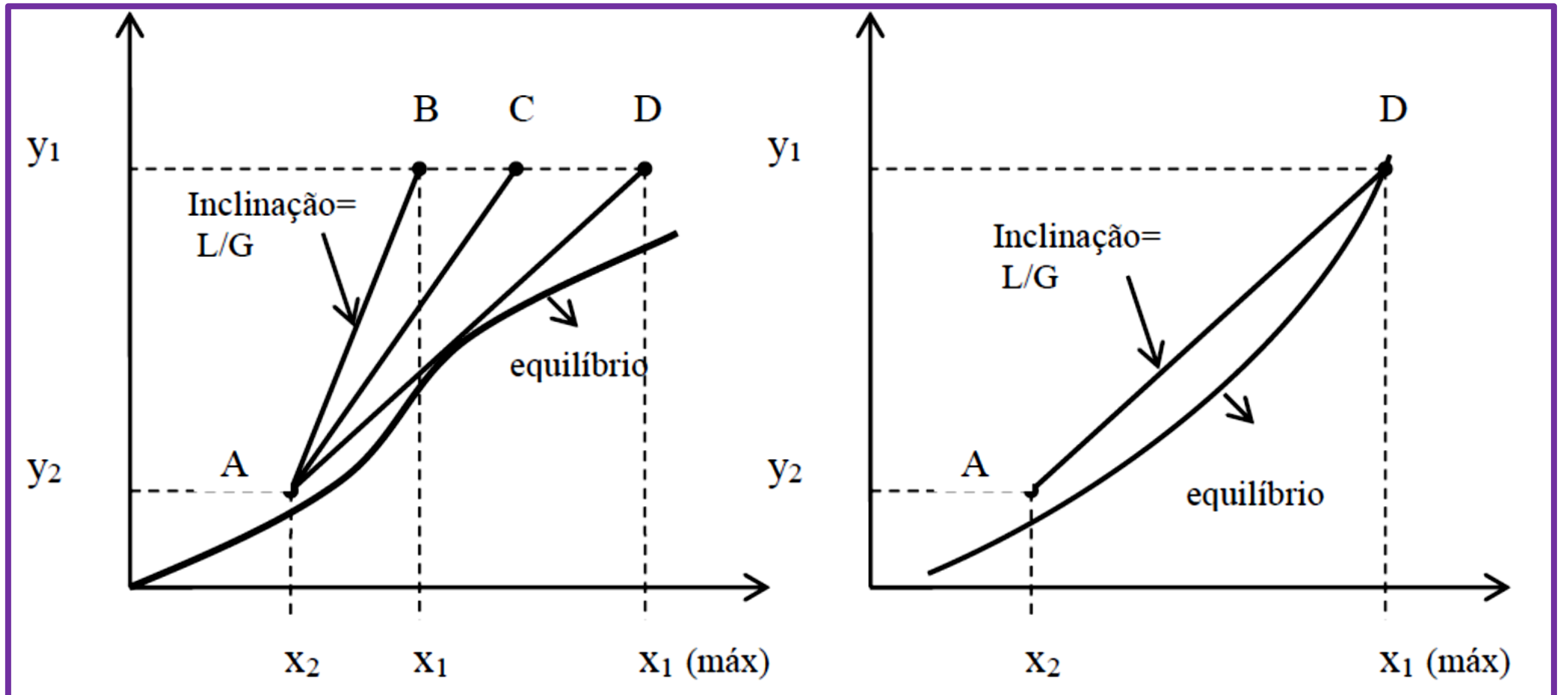
Linha de operação

$$y_A = \frac{L_M}{G_M}(x_A - x_{A2}) + y_{A2}$$



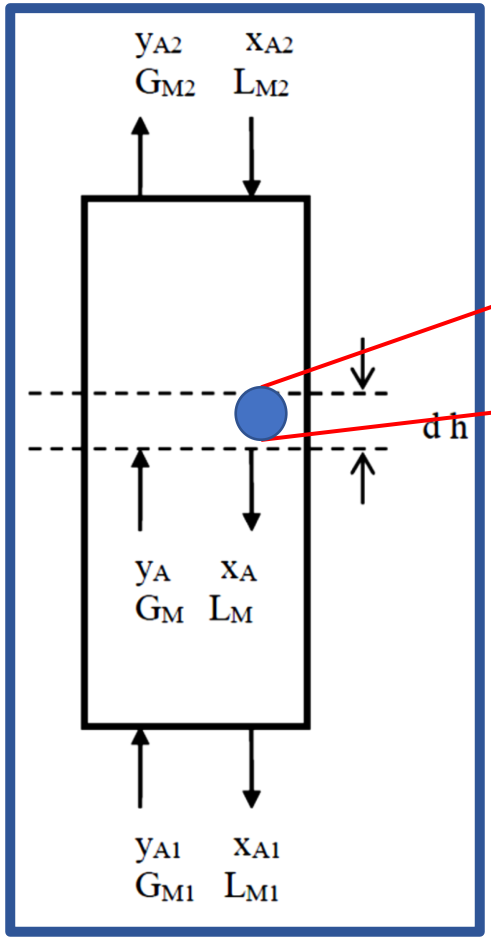
No projeto de absorvedores, a vazão de gás G, as composições do gás y_{A1} y_{A2} e a composição do líquido alimentado x_{A2} são geralmente conhecidas.

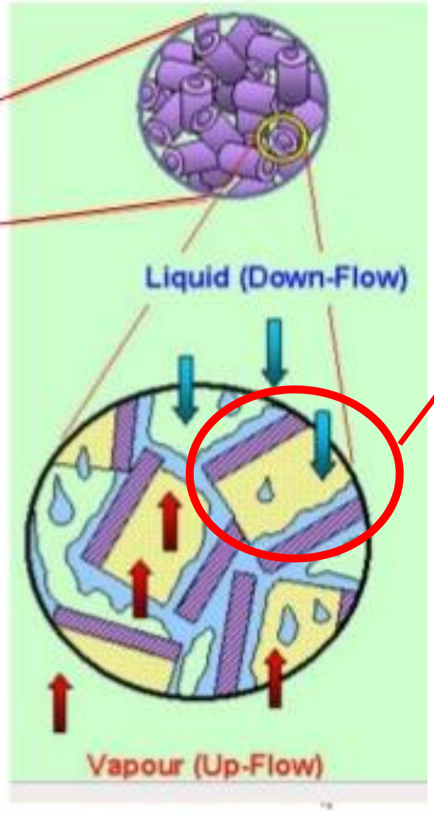
A especificação da vazão de líquido é uma parâmetro a ser definido no projeto, e o seu valor é limitado pela relação $(L/G)_{min}$, conforme ilustrado na figura 3 pela reta AD. No caso da operação de "stripping" a limitação é expressa por um valor de $(L/G)_{max}$, de forma análoga.

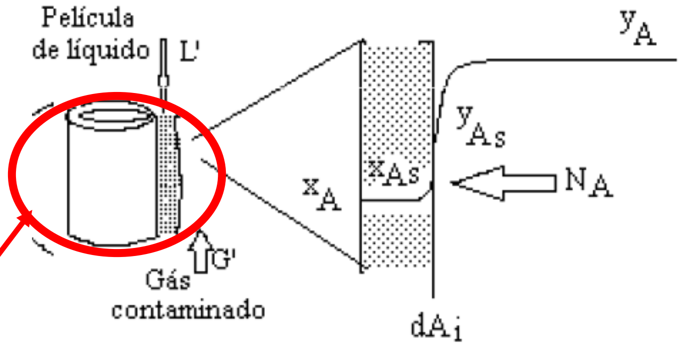


Relação (L/G) para absorção

Fluxo de Transporte de Massa - Absorção monocomponente







$$-d(Gy_A) = N_A\,dA_i$$

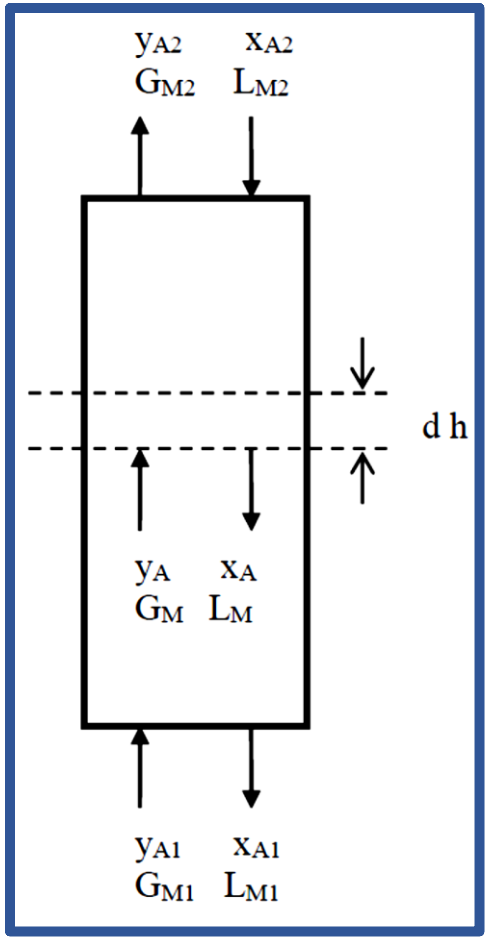
$$dA_i = a\,dV = aA\,dh$$

$$d(G_M y_A) = G_M dy_A + y_A dG_M = dG_M$$

$$dG_M = G_M \frac{dy_A}{1 - y_A}$$

$$dh = -\frac{G_M dy_A}{N_A a (1 - y_A)}$$

Fluxo de Transporte de Massa - Absorção monocomponente

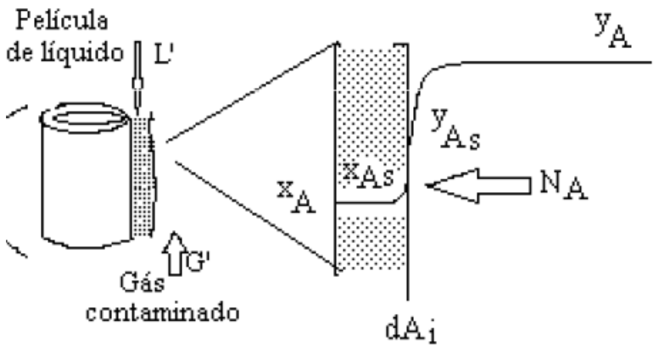


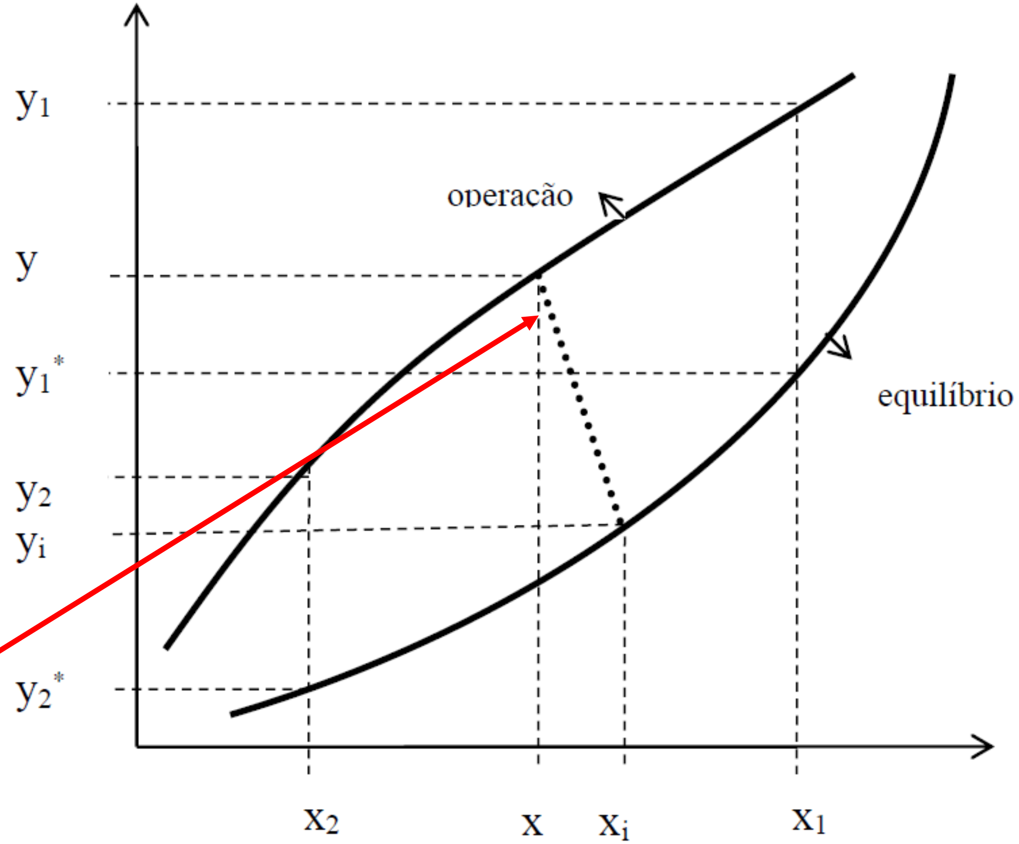
$$dh = -\frac{G_M dy_A}{N_A a (1 - y_A)}$$

$$N_A = K_y (y_A - y_A^*)$$

$$dh = -\frac{G_M dy_A}{K_y a (y_A - y_A^*)(1 - y_A)}$$

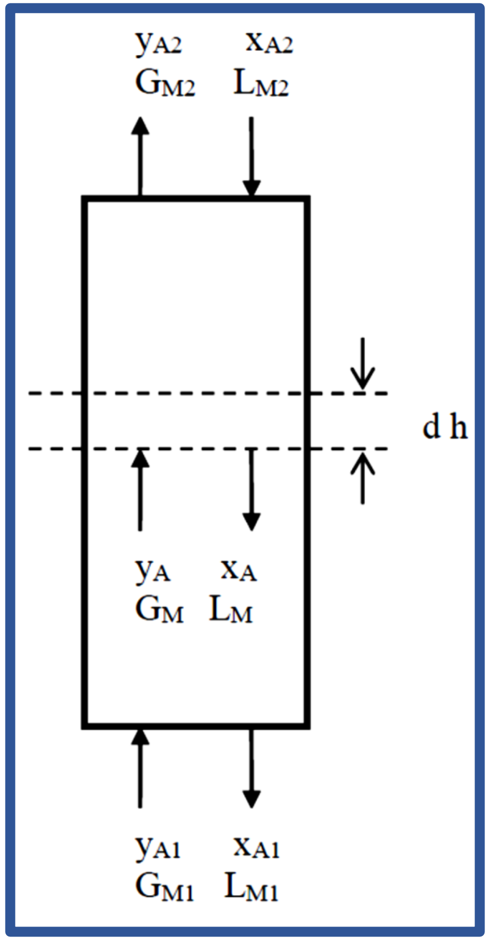
$$\int_0^h dh = -\int_{y_1}^{y_2} \frac{G_M \, y_{B,LN}^* \, dy_A}{K_y a \, y_{B,LN}^* (y_A - y_A^*)(1 - y_A)}$$





$$N_A = k_y (y_A - y_{Ai}) = k_x (x_{Ai} - x_A) \longrightarrow -\frac{y - y_i}{x - x_i} = \frac{k_x}{k_y}$$

Fluxo de Transporte de Massa - Absorção monocomponente



$$\int_0^h dh = -\int_{y_1}^{y_2} \frac{G_M\, y^*_{B,LN}\, dy_A}{K_y a\, y^*_{B,LN}\left(y_A - y_A^*\right)\left(1 - y_A\right)} = h = N_{OG} H_{OG}$$

$$N_{OG} = \int_{y_2}^{y_1} \frac{y^*_{B,LN}\, dy_A}{\left(y_A - y_A^*\right)\left(1 - y_A\right)} \qquad H_{OG} = \frac{G_M}{K_y a\, y^*_{B,LN}}$$

Aproximando-se a média logarítmica $y^*_{B,LN}$ pela aritmética,

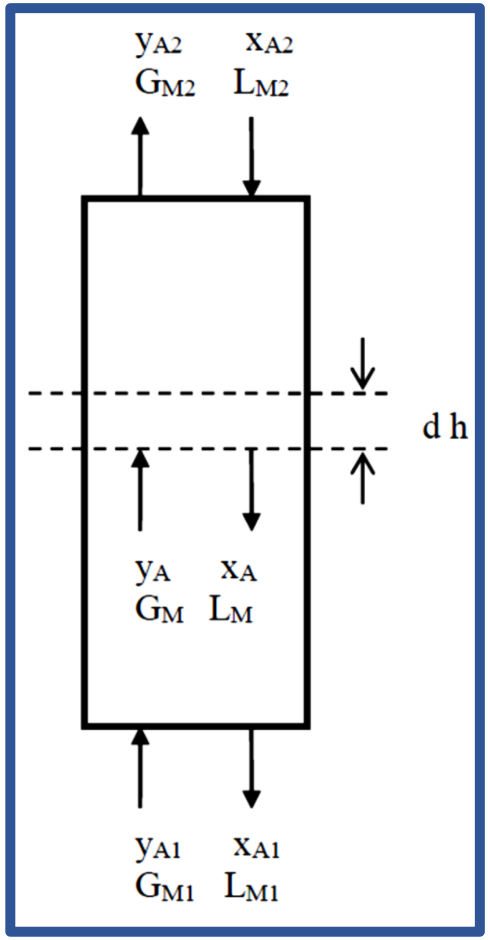
$$y^*_{B,LN} = \left(1 - y_A\right)^*_{LN} \cong \frac{\left(1 - y_A\right) + \left(1 - y_A\right)^*}{2}$$

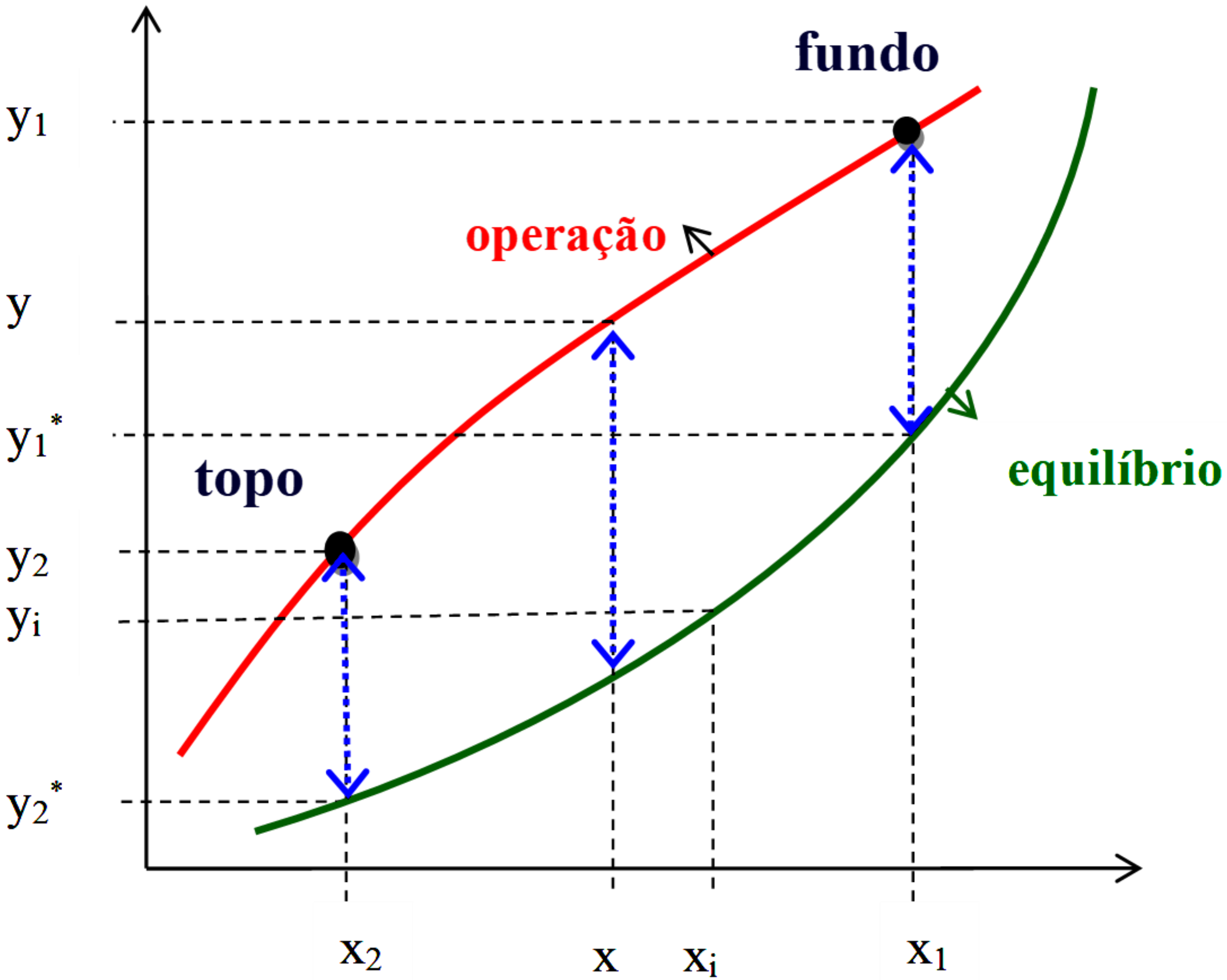
$$N_{OG} = \int_{y_2}^{y_1} \frac{\left[\left(1 - y_A\right) + \left(1 - y_A\right)^*\right] dy_A}{2\left(y_A - y_A^*\right)\left(1 - y_A\right)} \longrightarrow N_{OG} = \int_{y_2}^{y_1} \frac{dy_A}{\left(y_A - y_A^*\right)} + \frac{1}{2}\ln\left(\frac{1 - y_2}{1 - y_1}\right)$$

No caso de sistemas diluídos

$$\boxed{N_{OG} = \int_{y_2}^{y_1} \frac{dy_A}{\left(y_A - y_A^*\right)}}$$

Fluxo de Transporte de Massa - Absorção monocomponente





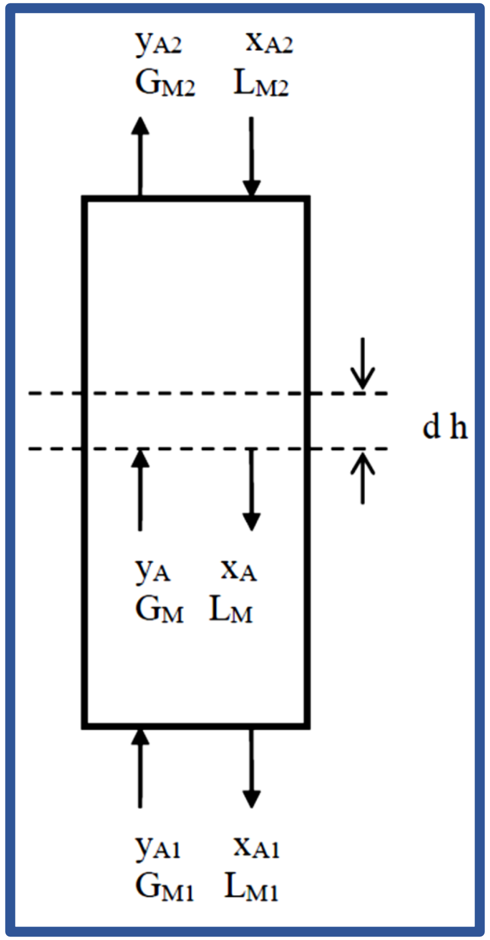
$$h = N_{OG} H_{OG}$$

sistemas diluídos

$$N_{OG} = \int_{y_2}^{y_1} \frac{dy_A}{\left(y_A - y_A^*\right)}$$

$$H_{OG} = \frac{G_M}{K_y a \, y_{B,LN}^*}$$

Fluxo de Transporte de Massa - Absorção monocomponente



No caso de sistemas diluídos

$$N_{OG} = \int_{y_2}^{y_1} \frac{dy_A}{\left(y_A - y_A^*\right)}$$

$$h = N_{OG} H_{OG}$$

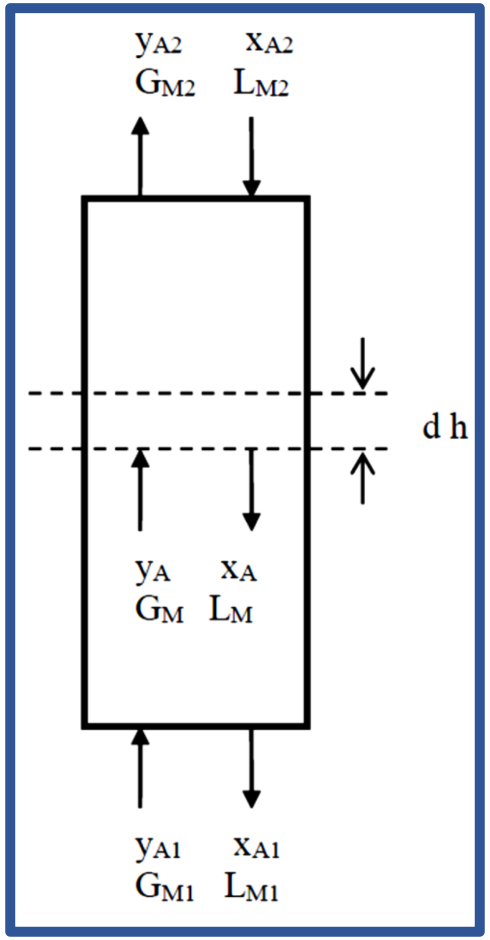
$$H_{OG} = \frac{G_M}{K_y a\, y_{B,LN}^*}$$

relação de equilíbrio $y_A^* = m x_A + b$

linha de operação $y_A = \frac{L_M}{G_M}\left(x_A - x_{A2}\right) + y_{A2}$

$$N_{OG} = \frac{y_{A1} - y_{A2}}{\dfrac{\left(y_A - y_A^*\right)_1 - \left(y_A - y_A^*\right)_2}{\ln\left[\left(y_A - y_A^*\right)_1 / \left(y_A - y_A^*\right)_2\right]}}$$

Fluxo de Transporte de Massa - Absorção monocomponente



No caso de sistemas diluídos

$$N_{OG} = \frac{y_{A1} - y_{A2}}{\dfrac{(y_A - y_A^*)_1 - (y_A - y_A^*)_2}{\ln\left[(y_A - y_A^*)_1 / (y_A - y_A^*)_2\right]}}$$

linha de operação

$$y_A = \frac{L_M}{G_M}(x_A - x_{A2}) + y_{A2}$$

Muitas soluções diluídas seguem a lei de Henry.

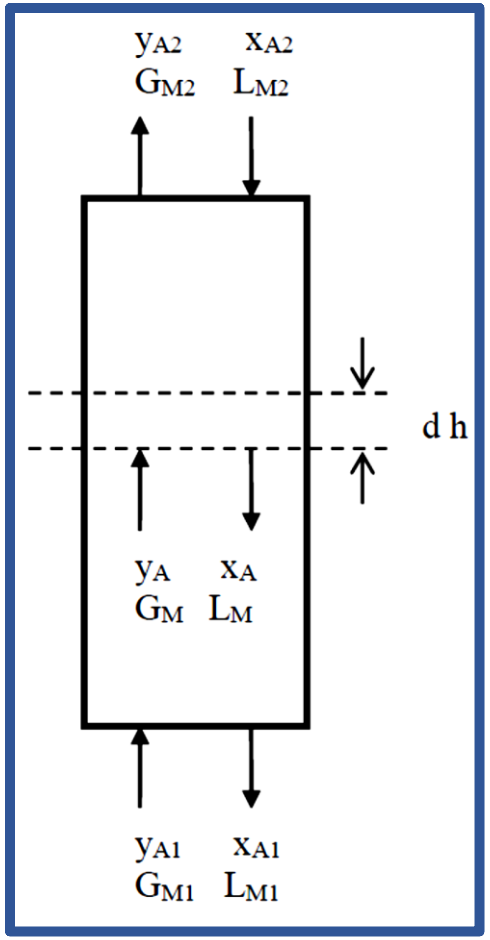
$$y_A^* = mx_A$$

$$N_{OG} = \frac{\ln\left[\dfrac{y_{A1} - mx_{A2}}{y_{A2} - mx_{A2}}\left(1 - \dfrac{1}{\lambda}\right) + \dfrac{1}{\lambda}\right]}{1 - \dfrac{1}{\lambda}}$$

λ é o fator de absorção.

$$\lambda = \frac{L_M}{mG_M}$$

Fluxo de Transporte de Massa - Absorção monocomponente



Cálculo do H_{OG}

$$\boxed{H_{OG} = \frac{G_M}{K_y a \, y^*_{B,LN}}}$$

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

$$\frac{G_M}{K_y a \, y^*_{B,LN}} = \frac{G_M}{k_y a \, y^*_{B,LN}} \frac{y_{B,LN}}{y_{B,LN}} + \frac{G_M m}{k_x a \, y^*_{B,LN}} \frac{L_M}{L_M} \frac{x_{B,LN}}{x_{B,LN}}$$

$$\boxed{H_G = \frac{G_M}{k_y a} \frac{1}{y_{B,LN}}} \qquad \boxed{H_L = \frac{L_M}{k_x a} \frac{1}{x_{B,LN}}}$$

ALTURA DE UNIDADE DE TRANSFERÊNCIA - AUT

$$\boxed{H_{OG} = H_G \frac{y_{B,LN}}{y^*_{B,LN}} + \left(\frac{G_M m}{L_M}\right) H_L \frac{x_{B,LN}}{y^*_{B,LN}}}$$

sistemas diluídos

$$\boxed{H_{OG} = H_G + \left(\frac{G_M m}{L_M}\right) H_L}$$

$$\boxed{H_G = \frac{G_M}{k_y a}} \qquad \boxed{H_L = \frac{L_M}{k_x a}}$$

TABLE 5-24 Mass-Transfer Correlations for Packed Two-Phase Contactors—Absorption, Distillation, Cooling Towers, and Extractors (Packing Is Inert) *(Continued)*

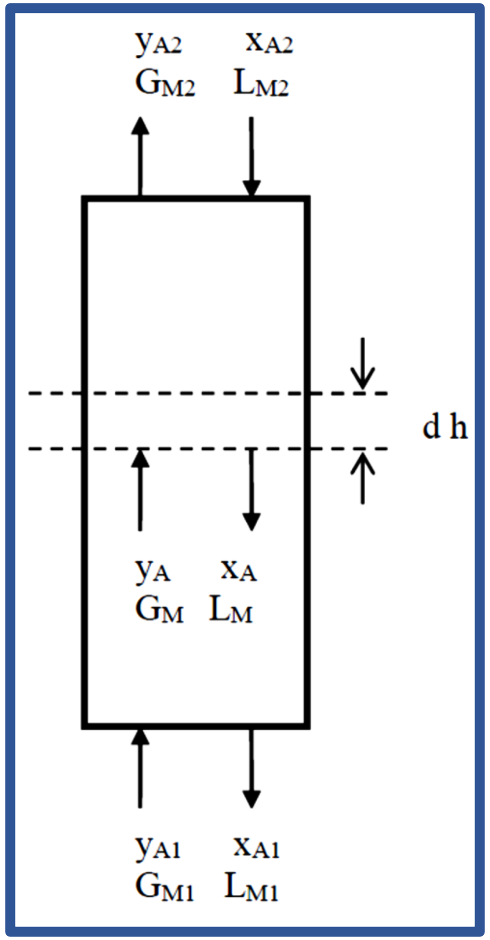
Situation	Correlations	Comments E = Empirical, S = Semiempirical, T = Theoretical	References*
E. Absorption and distillation, countercurrent gas-liquid flow, random and structured packing. Determine H_L and H_G	$H_G = \left(\frac{0.226}{f_p}\right)\left(\frac{N_{Sc}}{0.660}\right)^{b}\left(\frac{G_x}{6.782}\right)^{-0.5}\left(\frac{G_y}{0.678}\right)^{0.35}$ $H_L = \left(\frac{0.357}{f_p}\right)\left(\frac{N_{Sc}}{372}\right)^{0.5}\left(\frac{G_x/\mu}{6.782/0.0008937}\right)^{0.3}$ Relative transfer coefficients [91], f_p values are in table (below). Norton Intalox structured: 2T, $f_p = 1.98$; 3T, $f_p = 1.94$.	[S] H_G based on NH_3 absorption data (5–28B) for which $H_{G,\,base} = 0.226$ m with $N_{Sc,\,base} = 0.660$ at $G_{x,\,base} = 6.782$ kg/(sm^2) and $G_{y,\,base} = 0.678$ kg/(sm^2) with 1½ in. ceramic Raschig rings. The exponent b on N_{Sc} is reported as either 0.5 or as ⅔. $f_p = \dfrac{H_G \text{ for } NH_3 \text{ with } 1\frac{1}{2} \text{ Raschig rings}}{H_G \text{ for } NH_3 \text{ with desired packing}}$ H_L based on O_2 desorption data (5-24-A). Base viscosity, $\mu_{base} = 0.0008937$ kg/(ms). H_L in m. $G_y < 0.949$ kg/(sm^2), $0.678 < G_x < 6.782$ kg/(sm^2). Best use is for absorption and stripping. Limited use for organic distillation [156].	[66] p. 686, 659 [138] [156]

Relative transfer coefficients [91], f_p values are in table:

Size, in.	Ceramic Raschig rings	Ceramic Berl saddles	Metal Pall rings	Metal Intalox	Metal Hypac
0.5	1.52	1.58	—	—	—
1.0	1.20	1.36	1.61	1.78	1.51
1.5	1.00	—	1.34	—	—
2.0	0.85	—	1.14	1.27	1.07

Norton Intalox structured: 2T, $f_p = 1.98$; 3T, $f_p = 1.94$.

3. Cálculo da Altura da Coluna



sistemas diluídos

$$h = N_{OG} H_{OG}$$

$$N_{OG} = \int_{y_2}^{y_1} \frac{dy_A}{\left(y_A - y_A^*\right)}$$

$$h = N_{OL} H_{OL}$$

$$N_{OL} = \int_{y_2}^{y_1} \frac{dx_A}{\left(x_A - x_A^*\right)}$$

$$h = N_G H_G$$

$$N_G = \int_{y_2}^{y_1} \frac{dy_A}{\left(y_A - y_{Ai}\right)}$$

$$h = N_L H_L$$

$$N_L = \int_{y_2}^{y_1} \frac{dx_A}{\left(x_A - x_{Ai}\right)}$$

TABLE 5-24 Mass-Transfer Correlations for Packed Two-Phase Contactors—Absorption, Distillation, Cooling Towers, and Extractors (Packing Is Inert) *(Continued)*

Situation	Correlations	Comments E = Empirical, S = Semiempirical, T = Theoretical	References*
E. Absorption and distillation, countercurrent gas-liquid flow, random and structured packing. Determine H_L and H_G	$H_G = \left(\frac{0.226}{f_p}\right)\left(\frac{N_{Sc}}{0.660}\right)^b\left(\frac{G_x}{6.782}\right)^{-0.5}\left(\frac{G_y}{0.678}\right)^{0.35}$ $H_L = \left(\frac{0.357}{f_P}\right)\left(\frac{N_{Sc}}{372}\right)^{0.5}\left(\frac{G_x/\mu}{6.782/0.0008937}\right)^{0.3}$ Relative transfer coefficients [91], f_p values are in table (below). Norton Intalox structured: 2T, $f_p = 1.98$; 3T, $f_p = 1.94$.	[S] H_G based on NH_3 absorption data (5–28B) for which $H_{G,\,base} = 0.226$ m with $N_{Sc,\,base} = 0.660$ at $G_{x,\,base} = 6.782$ kg/(sm^2) and $G_{y,\,base} = 0.678$ kg/(sm^2) with 1½ in. ceramic Raschig rings. The exponent b on N_{Sc} is reported as either 0.5 or as ⅔. $f_p = \frac{H_G \text{ for } NH_3 \text{ with } 1½ \text{ Raschig rings}}{H_G \text{ for } NH_3 \text{ with desired packing}}$ H_L based on O_2 desorption data (5-24-A). Base viscosity, $\mu_{base} = 0.0008937$ kg/(ms). H_L in m. $G_y < 0.949$ kg/(sm^2), $0.678 < G_x < 6.782$ kg/(sm^2). Best use is for absorption and stripping. Limited use for organic distillation [156].	[66] p. 686, 659 [138] [156]

Relative transfer coefficients [91], f_p values are in table:

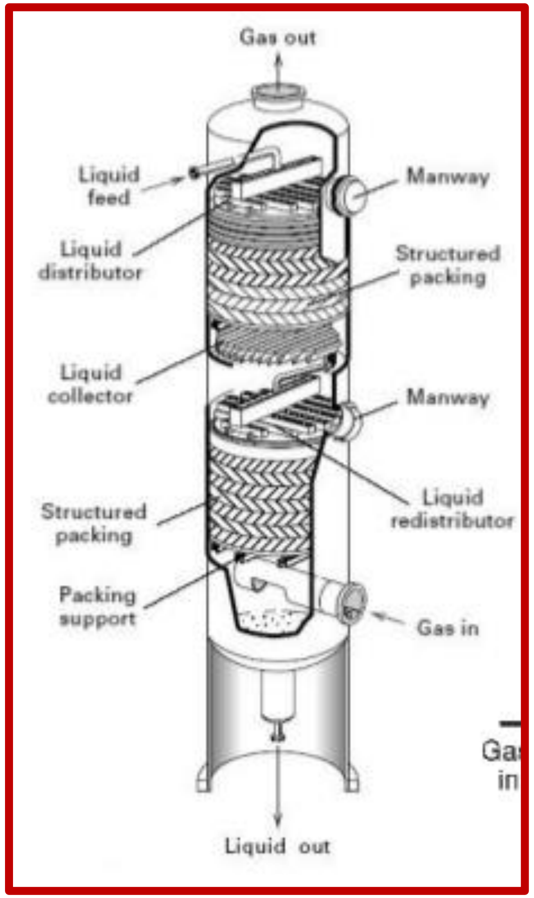
Size, in.	Ceramic Raschig rings	Ceramic Berl saddles	Metal Pall rings	Metal Intalox	Metal Hypac
0.5	1.52	1.58	—	—	—
1.0	1.20	1.36	1.61	1.78	1.51
1.5	1.00	—	1.34	—	—
2.0	0.85	—	1.14	1.27	1.07

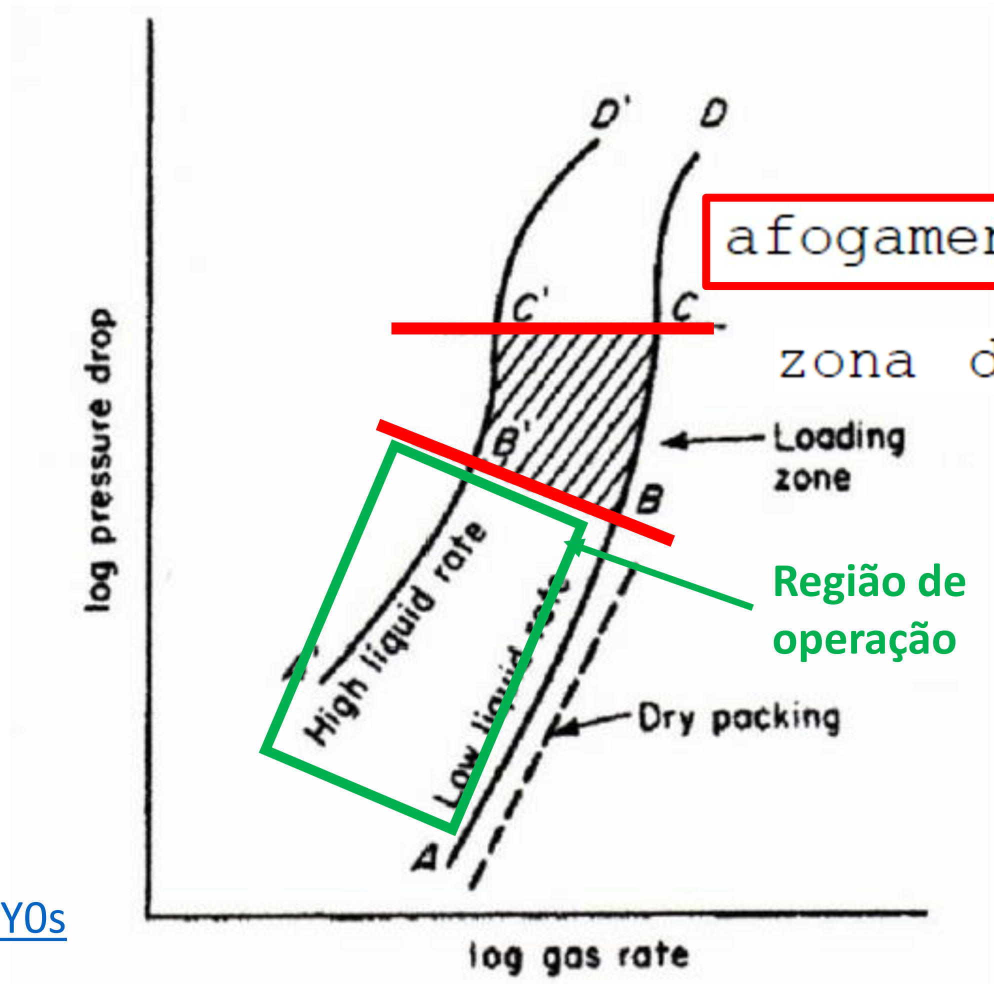
Norton Intalox structured: 2T, $f_p = 1.98$; 3T, $f_p = 1.94$.

4. Hidrodinâmica – Coluna Recheada

Do ponto de vistas hidrodinâmico, as condições de “loading” e “flooding” representam limites da capacidade da coluna recheada.

maiores vazões de líquido, a retenção deste (“holdup”) é maior,



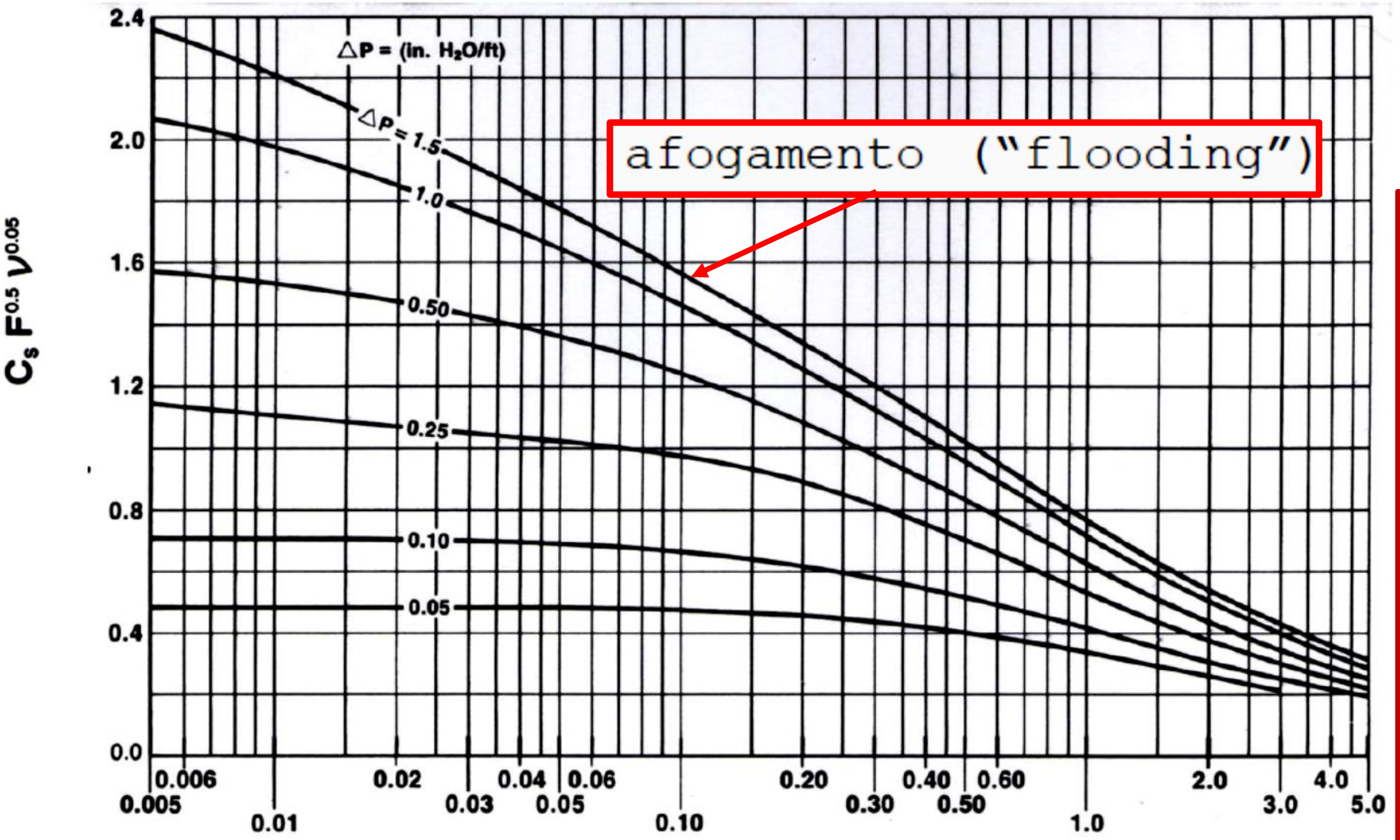


afogamento (“flooding”)

zona de carga

https://www.youtube.com/watch?v=mJtNrnflY0s

4. Hidrodinâmica – Coluna Recheada



$$C_s = U_t \left(\frac{\rho_G}{\rho_L - \rho_G} \right)^{0,5}$$

$$F_{LG} = \frac{L}{G} \sqrt{\frac{\rho_G}{\rho_L}}$$

G e L = fluxos mássicos (vazão mássica/área da secção da coluna) de gás e líquido, kg/(m^2 s)

ρ_G e ρ_L = respectivamente as densidades do gás e líquido, kg/m^3

U_t = velocidade superficial do gás, ft/s

F_P = fator do recheio, ft^{-1}

ν = viscosidade cinemática do líquido , cS [= cP/(g/cm^3)]

Figura 6 – Correlação generalizada de perda de carga

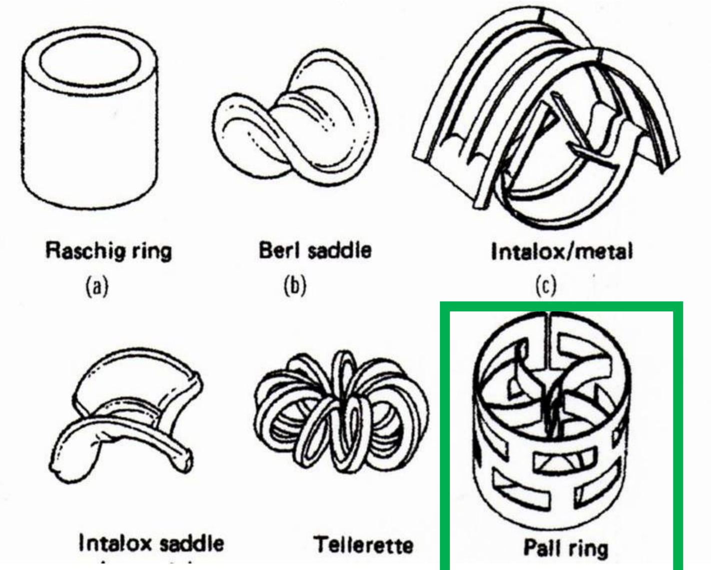
4 Hidrodinâmica – Coluna Recheada

TABLE 14-13 Characteristics of Random Packings

Name	Size, mm, or no. (#)	Bed density,* kg/m³	Area, m²/m³	% voids	Packing factor, m⁻¹ Normal F_p†	Dry F_{pd}‡	Vendor
			Metals				
Pall rings	16	510	360	92	256	262	Various
(also Flexi-rings,	25	325	205	94	183	174	
Ballast rings, P-rings)	38	208	130	95	131	91	
	50	198	105	96	89	79	
	90	135	66	97	59	46	
Metal Intalox (IMTP)	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	Koch-Gli[illegible]
[also I-rings, AHPP,	40	153	151	97	79	85	[Sulzer, A[illegible]
RSMR, MSR]§	50	166	98	98	59	56	Rauscher[illegible]
	70	141	60	98	39	—	
Nutter rings	#0.7	177	226	98	—	128	Sulzer
	#1	179	168	98	98	89	
	#1.5	181	124	98	79	66	
	#2	144	96	98	59	56	
	#2.5	121	83	98	52	49	
	#3.0	133	66	98	43	36	
Raschig Super-ring	#0.5	275	250	98	—	—	Raschig
	#0.7	185	175	98	—	—	
	#1	220	160	98	82	—	
	#1.5	170	115	98	59	—	
	#2	155	98	99	49	—	
	#3	150	80	98	36	—	
Cascade mini-rings	#1	389	250	96	131	102	Koch-Gli[illegible]
(CMR)	#1.5	285	190	96	95	—	
	#2	234	151	97	72	79	
	#2.5	195	121	97	62	—	
	#3	160	103	98	46	43	
	#4	125	71	98	33	32	
	#5	108	50	98	26¶	—	
Fleximax	#300	—	141	98	85	—	Koch-Gli[illegible]
	#400	—	85	98	56	—	
Jaeger Tripacks	#1	223	118	96	85	—	Raschig
(Top-Pak)	#2	170	75	98	46	—	
VSP	25	352	206	98	105¶	—	Raschig
	50	296	112	96	69	—	
Ralu-rings	25	310	215	98	157¶	—	Raschig
	38	260	135	97	92¶	—	
	50	200	105	98	66¶	—	
Hiflow	25	298	203	96	—	—	Rauschert
	50	175	92	98	52	—	
Hy-Pak, K-Pak,	#1	262	174	97	148	—	Koch-Glitsch,
AIPR	#1.5	180	118	98	95	—	Amistco
	#2	161	92	98	85	—	
	#3	181	69	98	52	—	
Raschig rings	19	1500	245	80	722	—	Various
(1/16 in wall)	25	1140	185	86	472	492	
	50	590	95	92	187	223	
	75	400	66	95	105	—	
			Ceramics				
Berl saddles	6	900	900	60	—	2950	Various
	13	865	465	62	790	900	
	25	720	250	68	360	308	
	38	640	150	71	215	154	
	50	625	105	72	150	102	
Intalox, Flexi-saddles,	6	864	984	65	—	2720	Various
Torus-saddles, Novalox	13	736	623	71	660	613	
	25	672	256	73	302	308	
	50	608	118	76	131	121	
	75	576	92	79	72	66	
Raschig rings	6	960	710	62	—	5250	Various
	13	880	370	64	1900	1705	
	25	670	190	74	587	492	
	50	660	92	74	213	230	
	75	590	62	75	121	—	
Pall ring	25	620	220	75	350	—	Raschig
	38	540	164	78	180	—	
	50	550	121	78	142	—	
	80	520	82	78	85¶	—	

TABLE 14-13 Characteristics of Random Packings

Name	Size, mm, or no. (#)	Bed density,* kg/m³	Area, m²/m³	% voids	Packing factor, m⁻¹ Normal F_p†	Dry F_{pd}‡	Vendor
			Metals				
Pall rings	16	510	360	92	256	262	Various
(also Flexi-rings,	25	325	205	94	183	174	
Ballast rings, P-rings)	38	208	130	95	131	91	
	50	198	105	96	89	79	
	90	135	66	97	59	46	



4. Hidrodinâmica – Coluna Recheada

TABLE 14-14 Characteristics of Structured Packings

Name	Size or number	Area, m²/m³	% voids*	Packing factor, m⁻¹ Normal F_p†	Packing factor, m⁻¹ Dry F_{pd}‡	Vendor
			Metals, corrugated sheets			
Mellapak	125Y	125	99	33		Sulzer
	170Y	170	99	39		
	2Y	223	99	46		
	250Y	250	98	66		
	350Y	350	98	75		
	500Y	500	98	112		
	750Y	750	97			
	125X	125	99	16		
	170X	170	99	20		
	2X	223	99	23		
	250X	250	98	26		
	500X	500	98	82		

Name	Size or number	Area, m²/m³	% voids*	Packing factor, m⁻¹ Normal F_p†	Packing factor, m⁻¹ Dry F_{pd}‡	Vendor
			Metals, corrugated sheets			
Mellapak	125Y	125	99	33		Sulzer
	170Y	170	99	39		
	2Y	223	99	46		
	250Y	250	98	66		
	350Y	350	98	75		
	500Y	500	98	112		
	750Y	750	97			
	125X	125	99	16		
	170X	170	99	20		
	2X	223	99	23		
	250X	250	98	26		
	500X	500	98	82		
Mellapak Plus	202Y		99			Sulzer
	252Y	250	98	39		
	352Y		98			
	452Y	350	98	69		
	752Y	500	98	131		
Flexipac	700Y	710	96			Koch-Glitsch
	500Y	495	97			
	1Y	420	98	98	(105)	
	350Y	350	98			
	1.6Y	290	98	59		
	250Y	250	99			
	2Y	220	99	49	(36)	
	2.5Y	150	99			
	3.5Y	80	99	30	(15)	
	4Y	55	99	23	(10.5)	
	1X	420	98	52		
	350X	350	98			
	1.6X	290	98	33		
	250X	250	99			
	2X	220	99	23		
	2.5X	150	99			
	3X	110	99	16		
	3.5X	80	99			
	4X	55	99			
Flexipac High-capacity	700	710	96	223		Koch-Glitsch
	500Z	495	97			
	1Y	420	98	82		
	350Y	350	98			
	1.6Y	290	99	56		
	250Y	250	99			
	2Y	220	99	43		
Intalox	1T	310	98	66		Koch-Glitsch
	1.5T	250	99			
	2T	215	99	56		
	3T	170	99	43		

	250X	250		
Ralu-Pak	30/160	160	92	Raschig
Multifil plastics	P1500	1500	88.5	Knit Mesh

*% voids vary with material thickness and values may not be consistent.
†Packing factors from Kister, *Distillation Design*, McGraw-Hill, 1992; Kister, Larson, and Gill, paper presented at the Houston AIChE Meeting, March 19–23, 1995; and Kister et al., in *Distillation 2007: Proceedings of Topical Conference*, AIChE Spring Meeting, Houston, Tex., April 22–26, 2007.
‡Dry packing factors from Robbins, *Chem. Eng. Prog.*, p. 87, May 1991.
§These packing factors supplied by the packing vendor.
¶These are expanded metal packings.
||First figure is for hydrocarbon service, second figure for aqueous service.
Vendors: Sulzer Chemtech Ltd., Winterthur, Switzerland; Koch-Glitsch LLP, Wichita, Kansas; Raschig GmbH, Ludwigshafen/Rhein, Germany; Julius Montz GmbH, Hilden, Germany; Knit Mesh/Enhanced Separation Technologies, Houston, Texas; Kuhni Ltd., Allschwil, Switzerland.

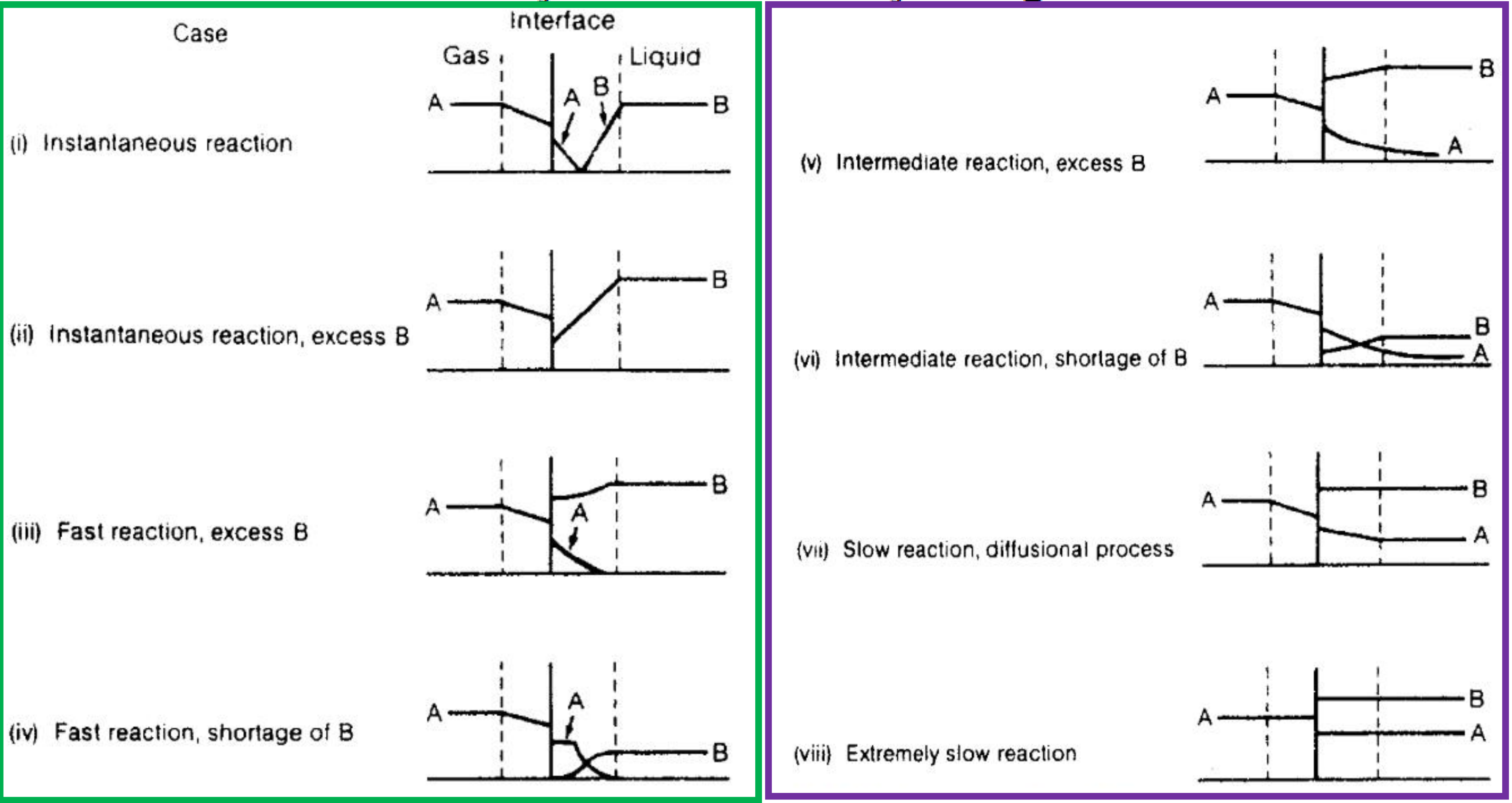
5. Absorção com reação química

Muitos processos de absorção de gases envolvem sistemas com reação química na fase líquida. O efeito da reação química pode produzir um aumento significativo na velocidade de absorção. O mecanismo que define a taxa de transferência de massa é bastante complexo e depende da relação entre a velocidade do processo difusivo na fase líquida e as velocidades das reações de consumo do soluto que ocorrem simultaneamente na fase.

O efeito do incremento na velocidade de transferência de massa, devido à reação química, é descrito através do parâmetro denominado fator de aumento (ϕ), sendo o fluxo de transferência de massa, N_A, expresso conforme por (Sherwood e Pigford, 1975).

$$N_A = \Phi k_L \left(\rho_{Ai} - \rho_A \right) \tag{46}$$

5. Absorção com reação química



Aumento na velocidade de transferência de massa, devido à reação química, é descrito através do parâmetro denominado fator de aumento (ϕ), sendo o fluxo de transferência de massa, N_A :

$$\boxed{N_A = \Phi k_L(\rho_{Ai} - \rho_A)}$$

Fator de aumento para reação irreversível