

Análise da Região de Operação dos Pratos Perfurados e Valvulados em Colunas de Destilação

^{1,2}L.J.N. Duarte*, ²F. S. D'Almeida

¹Centro Federal de Educação Tecnológica da Bahia (CEFET-BA)
Via Universitária, s/n, Pitanguinha, Simões Filho, Bahia - Cep: 43.700-000

²Universidade Federal da Bahia (UFBA)
Escola Politécnica, Rua Aristides Novis, 02, Salvador, Bahia - Cep: 40.210-630
*ljnduarte@hotmail.com

Resumo

O objetivo deste trabalho é implantar os cálculos da região de operação dos pratos perfurados e valvulados (hidráulica dos pratos). A região de operação é a região delimitada pelas curvas dos “fenômenos” estudados nos pratos das torres de destilação, dentre os quais pode-se citar: inundação, arraste, vazamento, perda de carga, vazão máxima no vertedouro e vazão mínima no prato. Assim a partir da região delimitada por estas curvas, podemos avaliar se um determinado prato operará ou não de forma satisfatória, partindo das vazões de líquido e vapor calculadas pelas simulações para cada prato. Os dados dos pratos em que serão calculadas as curvas de hidráulica serão avaliados pelas seguintes condições operacionais: número do prato, número de passes, altura do dique, espessura do prato, espaçamento entre os pratos, etc. Os cálculos obtidos a partir de correlações, serão apresentados em forma de gráficos, onde discutiremos as causas, consequências e soluções para cada variável estudada.

Palavra-Chave: Destilação, pratos perfurados, pratos valvulados, hidráulica de pratos.

1. INTRODUÇÃO

O objetivo deste trabalho é implantar os cálculos da região de operação dos pratos perfurados e valvulados (hidráulica dos pratos). A região de operação é a região delimitada pelas curvas dos “fenômenos” estudados nos pratos das torres de destilação. Estas curvas, que serão discutidas mais adiante neste trabalho, são as seguintes: inundação, arraste, vazamento, perda de carga, vazão máxima no vertedouro e vazão mínima no prato. Assim, a partir da região delimitada por estas curvas, podemos avaliar se um determinado prato operará ou não de forma satisfatória, partindo das vazões de líquido e vapor calculadas pelas simulações para cada prato.

2. ANÁLISE DA REGIÃO DE OPERAÇÃO EM COLUNAS DE DESTILAÇÃO

2.1 Cálculos das Curvas de Hidráulica dos Pratos

Os dados dos pratos em que serão calculadas as curvas de hidráulica estão apresentados na Tabela 1. Para o prato valvulado foi tomado o mesmo prato com válvulas nos furos.

Tabela 1. Dados dos pratos.

Pratos Perurados		TOPO
Número do Prato		5 a 30
Numero de Passes		1
Altura do Dique	in	0,59055
Espessura do prato	mm	2
Secção Ativa	m2	3,0
Diametro Orificio	mm	12
Quantidade Orificios		2260
Área de Passagem	m2	0,256
Área do Vertedouro	m2	0,44
Área do Deck	m2	0,256
Espaçamento Pratos	mm	600
Comprimento Verted	mm	1630
Área Total	m2	3,46
Ad/At		0,1270
H/D		0,1848
L/D		0,7764
Largura Vertedouro	mm	388

2.2 Inundação (Flooding)

A inundação ocorre quando a espuma atinge o prato superior ou quando o nível de líquido no vertedouro é igual ao espaçamento do prato. Ela pode ser causada por: altas vazões, restrição no vertedouro, formação de espuma excessiva ou vaporização no vertedouro, balanço de calor errado (vazões reais são maiores do que as calculadas), formação de uma terceira fase (hidrocarbonetos + água), pressão próxima da crítica. As consequências da inundação são: aumento do ΔP na coluna, arraste excessivo, instabilidade da torre, perda de nível no refeedor e queda de eficiência dos pratos. A porcentagem de inundação é definida por:

$$\%inundação = \frac{V_{gás}}{V_{load}} * 100 \quad (1)$$

onde: V_{load} é a velocidade do vapor baseada na área líquida de passagem (ft/s).

Fair e Mathews desenvolveram a correlação da figura 1 (KISTER e HENRY, 1992) para o cálculo da inundação, onde a ordenada é função das vazões e das densidades de líquido e vapor.

$$Flv = \frac{L}{G} \sqrt{\frac{\rho_v}{\rho_l}} \quad (2)$$

onde: L e G são as vazões de líquido e gás, respectivamente, e ρ_l e ρ_v são as densidades de líquido e vapor, respectivamente. A partir da equação 2 é possível visualizar a evolução de C_{sb} através da correlação de Fair e Matheus. O C_{sb} é o chamado parâmetro de capacidade de vapor e foi introduzido por Souders e Brown. O valor do C_{sb} dado pela correlação é o valor para 100 % de inundação.

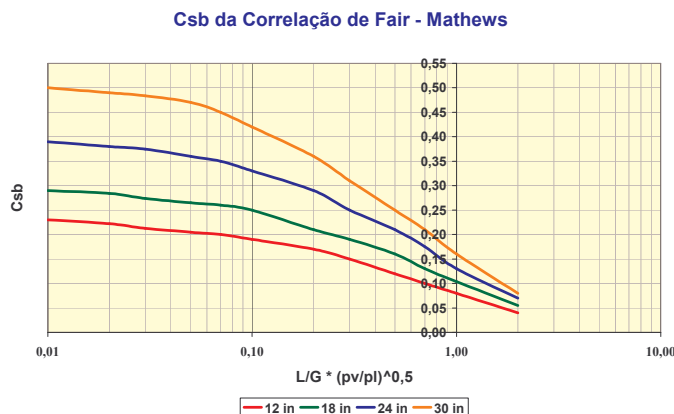


Figura 1. Cálculo da inundação em função das vazões e das densidades de líquido e vapor.

Na figura acima, observa-se que o C_{sb} diminui em função do espaçamento entre os pratos, em polegadas. A vazão de inundação pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$V_{load} = C_{sb} * \sqrt{\frac{\rho_l - \rho_v}{\rho_v}} \quad (3)$$

As restrições a esta correlação são as seguintes:

1. Sistemas com baixa ou nenhuma formação de espuma;
2. Altura do vertedouro de saída menor do que 15% do espaçamento entre os pratos;
3. Líquidos com tensão superficial igual a 20 dina/cm.

Para a primeira limitação 1, é sugerida a seguinte correção (Ref.1):

$$C_{sb_{corr}} = C_{sb} * F \quad (4)$$

onde F varia de acordo com as seguintes condições (Tabela 2).

Tabela 2. F em função dos sistemas em operação.

Sistemas	F
Sistema com pouca espuma (hidrocarbonetos)	1,00
Sistemas fluorados	0,90
Regeneradores de aminas e glicóis (adsorvedoras)	0,85
Absorvedoras de aminas e glicóis	0,73
Condições severas de espuma	0,60
Regeneradoras de soluções cáusticas	0,30 à 0,60

Para a limitação 3, é sugerida por Fair a seguinte correção (VEROTTI, CLODOVEU, 1979):

$$Csb_{corr} = Csb * F * \left(\frac{\sigma}{20} \right)^{0,2} * HF \quad (5)$$

Onde σ é a tensão superficial em dina/cm e Hf é uma correção usada apenas para pratos perfurados:

$$HF = 1 - 5 * \left(0,1 - \frac{Af}{Ab} \right) \quad (6)$$

Onde Af = área dos furos (ft^2) e Ab = área de borbulhamento (área ativa) (ft^2).

Para o cálculo da curva de inundação 90% (este é um valor usual para projeto), tomamos valores de vazão de líquido, dentro de uma região que queremos estudar, calculamos todos os parâmetros e calculamos qual a vazão de gás que nos fornece uma inundação de 90 %, note que o processo é iterativo.

Tabela 3. Dados de vazões de líquido e vapor e de inundação.

inundacao		CAF	CFS	Vload	GPM	Inund1	Inund2	% inud
L(Kg/h)	V(Kg/h)							
9987	75348	0,337	63,4	8,1	60,0	76,3	94,97	95,0
19974	75352	0,337	63,4	8,1	120,0	78,5	94,98	95,0
29962	75349	0,337	63,4	8,1	180,1	80,7	94,98	95,0
39949	75349	0,337	63,4	8,1	240,1	82,9	94,98	95,0
49936	75351	0,337	63,4	8,1	300,1	85,2	94,98	95,0
59923	75348	0,337	63,4	8,1	360,1	87,4	94,97	95,0
69911	75351	0,337	63,4	8,1	420,1	89,6	94,98	95,0
79898	75349	0,337	63,4	8,1	480,1	91,8	94,98	95,0
89885	75341	0,337	63,4	8,0	540,2	94,0	94,97	95,0
99872	74107	0,337	62,4	7,9	600,2	95,0	93,41	95,0

Para os Pratos valvulados, a inundação é calculada como o maior dos 2 valores :

$$\frac{\% flood}{100} = \frac{Vload + GPM + FPL/13000}{Aa * CAF} \quad (7)$$

$$\frac{\% flood}{100} = \frac{Vload}{0,78 * At * CAF} \quad (8)$$

Onde : CFS = vazão de vapor (ft^3/s), GPM = vazão de líquido (GPM), FPL = Comprimento do percurso líquido (in), Aa = área ativa (ft^2), At = área total (ft^2) e CAF = CAFo x Fator Sistema (Tabela 2). CAFo será o menor valor de :

$$CAFo = \frac{(Ts^{0,65} * \rho v^{0,167})}{12} \quad (9)$$

$$CAFo = 0,3174 + 0,04122 * (Ts - 12)^{0,483} - 10^{-6} * \rho v * (245 + 661 * Ts) \quad (10)$$

$$CAFo = 0,595 - 0,0596 * \rho v \quad (11)$$

Onde Ts = espaçamento do prato (in). Neste caso, teremos a capacidade de calcular as taxas de inundação (Tabela 4), através da seguinte correlação:

$$Vload = CFS * \sqrt{\frac{\rho v}{\rho v - \rho l}} \quad (12)$$

Tabela 4. Dados de vazões de líquido e vapor e os parâmetros do sistema.

inundacao		CAF	CFS	Vload	GPM	Inund1	Inund2	% inud
L(Kg/h)	V(Kg/h)							
9987	75348	0,337	63,4	8,1	60,0	76,3	94,97	95,0
19974	75352	0,337	63,4	8,1	120,0	78,5	94,98	95,0
29962	75349	0,337	63,4	8,1	180,1	80,7	94,98	95,0
39949	75349	0,337	63,4	8,1	240,1	82,9	94,98	95,0
49936	75351	0,337	63,4	8,1	300,1	85,2	94,98	95,0
59923	75348	0,337	63,4	8,1	360,1	87,4	94,97	95,0
69911	75351	0,337	63,4	8,1	420,1	89,6	94,98	95,0
79898	75349	0,337	63,4	8,1	480,1	91,8	94,98	95,0
89885	75341	0,337	63,4	8,0	540,2	94,0	94,97	95,0
99872	74107	0,337	62,4	7,9	600,2	95,0	93,41	95,0

2.3 Arraste (Entrainment)

É a quantidade de líquido que o vapor arrasta para o prato superior, é causado por: altas vazões de vapor, pequeno espaçamento entre os pratos, inundação. As consequências do arraste são: contaminação de pesado no destilado, queda de eficiência do prato. Deve ser calculada a fração arrastada em relação a vazão de líquido ou de gás. Fair desenvolveu uma correlação para o cálculo de t (fração arrastada) que se encontra na figura 2 (KISTER e HENRY, 1992). O parâmetro das curvas é a porcentagem de inundação, logo para cada ponto precisamos calcular a inundação para entrarmos nesta curva.

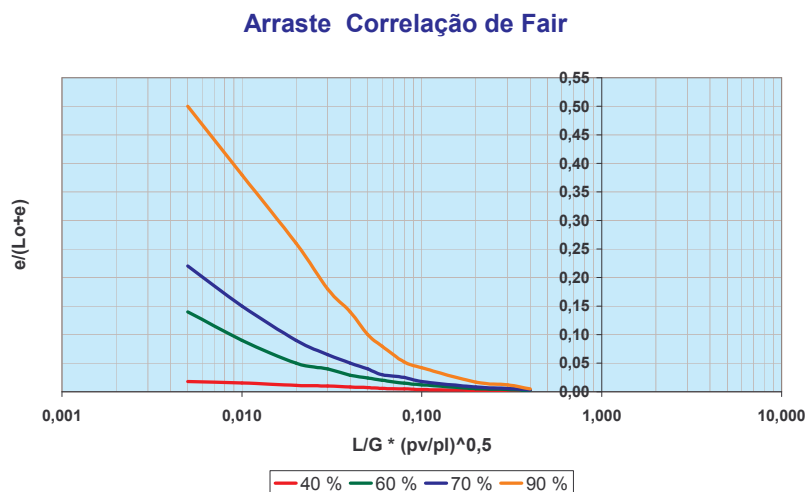


Figura 2. Cálculo fração arrastada em função das vazões e das densidades de líquido e vapor.

Abaixo exemplificamos o cálculo da curva para o arraste de 15 % (o prato deve ser projetado com o arraste entre 10 e 15 %).

Tabela 5. Cálculo da porcentagem de inundação e de arraste para pratos perfurados.

Arraste	15,0%									
L(Kg/h)	V(Kg/h)	Flv	Csb	HF	V(ft/s)	L(ft/s)	Vload	Vgas	%inund.	arraste
7801	86385	0,011	0,379	0,927	72,7	0,1045	3,28	2,25	68,6	15,0%
15602	96910	0,020	0,373	0,927	81,5	0,2089	3,23	2,53	78,2	15,0%
23403	109275	0,027	0,369	0,927	91,9	0,3134	3,20	2,85	89,2	15,0%
31205	142959	0,027	0,369	0,927	120,3	0,4178	3,19	3,73	116,7	15,0%
39006	178703	0,027	0,369	0,927	150,4	0,5223	3,19	4,66	145,9	15,0%
46807	214496	0,027	0,369	0,927	180,5	0,6267	3,19	5,59	175,1	15,0%
54608	250178	0,027	0,369	0,927	210,5	0,7312	3,19	6,52	204,3	15,0%
62409	285905	0,027	0,369	0,927	240,6	0,8356	3,19	7,45	233,5	15,0%
70210	321739	0,027	0,369	0,927	270,7	0,9401	3,19	8,39	262,7	15,0%
78012	357389	0,027	0,369	0,927	300,7	1,0445	3,19	9,32	291,8	15,0%

Tabela 6. Cálculo da porcentagem de inundação e de arraste para pratos valvulados

Arraste	15,0%									
L(Kg/h)	V(Kg/h)	Flv	CAF	CFS	Vload	GPM	Inund1	Inund2	% inund.	arraste
9987	62009	0,020	0,337	52,2	6,6	60,0	63,2	78,16	78,2	15,0%
19974	91506	0,027	0,337	77,0	9,8	120,0	94,4	115,34	115,3	15,0%
29962	137298	0,027	0,337	115,5	14,7	180,1	141,6	173,06	173,1	15,0%
39949	183010	0,027	0,337	154,0	19,6	240,1	188,8	230,68	230,7	15,0%
49936	228768	0,027	0,337	192,5	24,4	300,1	236,0	288,36	288,4	15,0%
59923	274616	0,027	0,337	231,1	29,3	360,1	283,3	346,15	346,1	15,0%
69911	320268	0,027	0,337	269,5	34,2	420,1	330,4	403,69	403,7	15,0%
79898	366040	0,027	0,337	308,0	39,1	480,1	377,6	461,38	461,4	15,0%
89885	411918	0,027	0,337	346,6	44,0	540,2	424,9	519,21	519,2	15,0%
99872	457560	0,027	0,337	385,0	48,9	600,2	472,0	576,74	576,7	15,0%

2.4 Perda de Pressão nos Pratos

A queda de pressão nos pratos não altera diretamente a eficiência dos pratos, ela é somente uma função do processo. A queda de pressão pode ser calculada por:

$$\Delta P = hcd + hal + h\sigma \quad (13)$$

Onde: h_{cd} = queda de pressão para o prato seco (in), h_{al} = queda de pressão através do líquido aerado (in) e h_{σ} = queda de pressão devido a tensão superficial do líquido (in)
A queda de pressão para o prato seco é dada por:

$$h_{cd} = \frac{0,186}{Co^2} \cdot \frac{\rho v}{\rho l} \cdot U_h^2 \quad (14)$$

Onde : U_h = velocidade do vapor baseada na área dos furos (ft/s), sendo dado por:

$$U_h = \frac{Q_{vapor}}{A_h} \quad (15)$$

O coeficiente de descarga (Co) pode ser obtido da figura 3 (KISTER e HENRY, 1992).

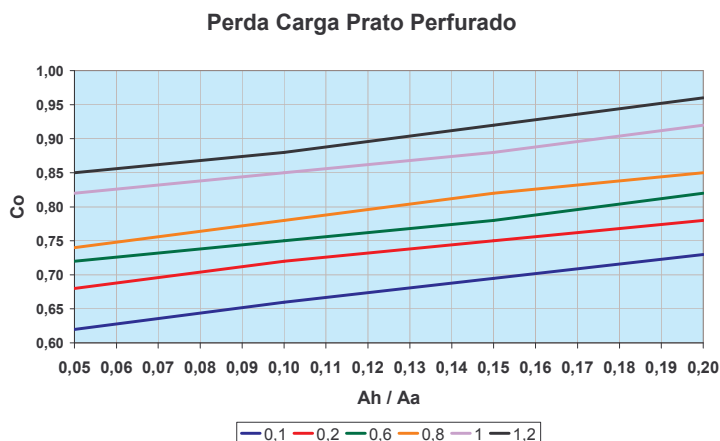


Figura 3. Evolução do coeficiente de descarga em função das áreas dos furos e ativa.

Para o parâmetro do gráfico temos: A_h = área dos furos (ft^2) e A_a = área ativa (ft^2). Logo, a queda de pressão no líquido aerado é dada por:

$$h_{al} = \beta \cdot (h_w + h_{\sigma w} + \Delta/2) \quad (16)$$

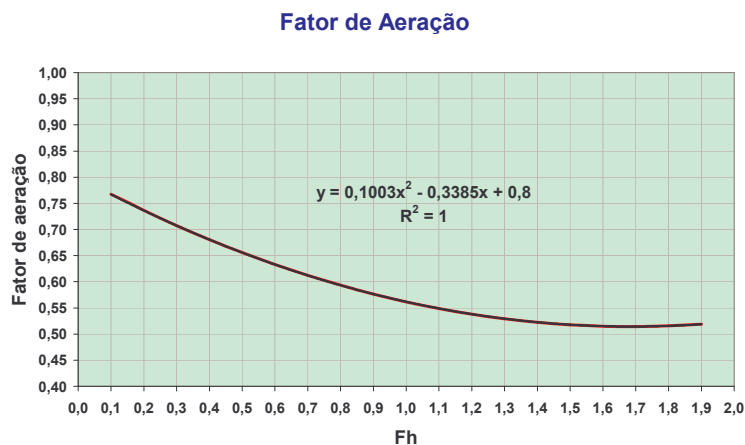


Figura 4. Evolução do fator de aeração.

Onde: β é dado pelo figura 4 (KISTER e HENRY, 1992). Para o cálculo da queda de pressão devido a tensão superficial do líquido, temos:

$$h_{\sigma} = \frac{0,04 \cdot \sigma}{\rho l \cdot d_h} \quad (17)$$

Onde: σ = tensão superficial do líquido (dina/cm) e d_h = diâmetro dos furos (in). Os cálculos para a perda de carga nos pratos para 7 mm Hg estão resumidos nas Tabelas 7 e 8.

Tabela 7. Determinação da perda de carga, hhg.

Perda	7,0	mmHg							
L(Kg/h)	V(Kg/h)	hcd	Uh(ft/s)	V(m3/h)	hd	hw	L(gpm)	how	hhg
7801	98574	0,429	30,16	8461	4,584	0,591	46,9	0,39	0,000
15602	97279	0,429	29,77	8350	4,465	0,591	93,8	0,62	0,000
23403	96157	0,429	29,42	8254	4,362	0,591	140,6	0,81	0,000
31205	95124	0,429	29,11	8165	4,269	0,591	187,5	0,99	0,000
39006	94140	0,429	28,81	8081	4,181	0,591	234,4	1,15	0,000
46807	93241	0,429	28,53	8003	4,102	0,591	281,3	1,29	0,000
54608	92368	0,429	28,26	7929	4,025	0,591	328,2	1,43	0,000
62409	91559	0,429	28,02	7859	3,955	0,591	375,0	1,57	0,000
70210	90739	0,429	27,76	7789	3,885	0,591	421,9	1,69	0,000
78012	89908	0,429	27,51	7717	3,814	0,591	468,8	1,82	0,000

Tabela 8. Determinação da perda de carga, hl.

Perda	7,0	mmHg					
L(Kg/h)	V(Kg/h)	V	Fga	Beta	hc	hl	hl(mmHg)
7801	98574	82,9	1,362	0,525	0,515648	5,100	7,00
15602	97279	81,8	1,344	0,526	0,6378767	5,103	7,00
23403	96157	80,9	1,329	0,527	0,7409411	5,103	7,00
31205	95124	80,0	1,315	0,528	0,8334054	5,103	7,00
39006	94140	79,2	1,301	0,529	0,9188333	5,100	7,00
46807	93241	78,5	1,289	0,530	0,9990261	5,101	7,00
54608	92368	77,7	1,277	0,531	1,0752367	5,101	7,00
62409	91559	77,0	1,265	0,532	1,1481466	5,103	7,00
70210	90739	76,3	1,254	0,533	1,2184815	5,103	7,00
78012	89908	75,6	1,243	0,534	1,2866676	5,100	7,00

A perda de carga nos pratos valvulados pode ser dada por:

$$\Delta Pt = h_{cd} + h_{ow} + 0,4 * h_w \quad (18)$$

Onde: how e hw são os mesmos parâmetros dos pratos perfurados e hcd é calculado como abaixo para válvulas completamente abertas:

$$hcd = K^2 * Uh^2 * \frac{\rho v}{\rho l} \quad (19)$$

onde: $K^2 = 0,25$ para V1, $0,50$ para V4 e $0,37$ para outros tipos de válvulas, Uh = velocidade do gás baseada na área dos furos das válvulas. A perda de carga em pratos valvulados é mostrada da Tabela 9.

Tabela 9. Perda de carga em pratos valvulados.

Perda	7,0	mmHg						
L(Kg/h)	V(Kg/h)	K2	Uh(ft/s)	hcd	Perda	hw	L(gpm)	how
9987	89490	0,370	27,38	4,40	6,997	0,591	60,0	0,46
19974	86687	0,370	26,52	4,13	6,997	0,591	120,0	0,73
29962	84269	0,370	25,78	3,90	6,997	0,591	180,1	0,96
39949	82049	0,370	25,11	3,70	6,997	0,591	240,1	1,16
49936	79975	0,370	24,47	3,52	7,000	0,591	300,1	1,35
59923	77969	0,370	23,86	3,34	7,000	0,591	360,1	1,52
69911	76022	0,370	23,26	3,18	7,001	0,591	420,1	1,69
79898	74093	0,370	22,67	3,02	6,998	0,591	480,1	1,85
89885	72242	0,370	22,10	2,87	7,001	0,591	540,2	2,00
99872	70359	0,370	21,53	2,72	6,998	0,591	600,2	2,14

2.5 Velocidade Elevada de Líquido no Vertedor

As causas de elevadas velocidades de líquido no vertedor são: altas vazões de líquido, pequena área de passagem do vertedor. As consequências deste fenômeno são: arraste de vapor para o prato inferior, o que pode causar inundação antes das máximas vazões, queda da eficiência do prato. O cálculo da velocidade no vertedor é dado por:

$$L = \frac{A_d \cdot h_{dc}}{12 \cdot t_d} \quad (20)$$

Onde: L = vazão máxima de líquido no vertedor (ft^3/s), A_d = área de topo do vertedor (ft^2), t_d = tempo de residência mínimo recomendado (3 a 5 segundos) e h_{dc} = altura de líquido limpo no vertedor (in). Para o cálculo do h_{dc} temos:

$$h_{dc} = \Delta P_T + h_w + h_{ow} + \Delta + h_{di} + h_{iw} \quad (21)$$

Onde: ΔP_T = perda de carga total no prato (in), h_w = altura do ressalto do vertedor (in), h_{ow} = altura de líquido sobre o vertedor de saída (in), Δ = altura do desnível líquido no vertedouro (in), **deve ser assumido igual a zero**, h_{di} = perda de carga no vertedouro (in) e h_{iw} = perda de carga no vertedouro de entrada (in). Todos esses parâmetros podem ser visualizados na Figura 5.

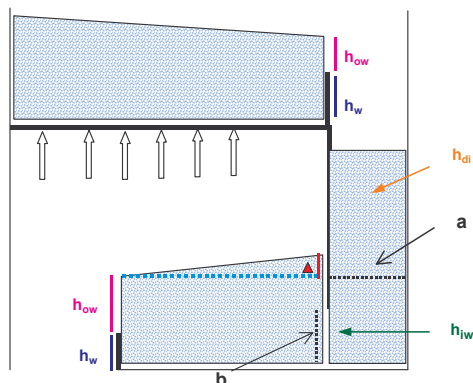


Figura 5. Visualização dos parâmetros descritos nos pratos.

A seguir, seguem as expressões que regem o comportamento dos parâmetros da figura 5. Logo, h_{di} é:

$$h_{di} = \left(\frac{0,2399 * GPM}{A_{di}} \right)^2 \quad (22)$$

Onde: GPM = vazão de líquido em gpm e A_{di} = menor das áreas a ou b (ft^2). Para h_{iw} , temos:

$$h_{iw} = 0,019 \cdot \left(\frac{gpm}{A_{iw}} \right)^2 \quad (23)$$

Onde: A_{iw} = área b (ft^2). Finalmente, a relação que exprime h_{ow} é dada por::

$$h_{ow} = \left(\frac{gpm / \text{passo}}{2,98 * l_w} \right)^{2/3} \quad (24)$$

Onde: passo = número de passes no vertedor e l_w = comprimento do vertedor de saída (in). Agora já possuímos todos os dados para calcular a vazão máxima no vertedor (Tabela 10).

Tabela 10. Vazão máxima no vertedor para pratos perfurados e valvulados

	Vazão volumétrica (ft^3/s)	Vazão máxima (kg/s)	hdc (in)
Pratos Perfurados	0,774671	57949	5,89
Pratos Valvulados	0,991752	74188	7,54

2.6 Vazão Mínima de Líquido

A vazão mínima de líquido é aquela que dá um h_{ow} igual a 0,50 polegadas, logo teremos para os 2 tipos de pratos os resultados mostrados na Tabela 11.

Tabela 11. Vazão mínima de líquido quando h_{ow} é igual a 0,5.

Vazao Minima Liquido									
L(Kg/h)	V(Kg/h)	K=0,186/ Cv^2	Uh(ft/s)	V(m3/h)	hd	hfi	hw	L(gpm)	how
11250	75590	0,429	23,13	6488	2,696	0,035	0,591	67,6	0,50

2.7 Vazamento (Weeping)

Este fenômeno é quando ocorre o vazamento de líquido para o prato inferior. As causas para este fenômeno são: vazões de vapor baixas e altas razões A_h / A_b . As consequências são: queda na eficiência dos pratos. Para pratos perfurados não haverá vazamento se:

$$h_{cd} + h_{\sigma} \geq h_w + h_{ow} \quad (25)$$

O resumo dos cálculos desta curva podem ser vistos nas Tabela 12.

Tabela 12. Dados para vazamento em pratos perfurados.

Vazamento		$K=186/C$ v^2	Uh(ft/s)	V(m3/h)	hcd	hs	hw	L(gpm)	how
L(Kg/h)	V(Kg/h)								
7801	38568	0,429	11,80	3311	0,947	0,035	0,591	46,9	0,39
15602	42983	0,429	13,15	3690	1,177	0,035	0,591	93,8	0,62
23403	46383	0,429	14,19	3981	1,370	0,035	0,591	140,6	0,81
31205	49216	0,429	15,06	4225	1,543	0,035	0,591	187,5	0,99
39006	51679	0,429	15,81	4436	1,701	0,035	0,591	234,4	1,15
46807	53865	0,429	16,48	4624	1,848	0,035	0,591	281,3	1,29
54608	55867	0,429	17,09	4795	1,988	0,035	0,591	328,2	1,43
62409	57724	0,429	17,66	4955	2,122	0,035	0,591	375,0	1,57
70210	59440	0,429	18,19	5102	2,250	0,035	0,591	421,9	1,69
78012	61026	0,429	18,67	5238	2,372	0,035	0,591	468,8	1,82

Para pratos valvulados não haverá vazamento se:

$$h_{ow} + 0,4 \cdot h_w < h_{cd} \quad (26)$$

Os cálculos referentes ao vazamento de pratos valvulados podem ser vistos nas Tabela 13

Tabela 13. Dados para vazamento em pratos valvulados.

Vazamento		K2	Uh(ft/s)	hal/hcd	hcd	hal	hw	L(gpm)	how
L(Kg/h)	V(Kg/h)								
9987	35621	0,370	10,90	1,001	0,698	0,698	0,591	60,0	0,46
19974	41990	0,370	12,85	1,000	0,969	0,969	0,591	120,0	0,73
29962	46658	0,370	14,28	1,000	1,197	1,197	0,591	180,1	0,96
39949	50448	0,370	15,44	1,000	1,399	1,400	0,591	240,1	1,16
49936	53703	0,370	16,43	1,001	1,586	1,586	0,591	300,1	1,35
59923	56599	0,370	17,32	1,000	1,761	1,761	0,591	360,1	1,52
69911	59174	0,370	18,11	1,000	1,925	1,926	0,591	420,1	1,69
79898	61540	0,370	18,83	1,001	2,082	2,083	0,591	480,1	1,85
89885	63732	0,370	19,50	1,001	2,233	2,234	0,591	540,2	2,00
99872	65774	0,370	20,13	1,000	2,378	2,379	0,591	600,2	2,14

3. CURVA DE OPERAÇÃO

Concluídos os cálculos para todas as curvas da região de operação é feito o seguinte gráfico para estes pratos (Figura 6).

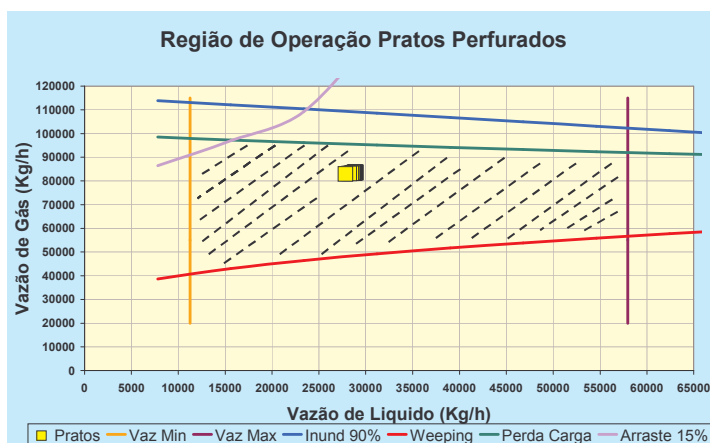


Figura 6. Curva de operação para pratos perfurados: vazão de gás versus vazão de líquido.

A região ótima de operação (hachuriada no gráfico) é aquela delimitada pelas curvas de Vazão Mínima, Vazão Máxima, Vazamento (Weeping), Arraste e Perda de Carga ou Inundação (Flooding), a que estiver com valores menores de vazão de gás. As vazões em cada prato, que aparecem no gráfico como “Pratos”, vem da simulação da coluna e estão mostradas na Tabela 14:

Tabela 14. Simulação das vazões em cada prato da coluna.

	Net Liq (kg/h)	Net Vap (kg/h)
18	28918	
17	28959	83553
16	28936	83594
15	28912	83571
14	28887	83547
13	28862	83522
12	28836	83497
11	28807	83471
10	28775	83443
9	28736	83410
8	28682	83371
7	28602	83317
6	28470	83237
5	28241	83105
4	27827	82876

Para os pratos valvulados a região de operação pode ser visualizada na Figura 7.

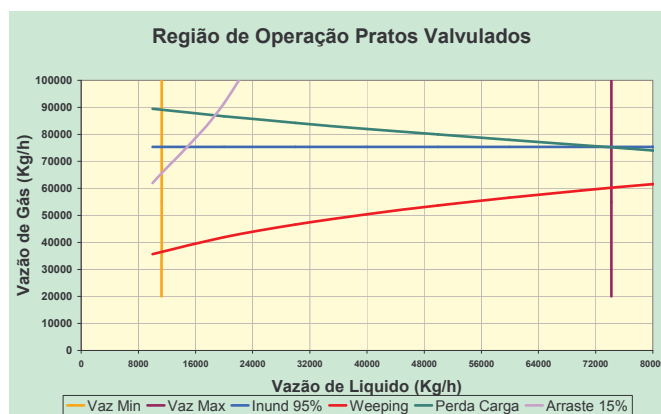


Figura 7. Região de operação para pratos valvulados: vazão de gás versus vazão de líquido.

4. DIAGNÓSTICO REAL DE PROBLEMAS DE HIDRÁULICA DE TORRES

Para o diagnóstico de fenômenos indesejáveis de hidráulica em torres de destilação é usado o método não evasivo de utilização de raios gama, uma fonte emissora e outra receptora são deslocadas ao longo da altura da torre, com intervalos pequenos de incremento (10 a 30 cm), e como a radiação gama consegue “enxergar” a variação de densidade entre a fase líquida e a fase gás é possível verificar se entre os pratos, onde é esperada a presença da fase gás, a densidade está baixa, e se nas proximidades dos pratos temos a presença da fase líquida, como exemplificado na figura 8.

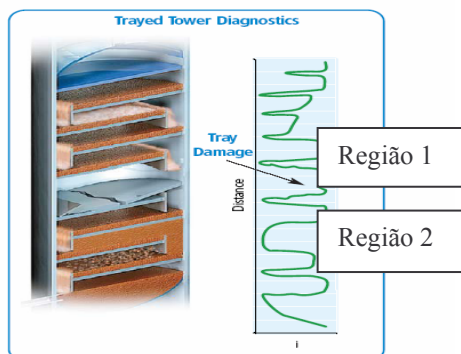


Figura 8. Representação da parte interna da coluna de destilação.

Na Região 1 era esperado a presença de líquido, porém como houve o tombamento do prato apenas a fase gás foi encontrada. Na Região 2 está visível a inundação do prato pois apenas a fase líquida é encontrada entre os pratos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- VEROTTI, CLODOVEU; Curso de Engenharia de Processamento Petroquímico (CENPEQ), PETROBRÁS – PETROQUISA - Universidade Federal da Bahia, Salvador , 1979.
- KISTER, HENRY; Distillation – Design- ; Ed. McGraw-Hill; 1992.
- KISTER, HENRY; Distillation – Operation- ; Ed. McGraw-Hill; 1992.
- FAIR, J.R. , NULL, H.R., BOLLES, W.L., Scale-up up of plate efficiency from laboratory Oldershaw data.Ind. Eng. Chem. Process Des-dev, 22, 1983.
- RUTTI, A., SPIELMANN, T., Laboratoty and pilot-scale. Distillation. Sulzer Brothers Ltd, 1991.