



X Congresso Brasileiro de Engenharia Química Iniciação Científica

“Influência da pesquisa em Engenharia Química no desenvolvimento tecnológico e industrial brasileiro”

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Universidade Severino Sombra
Vassouras – RJ – Brasil

MÉTODO McCABE-THIELE: ANÁLISE COMPARATIVA DA DETERMINAÇÃO DA FRAÇÃO LÍQUIDA DA ALIMENTAÇÃO (OU CONDIÇÃO TÉRMICA DA ALIMENTAÇÃO)

BERALDO¹, V. A. ; MALAVAZI¹, G. M. ; MOTTA LIMA², O. C.

¹Aluno DEQ/UEM ; ²Professor DEQ/UEM
Departamento de Engenharia Química - Universidade Estadual de Maringá
Avenida Colombo 5790, Bloco D-90, Maringá-PR ; CEP: 87020-900
e-mail: oswaldo@deq.uem.br

RESUMO – O método McCabe-Thiele para dimensionamento de colunas de destilação é amplamente conhecido. Dentro desse método, há uma variável relacionada com a condição térmica da alimentação da coluna conhecida como fração líquida da alimentação que utiliza dados de entalpia de um sistema para sua determinação. O cálculo deve levar em conta as entalpias de vapor e líquido, sendo investigada neste trabalho se há diferença nos resultados obtidos a partir de duas formas de se aferir estas entalpias. A primeira leva em conta o calor latente da mistura que compõe a alimentação, e a segunda leva em conta a condição de equilíbrio líquido-vapor associada à composição da alimentação. Os resultados obtidos mostraram não haver diferença significativa entre as duas abordagens.

Palavras chave: destilação, equilíbrio líquido-vapor, dimensionamento, mistura binária

INTRODUÇÃO

O aprendizado da destilação fracionada é um processo passo a passo que geralmente se inicia pelo estudo do processo de destilação com misturas binárias e algumas hipóteses simplificadoras para facilitar os cálculos. O método McCabe-Thiele é um método gráfico que melhora a velocidade dos cálculos e permite um contexto visual do processo. O uso industrial desse processo é limitado, pois, raramente são encontradas colunas de destilação binária na prática. (THOMPSON, 1980)

O modelo básico para uma coluna de destilação considera a sua operação em regime estacionário e estágios de equilíbrio, ou seja, que o líquido e o vapor saindo do estágio estão em equilíbrio. Sendo assim, a ferramenta básica para o método de McCabe-Thiele é o diagrama “x-y”, que fornece uma relação entre as frações do vapor e do líquido em equilíbrio para um sistema binário. (THOMPSON, 1980)

Assume-se que a coluna de destilação opera numa mesma pressão, o que permite a utilização de diagramas “x-y” a pressão constante. Essa hipótese não é muito radical, a menos que se opere com vácuo. Na prática, a pressão diminui conforme se sobe a coluna,

sendo esta a força motriz do vapor. A força motriz para que o líquido desça é a própria força da gravidade. (THOMPSON, 1980)

As equações que governam o método são as da reta da seção de recuperação, que resulta de um balanço de massa para o componente mais volátil na seção superior da coluna, e a reta da seção de esgotamento, que resulta de um balanço de massa para o componente mais volátil na seção inferior da coluna. A intersecção destas retas, em conjunto com a composição da alimentação, define uma outra equação, a da reta da alimentação, que depende da “fração líquida” da alimentação (THOMPSON, 1980).

A fração líquida da alimentação também pode ser interpretada como a condição térmica da alimentação, sendo obtida da seguinte forma:

$$\varphi = \frac{H-H_f}{H-h} \quad (1)$$

em que H é a entalpia do vapor em uma dada composição; h, a entalpia do líquido em uma dada composição e H_F , a entalpia da alimentação na composição da alimentação.

A Tabela 1 exibe os valores que a fração líquida da alimentação pode assumir.

Tabela 1 - Valores admissíveis para φ

Condição térmica ou fração líquida da alimentação	φ
Líquido sub-resfriado	> 1
Líquido saturado	1
Mistura líquido-vapor	$1 > \varphi > 0$
Vapor saturado	0
Vapor superaquecido	< 0

O presente trabalho se propõe a investigar se há diferenças significativas na forma de se determinar a fração líquida da alimentação. Na primeira abordagem, a leitura das entalpias de líquido e vapor segue uma linha vertical, em uma dada composição. A segunda abordagem, conceitualmente mais atraente, porém mais trabalhosa, utiliza as linhas de equilíbrio entre líquido e vapor em uma dada composição para o cálculo da fração líquida.

METODOLOGIA

Utilizando diagramas de equilíbrio (“x-y”) para sistemas os benzeno/tolueno (1), etanol/água (2) e etileno glicol/água (3) em conjunto com os diagramas entalpia-composição desses sistemas, é possível comparar os resultados obtidos para as duas abordagens de cálculo da fração líquida da alimentação.

Além disso, tomou-se como condições de alimentação: misturas líquido-vapor com 25, 50 e 75 % de líquido, líquido subresfriado e vapor superaquecido e frações do componente mais volátil de 0,2 ; 0,5 e 0,75 (ou 0,8). Desta forma, analisou-se o diagrama entalpia-composição de modo a se observar alguma relação entre uma dada região do diagrama e possíveis divergências nas abordagens do cálculo da fração líquida da alimentação.

Para exemplificar, seja A o ponto que representa uma alimentação com composição de 50% do componente mais volátil e 75% de líquido, conforme a Figura 1.

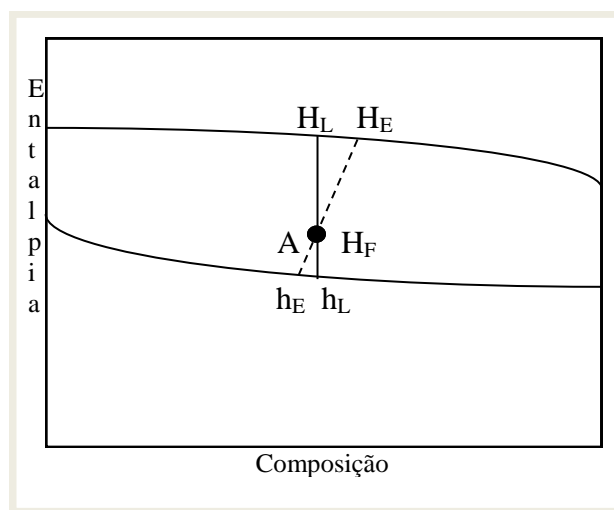


Figura 1 - Diagrama esquemático entalpia-composição

Conforme a Figura 1, as entalpia do líquido e do vapor, para a primeira abordagem, serão definidas como h_L e H_L , respectivamente. Para a segunda abordagem, a entalpia do líquido será h_E e a do vapor, H_E .

Desta forma, a equação para a primeira abordagem será:

$$\varphi = \frac{H_L - H_F}{H_L - h_L} \quad (2)$$

E, para a segunda abordagem:

$$\varphi = \frac{H_E - H_F}{H_E - h_E} \quad (3)$$

Para o cálculo de φ na primeira abordagem, traça-se uma linha vertical sobre o ponto H_F e determina-se os valores das entalpias do líquido e do vapor (h_L , H_L). De posse desses valores, eles são substituídos na Equação 2, fornecendo o valor de φ .

Para o cálculo de φ na segunda abordagem, busca-se a linha de equilíbrio que passa pelo ponto H_F e utiliza-se os valores das entalpias de vapor e de líquido das extremidades (H_E , h_E).

Os sistemas binários utilizados possuem características diferentes, para que se possa observar a extensão do erro de acordo com o perfil das curvas de equilíbrio líquido-vapor. O sistema (1), benzeno-tolueno, tem as curvas de líquido e vapor lineares e praticamente paralelas. O sistema (2), etanol-água, possui característica diferente, com algumas ondulações na linha de entalpia de líquido. O sistema (3) etileno glicol-água possui a curva de entalpia de vapor com declividade acentuada e uma curvatura bem definida na linha de entalpia de líquido. As Figuras 2, 3 e 4 exibem o perfil esquemático de cada uma delas.

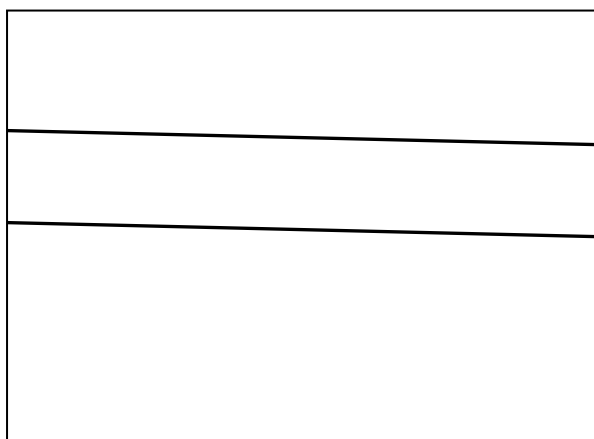


Figura 2 - Esquema do perfil de curvas de entalpia de líquido e vapor do sistema 1.

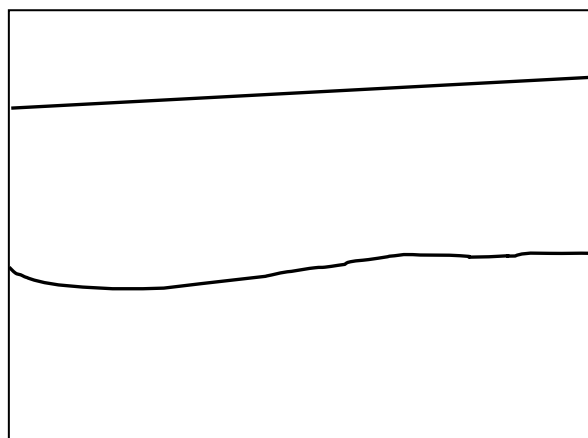


Figura 2 - Esquema do perfil de curvas de entalpia de líquido e vapor do sistema 2.

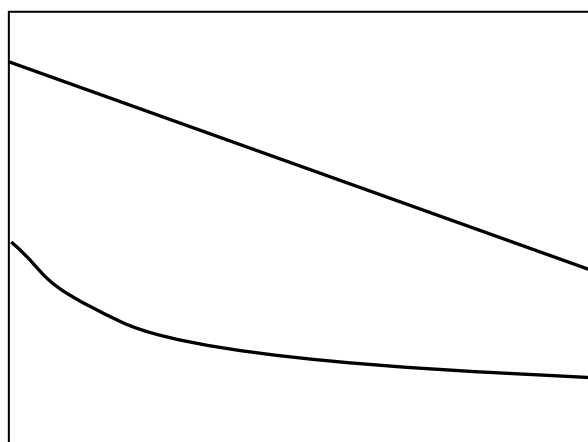


Figura 3 - Esquema do perfil de curvas de entalpia de líquido e vapor do sistema 3.

O cálculo do erro relativo é dado pela seguinte equação:

$$Erro = \left| \frac{\varphi_{calor\ latente} - \varphi_{linha\ de\ equilibrio}}{\varphi_{linha\ de\ equilibrio}} \right| \cdot 100\% \quad (4)$$

RESULTADOS

A fim de exemplificar os resultados obtidos, a Tabela 2 exibe os resultados para o sistema 1 na condição de líquido subresfriado.

Tabela 2 – Exemplo do cálculo de φ

Comp. de Benz.	Líquido subresfriado			Calor latente		
	Linha de equilíbrio					
	0,2	0,5	0,8	0,2	0,5	0,8
H_F (MJ/kgmol)	-5	-5	-5	-5	-5	-5
H (MJ/kgmol)	36	33	31,7	37	34,8	32,2
h (MJ/kgmol)	3,5	1,75	0,6	3,5	1,75	0,6
φ	1,26	1,22	1,18	1,25	1,20	1,18

Os resultados obtidos para as metodologias de cálculo estudadas foram semelhantes. Os erros relativos médios foram de 1%, para o primeiro sistema, 2%, para o segundo sistema, e de 7%, para o terceiro sistema.

As Figuras 5, 6 e 7 exibem um comparativo entre a magnitude do erro para cada situação estudada, sendo que, para o eixo das abcissas: 1 corresponde à condição de líquido subresfriado na alimentação; 2 corresponde a uma alimentação com 25% de líquido; 3, alimentação com 50% de líquido; 4, alimentação com 75% de líquido; e 5 corresponde a uma alimentação de vapor superaquecido.

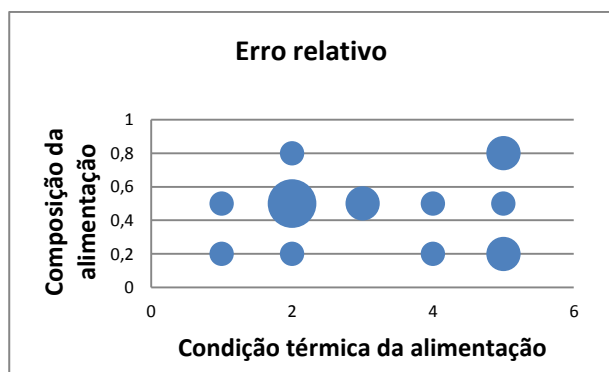


Figura 4 - Comparativo do erro relativo para as situações estudadas - sistema benzeno/tolueno

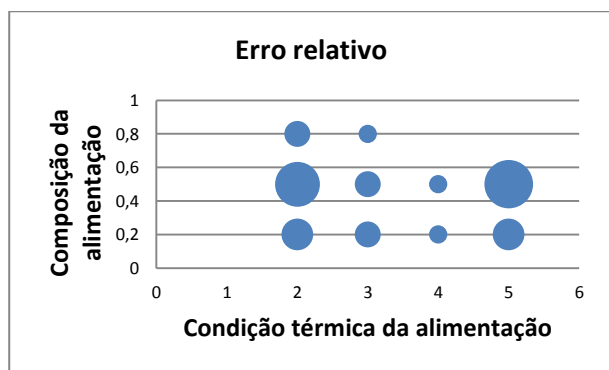


Figura 5 - Comparativo do erro relativo para as situações estudadas - sistema etanol/água

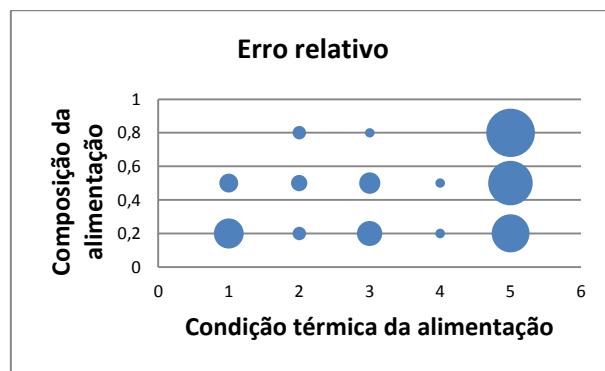


Figura 6 - Comparativo do erro relativo para as situações estudadas - sistema etileno glicol/água

Como se pode observar, não se verifica uma relação clara entre a magnitude do erro e as regiões do diagrama entalpia-composição. Todavia, percebe-se que, quando as diferenças entre as entalpias do líquido e do vapor se mostram aproximadamente constantes (condição importante para aplicação do método McCabe-Thiele) o erro é menor, conforme observado no sistema 1.

CONCLUSÃO

Pode-se afirmar que há pouca diferença entre as duas abordagens apresentadas para o cálculo da fração líquida da alimentação (ϕ), principalmente nas situações em que o diagrama entalpia-composição do sistema binário possui comportamento linear na pressão de operação da coluna de destilação.

Em sistemas sem essa característica não é recomendado o uso do método de McCabe-Thiele, portanto torna-se livre a escolha da abordagem que for mais adequada ao projetista.

Além disso, não foi possível estabelecer uma tendência a partir da magnitude do erro relativo obtido nas situações de estudo.

NOMENCLATURA

h, h_E, h_L - entalpias de líquido em uma dada composição, [MJ/kgmol]

H, H_E, H_L - entalpias de vapor em uma dada composição, [MJ/kgmol]

H_F - entalpia da alimentação, [MJ/kgmol]

ϕ - fração líquida da alimentação, [-]

x - fração molar do componente mais volátil, fase líquida, [-]

y - fração molar do componente mais volátil,
fase vapor, [-]

REFERÊNCIAS

- FOUST, A.S., WENZEL, L.A., CLUMP, C.W., ANDERSEN, L.B. (1980), Principles of Unit Operations, 2nd edition. John Willey & Sons.
- McCABE, W.L., SMITH, J.C., HARRIOT, T.P. (1993), Unit Operations of Chemical Engineering, 5th edition. McGraw-Hill International Editions.
- MOTTA LIMA, O. C., PEREIRA, N. C. (1999), Destilação - Apostila da disciplina Operações Unitárias II. Publicação Interna - DEQ/UEM, Maringá-PR.
- PERRY, R.H., GREEN, D.W. (1984), Perry's Chemical Engineers' Handbook, 6th edition. McGraw-Hill, New York.
- THOMPSON, R.E. (1980), McCabe-Thiele methods - simple columns. American Institute of Chemical Engineers Modular Instruction, module B1.6.