



**II CONEPETRO**

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE  
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS  
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

## INFLUÊNCIA DOS CONTAMINANTES MINORITÁRIOS DA PRODUÇÃO DE BIOETANOL NO EQUILÍBRIO LÍQUIDO – VAPOR

Cleitiane da Costa Nogueira<sup>1</sup>, Patrícia Maria Rocha<sup>2</sup>, Ana Laura Oliveira de Sá Leitão<sup>3</sup>,  
Jéssyca Emanuella Saraiva Pereira<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Universidade Federal do Rio de Grande do Norte, Departamento de Engenharia Química –  
[cleitiane\\_eq@hotmail.com](mailto:cleitiane_eq@hotmail.com), [pattyroch@hotmail.com](mailto:pattyroch@hotmail.com), [analaorasaleitao@hotmail.com](mailto:analaorasaleitao@hotmail.com), [jessycaemanuella@hotmail.com](mailto:jessycaemanuella@hotmail.com)

### RESUMO

Diante da crescente necessidade de expandir o uso de fontes renováveis de energia a fim de garantir a segurança no abastecimento de energia e reduzir os impactos ambientais associados aos combustíveis fósseis, o bioetanol é uma alternativa economicamente viável e com potencial significativo de expansão. A destilação é uma das técnicas amplamente conhecidas e mais usadas para a separação de misturas líquidas. Assim, este trabalho teve como objetivo estudar colunas de destilação para produzir bioetanol, considerando dois compostos minoritários: ácido acético e acetato de etila. Para estudar a influência desses compostos durante a purificação de etanol, uma simulação do processo de destilação foi realizada usando o software COCO. Testaram-se os modelos termodinâmicos UNIQUAC e UNIFAC e a validação destes foi verificada com os dados experimentais. O modelo termodinâmico que melhor descreveu os Equilíbrios Líquido-Vapor (ELV) dos sistemas binários estudados foi o UNIQUAC. Observou-se que os compostos minoritários em baixa concentração têm pouca influência no processo. No entanto, quando se aumentam suas concentrações, a taxa de fluxo do produto e a composição de etanol apresentam variação considerável no processo.

**Palavras-chaves:** Bioetanol; minoritários; modelos termodinâmicos; destilação; COCO.

### 1. INTRODUÇÃO

A conversão de biomassa em biocombustíveis representa uma importante opção para aproveitamento de um recurso alternativo de energia e para a redução da emissão de gases poluentes, principalmente de gás carbônico [RASHID *et al.*, 2011; KIRAN *et al.*, 2012].

Em geral, biocombustíveis, tais como o bioetanol e o biodiesel são produtos que podem ser utilizados para alimentar os motores de combustão interna. Eles são renováveis e podem reciclar o dióxido de carbono a partir de sua combustão por um

processo fotossintético [ESCOBAR *et al.*, 2009].

O Brasil tem usado etanol como combustível desde a década de 1930 e, recentemente, apresentou um novo recorde de produção com 28,6 bilhões de litros em 2014 [GOMES, 2016]. Além disso, o governo federal tem incentivado a produção de etanol lignocelulósico, visando tornar a matriz energética nacional mais renovável em relação a outros países emergentes. Recentemente, duas usinas de etanol celulósico entraram em operação em Alagoas e São Paulo com capacidades de produção de

[www.conepetro.com.br](http://www.conepetro.com.br)

br

(83) 3322.3222

[contato@conepetro.com.br](mailto:contato@conepetro.com.br)

82 e 42 milhões de litros por ano de bioetanol, respectivamente. [PORTAL BRASIL, 2016].

O bioetanol é produzido por fermentação dos açúcares encontrados em biomassa sob a forma de sacarose, amido ou lignocelulose [DIAS *et al.*, 2011]. No Brasil, é produzido a partir da cana-de-açúcar, o produto após o processo da sua fermentação é chamado de “vinho”. O vinho é uma mistura complexa contendo água, etanol e vários compostos minoritários que devem ser separados por destilação. Embora o processo de destilação seja um dos maiores consumidores de energia na indústria, é a técnica mais utilizada para a separação de misturas líquidas [EMTIR *et al.*, 2001; KIRAN *et al.*, 2012].

O vinho é composto basicamente por dois componentes majoritários, água e etanol, contendo uma série de outros componentes minoritários em baixas concentrações. Esses componentes minoritários são conhecidos como “congêneres” e o valor do teor dos mesmos no produto final é de extrema importância para a determinação da qualidade do produto [BATISTA, 2008].

A maioria dos compostos minoritários são álcoois que, exceto o metanol, possuem volatilidade menor do que a do etanol. Alguns componentes não alcoólicos, como acetaldeído, ácido acético, acetato de etila e crotonaldeído, também fazem parte dessa

mistura, apresentando, exceto o crotonaldeído, uma volatilidade maior que a do etanol [BATISTA, 2008].

Em geral, o principal objetivo da destilação alcoólica, tanto para produção de etanol, é a concentração do etanol do “vinho” até níveis desejados e, ao mesmo tempo, diminuir a concentração dos congêneres no produto final, até que a concentração dos mesmos alcance os níveis estabelecidos na legislação.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho é estudar a influência dos componentes minoritários no processo de produção de bioetanol no equilíbrio líquido-vapor, bem como realizar estudo de modelagem e simulação de colunas de destilação.

## 2. METODOLOGIA

Neste trabalho, foi feita a predição dos dados de equilíbrio líquido-vapor para os sistemas binários: água (1) + ácido acético (2), acetato de etila (1) + ácido acético (2), acetato de etila (1) + etanol (2) e etanol (1) + água (2) a 101,3 kPa. Os dados experimentais foram correlacionados utilizando os modelos UNIFAC e UNIQUAC.

Para a modelagem e simulação termodinâmica dos sistemas, foi escolhido dos trabalhos de Calvar *et al.*, [2005] e Kamihama *et al.*, [2012] um conjunto de dados experimentais de equilíbrio isobárico

para os sistemas a 101,3 kPa: Água (1) + Ácido acético (2); Acetato de etila (1) + Ácido acético (2); Etanol (1) + Água (2); Acetato de etila (1) + Etanol (2).

### 2.1. Teste de Consistência dos Desvios

Para o teste dos desvios, utilizou-se o programa computacional CONSIST. Esta ferramenta fornece os desvios relativos do cálculo da pressão e da composição da fase vapor em relação aos dados experimentais, além de fornecer parâmetros importantes como os coeficientes de fugacidade e atividade.

Para obtenção dos desvios é necessário criar um arquivo de entrada, com dados experimentais T-x-y para dados isobáricos ou P-x-y, no caso de dados isotérmicos, bem como as propriedades das substâncias que formam o sistema, como temperatura crítica, pressão crítica, raio de giração médio, parâmetro de associação, momento dipolo, fator de compressibilidade crítico e parâmetro de solvatação.

### 2.2. Predição dos dados de ELV

A predição dos dados termodinâmicos do ELV foi feita utilizando dois modelos para os sistemas isobáricos: o modelo UNIFAC e o UNIQUAC. Para a predição utilizando o modelo UNIQUAC, utilizaram-se os parâmetros da Tabela 1. Para a predição dos

dados experimentais dos sistemas binários foi utilizado o programa SPECS V5.6x.

Tabela 1: Parâmetros utilizados para a predição do modelo UNIQUAC (J/mol).

Sistema	$\tau_{12}$	$\tau_{21}$
Água/ Ácido Acético	233,82	-244,96
Acetato de etila/ Ácido acético	130,43	-80,70
Acetato de Etila/ Etanol	192,30	-37,60
Etanol/Água	87,46	55,29

### 2.3. Simulação do processo de purificação do bioetanol

O processo desenvolvido neste trabalho foi simulado no Software COCO. Utilizaram-se o ambiente de simulação COFE juntamente com o TEA e o ChemSep (programa para cálculo de processos de multicomponentes).

Previamente, foi verificado se a equação de Antoine expressa pelo simulador atendia às condições do processo e também foram alterados os parâmetros do modelo UNIQUAC de acordo com a Tabela 1. Em sequência, foram realizadas as quatro etapas seguintes.

#### 2.3.1 Desenvolvimento do fluxograma

O fluxograma do processo foi elaborado de acordo com a Figura 1, seguindo a configuração PSD (*Pressure swing distillation*) que consiste em duas colunas de destilação operando a diferentes pressões

[KNAPP, 1991]. De acordo com Repke, Florian e Klein [2005], este processo pode ser empregado para separação de misturas azeotrópicas homogêneas e já é conhecido para separação de misturas como THF-água, acetonitrila-água, metanol-metiletilcetona, e acetona-metanol.

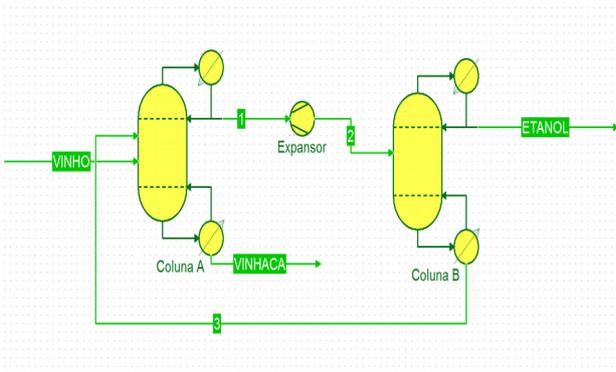


Figura 1: Fluxograma do processo estudado

Como o propósito deste trabalho é analisar a influência dos minoritários no processo, não foi realizada a otimização dos dados operacionais do processo. Dessa forma, utilizaram-se dados de processo de vazão, composição e temperatura da alimentação e objetivou-se alcançar o máximo de pureza na Coluna A nessas condições, ou seja, até atingir o azeótropo. Na coluna B, reduziu-se significativamente a pressão operacional para atingir o grau de pureza requerido em legislação para o etanol resultante que é uma porcentagem maior do que 96% em massa de etanol. A Tabela 2 ilustra os dados da corrente de alimentação e das colunas. Essas condições foram mantidas para todas as simulações.

Tabela 2: Dados operacionais utilizados no processo estudado.

	Alimentação	Saída
Vazão (kg/h)	28535	-
Etanol	0,7	>96% em massa
Água	0,89-0,93	<4% em massa
Ácido acético	0,03-0,0003	-
Acetato de etila	0,001-0,00001	-
Temperatura (°C)	90	-
Pressão (Pa)	101325	11325

### 2.3.2 Sistema etanol/água com dados de processo

Após o desenvolvimento do fluxograma, iniciou-se a simulação do sistema contendo apenas etanol (7%) e água (93%). Analisaram-se as composições e vazões de saída de cada coluna assim como as temperaturas.

### 2.3.3 Sistema etanol/água/minoritários com dados de processo

Desenvolvida a simulação do sistema etanol e água, incluíram-se os componentes minoritários estudados neste trabalho: ácido acético e acetato de etila. Manteve-se a composição do etanol e a composição da água foi compensada pela composição do ácido acético (0,03%) e do acetato de etila (0,001%). Analisaram-se as composições e vazões de saída de cada coluna assim como as temperaturas.

### 2.3.4 Sistema etanol/água/minoritários com variação de concentração

Visto que a composição dos minoritários é relativamente pequena, aumentaram-se as composições dos mesmos em cem vezes e o processo foi simulado novamente, mantendo-se a composição inicial do etanol. Analisaram-se as composições e vazões de saída de cada coluna assim como as temperaturas.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Teste de consistência dos desvios

Utilizando o CONSIST, foi possível obter os desvios relativos para o cálculo da fase vapor em comparação aos dados experimentais através de várias iterações realizadas pelo programa. Para que os dados sejam consistentes o desvio absoluto médio em  $y$  deve ser menor que 0,01. A Tabela 3 mostra os resultados obtidos para os sistemas em estudo.

Tabela 3: Teste de consistência dos binários.

Sistema	$\Delta P$	$\Delta Y_1$
Água + Ácido Acético	0,006	0,009
Acetato de Etila + Ácido acético	0,003	0,009
Acetato de Etila + Etanol	0,007	0,006
Etanol + Água	0,0005	0,005

### 3.2 Predição do equilíbrio líquido-vapor

Através dos modelos de coeficiente de atividade preditivos de UNIFAC, foram realizados cálculos de predição dos dados de equilíbrio líquido-vapor dos sistemas isotérmicos.

Para a predição dos dados de ELV, plotaram-se os gráficos com os dados simulados pelos modelos e os dados experimentais obtidos na literatura, estabelecendo uma comparação entre estes.

Observando a Figura 2a, pode-se afirmar que o modelo UNIQUAC é o que melhor prediz os dados experimentais do sistema Água (1) + Ácido acético (2). Conforme apresentado na Figura 2b, observa-se que tanto o modelo UNIQUAC quanto o UNIFAC geraram dados muito próximos dos experimentais, no entanto o modelo UNIQUAC foi o que apresentou menor desvio havendo melhor sobreposição das curvas de ELV.

Na Figura 2c, percebe-se que o modelo UNIQUAC gerou dados muito próximos dos experimentais para o sistema Acetato de etila (1) + Etanol (2), e apesar do modelo UNIFAC prevê um azeótropo um pouco mais abaixo, o mesmo apresentou um comportamento satisfatório.

De acordo com os resultados obtidos na predição do sistema Etanol (1) + Água (2) apresentado na Figura 2d, percebe-se que os modelos UNIFAC e UNIQUAC apresentaram

dados próximos aos dados experimentais. Além disso, os dois modelos não apresentaram diferença significativa entre si, possuindo desvios muito próximos, como mostrado na Tabela 4.

No geral, para os sistemas binários estudados o modelo UNIFAC foi o que apresentou os menores desvios e melhor predição, com exceção do sistema Etanol (1) + Água (2), em que modelo UNIFAC apresentou desvio um pouco superior em relação ao UNIQUAC. Isso pode ser justificado pelo fato de que o modelo UNIQUAC considera as diferenças entre as formas e tamanhos das moléculas através da inserção de parâmetros de área e volume.

### **3.3. Simulação do processo de purificação do bioetanol**

#### 3.3.1 Verificação do Simulador

Conforme a metodologia deste trabalho verificou-se o simulador, comparando-se os dados simulados de temperatura e pressão com os dados experimentais do banco de dados do DIPPR. Dessa forma, foram obtidos os gráficos da Figura 3, no qual se observam que as pressões de vapor dos componentes estudados no processo são bem representadas pelo simulador.

Dessa forma, pode-se simular as pressões de vapor pela equação de Antoine e

os parâmetros propostos pelo simulador COCO.

De forma semelhante e após a modificação dos parâmetros do modelo UNIQUAC, compararam-se os dados simulados com os dados experimentais obtidos na literatura mencionada. Os gráficos obtidos são ilustrados na Figura 4.

Na Figura 4, verifica-se que o modelo UNIQUAC utilizado pelo simulador é razoavelmente aplicável para o processo. Dessa forma, pode-se seguramente estimar o comportamento real utilizando o simulador.

#### 3.3.2 Resultados obtidos da Simulação

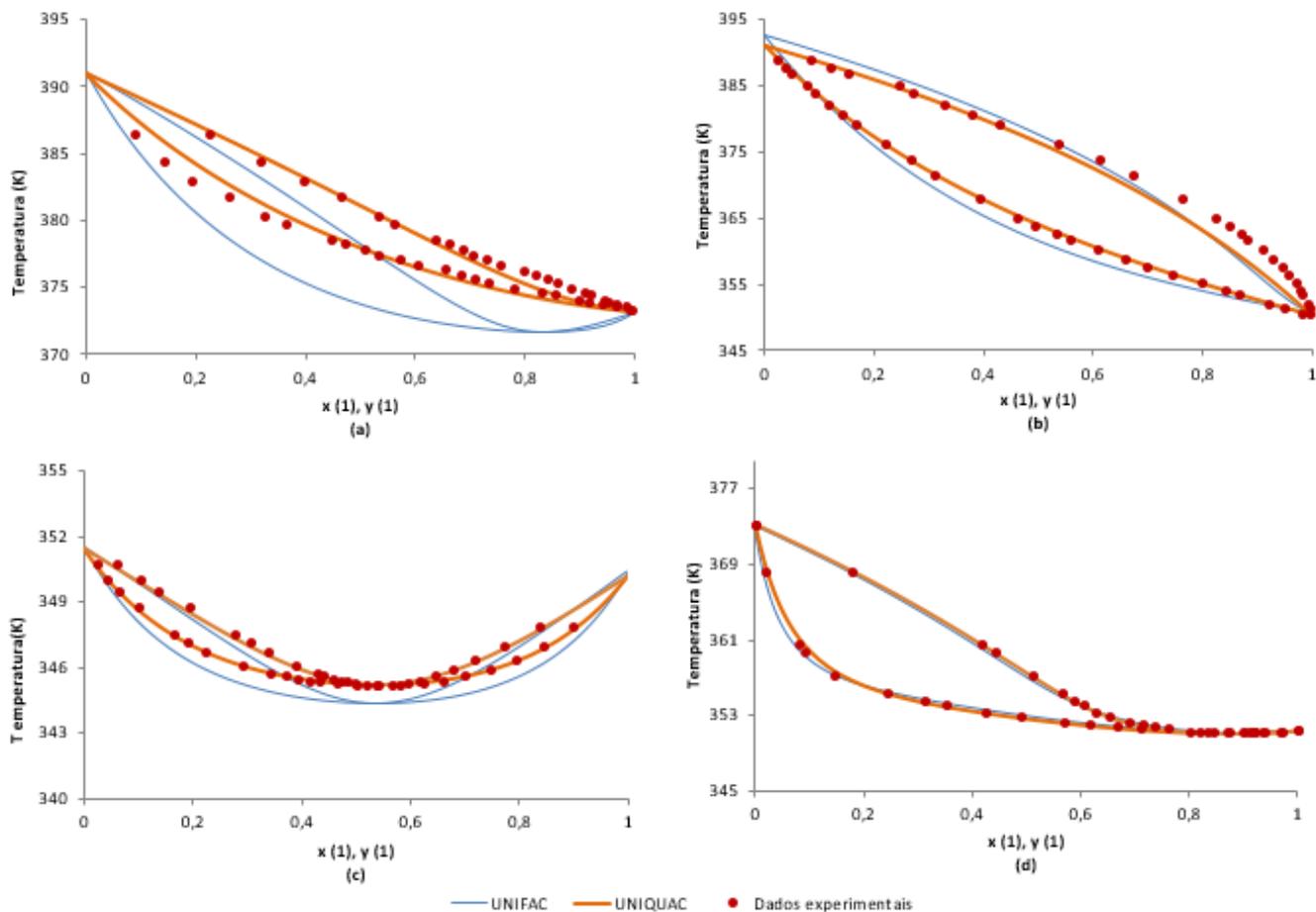
Na etapa de simulação do sistema etanol/água e consequente definições das concentrações máximas possíveis do etanol nas colunas A e B, foi primordial o acompanhamento do azeótropo e sua sensibilidade com a pressão nas duas colunas.

Para isso, o simulador é capaz de fornecer o comportamento do binário nas condições das correntes de entrada de cada coluna. Durante a simulação, visualizou-se a sensibilidade do azeótropo quando se alterou a pressão de 101325 Pa para 11325 Pa (destilação a vácuo).

Dessa forma, verificou-se que, na coluna A, o azeótropo permite uma pureza de 0,87 molar de etanol. Já na coluna B, o azeótropo permite uma pureza de 0,95 molar

de etanol. Para obter esses valores, manteve-se o valor do refluxo no refeedor de 2 e obtiveram-se: a coluna A com 40 pratos

Figura 2: Comparação dos dados simulados pelo modelo UNIFAC e UNIQUAC com os



dados experimentais para o sistemas a 101,3 kPa: (a) Água (1) + Ácido acético (2); (b) Acetato de etila (1) + Ácido acético (2); (c) Acetato de etila (1) + Etanol (2); (d) Etanol (1) + Água (2).

Tabela 4: Desvios relativos (%) em relação aos dados experimentais.

Sistema	Água /Ác. Acético		Acetato de Etila/Ác. Acético		Acetato de etila/ Etanol		Etanol/Água	
	ERRO Y1 (%)	ERRO T (%)	ERRO Y1 (%)	ERRO T (%)	ERRO Y1 (%)	ERRO T (%)	ERRO Y1 (%)	ERRO T (%)
UNIFAC	11,29	6,070	6,08	0,540	2,24	0,280	1,54	0,020
UNIQUAC	2,91	0,078	5,06	0,063	1,89	0,018	1,79	0,022

teóricos e alimentação no prato 20 com reciclo no prato 16; e a coluna B com 43 pratos teóricos e alimentação no prato 30.

Essa configuração juntamente com as condições fornecidas na Tabela 2 dos dados operacionais permitiu as simulações conforme

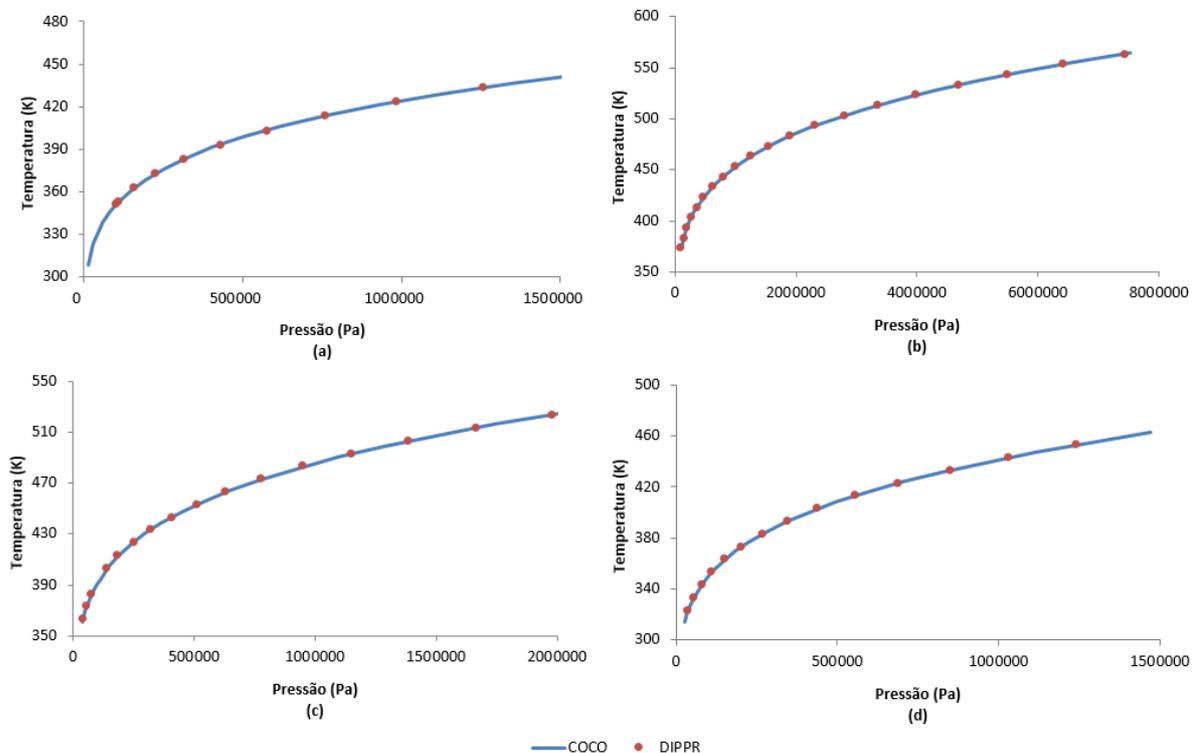


Figura 3: Comparação entre o simulador COCO e dados experimentais do DIPPR: (a) etanol; (b) água; (c) ácido acético; (d) acetato de etila.

a metodologia proposta.

A Tabela 5 ilustra os resultados obtidos para a simulação do processo estudado.

De acordo com Kumar *et al.* [2010] a mistura etanol-água forma um azeótropo de mínimo ponto de ebulição com composição molar de 89,4% de etanol e temperatura de ebulição 78,2°C a pressão atmosférica. Esses valores são semelhantes aos ilustrados na Tabela 5 para a simulação do sistema etanol/água.

Observando a Tabela 5, percebe-se que a presença dos minoritários nas composições

fornecidas pela literatura pouco influenciou no processo, obtendo-se vazões e composições bastante semelhantes às do sistema sem os minoritários. Verificou-se também que quando ocorreu a separação de fases o ácido acético permaneceu junto com a água enquanto que o acetato de etila permaneceu na fase rica em etanol. Provavelmente, isso se deve ao fato de que o acetato de etila e o etanol possuem temperaturas de ebulição muito próximas 350,27 K e 351,43 K, respectivamente.



## II CONEPETRO

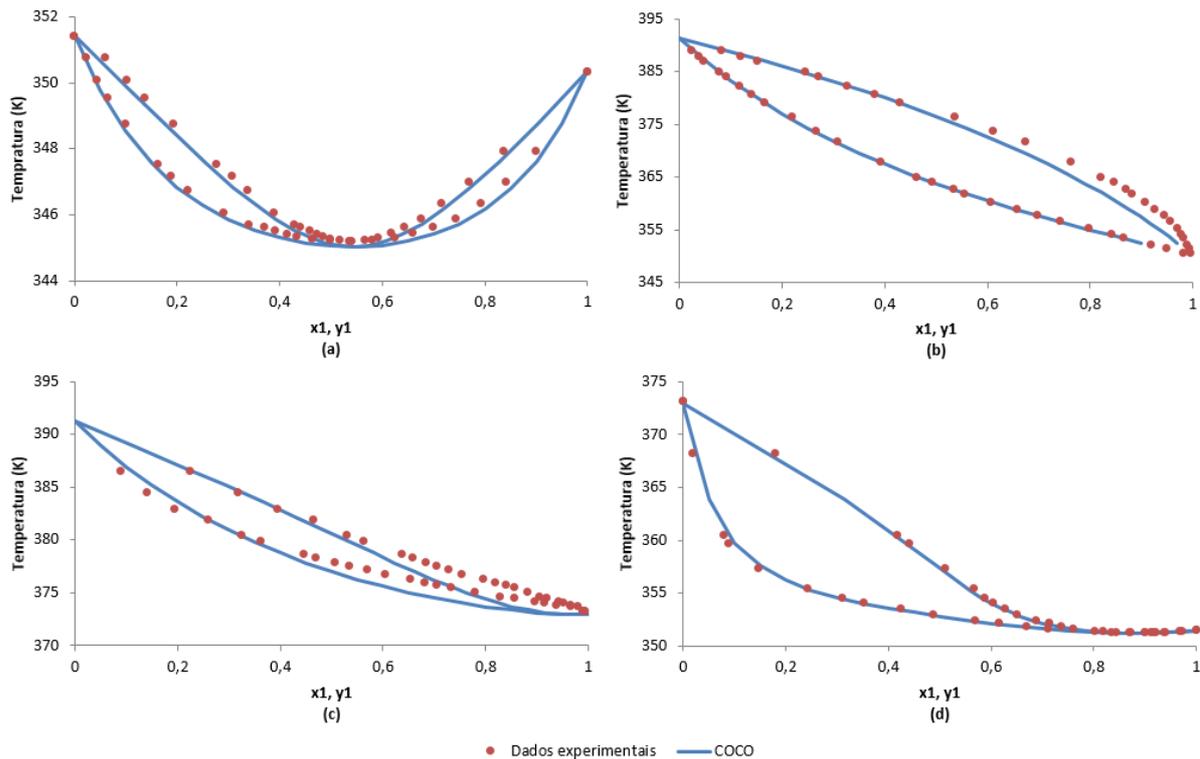
II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE  
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS  
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

Observou-se também que ocorreu uma pequena alteração na temperatura de saída da corrente de base da coluna A. Provavelmente, devido a leve variação da composição do sistema, visto que seus componentes interagem entre si.

Na terceira simulação quando se aumentou a concentração do ácido acético em 100 vezes, observou-se um comportamento semelhante ao da segunda simulação. Porém, mesmo atingindo as composições desejáveis do etanol, as vazões das correntes foram consideravelmente alteradas. Em especial, a

vazão de topo da coluna B, diminuindo a massa de etanol (95% molar) produzida.

Já na quarta simulação quando se elevou a concentração do acetato de etila em 100 vezes, a composição desejável de etanol na corrente de saída de ambas as colunas não foi possível, visto que grande massa de acetato de etila foi destilada junto com o etanol e, dessa forma, impedindo o alcance da composição de 95% molar de etanol. Mediante essa situação, sugere-se a avaliação do azeótropo formado entre o etanol e acetato de etila para posterior separação do mesmo,



alcançando então a composição desejável.

Figura 4: Comparação entre o modelo UNIQUAC do simulador COCO e dados experimentais dos binários: (a) acetato de etila (1)/etanol (2); (b) acetato de etila (1)/ ácido acético (2); (c) água(1)/ ácido acético (2); (d) etanol (1)/ água (2).

Tabela 5: Resultados da simulação

[www.conepetro.com.br](http://www.conepetro.com.br)

br

(83) 3322.3222

[contato@conepetro.com.br](mailto:contato@conepetro.com.br)



		ETANOL/ AGUA	ETANOL/AGUA/ MINORITARIOS	X100 ACIDO ACETICO	X100 ACETATO DE ETILA	
COLUNA A	TOPO	Vazão (kg/h)	23709,30	23713,70	21602,2	9356,14
		Etanol	0,87	0,87	0,87	0,86
		Água	0,13	0,13	0,13	0,13
		Ácido acético	0,00	2,00E-15	1,80E-13	2,00E-09
		Acetato de etila	0,00	2,00E-05	2,00E-05	0,65E-2
		Temperatura (°C)	78,36	78,36	78,36	78,06
		Pressão (Pa)	101325	101325	101325	101325
	BASE	Vazão (kg/h)	24970,20	25050,90	25363,45	23626,69
		Etanol	1,80E-2	1,90E-2	0,02	2,00E-22
		Água	0,98	0,98	0,95	0,99
		Ácido acético	0,00	3,10E-4	3,17E-2	3,00E-4
		Acetato de etila	0,00	4,00E-22	3,00E-21	3,00E-23
		Temperatura (°C)	94,66	94,39	94,49	99,97
		Pressão (Pa)	101325	101325	101325	101325
COLUNA B	TOPO	Vazão (kg/h)	3564,79	3484,35	3171,56	4908,29
		Etanol	0,95	0,95	0,95	0,89
		Água	0,05	4,98E-2	4,90E-2	9,73E-2
		Ácido acético	0,00	4,00E-23	4,00E-22	2,00E-21
		Acetato de etila	0,00	2,00E-4	1,90E-4	1,27E-2
		Temperatura (°C)	31,39	31,38	31,38	30,64
		Pressão (Pa)	11325	11325	11325	11325
	BASE	Vazão (kg/h)	20144,50	20229,30	18430,67	44447,84
		Etanol	0,86	0,86	0,86	0,83
		Água	1,40E-1	1,43E-1	1,43E-1	1,71E-2
		Ácido acético	0,00	2,00E-15	2,00E-13	3,00E-09
		Acetato de etila	0,00	8,00E-13	9,00E-13	2,00E-10
		Temperatura (°C)	31,52	31,52	31,52	31,59
		Pressão (Pa)	11325	11325	11325	11325

#### 4. CONCLUSÕES

Durante a execução desse trabalho, verificou-se que os dados experimentais utilizados eram consistentes e que o modelo UNIQUAC os representava significativamente. Também foi possível estimar novos parâmetros do modelo UNIQUAC para melhor representar os

binários estudados e inserí-los no banco de dados do simulador COCO.

Ao realizar as simulações do processo, percebeu-se que, utilizando as composições de ácido acético e acetato de etila presentes no vinho oriundo da produção de bioethanol, as propriedades como vazão, composição e temperatura do processo não foram significativamente alteradas quando

comparadas ao do sistema composto apenas por etanol e água. Entretanto, elevando a concentração desses contaminantes, o processo pode ser alterado consideravelmente, reduzindo a capacidade de produção do etanol na composição acima de 96% em massa, no caso do ácido acético, ou não atingindo a composição desejável de etanol na corrente de saída, conforme ocorreu com o aumento da composição de acetato de etila na corrente de alimentação.

## 5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos a CAPES e CNPq pela estrutura física e apoio financeiro.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BATISTA, F. R. M. *Estudo do processo de destilação alcoólica contínua: Simulação de Plantas Industriais de Produção de Álcool Hidratado, Álcool Neutro e Cachaça*. 2008, 180 p. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos. Campinas-SP.

CALVAR, N.; DOMÍNGUEZ, A.; TOJO, J. *Vapor-liquid equilibria for the quaternary reactive system ethyl acetate + ethanol + water + acetic acid and some of the constituent binary systems at 101,3 kPa*.

*Fluid Phase Equilibria*, v. 235, p. 215–222, 2005.

DIAS M. O. S., MODESTO M., ENSINAS A. V., NEBRA S. A., MACIEL FILHO R., ROSSELL C. E. V. *Improving bioethanol production from sugarcane: evaluation of distillation, thermal integration and cogeneration systems*. *Energy*, v. 36, p. 3691-3703, 2011.

EMTIR M., REV E., FONYO Z. *Rigorous simulation of energy integrated and thermally coupled distillation schemes for ternary mixture*. *Applied Thermal Engineering*, v. 21, p. 1299-1317, 2001.

ESCOBAR J. C., LORA E. S., VENTURINI O. J., YÁÑEZ E. E., CASTILLO E. F., ALMAZAN O. *Biofuels: environment, technology and food security*. *Renewable Sustainable Energy Reviews*, v.13, p. 1275-1287, 2009.

GOMES, J. R. *Produção de etanol no Brasil atinge recorde de 28,6 bi de litros em 2014*. Disponível em: <<http://economia.estadao.com.br/noticias/geral,producao-de-etanol-no-brasil-atinge-recorde-de-28-6-bi-de-litros-em-2014,1696115>>.

Acesso em: 11 de maio de 2016.



**II CONEPETRO**

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE  
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS  
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

KAMIHAMA, N.; MATSUDA, H.;  
KURIHARA, K.; TOCHIGI, K., OBA, S.  
**Isobaric Vapor–Liquid Equilibria for  
Ethanol + Water + Ethylene Glycol and Its  
Constituent Three Binary Systems.** Journal  
of Chemical & Engineering Data, v. 57, p.  
339-344, 2012.

KNAPP, J. P. **Exploiting pressure effects in  
the distillation of homogeneous azeotropic  
mixtures.** 1991, 285 p. Tese de Doutorado em  
Filosofia, University of Massachusetts. Ann  
Arbor.

KIRAN B., JANA A. K., SAMANTA A. N. **A  
novel intensified heat integration in  
multicomponent distillation.** Energy, v. 41, p.  
443-453, 2012.

KUMAR, S.; SINGH, N.; PRASAD, R.  
**Anhydrous ethanol: A renewable source of  
energy.** Renewable and Sustainable Energy  
Reviews, v. 14, p. 1830-1844, 2010.

PORTAL BRASIL. **Brasil incentiva  
produção de etanol.** Disponível em:<  
<http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2015/07/brasil-incentiva-producao-de-etanol>> . Acesso em: 11 de maio de 2016.

RASHID, U., REHMAN, H. A., HUSSAIN I.,  
IBRAHIM M., HAIDER M. S. **Muskemelon**

**(Cucumis melo) seed oil: a potential non-  
food oil source for biodiesel production.**  
Energy, v. 36, p. 5632-569, 2011.

REPKE, J. U.; FLORIAN, F.; KLEIN, A.  
**Separation of homogeneous azeotropic  
mixtures by pressure swing distillation:  
Analysis of the operation performance.**  
Chemical Engineering & Technology, v. 28, n.  
10, p. 1151–1157, 2005.

**www.conepetro.com.**

**br**

(83) 3322.3222

contato@conepetro.com.br