

Métodos de separação como auxiliares para alguns processos industriais e para o tratamento ou aproveitamento de resíduos e coprodutos gerados pela indústria

Elisandra Carolina Martins  
(Organizadora)



**MÉTODOS DE SEPARAÇÃO COMO AUXILIARES  
PARA ALGUNS PROCESSOS INDUSTRIAIS E PARA  
O TRATAMENTO OU APROVEITAMENTO DE  
RESÍDUOS E COPRODUTOS GERADOS PELA  
INDÚSTRIA**

**Elisandra Carolina Martins  
(Organizadora)  
ATENA EDITORA**

Elisandra Carolina Martins  
(Organizadora)

**MÉTODOS DE SEPARAÇÃO COMO AUXILIARES  
PARA ALGUNS PROCESSOS INDUSTRIAIS E PARA  
O TRATAMENTO OU APROVEITAMENTO DE  
RESÍDUOS E COPRODUTOS GERADOS PELA  
INDÚSTRIA**

---

Atena Editora  
Curitiba – Brasil  
2017

2017 by Elisandra Carolina Martins

Copyright © da Atena Editora

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Edição de Arte e Capa:** Geraldo Alves

**Revisão:** Os autores

**Conselho Editorial**

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho (UnB)

Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior (UFAL)

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto (UFPEL)

Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall'Acqua (UNIR)

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson (UTFPR)

Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior (UEPG)

Profª Drª Lina Maria Gonçalves (UFT)

Prof. Dr. Takeshy Tachizawa (FACCAMP)

Profª Drª Ivone Goulart Lopes (Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice)

Prof. Dr. Carlos Javier Mosquera Suárez (UDISTRITAL/Bogotá-Colombia)

Prof. Dr. Gilmei Francisco Fleck (UNIOESTE)

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

M593

Métodos de separação como auxiliares para alguns processos industriais e para o tratamento ou aproveitamento de resíduos e coprodutos gerados pela indústria / Organizadora Elisandra Carolina Martins. – Curitiba (PR): Atena, 2017.

212 p. : 5.190 kbytes

Formato: PDF

ISBN: 978-85-93243-19-6

DOI: 10.22533/1961503

Inclui bibliografia.

1. Engenharia química. 2. Química industrial. 3. Separação (Tecnologia) - Química. I. Martins, Elisandra Carolina. II. Título.

CDD-660.2

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

2017

Proibida a reprodução parcial ou total desta obra sem autorização da Atena Editora

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

E-mail: [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

## **Apresentação**

Os métodos de separação são utilizados para isolar um componente presente em uma mistura. Em geral, recorre-se aos métodos de separação quando é necessário eliminar um interferente, purificar uma amostra ou como uma etapa de preparo da amostra. Esses métodos são muito importantes em sínteses, na química industrial, nas ciências biomédicas e nas análises químicas.

Diversos são os métodos de separação que podem ser utilizados. Neste material são apresentados principalmente estudos envolvendo métodos de adsorção e a técnica de extração líquido-líquido. De forma geral, a adsorção pode ser definida como o processo em que uma substância química reage na superfície de uma fase. A extração líquido-líquido é baseada na partição de um soluto entre dois líquidos imiscíveis entre si.

A partir dos princípios da adsorção, são apresentados estudos que visam: *i)* avaliar a possibilidade do uso de adsorventes alternativos de baixo custo, como a casca de arroz (para adsorver o azul de metileno) e a polpa de azeitona residual (gerada pela indústria de extração do azeite e da produção de azeitonas de mesa) para a remoção de íons cobre de uma solução sintética; *ii)* descrever o processo de adsorção do chumbo em solução aquosa avaliando diversos modelos, como os de Langmuir, Freundlich, Dubinin – Radushkevish (D-R) e Temkin; *iii)* fornecer informações para auxiliar a remoção de gás carbônico do gás natural por adsorção.

A técnica de extração líquido-líquido foi utilizada pelos autores para extrair o linalol presente no óleo de laranja (coproduto das indústrias de suco de laranja), para separar o cobalto do níquel e para purificar biomoléculas. Além das técnicas de extração líquido-líquido, esta coletânea abrange diversos outros métodos de separação, os quais foram utilizados para a purificação do biodiesel, tratamento de efluentes líquidos de uma lavanderia têxtil, tratamento do lixo eletrônico e a recuperação de metais e para a extração de triacilgliceróis (TAG) presente em microalgas. Também é apresentado um estudo de otimização do método de separação utilizado para a clarificação de calda de açúcar.

Estudos que fornecem informações sobre características físico-químicas do glicerol, de hidrocarbonetos, de sistemas binários envolvendo líquidos iônicos e da ureia também contemplam esta coletânea. Estas informações são de extrema importância para a indústria.

Desejo a todos uma excelente leitura!

*Elisandra Carolina Martins*

## SUMÁRIO

### Capítulo I

#### ANÁLISE TERMODINÂMICA PARA A ADSORÇÃO DE CHUMBO UTILIZANDO MODELOS ISOTÉRMICOS TRADICIONAIS

*Flávio Caldeira Silva, Taciana Soares do Carmo, Maria Aparecida Barros e Moilton Ribeiro Franco Junior.....08*

### Capítulo II

#### AValiação DAS ISOTERMAS DE ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO EM CASCA DE ARROZ IN NATURA E MODIFICADA VIA ULTRASSOM

*Dison Stracke Pfingsten Franco e Guilherme Luiz Dotto.....19*

### Capítulo III

#### MODELAGEM CINÉTICA DA BIOADSORÇÃO DE ÍONS COBRE (Cu) UTILIZANDO RESÍDUO AGROINDUSTRIAL

*Tiago Lima Procópio, Nathália Carvalho da Silva, Douglas Martins Torres, Cristiane de Souza Siqueira Pereira, Orlando dos Santos Pereira e Miguel Rascado Fraguas Neto.....30*

### Capítulo IV

#### DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DO CALOR ISOSTÉRICO PARA A ADSORÇÃO DE CO<sub>2</sub> EM ZEÓLITA NaY E CARVÃO ATIVADO

*Paola dos Santos Gaschi, Joziane Gimenes Meneguim, Maria Angélica Simões Dornellas de Barros, Edson Antônio da Silva, Jailton Nascimento e Pedro Augusto Arroyo.....40*

### Capítulo V

#### SIMULAÇÃO DA SEPARAÇÃO DO LINALOL ATRAVÉS DO PROCESSO DE EXTRAÇÃO LÍQUIDO-LÍQUIDO

*Thatianne Caminha da Silva, Luciana Yumi Akisawa Silva e Patrícia Fazzio Martins Martinez.....49*

### Capítulo VI

#### EXTRAÇÃO DE COBALTO E SEPARAÇÃO NÍQUEL E COBALTO DE LICOR SULFÚRICO RICO EM NÍQUEL – ESTUDO EM BANCADA E MICROBATERIA DE MISTURADORES-DECANTADORES

*Fabício Eduardo Bortot Coelho, Heitor Ribeiro da Silva, Estêvão Magno Rodrigues Araújo, Julio César Balarini, Tânia Lúcia Santos Miranda e Adriane Salum.....61*

## Capítulo VII

### PARTIÇÃO DE ÁCIDO LÁTICO EM SISTEMAS AQUOSOS BIFÁSICOS COM PEG/SULFATO DE SÓDIO

*José Guilherme Lembi Ferreira Alves, Luana Benatti de Aquino Gargano, André Tetsuo Shashiki, André Kazuo Kobayashi, Olga Lucía Mondragón Bernal e Lizzy Ayra Alcântara Veríssimo.....*71

## Capítulo VIII

### TERRA DE DIATOMÁCEA COMO MÉTODO ALTERNATIVO PARA A PURIFICAÇÃO DO BIODIESEL

*Rafael Luiz Temóteo, Svetlana Fialho Soria Galvarro e Deusanilde de Jesus Silva.....*79

## Capítulo IX

### ESTUDO DO PROCESSO DE EVAPORAÇÃO DO ETANOL NÃO REAGIDO APÓS A REAÇÃO DE TRANSESTERIFICAÇÃO DO ÓLEO DE PALMA (*Elaeis guineensis*, Jacq)

*Mario Augusto Duarte da Luz, Douglas Alberto Rocha de Castro, Haroldo Jorge da Silva Ribeiro, Helena Gabriela dos Santos Souza, Romero Moreira Oliveira e Nélito Teixeira Machado.....*92

## Capítulo X

### AVALIAÇÃO DOS PROCESSOS DE TRATAMENTO DE EFLUENTE TÊXTIL ATRAVÉS DO USO DA ELETROCOAGULAÇÃO E POLÍMEROS NATURAIS

*Paula Cristina de Souza, Nehemias Curvelo Pereira, Paulo Henrique Rodrigues, Vanessa Marconi Jamarim, Giovanna Beatriz Eler de Almeida e Laís Regina dos Santos.....*100

## Capítulo XI

### RECUPERAÇÃO DE METAIS PRESENTES EM LIXO ELETRÔNICO

*Ricardo França Furtado da Costa, Filipe Souza Almeida, Lúrima Uane Soares Faria e Leonardo Ramos Paes de Lima.....*109

## Capítulo XII

### AVALIAÇÃO TÉCNICA DA EXTRAÇÃO DE TRIACILGLICERÍDEOS DE MICROALGAS USANDO FLUIDO SUPERCRÍTICO

*Ana Lucia Barbosa de Souza, Danielle Bessa, Roberta Benicá Sartori, Roberto Bianchini Derner e Marisa Fernandes Mendes.....*119

## Capítulo XIII

### CINÉTICA DA CLARIFICAÇÃO DA CALDA DE AÇÚCAR PELO PROCESSO DE FLOTAÇÃO COM AR DISSOLVIDO (FAD)

*Leandra Cristina Crema Cruz, Roger Darros Barbosa, Pedro Alexandre da Cruz e Lina María Grajales Agudelo.....*130

#### Capítulo XIV

##### ROTAS REACIONAIS E ANÁLISE TERMODINÂMICA DA REAÇÃO DE OXIDESIDRATAÇÃO DO GLICEROL EM ÁCIDO ACRÍLICO

*Heitor Otacílio Nogueira Altino e Sarah Arvelos.....141*

#### Capítulo XV

##### ESTUDO DO COMPORTAMENTO DA CONSTANTE DIELÉTRICA EM CONDIÇÕES SUPERCRÍTICAS ENVOLVENDO CO<sub>2</sub>, HIDROCARBONETOS E ÁGUA

*Reinaldo Coelho Mirre, Fábio Pedro do Nascimento, Eduardo Rocha de Almeida Lima, Márcio Luis Lyra Paredes e Fernando Luiz Pellegrini Pessoa.....152*

#### Capítulo XVI

##### ANÁLISE DA CONSISTÊNCIA TERMODINÂMICA E MODELAGEM A ALTAS PRESSÕES DO EQUILÍBRIO LÍQUIDO-VAPOR DE MISTURAS CONTENDO LÍQUIDOS IÔNICOS (IMIDAZÓLIO) E CO<sub>2</sub>

*Pedro Felipe Arce Castillo e Jefferson Ferreira Guimarães.....162*

#### Capítulo XVII

##### DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS OPERACIONAIS PARA UM SISTEMA DE SEDIMENTAÇÃO EM ESCALA DE LABORATÓRIO

*Fabiola Dias da Silva Curbelo, Gabrielly dos Santos Maciel e Alfredo Ismael Curbelo Garnica.....175*

#### Capítulo XVIII

##### ESTIMATIVA DA SOLUBILIDADE DA UREIA EM SOLUÇÃO DE ISOPROPANOL

*Jéssica Borges Rodrigues, Marcela Félix Pinto e Ricardo Amâncio Malagoni.....184*



## **CAPÍTULO XVI**

### **ANÁLISE DA CONSISTÊNCIA TERMODINÂMICA E MODELAGEM A ALTAS PRESSÕES DO EQUILÍBRIO LÍQUIDO-VAPOR DE MISTURAS CONTENDO LÍQUIDOS IÔNICOS (IMIDAZÓLIO) E CO<sub>2</sub>**

---

Pedro Felipe Arce Castillo  
Jefferson Ferreira Guimarães

# ANÁLISE DA CONSISTÊNCIA TERMODINÂMICA E MODELAGEM A ALTAS PRESSÕES DO EQUILÍBRIO LÍQUIDO-VAPOR DE MISTURAS CONTENDO LÍQUIDOS IÔNICOS (IMIDAZÓLIO) E CO<sub>2</sub>

**Pedro Felipe Arce Castillo**

Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de Lorena, Departamento de Engenharia Química  
Lorena – SP

**Jefferson Ferreira Guimarães**

Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de Lorena, Departamento de Engenharia Química  
Lorena – SP

**RESUMO:** Os líquidos iônicos, são sais fundidos (orgânicos) com pontos de fusão sob 100°C e pressões de vapor extremamente pequenas e são uma excelente alternativa aos solventes atuais. Por outro lado, sabe-se que nem todos os dados experimentais publicados na literatura de equilíbrio líquido-vapor de sistemas binários são termodinamicamente consistentes. Neste trabalho, aplicou-se testes de consistência (Gibbs-Duhem) e fez-se modelagem termodinâmica do equilíbrio líquido-vapor de sistemas binários envolvendo líquidos iônicos (Imidazólio) e CO<sub>2</sub> supercrítico utilizando a equação cúbica de estado de Peng-Robinson. Os resultados foram relativamente satisfatórios em termos dos desvios na pressão de bolha e a fração molar na fase vapor tendo-se em consideração que foi apenas usado um parâmetro de interação binária ( $k_{ij}$ ).

**PALAVRAS-CHAVE:** Consistência termodinâmica, Modelagem termodinâmica, Equilíbrio Líquido-Vapor, Líquido iônico, CO<sub>2</sub> supercrítico.

## 1 INTRODUÇÃO

Sabe-se que a equação de Gibbs-Duhem relaciona os coeficientes de atividade de todos os componentes de uma mistura. Se todos os dados necessários para o cálculo destes coeficientes estiverem disponíveis, deverão obedecer a esta equação; caso contrário, os dados não são verdadeiros ou houve erros graves na sua obtenção. No entanto, a conformidade dos dados com a equação não significa necessariamente que estes dados são corretos, pois é possível – mas não provável – que dados incorretos fortuitamente possam satisfazê-la. Infelizmente, na literatura encontram-se dados de equilíbrio de fases (equilíbrio líquido-vapor) que não satisfazem a equação de Gibbs-Duhem e, portanto, são considerados incorretos sob a ótica da termodinâmica (McDermott e Ellis, 1965; Liebermann e Fried, 1972).

A análise de consistência termodinâmica pode ser feita utilizando-se diferentes métodos, os quais dependem do modelo termodinâmico. Um dos objetivos principais deste trabalho é verificar a consistência termodinâmica de dados experimentais líquido-vapor em sistemas binários a altas pressões e temperaturas,

envolvendo líquidos iônicos (Imidazólio) e CO<sub>2</sub> supercrítico utilizando o modelo termodinâmico de Peng-Robinson para ajustar exatamente estes dados aos critérios de Gibbs-Duhem.

O teste de consistência termodinâmica pode ser aplicado a dados experimentais de equilíbrio para sistemas binários (por exemplo, equilíbrio líquido-vapor, como os deste trabalho) e sistemas ternários (por exemplo, sólido-sólido-gás) como mostra Smith et al. (2007).

O método da equação de estado (EdE) é utilizado para correlacionar e prever o equilíbrio de fases de sistemas complexos. Combinações apropriadas e regras de mistura são utilizadas para descrever a dependência de concentração dos parâmetros do modelo. As equações cúbicas de estado, derivadas da proposta de Van der Waals, como a EdE de Peng-Robinson, são muito utilizadas para análise do comportamento termodinâmico de sistemas complexos (Peng e Robinson, 1976).

## 2 LÍQUIDOS IÔNICOS

Os líquidos iônicos (LIs) não são compostos novos e já foram conhecidos como sais fundidos. O interesse nestes tipos de substâncias cresceu a partir da década de 80 e atualmente as pesquisas para desenvolvimento de novos líquidos vêm aumentando devido a necessidade ambiental em substituir antigos solventes orgânicos. O LI é formado por íons muito assimétricos e volumosos, porém apresenta forças atrativas mais fracas que os sais iônicos convencionais (Wilkes, 2002). No geral, possuem uma estrutura composta por um cátion orgânico, que contém um heteroátomo (N ou P), associado a um ânion mineral e orgânico de grande tamanho como mostra o trabalho de Boon et al. (1986).

Os LIs podem ser considerados como novos solventes devido a suas propriedades: baixa inflamabilidade, baixa ou nula volatilidade, estabilidade térmica e alta condutividade iônica. Por essas razões, suas principais aplicações seriam substituindo aos solventes orgânicos convencionais em reações bifásicas e nos processos de separação (Plechova e Seddon, 2008; Gorman, 2001). Além disso, pode-se utilizar em outras aplicações como na extração com fluidos supercríticos (Keskin et al., 2007) ou no desenvolvimento de novos processos tecnológicos e industriais. Por exemplo, alguns LIs podem ser usados como biocatalizadores com uma grande vantagem quando comparados com os solventes orgânicos convencionais (Dupont et al., 2002).

### 3 CONSISTÊNCIA E MODELAGEM TERMODINÂMICA DO EQUILÍBRIO LÍQUIDO-VAPOR EM CONDIÇÕES SUPERCRÍTICAS

#### 3.1 CONSISTÊNCIA E MODELAGEM TERMODINÂMICA DO EQUILÍBRIO LÍQUIDO-VAPOR EM CONDIÇÕES SUPERCRÍTICAS

Dados experimentais devem ser utilizados com certa cautela, pois pode haver falhas graves em sua obtenção, seja por erros de método, seja por erros de equipamento ou, simplesmente, erros do experimentador. Por isso, faz-se necessário testar a consistência desses dados sob a ótica da termodinâmica. Neste trabalho analisou-se sistemas binários compostos por CO<sub>2</sub> supercrítico e líquidos iônicos (Imidazólio) em condições de altas pressões e temperaturas. Para que o teste de consistência termodinâmica fosse corretamente aplicado, primeiro verificou-se se eles obedecem a Equação de Gibbs-Duhem, quem tem sua forma reduzida considerando-se T e P constantes mostrada pela Equação 1 (Gmehling e Onken, 1977).

$$\sum x_i d(\ln \hat{\phi}_i) = 0 \quad (1)$$

onde  $x_i$  representa a fração molar do componente i e  $\hat{\phi}_i$  representa o coeficiente de fugacidade do componente i na mistura.

#### 3.2 MODELOS TERMODINÂMICOS – EQUAÇÕES CÚBICAS DE ESTADO

A EdE de Peng-Robinson (Peng e Robinson, 1976) é provavelmente a equação bem mais sucedida na modelagem termodinâmica. Este modelo termodinâmico pode ser representado de duas formas: em termos de pressão-volume-temperatura (PvT) para o sistema (binário ou ternário) ou em termos do fator de compressibilidade (Z). A vantagem dessa última forma é que se precisa conhecer somente o valor das constantes adimensionais da fase respectiva na equação de Peng-Robinson: A e B, que foram calculadas, determinando-se, antes, as constantes “a” e “b” a partir de regras de mistura de Van der Waals. Por fim, foram calculados os coeficientes de fugacidade, das fases líquida ( $\phi^L$ ) e vapor ( $\phi^V$ ), a serem usados na abordagem phi-phi usando-se a Equação 2:

$$\ln \hat{\phi}_i^{L,V} = (Z^{L,V} - 1) - \ln(Z^{L,V} - B^{L,V}) + \frac{A^{L,V}}{2\sqrt{2}B^{L,V}} \ln \left( \frac{Z^{L,V} + (1-\sqrt{2})B^{L,V}}{Z^{L,V} + (1+\sqrt{2})B^{L,V}} \right) \quad (2)$$

Na Equação 2, para obter  $\hat{\phi}^L$  devem ser usados  $Z^L$ ,  $A^L$  e  $B^L$  e para obter  $\hat{\phi}^V$  devem ser usados  $Z^V$ ,  $A^V$  e  $B^V$ .

Na abordagem phi-phi, para sistemas a altas pressões, foram calculados os coeficientes de fugacidade das fases líquida e vapor para o teste de consistência, pois as altas pressões dos sistemas influenciam os coeficientes de fugacidade dos

componentes e são bem diferentes da unidade em ambas as fases. Como foi mencionado anteriormente, calculou-se os coeficientes de fugacidade das fases de vapor e líquido e, usando a equação de Gibbs-Duhem, aplicou-se o teste de consistência termodinâmica aos dados experimentais.

### 3.3 MODELAGEM TERMODINÂMICA

Os cálculos de equilíbrio de fases consistem, basicamente, em determinar as condições de temperatura, pressão e composição nas quais ocorre o equilíbrio. Para um sistema multifásico e multicomponente que se encontra em equilíbrio mecânico e térmico, o critério necessário de equilíbrio químico é a igualdade das fugacidades de cada componente em todas as fases (Michelsen e Mollerup, 2007). Isto é mostrado na Equação 3.

$$\hat{f}_i^\alpha = \hat{f}_i^\beta = \dots = \hat{f}_i^\pi \quad (3)$$

As fugacidades do componente  $i$  na mistura na fase  $\alpha$ ,  $\hat{f}_i^\alpha$ , são obtidas a partir dos coeficientes de fugacidade e das frações molares da fase respectiva. O equilíbrio de fases foi modelado através do método do ponto de bolha P (BOL P). A abordagem simétrica ou phi-phi ( $\phi - \phi$ ) foi usada devido às altas pressões que apresentam os dados experimentais. O equilíbrio bifásico líquido - vapor a altas pressões para sistemas binários: fluido supercrítico (CO<sub>2</sub>) + líquido iônico (LI) foi modelado mediante a Equação 4 (Michelsen e Mollerup, 2007).

$$\hat{f}_i^V = \hat{f}_i^L \quad \text{ou} \quad y_i \hat{\phi}_{i(T,P,y)}^V = x_i \hat{\phi}_{i(T,P,x)}^L \quad ; \quad i=1\dots 2 \quad (4)$$

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As propriedades termodinâmicas dos fluidos envolvidos (pressão crítica, temperatura crítica e fator acêntrico), as características físicas de cada sistema binário e os resultados obtidos da consistência termodinâmica e da modelagem termodinâmica são apresentadas nas seguintes seções.

### 4.1 PROPRIEDADES CRÍTICAS DE COMPONENTE PURO

Na Tabela 1 apresentam-se os nomes e as propriedades críticas das substâncias envolvidas nos sistemas binários estudados (DIPPR, 2000; Valderrama e Robles, 2007).

**Tabela 1** – Propriedades críticas das substâncias envolvidas nesta pesquisa

Nome IUPAC	Símbolo	<i>M</i>	<i>T<sub>c</sub></i> (K)	<i>P<sub>c</sub></i> (MPa)	$\omega$
1-butilo-3-metilimidazólio hexafluorofosfato	[bmim][PF <sub>6</sub> ]	284,2	708,9	1,73	0,7553
1-butilo-3-metilimidazólio nitrato	[bmim][NO <sub>3</sub> ]	201,1	946,3	2,73	0,6039
1-butilo-3-metilimidazólio tetrafluoroborato	[bmim][BF <sub>4</sub> ]	226,0	632,3	2,04	0,8489
1-butilo-3-metilimidazolium dicianamida.	[bmim][DCA]	205,1	1035,8	2,44	0,8419
1-etil-3-metilimidazólio di(trifluorometilsulfonilimida)	[emim][bti]	391,2	1214,2	3,37	0,2818
1-etil-3-metilimidazólio etil sulfato	[emim][EtSO <sub>4</sub> ]	236,3	1061,1	4,04	0,3368
dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	44,0	304,2	7,38	0,2240

Percebe-se que os líquidos iônicos abordados possuem massas molares parecidas, excetuando-se o 1-etil-3-metilimidazólio di(trifluorometilsulfonilimida) ([emim][bti]), porém mostram características completamente diferentes quando se analisam suas propriedades críticas. Isso se justifica pelas suas diferentes composições, que podem causar maior ou menor interação entre os grupos funcionais que as compõem. Por outro lado, é importante ressaltar que as propriedades críticas foram obtidas pelo método de contribuição de grupos (Valderrama e Robles, 2007).

## 4.2 PROPRIEDADES FÍSICAS DOS SISTEMAS BINÁRIOS ESTUDADOS

Na Tabela 2 apresentam-se algumas características físicas dos sistemas binários CO<sub>2</sub> + LI (Imidazólio) avaliados e modelados, como intervalos de pressão, temperaturas e número de pontos experimentais dos sistemas. Analisando os dados dos sistemas binários apresentados na Tabela 2, justifica-se a aplicação da abordagem phi-phi, já que equilíbrio líquido-vapor se encontra a altas pressões e temperaturas.

**Tabela 2** – Características físicas dos sistemas binários: CO<sub>2</sub> + LI (Imidazólio)

Sistema binário	Número de pontos experimentais	Intervalo de T (K)	Intervalo de P (MPa)	Referências
CO <sub>2</sub> + [bmim][PF <sub>6</sub> ]	36	298,2 – 333,3	0,56 – 14,64	Aki et al. (2004)

CO <sub>2</sub> + [bmim][NO <sub>3</sub> ]	17	298,1 – 333,2	1,03 – 9,32	
CO <sub>2</sub> + [bmim][BF <sub>4</sub> ]	20	298,2 – 333,3	1,21 – 8,50	
CO <sub>2</sub> + [bmim][DCA]	21	298,2 – 333,3	1,27 – 11,53	
CO <sub>2</sub> + [emim][EtSO <sub>4</sub> ]	24	313,2 – 333,2	0,10 – 9,46	Blanchard <i>et al.</i> (2001)
CO <sub>2</sub> + [emim][bti]	84	293,1 – 363,1	0,72 – 43,58	Carvalho <i>et al.</i> (2009)

### 4.3 CONSISTÊNCIA TERMODINÂMICA

Aplicou-se a abordagem phi-phi aos dados experimentais dos sistemas binários e, dessa forma, determinou-se sua consistência usando métodos de integração numérica de Simpson (Stewart, 2002).

Os resultados de consistência termodinâmica são apresentados na Tabela 3. O desvio percentual de área foi calculado usando a Equação 5.

Foram considerados consistentes os pontos experimentais com desvios percentuais de área maiores de -10% e menores que 10%. Pontos com desvios fora deste intervalo foram considerados inconsistentes. Nota-se que os sistemas binários CO<sub>2</sub> + [emim][EtSO<sub>4</sub>] e CO<sub>2</sub> + [emim][bti] apresentaram os menores desvios percentuais totais de áreas, sendo considerados muito confiáveis. Já o sistema CO<sub>2</sub> + [bmim][DCA] apresentou, desvios muito grandes, e, por essa razão, foi considerado inconsistente e com dados experimentais não confiáveis.

**Tabela 3** – Resultados da consistência termodinâmica

Sistema binário	Desvio percentual de área (%ΔA)	Número de pontos considerados consistentes	Número de pontos considerados inconsistentes
CO <sub>2</sub> + [bmim][PF <sub>6</sub> ]	-60,48	28	8
CO <sub>2</sub> + [bmim][NO <sub>3</sub> ]	75,03	10	7
CO <sub>2</sub> + [bmim][BF <sub>4</sub> ]	-25,04	14	6
CO <sub>2</sub> + [bmim][DCA]	749,82	14	7
CO <sub>2</sub> + [emim][EtSO <sub>4</sub> ]	13,73	15	9
CO <sub>2</sub> + [emim][bti]	17,33	68	16

$$A_P = \int \frac{1}{P_{x_1}} dP \quad , \quad A_\phi = \int \frac{1}{(Z-1)\phi_1} d\phi_1 + \int \frac{(1-x_1)}{x_1(Z-1)\phi_2} d\phi_2 \quad , \quad \% \Delta A = 100 \left[ \frac{A_\phi - A_P}{A_P} \right] \quad (5)$$

#### 4.4 MODELAGEM TERMODINÂMICA

O parâmetro de interação binária,  $k_{ij}$ , foi obtido pelo ajuste de dados experimentais do equilíbrio líquido-vapor usando o método de Levenberg-Marquardt (Bazaraa *et al.*, 2013) pela minimização da função objetivo representada pela Equação 6.

$$FO = \sum_{i=1}^{NP} \left[ \left( \frac{|P^{\text{exp}} - P^{\text{calc}}|}{P^{\text{exp}}} \right)_i + \sum_{j=1}^{NC-1} |y_{i,j}^{\text{exp}} - y_{i,j}^{\text{calc}}| \right] \quad (6)$$

Na Equação 6, NP é o número de dados experimentais considerados termodinamicamente consistentes, NC é 2 (sistema binário), P é a pressão do sistema e y é a fração molar na fase vapor.

Utilizou-se a equação cúbica de estado de Peng-Robinson para modelar os dados experimentais de equilíbrio líquido-vapor dos sistemas binários: CO<sub>2</sub> + LI (Imidazólio), a fim de determinar os valores de pressão calculada ( $P_{\text{calc}}$ ), fração molar de CO<sub>2</sub> na fase vapor calculada ( $y_{1 \text{ calc}}$ ) (BOL P). Os resultados são apresentados na Tabela 4.

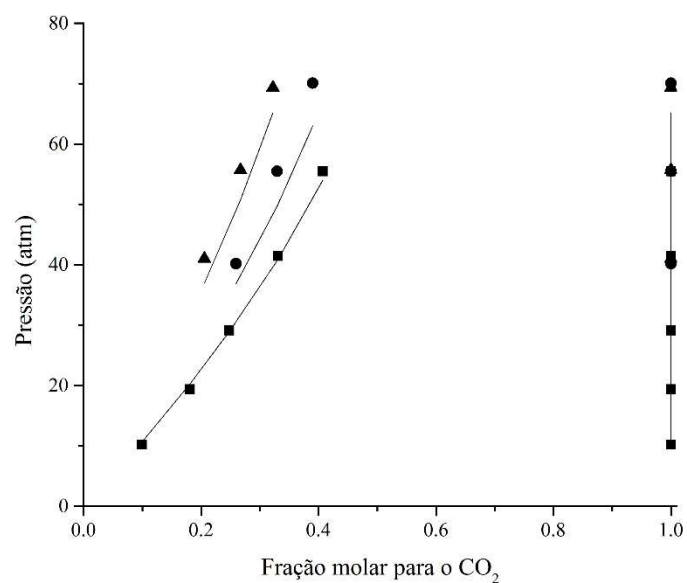
O sistema binário composto por CO<sub>2</sub> + [emim][EtSO<sub>4</sub>] apresentou grandes desvios na modelagem das pressões, indicando que o modelo aplicado não foi efetivo. Já alguns sistemas binários, como os compostos por CO<sub>2</sub> + [bmim][NO<sub>3</sub>] e CO<sub>2</sub> + [bmim][DCA], apresentaram desvios na pressão relativamente eficientes, indicando que o modelo pode ser aplicável e, fazendo-se alguns ajustes, pode ser usado com segurança para todos os sistemas analisados.

**Tabela 4** – Resultados da modelagem termodinâmica utilizando apenas os dados experimentais considerados termodinamicamente consistentes

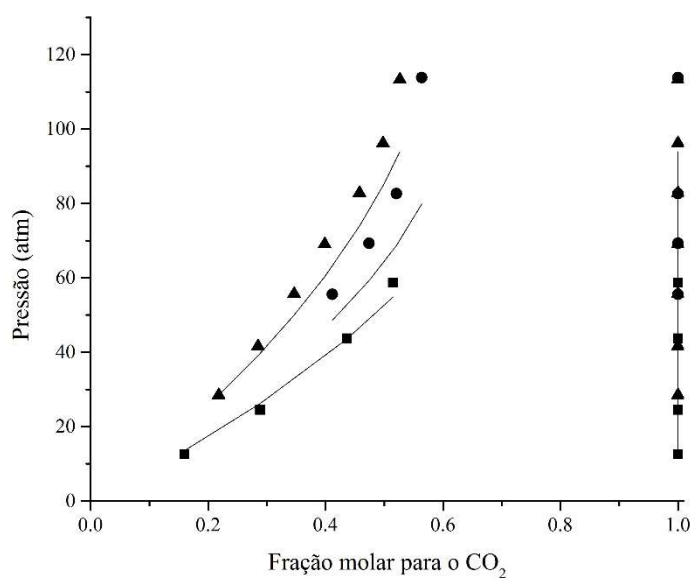
Sistema binário	Número de pontos experimentais (NP)	Desvio percentual médio de P (%ΔP)	Desvio percentual médio de $y_1$ (%Δ $y_1$ )	Parâmetro de interação binária ( $k_{ij}$ )
CO <sub>2</sub> + [bmim][PF <sub>6</sub> ]	28	11,64	0,30	0,1261
CO <sub>2</sub> + [bmim][NO <sub>3</sub> ]	10	6,25	0,00	0,1032
CO <sub>2</sub> + [bmim][BF <sub>4</sub> ]	14	12,53	0,00	0,1475
CO <sub>2</sub> + [bmim][DCA]	14	7,79	0,00	0,0462
CO <sub>2</sub> + [emim][EtSO <sub>4</sub> ]	15	21,43	0,00	0,0578
CO <sub>2</sub> + [emim][bti]	68	11,26	4,43	-0,0175

Nas Figura 1 a 4, se apresentam em forma gráfica os resultados da modelagem termodinâmica do ELV, P vs x e y, obtidos para quatro sistemas binários.

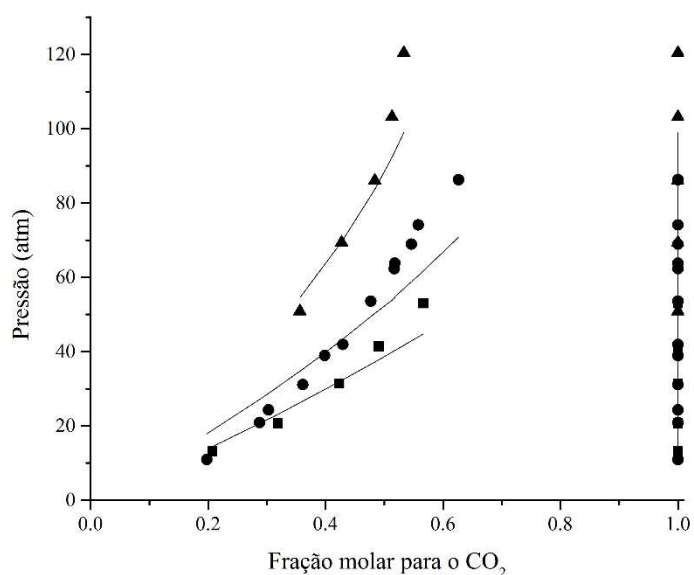




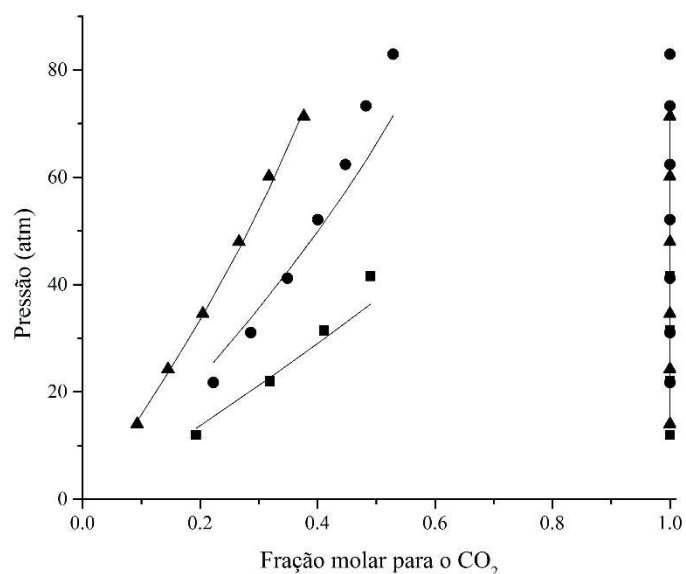
**Figura 1.** Resultados obtidos na modelagem termodinâmica do ELV do sistema binário: CO<sub>2</sub> + [bmim][NO<sub>3</sub>]. Os símbolos representam os dados experimentais de Aki *et al.* (2004) (■ = 298,1 K; ● = 313,3 K; ▲ = 333,2 K) e a linha contínua representa os resultados obtidos pela EdE Peng-Robinson.



**Figura 2.** Resultados obtidos na modelagem termodinâmica do ELV do sistema binário: CO<sub>2</sub> + [bmim][DCA]. Os símbolos representam os dados experimentais de Aki *et al.* (2004) (■ = 298,1 K; ● = 313,3 K; ▲ = 333,2 K) e a linha contínua representa os resultados obtidos pela EdE Peng-Robinson.



**Figura 3.** Resultados obtidos na modelagem termodinâmica do ELV do sistema binário: CO<sub>2</sub> + [bmim][PF<sub>6</sub>]. Os símbolos representam os dados experimentais de Aki *et al.* (2004) (■ = 298,2 K; ● = 313,3 K; ▲ = 333,3 K) e a linha contínua representa os resultados obtidos pela EdE Peng-Robinson.



**Figura 4.** Resultados obtidos na modelagem termodinâmica do ELV do sistema binário: CO<sub>2</sub> + [bmim][BF<sub>4</sub>]. Os símbolos representam os dados experimentais de Aki *et al.* (2004) (■ = 298,2 K; ● = 313,3 K; ▲ = 333,3 K) e a linha contínua representa os resultados obtidos pela EdE Peng-Robinson.

A Tabela 4 e as Figuras 1 e 2 mostram que os sistemas binários CO<sub>2</sub> + [bmim][NO<sub>3</sub>] e CO<sub>2</sub> + [bmim][DCA] apresentaram leves desvios nos valores de pressão e resultados muito bons para os valores de fração molar de CO<sub>2</sub> na fase vapor. Nas Figuras 3 e 4, percebe-se que os sistemas CO<sub>2</sub> + [bmim][PF<sub>6</sub>] e CO<sub>2</sub> + [bmim][BF<sub>4</sub>], apresentam ótima modelagem termodinâmica para a fração molar de CO<sub>2</sub> na fase vapor ( $y_1$ ), mas também apresentam ligeiros desvios nos valores de

pressão calculada. Os sistemas  $\text{CO}_2 + [\text{emim}][\text{EtSO}_4]$  e  $\text{CO}_2 + [\text{emim}][\text{bti}]$  apresentaram desvios considerados muito altos nos valores de pressão, entretanto, assim como os demais, exibiram resultados muito bons nos valores de  $y_1$ , como também comprova a Tabela 4. Os desvios no cálculo de pressão levam a crer que, apesar da já comprovada eficiência do modelo termodinâmico de Peng-Robinson, para estes sistemas binários o modelo não é tão eficiente. Entretanto, os mínimos desvios no cálculo da fração molar de  $\text{CO}_2$  na fase vapor indicam que talvez o modelo possa ser levemente modificado para se encaixar de forma mais precisa aos dados experimentais.

## CONCLUSÕES

A equação de estado de Peng-Robinson é uma eficiente ferramenta na predição do comportamento do equilíbrio líquido-vapor de misturas binária a altas pressões, mas os resultados apresentados neste trabalho indicam a necessidade da utilização de um segundo parâmetro de interação binária. Por outro lado, segundo a equação de Gibbs-Duhem, nem todos os dados experimentais publicados na literatura podem ser considerados termodinamicamente consistentes. A equação de Gibbs-Duhem associada à abordagem phi-phi é a melhor forma de se determinar a consistência termodinâmica de dados experimentais em sistemas binários para o ELV a altas pressões.

## AGRADECIMENTOS

J. F. Guimarães e P. F. Arce Castillo agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela bolsa de Iniciação Científica (processo 2015/21535-5) e pelo auxílio financeiro à pesquisa (processo 2015/05155-8), respectivamente.

## REFERÊNCIAS

- AKI S.N.V.K.; MELLEIN B.R.; SAURER E.M., BRENNECKE J.F. **High-Pressure Phase Behavior of Carbon Dioxide with Imidazolium-Based Ionic Liquids**. J. Phys. Chem. B, v. 108, p. 20355-20365, 2004.
- BAZARAA, M. S.; SHERALI, H. D.; SHETTY, C. M. **Nonlinear Programming: Theory and Algorithms**. 3. ed. [S.l.]: Wiley, 2013.
- BLANCHARD, L. A.; GU, Z.; BRENNECKE, J. F. **High-Pressure Phase Behavior of Ionic Liquid/ $\text{CO}_2$  Systems**. J. Phys. Chem. B, v. 105, p. 2437-2444, 2001.

BOON, J. A.; LEVISKY, J. A.; PFLUG, J. L.; WILKES, J. S. **Friedel-Crafts reactions in ambient-temperature molten salts**. J. Organic Chemistry, v.51, p. 480-483, 1986.

CARVALHO, P. J.; ÁLVAREZ, V. H.; MACHADO, J. J. B.; PAULY, J.; DARIDON, J.-L.; MARRUCHO, I. M.; AZNAR, M.; COUTINHO, J. A. P. **High pressure phase behavior of carbon dioxide in 1-alkyl-3-methylimidazolium bis(trifluoromethylsulfonyl)imide ionic liquids**. J. Supercrit. Fluids, v. 48, p. 99-107, 2009.

**DIPPR** Information and Data Evaluation Manager. Version 1.2.0, 2000.

DUPONT, J.; SOUZA, R. F.; SUAREZ, P. **Ionic Liquid (Molten Salt) Phase Organometallic Catalysis**. Chem. Rev. v. 102, p. 3667-3692, 2002.

GMEHLING, J.; ONKEN, U. **Vapor-liquid equilibrium**. Data collection: Aqueous organic system. Chemical Data Series, v. 1, Part 1. [S.I.]: DECHEMA, 1977.

GORMAN, J. **Faster, better, cleaner?: New liquids take aim at old-fashioned chemistry**. Sci. News, v. 160, p. 156-158, 2001.

KESKIN, S.; KAYRAK-TALAY, D.; AKMAN, U.; HORTACSU, O. **A review of ionic liquids towards supercritical fluid applications**. J. Supercrit. Fluids, v. 43, p. 150-180, 2007.

LIEBERMANN, E.; FRIED, V. **Thermodynamic consistency - Test methods**. Ind. Eng. Chem. Fundam., v. 11, p. 280-281, 1972.

MCDERMOTT, C.; ELLIS, S. R. M. **A multicomponent consistency test**. Chem. Eng. Sci., v. 20, p. 293-296, 1965.

MICHELSSEN, M. L.; MOLLERUP, J. M. **Thermodynamic Models: Fundamentals & Computational Aspects**. 2. ed. [S.I.]: Tie Line Publications, 2007.

PENG, D. Y.; ROBINSON, D. B. **A new two-constant equation of state**. Ind. Eng. Chem. Fundam., v. 15, p. 59-64, 1976.

PLECHKOVA, N. V.; SEDDON, K. R. **Applications of ionic liquids in the chemical industry**. Chem. Soc. Rev., v. 37, p. 123-150, 2008.

SMITH, J. M.; VAN NESS, H. C.; ABBOTT, M. M. **Introdução à termodinâmica da Engenharia Química**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora, 2007.

STEWART, J. **Cálculo**. 4. ed. v. 1. [S.I.]: Thomson Learning, 2002.

VALDERRAMA, J. O.; ROBLES, P. **Critical properties, normal boiling temperatures,**

and acentric factors of fifty ionic liquids. Ind. Eng. Chem. Res., v. 46, p. 1338-1344, 2007.

WILKES, J. S. **Ionic liquids in perspective: The past with an eye toward the industrial future.** ACS Symposium Series, v. 818, p. 214-229, 2002.

**ABSTRACT:** Ionic liquids are molten salts (organic) with melting temperatures under 100 °C and extremely low vapor pressures and are a great alternative to substitute actual solvents. On the other hand, it is known that not all experimental data published in the literature of vapor-liquid equilibrium of binary systems are thermodynamically consistent. In this work, consistency tests (Gibbs-Duhem) and thermodynamic modeling of vapor-liquid equilibrium of binary systems involving ionic liquids (Imidazolium) and supercritical CO<sub>2</sub> using the cubic equation of State of Peng-Robinson were applied. Results were relatively satisfactory in terms of deviations in bubble pressure and mole fraction in the vapor phase taking into consideration that was just used one binary interaction parameter ( $k_{ij}$ ).

**KEYWORDS:** Thermodynamics consistency, Thermodynamic modeling, Vapor-liquid equilibrium, Ionic liquid, supercritical CO<sub>2</sub>.

## Sobre a organizadora

**ELISANDRA CAROLINA MARTINS** Licenciatura em química (UEPG), 2007. Mestrado em Química Aplicada (UEPG), 2010. Pós Graduação em Educação e Gestão Ambiental (ESAP), 2009. Doutorado em Química Analítica (UFPR), 2016. Professora de Química na rede estadual de ensino (Ensino Médio) contratada pelo processo seletivo simplificado (PSS), nos períodos de março de 2010 a junho de 2012 e atualmente, desde fevereiro de 2017.

## Sobre os autores

**ADRIANE SALUM** Professora titular do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Doutora e mestre, pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas da UFMG, com tese (1998) e dissertação (1987) em Operações Unitárias (Extração por Membranas Líquidas Surfatantes e Lixiviação, respectivamente). Graduação em Engenharia Química (1981) e em Engenharia Metalúrgica (1982), ambas pela UFMG. Atuação nas áreas de Operações de Separação Sólido-Líquido e Líquido-Líquido, aplicadas ao tratamento de efluentes, indústrias químicas, alimentícia e de mineração, Obtenção de Óleos a partir de diferentes matérias-primas, como a macaúba e o pinhão-manso, visando a diferentes aplicações. Líder do grupo de pesquisa Operações e Processos de Separação, tendo desenvolvido, nessa área, várias pesquisas em parceria com a indústria, envolvendo, principalmente, as técnicas de lixiviação, extração líquido-líquido e membranas líquidas surfatantes (MLS), em escala de bancada e piloto. Lidera grupo pioneiro em pesquisas envolvendo a técnica MLS no Brasil. E-mail: [salum@deq.ufmg.br](mailto:salum@deq.ufmg.br)

**ALFREDO ISMAEL CURBELO GARNICA** Engenheiro Químico, com Mestrado e Doutorado em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte, tem experiência na área de Engenharia Química, desenvolvendo projetos de pesquisa com ênfase em Operações Unitárias, Processos de Separação e Tecnologia de Tensoativos, atuando principalmente nos seguintes temas: Operações Unitárias, Tensoativos, Microemulsões, Petróleo, Recuperação avançada de petróleo, Fluidos de perfuração, Tratamento de águas produzidas de petróleo. Atualmente, é professor associado III, matrícula 1453020, lotado no Departamento de Engenharia Química e coordenador do Laboratório de Operações Unitárias da Universidade Federal da Paraíba.

**ANA LUCIA BARBOSA DE SOUZA** Possui graduação em Ciências Biológicas pelas Faculdades Integradas Maria Thereza (2010). Bolsista do Projeto Microalgas (2013) - Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação em tecnologia para a produção e uso de biodiesel derivados de óleos de microalgas. Mestre em Engenharia Química da UFRJ (2015). Atualmente aluna de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos da EQ/UFRJ. Tem experiência na área de Processos Bioquímicos e Tecnologia Química atuando nos seguintes temas: Extração supercrítica, Processos de separação envolvendo diferentes matrizes, Biocombustíveis, Bioquímica de micro-organismos, Extração de compostos bioativos.

**ANDRÉ KAZUO KOBAYASHI** Graduando em Engenharia de Alimentos pela Universidade Federal de Lavras; Iniciação científica voluntária no Laboratório de Engenharia de Bioprocessos – Partição de Ácido Lático em Sistemas Aquosos Bifásicos com PEG/Sulfato de Sódio. Participou do Programa de Educação Tutorial (PET) Engenharia de Alimentos – Diagnóstico do Curso de Engenharia de Alimentos

e trabalhou na Empresa Júnior de Engenharia de Alimentos (Consea Jr) no projeto “Análise do Ambiente de Trabalho mediante emprego da ferramenta 10S”.

**ANDRÉ TETSUO SHASHIKI** Graduando em Engenharia de Alimentos pela Universidade Federal de Lavras, bolsista do grupo PET Engenharia de alimentos/UFLA, aluno voluntário de Iniciação Científica no projeto: Partição de ácido láctico em sistemas aquosos bifásicos com PEG/sulfato de sódio; organizador do III Congresso Mineiro de Engenharia de Alimentos.

**CRISTIANE DE SOUZA SIQUEIRA PEREIRA** Atualmente é Professor Adjunto I da Universidade Severino Sombra atuando nos cursos de Engenharia Química, Química Industrial e Engenharia Ambiental. Possui Doutorado em Tecnologia em Processos Químicos e Bioquímicos pela Escola de Química da UFRJ. Mestrado em Engenharia Química pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro e graduação em Química Industrial pela Universidade Severino Sombra. Tem experiência na área de Processos Químicos e Tecnologia Química atuando nos seguinte temas: extração supercrítica, processos de separação envolvendo diferentes matrizes, biocombustíveis, resíduos agroindustriais e meio ambiente.

**DANIELLE BESSA** Aluna de graduação e iniciação científica em Engenharia Química da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

**DEUSANILDE DE JESUS SILVA** Eng. química pela UFS (1987), Especialista em Celulose e Papel pelo IPT-SP (1987), MSc. na área de Tecnologia de Celulose e Papel pela Universidade Federal de Viçosa (1996) e DSc em Engenharia Química pela Escola Politécnica da USP (2010). Desenvolveu diversas atividades para a indústria de celulose e papel. Desenvolveu projeto de pesquisa na North Carolina State University (NCSU), USA, utilizando técnicas de avaliação em nanoescala. Atuou como pesquisadora contratada do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) para desenvolvimento de projetos na área de celulose e papel. Atualmente é Profa. Dra. da Universidade Federal de Viçosa no Curso de Engenharia Química - DEQ.

**DISON STRACKE PFINGSTEN FRANCO** Graduado em Engenharia Química pela Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA). Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Realiza atividades de pesquisa voltadas para operações unitárias, especificamente adsorção e secagem. Têm experiência com técnicas de modificação de superfícies de materiais adsorventes. Atualmente está cursando o Doutorado em Engenharia Química pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) na área de adsorção.

**DOUGLAS ALBERTO ROCHA DE CASTRO** Aluno de Doutorado (PRODERNA/ITEC/UFGA). Possui Mestrado em Engenharia Química (PPGEQ-UFGA), graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal do Pará (2011).



Estagiou no Laboratório Nacional Agropecuário - LANAGRO/PA (2008-2010) e na Unidade Piloto de Produção de Biodiesel (FEQ / ITEC / UFPA) (2010-2011). Tem experiência nas áreas de Engenharia Química, com ênfase em Processos de Produção de Biocombustíveis, além de seu controle de qualidade. E em análises químicas de alimentos de origem animal e vegetal e água.

**DOUGLAS MARTINS TORRES** Mestre em engenharia de Materiais e de Processos Químicos e Metalúrgicos pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RIO) em 2014, graduado em Química Industrial pela Universidade Severino Sombra (2012), Graduado em licenciatura em química pela UNIVERSO, estudante de matemática pela universo. Atualmente sou coordenador do curso técnico em química no colégio ICT, professor de química geral, Química analítica qualitativa e química analítica quantitativa. Professor de química no colégio CEJA ensino médio, Professor de química no colégio GENESIS ensino médio e pré-vestibular.

**EDSON ANTÔNIO DA SILVA** Bolsista de Produtividade em Pesquisa 1D CA-EQ | Orientador de Doutorado; Doutorado em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas, Brasil(2001); Diretor de Pós-graduação da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil.

**EDUARDO ROCHA DE ALMEIDA LIMA** Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá, doutorado em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, e pós-doutorado pela Universidade da Califórnia, Riverside, Estados Unidos. Atua principalmente nos seguintes temas: modelagem de sistemas coloidais, equação de Poisson-Boltzmann, efeitos de Hofmeister (especificidade iônica), fenômenos interfaciais, equilíbrio de fases e otimização. Atualmente é Professor do Departamento de Físico-Química e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) e bolsista dos programas Prociência (UERJ) e Jovem Cientista do Nosso Estado (FAPERJ).

**ESTÊVÃO MAGNO RODRIGUES ARAÚJO** Doutorando pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, com previsão de defesa para 2017, cujo tema do trabalho é Extração Líquido-Líquido do Ácido Cítrico em Colunas Mecanicamente Agitadas. Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química (2012). Graduado em Engenharia Química pela UFMG (2009). É membro do grupo de pesquisa Operações e Processos de Separação da UFMG. Possui experiência em técnicas de operações de separação e mistura, com destaque para extração sólido-líquido, extração líquido-líquido e membranas líquidas surfatantes. Participou de projetos envolvendo o desenvolvimento de um óleo vegetal isolante, desenvolvimento de processos de purificação de licores metálicos, tratamento de efluentes e recuperação de metais, e purificação de aminoácidos.

**FÁBIO PEDRO DO NASCIMENTO** Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, mestrado em Engenharia Química pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro e doutorado em Engenharia Química pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro, atuando principalmente com termodinâmica aplicada nas seguintes linhas de pesquisa: equilíbrio de fases a alta pressão; velocidade do som em altas pressões; reação em meio supercrítico; extração com fluido supercrítico.

**FABIOLA DIAS DA SILVA CURBELO** Engenheira Química, com Mestrado e Doutorado em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte, sendo bolsista do PRH 14/ANP-UFRN. Tem experiência na área de Engenharia Química, desenvolvendo projetos de pesquisa com ênfase em Operações Unitárias, Processos de Separação e Tecnologia de Tensoativos, atuando principalmente nos seguintes temas: Operações Unitárias, Tensoativos, Microemulsões, Petróleo, Recuperação avançada de petróleo, Fluidos de perfuração, Tratamento de águas produzidas de petróleo. Atualmente, é professora associado I, matrícula 2453534, lotada no Departamento de Engenharia Química e coordenadora do Laboratório de Petróleo da Universidade Federal da Paraíba.

**FABRÍCIO EDUARDO BORTOT COELHO** Mestrando pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas, cujo tema do trabalho é a Lixiviação de Ustulados de Zinco, com término previsto para 2017. Graduado em Engenharia Química pela Universidade Federal de Minas Gerais (2015). Pesquisador no Laboratório de Ciência e Tecnologia de Polímeros LCTP/UFMG e no Grupo Operações e Processos de Separação. Atua na área de Operações e Processos de Separação (Extração Líquido-Líquido, Membranas Líquidas Surfatantes) aplicados à Hidrometalurgia e ao Tratamento de efluentes industriais. Experiência em síntese, caracterização e reciclagem de Polímeros e Géis com diversas aplicações no setor elétrico, farmacêutico e no melhoramento de óleos isolantes. Adicionalmente, desenvolve projetos na área de Óleos Isolantes Vegetais e Fertilizantes.

**FERNANDO LUIZ PELLEGRINI PESSOA** Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal da Bahia, mestrado em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro e doutorado em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro e Universidade de Lyngby (Dinamarca). Trabalhou na Universidade Federal da Bahia como pesquisador e no Polo Petroquímico Camaçari - Bahia. Atualmente é professor da Universidade Federal do Rio de Janeiro, agraciado como Cientista de Nosso Estado (FAPERJ/RJ) e Pesquisador 1 (CNPq). Atua nas áreas de Termodinâmica Aplicada e Engenharia de Processos, principalmente nos seguintes temas: petróleo, petroquímica, produtos naturais, fluido supercrítico e equilíbrio de fases.

**FILIPPE SOUZA ALMEIDA** É estudante de Engenharia Química do Centro Universitário do Leste de Minas Gerais – UNILESTE, com conclusão prevista para 2017. Tem experiência na área de Engenharia Química, com ênfase em Processos Inorgânicos, atuando principalmente nos seguintes temas: reciclagem de lixo eletrônico.

**FLÁVIO CALDEIRA SILVA** Graduado em Engenharia de Alimentos pela Universidade Federal de Goiás - UFG (2007), Especialista em Processamento e Controle de Carne, Leite e Ovos pela Universidade Federal de Lavras - UFLA (2009), Mestre em Engenharia de Alimentos, na área de Engenharia de Processos da Indústria de Alimentos, pela Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP (2010) e Doutor em Engenharia Química pela Faculdade de Engenharia Química - FEQ da Universidade Federal de Uberlândia - UFU (2014), na área de Termodinâmica. É docente do Instituto Federal do Triângulo Mineiro/IFTM - Campus Ituiutaba. Tem experiência na área de Engenharia de Alimentos e Engenharia Química.

**GABRIELLY DOS SANTOS MACIEL** Formação: Ensino Fundamental (2002-2005) - Colégio da Sagrada Família; Ensino Médio (2006-2008) - Perfil Colégio e Curso /Alicerce; Ensino Superior Completo (2010-2015) - Universidade Federal da Paraíba (UFPB)- Curso de Engenharia Química; Pós graduanda (Mestrado) em Química pela UFPB (2016-2018), Pós-graduanda (Especialização) em gestão da qualidade e segurança do trabalho pela Faculdade da União de Ensino e Pesquisa Integrada Ltda.-FUNEPI (2016-2017). Experiência profissional: Aluna de iniciação científica no Núcleo de Pesquisa e Extensão-Laboratório de Combustíveis e Materiais (UFPB) e estagiária na Empresa Pegmatech/Bentonisa.

**GIOVANNA BEATRIZ ELER DE ALMEIDA** Graduada em engenharia civil (2016) pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Campo Mourão. Pesquisador voluntário no projeto de pesquisa intitulado: “Tratamento de Efluente da Indústria têxtil por Eletrocoagulação comparado a Coagulação por Polímeros Naturais e Sintéticos” pelo Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC).

**GUILHERME LUIZ DOTTO** Professor no Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de Santa Maria. É bolsista produtividade em pesquisa do CNPq. Faz parte do corpo docente do Programa de Pós-graduação em Engenharia Química e é professor colaborador do Programa de Pós-graduação em Química. Possui graduação em Engenharia de Alimentos, mestrado e doutorado em Engenharia e Ciência de Alimentos pela Universidade Federal do Rio Grande. Atua nas áreas de fenômenos de transporte e operações unitárias. Possui mais de 70 artigos publicados em periódicos e atua como revisor de mais de 90 periódicos. É editor do Environmental Science and Pollution Research e membro do corpo editorial do Journal of Environmental Chemical Engineering.

**HAROLDO JORGE DA SILVA RIBEIRO** Graduado em ENGENHARIA QUÍMICA pela Universidade Federal do Pará (2011) e mestrado em engenharia química no

Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Pará (2014), com competência e habilidades na área de engenharia de processos orgânicos, voltada para a produção e análises físico-químicas de biocombustíveis em escalas piloto, semi-piloto e bancada

**HEITOR OTACÍLIO NOGUEIRA ALTINO** Graduado em Engenharia Química (2016) pelo Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM). Foi bolsista de Iniciação Científica (PIBIC) nas áreas de Bioextração de Metais Pesados e Secagem de Materiais Orgânicos. Atuou nas áreas de Catálise Heterogênea e Análise Termodinâmica. Ministrou monitorias nas áreas de Mecânica dos Fluidos, Fenômenos de Transporte e Tratamento de Efluentes Industriais. Estagiou no Laboratório de Engenharia Química (LEQ) do UNIPAM. Exerceu o secretariado do Diretório Acadêmico (DA) do curso de Engenharia Química. Organizou eventos científicos e ministrou minicursos relacionados ao curso de Engenharia Química.

**HEITOR RIBEIRO DA SILVA** Graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal de Minas Gerais (2016). Trabalhou como aluno de iniciação científica no Laboratório de Operações e Processos de Separação, de março de 2014 a julho de 2015. Desenvolveu trabalhos referentes à extração de ácido cítrico, à extração e à separação níquel-cobalto a partir de licor sulfúrico. Realizou estágio em empresa de saneamento, na qual era responsável pela determinação das melhores concentrações de coagulante para o tratamento de efluentes domésticos.

**HELENA GABRIELA DOS SANTOS SOUZA** Possui ensino-médio pelo Colégio Conexão (2014). Tem experiência na área de Engenharia Química, com ênfase em Processos Industriais de Engenharia Química.

**JAILTON NASCIMENTO** Graduação em Bacharel em Química Faculdade de Humanidade Pedro II (1990); Mestrado em Química. (Conceito CAPES 3) Universidade Federal Fluminense, UFF, Brasil (2004). Atualmente, é Professor Titular pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

**JEFFERSON FERREIRA GUIMARÃES** Aluno de graduação em Eng. Química na Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo (EEL-USP). Possui duas Iniciações Científicas na graduação, ambas na área da Termodinâmica, com pesquisas sobre os temas: equação de estado, consistência termodinâmica, modelagem termodinâmica, equilíbrio de fases líquido-vapor a baixas e altas pressões (Hidrocarbonetos de baixa massa molecular e Líquidos iônicos), Linguagens de Programação (Excel, Matlab) e Métodos numéricos aplicados à Engenharia Química.

**JÉSSICA BORGES RODRIGUES** Graduanda do curso de Engenharia Química na Universidade Federal de Uberlândia. Faz Iniciação Científica na área de Termodinâmica Química, atuando em um projeto de determinação experimental da

solubilidade da ureia em misturas hidroalcoólicas. Possui diversos trabalhos apresentados em congressos ligados ao tema de solubilidade. Possui Iniciação Científica na área de solubilidade da vitamina E (alfa-tocoferol) em misturas de etanol+água. Desenvolveu sua monografia de Trabalho de Conclusão de Curso em 2016, cujo título foi "Análise comparativa do aproveitamento do excedente de bagaço de cana e palha na produção de etanol 2ª geração e na cogeração de energia elétrica". E-mail: jessica\_jbr@hotmail.com

**JOSÉ GUILHERME LEMBI FERREIRA ALVES** Professor associado da Universidade Federal de Lavras, graduado em Engenharia Química pela Universidade Federal de Minas Gerais (1992), mestrado em Engenharia de Alimentos pela Universidade Estadual de Campinas (1996) e doutorado em Engenharia de Alimentos pela Universidade Estadual de Campinas (2003). Fiz Doutorado-sanduíche na Universidade de Kaiserslautern, na Alemanha, na área de equilíbrio líquido-líquido, onde fiquei 1 ano e meio. Tenho experiência na área de Engenharia de Alimentos, com ênfase em Engenharia Bioquímica, atuando principalmente nas linhas de pesquisa: Fermentações industriais, Otimização de processos fermentativos com aplicações na área de Ciência e Tecnologia de alimentos, purificação de produtos biológicos por extração líquido-líquido por sistemas aquosos bifásicos.

**JOZIANE GIMENES MENEGUIM** Possui graduação em Química pela Universidade Estadual de Maringá (2008), mestrado em engenharia química, pela Universidade Estadual de Maringá (2011). Atualmente é química responsável pelo projeto Petrobrás vinculado a Universidade Estadual de Maringá. Com experiência na área de: ciência e tecnologia de alimentos; adsorção em fase líquida e gasosa; e troca iônica.

**JULIO CÉZAR BALARINI** Professor adjunto do Centro Universitário Una (Belo Horizonte), lecionando as disciplinas de Cinética e Cálculo de Reatores e Termodinâmicas (Física e Química) do curso de Engenharia Química. Professor substituto na UFMG em 2008 e 2009, em Fenômenos de Transporte e Laboratório de Operações e Processos. Doutor pelo Programa de Engenharia Química da Universidade Federal de Minas Gerais (2009), com tese sobre o estudo cinético da lixiviação do ustulado de zinco da Votorantim Metais Zinco (análise comportamental de variáveis operacionais e avaliação de modelos cinéticos). Trabalhou em um projeto de montagem de um sistema para medidas do coeficiente de difusão, permeabilidade e solubilidade de gases em filmes poliméricos. Vem atuando em vários projetos, na área de hidrometalurgia, operações de separação e mistura, cinética heterogênea e reatores químicos, no grupo de pesquisa Operações e Processos de Separação. Obteve, em 2006, a mudança de nível do Mestrado para o Doutorado em vista do desempenho acadêmico no Mestrado.

**LAÍS REGINA DOS SANTOS** Estudante do quarto ano de Engenharia Civil na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Pesquisadora voluntária cadastrada no estudo “Tratamento de Efluente da Indústria têxtil por Eletrocoagulação comparado a Coagulação por Polímeros Naturais e Sintéticos” pelo Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC).

**LEANDRA CRISTINA CREMA CRUZ** Engenheira de Alimentos, formada pela União dos Grandes Lagos, UNILAGO, de São José do Rio Preto, SP (2008). Possui mestrado (2012) e atualmente é doutoranda em Engenharia e Ciência de Alimentos pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP. Dissertação e tese orientadas ao processo físico-químico para a clarificação da calda de açúcar (açúcar dissolvido em água) por flotação com ar dissolvido. Atualmente é professora assistente da Universidade Federal do Tocantins e participante do Grupo de pesquisa "Engenharia de Biorreatores", com linha de atuação no desenvolvimento de biorreatores de leito fixo para Fermentação em Estado Sólido, coordenada pela Professora Lina María Grajales Agudelo.

**LEONARDO RAMOS PAES DE LIMA** Possui graduação em Bacharelado e Licenciatura em Química pela Universidade Federal de Viçosa (1997), mestrado em Agroquímica pela Universidade Federal de Viçosa (2000) e doutorado em Bioquímica Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa (2004). Atualmente é professor titular do Centro Universitário do Leste de Minas Gerais e da União Educacional do Vale do Aço (UNIVAÇO). Coordenador de Pesquisa, Iniciação Científica e Extensão do Centro Universitário do Leste de Minas Gerais e membro do Comitê de Ética em pesquisa com Seres humanos e da Comissão de Ética em pesquisas com animais. Tem experiência na área de Química, com ênfase em Química dos Produtos Naturais, bioquímica e química ambiental, atuando principalmente nos seguintes temas: produtos naturais, controle de qualidade, própolis, flavonoides, protetor solar, metabolismo lipídico e metais pesados.

**LINA MARÍA GRAJALES AGUDELO** Engenheira Química formada pela Universidad Nacional de Colombia, UNAL. Possui mestrado e doutorado em Engenharia e Ciência de Alimentos pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP. Dissertação e tese orientadas ao desenvolvimento de biorreatores de tambor rotativo para Fermentação em Estado Sólido. Atualmente é professora Adjunta da Universidade Federal do Tocantins e Coordenadora do Grupo de pesquisa "Engenharia de Biorreatores", com linha de atuação no desenvolvimento de biorreatores de leito fixo para Fermentação em Estado Sólido. Bolsista de Produtividade em Pesquisa do programa "Novos Pesquisadores". Coordenadora do Projeto de extensão GAE, Grupo de Apoio a Estrangeiros.

**LIZZY AYRA ALCÂNTARA VERÍSSIMO** Professora adjunto no Departamento de Ciência dos Alimentos da Universidade Federal de Lavras. Possui pós doutorado na área de técnicas adsorptivas de biomoléculas pela Universidade Federal de Viçosa. Tem

experiência na área de Ciência e Tecnologia de Alimentos, com ênfase em Engenharia de Alimentos, atuando principalmente nos seguintes temas: purificação de macromoléculas, extração líquido-líquido por sistemas aquosos bifásicos, cromatografia líquida de alta eficiência, propriedades termo físicas e caracterização físico-química de alimentos, adsorção de proteínas do soro de leite, isotermas de adsorção, operações unitárias aplicadas à biosseparações e desenvolvimento de criogéis supermacroporosos para purificação de proteínas e imobilização de enzimas.

**LUANA BENATTI DE AQUINO GARGANO** Graduanda em Engenharia de Alimentos pela Universidade Federal de Lavras; bolsista de Iniciação científica PIBIC FAPEMIG no Laboratório de Engenharia de Bioprocessos (período de Fevereiro/2015 a Março/2016) – Partição de Ácido Lático em Sistemas Aquosos Bifásicos. Participação ativa no desenvolvimento de projetos - Empresa Júnior em Consultoria de Engenharia de Alimentos (Consea Jr.). Centro Acadêmico de Engenharia de Alimentos (CAEAL). Desenvolvimento de projetos - Núcleo de Estudos de Novos produtos e Análise Sensorial (NENP).

**LUCIANA YUMI AKISAWA SILVA** Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas (2004), mestrado em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas (2007) e doutorado em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas (2010). Tem experiência na área de Termodinâmica do Equilíbrio de fases, com ênfase na determinação de dados experimentais e modelagem de equilíbrio de fases. Atualmente é Professora Adjunto III na Universidade Federal de São Paulo-Campus Diadema, do curso de Engenharia Química, na área de Termodinâmica e Processos de Separação.

**LÚRIMA UANE SOARES FARIA** É estudante de Engenharia Química do Centro Universitário do Leste de Minas Gerais – UNILESTE, com conclusão prevista para 2017. Tem experiência na área de Engenharia Química, com ênfase em Processos Inorgânicos, atuando principalmente nos seguintes temas: reciclagem de lixo eletrônico.

**MARCELA FÉLIX PINTO** Estudante do curso de Engenharia química da Universidade Federal de Uberlândia. Faz iniciação científica na área de análise da solubilidade da ureia em misturas de solventes, já participou de diversas palestras e minicursos voltados para a área de Engenharia Química e tecnologia oferecidos pela Universidade Federal de Minas Gerais e também pela Universidade Federal de Uberlândia. E-mail: marcela.felix@live.com

**MÁRCIO LUIS LYRA PAREDES** Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro e doutorado em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Atualmente é professor adjunto da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Tem experiência na área de

Termodinâmica, com ênfase em Operações Industriais e Equipamentos para Engenharia Química, atuando principalmente nos seguintes temas: modelos termodinâmicos, simulação molecular, caracterização de frações de petróleo e processos de separação por membranas, com fluidos pressurizados e por adsorção.

**MARIA ANGÉLICA SIMÕES DORNELLAS DE BARROS** Bolsista de Produtividade em Pesquisa 2 CA-EQ | Orientador de Doutorado; Doutorado em Programa de Pós Graduação Em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá, Brasil(2003); Atualmente, é Professor Adjunto D da Universidade Estadual de Maringá, Brasil.

**MARIA APARECIDA BARROS** Possui graduação em licenciatura Ciências - Habilitação em Química pelo Instituto Luterano de Ensino Superior de Itumbiara-GO (ULBRA). Mestre em Ciências concedido pela Pós-graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) desenvolveu trabalho na área de Bioquímica com ênfase em fermentação alcoólica e processos enzimáticos para produção de etanol de segunda geração. Doutora em Ciências concedido pela Pós-graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), atua na área de Engenharia Ambiental com ênfase em análise de água e tratamento de efluentes para remoção de metais.

**MARIO AUGUSTO DUARTE DA LUZ** Bolsista PROODUTOR na Universidade Federal do Pará, Aluno de Graduação em Engenharia Química. Possui ensino-médio pela EEEIFM JARBAS PASSARINHO (2012). Tem experiência na área de Engenharia Química com ênfase em Processo de Craqueamento de óleos e biomassas residuais.

**MARISA FERNANDES MENDES** Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1995), mestrado em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1998) e doutorado em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2002). Atualmente é professor associado II da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Tem experiência na área de Engenharia Química, com ênfase em Termodinâmica, atuando principalmente nos seguintes temas: biocombustíveis, CO<sub>2</sub> supercrítico, extração supercrítica, modelagem termodinâmica, equilíbrio líquido-vapor e processos de separação envolvendo diferentes matrizes: petróleo, alimentos, biodiesel, álcool, etc.

**MIGUEL RASCADO FRAGUAS NETO** Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (1993) e mestrado em Química pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (1997). Atualmente coordena cursos de graduação e é professor titular da Universidade Severino Sombra. Tem experiência na área de Química, com ênfase em Síntese Orgânica, atuando principalmente nos seguintes temas: segurança em química, descritores moleculares, acronicina, modelagem molecular e fitoquímica.



**MOILTON RIBEIRO FRANCO JUNIOR** Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal de Uberlândia. Mestrado em Engenharia Química pela Universidade Federal de São Carlos (1989) na área de Sistemas Particulados (Leito de Jorro) e doutorado pela Universidade Estadual de Campinas (1998) em Processos Químicos. Tem experiência na área de Ciências Exatas e Ambientais com ênfase em sistemas líquidos, gasosos, bifásicos e trifásicos. Atua, principalmente nos seguintes temas de trabalhos experimentais: estimativa de propriedades termodinâmica dos biocombustíveis, equilíbrio de fases em biocombustíveis, análise de processos, solubilidade de um compostos em solventes e em misturas, adsorção de compostos em sistemas líquidos contaminados com óleos, bioóleo, metais, orgânicos em geral e macromoléculas. Análise e modelagem para obtenção de propriedades de compostos para projeto de equipamentos visando o tratamento e análise de águas residuais bem como a proposta de tratamentos específicos.

**NATHÁLIA CARVALHO DA SILVA** Graduada em Bacharel em Química Industrial pela Universidade Severino Sombra (USS) e graduanda em Licenciatura em Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) na modalidade de ensino à distância. Cursa técnico em Química com previsão de conclusão para novembro/2017. Atualmente trabalha como Professora de Química no Centro Preparatório de Admissão Militar (CPAM) no Instituto Progresso Rede de Ensino na unidade da cidade de Vassouras-RJ.

**NEHEMIAS CURVELO PEREIRA** Bolsista de Produtividade e Pesquisa da Fundação Araucária - FA. Possui graduação em Química Industrial pela Universidade Federal de Sergipe (1970), mestrado em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1972) e doutorado em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1980). Atualmente é professor titular da Universidade Estadual de Maringá. Tem experiência na área de Engenharia Química, com ênfase em Operações Industriais e Equipamentos para Engenharia Química, atuando principalmente nos seguintes temas: secagem, sistemas particulados, separação sólido-fluido, processos de separação com membranas, secagem industrial e transferência de massa, produção de biodiesel, separação de biodiesel e glicerol.

**NÉLIO TEIXEIRA MACHADO** Licenciatura Plena em Física UFPA (1985), Bacharel em Eng.<sup>a</sup>. Química UFPA (1988), M.Sc. em Eng.<sup>a</sup>. Mecânica COPPE-UFRJ (1991), Dr.-Ing Verfahrenstechnik TUHH (Technische Universität Hamburg-Harburg) (1998). Diretor de Ciência, Tecnologia e Inovação da ADA (2002), Vice-Diretor do IFPA (2003-2004), Diretor da Faculdade de Eng.<sup>a</sup>. Química e de Alimentos da UFPA (2005-2007). Coordenador do Programa de Pós-graduação em Eng.<sup>a</sup>. Química da UFPA (2011-2014), Professor Associado IV da FEQ/ITEC/UFPA, Docente Permanente do Programa de Doutorado em Eng.<sup>a</sup>. De Recursos Naturais da Amazônia-UFPA, Docente Permanente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da UFPA

**OLGA LUCÍA MONDRAGÓN-BERNAL** Professor Adjunto III da Universidade Federal de Lavras. Possui graduação em Engenharia de Alimentos - Universidade de Bogotá Jorge Tadeo Lozano (1994), mestrado em Engenharia de Alimentos (2004) e doutorado em Engenharia de Alimentos pela Universidade Estadual de Campinas (2009). Possui experiência em ensino, pesquisa e extensão nas áreas de Engenharia de Alimentos, bioengenharia, otimização de processos e produtos, fermentação láctica, alimentos funcionais, controle da qualidade, higiene de alimentos, química de alimentos, análise sensorial, físico-química e microbiológica de alimentos, APPCC (Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle) na indústria de alimentos.

**ORLANDO DOS SANTOS PEREIRA** Possui graduação em Bacharelado em Matemática pela Universidade Federal de Viçosa (1999), mestrado em Matemática pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2002) e doutorado em Matemática pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2006). Atualmente é professor associado I da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ e professor do programa de Pós-Graduação em Mestrado Profissional em matemática em Rede Nacional-PROFMAT. Tem experiência na área de Matemática, com ênfase em Equações Diferenciais, atuando principalmente nos seguintes temas: desigualdade de Carleman em Problemas Inversos e EDP, crescimento populacional e EDO. Atua na formação continuada de professores de matemática.

**PAOLA DOS SANTOS GASCHI** Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá (2011), Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal do Paraná (2013). Atualmente, é doutoranda do programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá (UEM).

**PATRÍCIA FAZZIO MARTINS MARTINEZ** Possui graduação (2001), mestrado (2005) e doutorado (2006) em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Seus trabalhos de pesquisa visam a utilização de matérias primas renováveis, o desenvolvimento de processos tecnológicos limpos, o aproveitamento de resíduos e coprodutos, e a purificação de substâncias naturais. De 2011 a 2014 foi Professora Adjunta da Universidade Federal de São Paulo na área de Equipamentos e Processos de separação. Desde 2014 atua como Professora Doutora na Faculdade de Engenharia Química da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).

**PAULA CRISTINA DE SOUZA** Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Maringá(1999), mestrado em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná(2006) e doutorado em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá(2016). Atualmente é professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Atuando principalmente nos seguintes temas: eletrocoagulação, coagulação/floculação, integração de processos, efluente têxtil.

**PAULO HENRIQUE RODRIGUES** Engenheiro Civil pela universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pesquisador voluntário no projeto de pesquisa intitulado “Tratamento de efluente têxtil utilizando coagulantes de naturezas distintas” Sob orientações da Profa. Dr. Paula Cristina de Souza pelo período de um ano. Pesquisador Voluntário com vínculo com CNPq no projeto de pesquisa intitulado “Desenvolvimento de um reator de Eletrocoagulação e Eletroflotação aplicado ao tratamento de efluentes líquidos industriais” Sob Orientação do prof. Dr. Gilson Junior Schiavon pelo período de um ano. Mestrando em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá, sob orientação do prof. Dr. Nehemias C. Pereira.

**PEDRO ALEXANDRE DA CRUZ** Bacharel e Mestre em Matemática Aplicada pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP e Doutorado em Ciências de Computação e Matemática Computacional do Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação (ICMC) da Universidade de São Paulo – USP, com estágio no Departamento de Polímeros da Universidade do Minho em Guimarães (Portugal). Tese de doutorado orientada ao desenvolvimento de um método numérico para simulação de escoamentos com superfícies livres de cristais líquidos nemáticos. Atualmente é professor Adjunto da Universidade Federal do Tocantins e coordenador do projeto de pesquisa “Simulação numérica de escoamentos de cristais líquidos poliméricos (LCP's) nemáticos com superfícies livres”.

**PEDRO AUGUSTO ARROYO** Bolsista de Produtividade em Pesquisa 2 CA-EQ | Orientador de Doutorado; Doutorado em Programa de Pós Graduação Em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá, Brasil(2003). Atualmente, é Professor Adjunto D da Universidade Estadual de Maringá, Brasil.

**PEDRO FELIPE ARCE CASTILLO** Possui graduação em Eng. Química pela Univ. Federal de Trujillo (1991), mestrado (2002), doutorado (2005) e Pós-doutorado (2005-2012) em Eng. Química pela Univ. Estadual de Campinas. Atualmente é Prof. Dr. do Dpto. de Eng. Química da Escola de Eng. de Lorena, Univ. de São Paulo (EEL-USP). Tem experiência na área de Engenharia Química, com ênfase em Termodinâmica, Operações e Processos Unitários, atuando em temas de: equação de estado, modelagem termodinâmica, equilíbrio de fases a baixas e altas pressões (Polímeros e Copolímeros Biodegradáveis, Asfaltenos e Líquidos Iônicos), Linguagens de Programação (Vis. Fortran, Excel-VBA, Matlab-GUI, Simulink), Métodos numéricos aplicados à Engenharia Química, Modelagem e Simulação para a obtenção de Biodiesel em condições supercríticas.

**RAFAEL LUIZ TEMÓTEO** Engenheiro químico pela Faculdade de Ciências e Tecnologias de Viçosa - Faviçosa (2015). Atualmente é mestrando de Engenharia Química pela Universidade Federal de Viçosa, onde desenvolve uma tese voltada para a área de biocombustíveis, e faz especialização em Eng. de Segurança do Trabalho pela Faviçosa. Durante a graduação estagiou no laboratório de química da Faviçosa, trabalhando com análises químicas, preparo de reagentes e manuseio de

diversos equipamentos laboratoriais. Trabalhou na empresa Centro de Conhecimento em Bioenergia como gerente de qualidade, trabalhando com projetos de biodiesel, etanol e biogás. Estagiou no Sistema de Tratamento de Água e Esgoto da cidade de Viçosa - SAAE.

**REINALDO COELHO MIRRE** Graduação em Engenharia Química, Mestrado e Doutorado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Atuou como professor substituto da Escola de Química (UFRJ), na área de Águas e Efluentes Industriais. Realizou estágio de pós-doutorado na UFRJ, na linha de Processos de Separação baseados no Equilíbrio de Fases, e na Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), na linha de Fundamentos de Engenharia Química e Engenharia de Processos. Neste momento atua como pesquisador de pós-doutorado no Centro Interdisciplinar de Energia e Ambiente (CIEnAm) da Universidade Federal da Bahia).

**RICARDO AMÂNCIO MALAGONI** Possui Graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal de Uberlândia (2003). Fez Mestrado (2006/UFU) em Engenharia Química na área de Termodinâmica. Tornou-se Doutor em Engenharia Química em 2010 pela UFU, na área de Processos de Separação. Exerceu suas atividades de Pós-doutoramento no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da UFU, por 1 (um) ano. É professor da Faculdade de Engenharia Química da UFU. Tem experiência na área de Engenharia Química, com ênfase em Termodinâmica Química e Operações Unitárias, atuando principalmente nos seguintes temas: solubilidade, entalpia de vaporização, técnicas de extração e purificação, cristalização, utilização de leito vibrado e leito de jorro. E-mail: malagoni@ufu.br

**RICARDO FRANÇA FURTADO DA COSTA** Possui Bacharelado em Química Fundamental pela Universidade Federal de Juiz de Fora (1994), mestrado em Química pela Universidade Federal de Minas Gerais (1996) e doutorado em Química pela Universidade Federal de Minas Gerais (2002). Tem experiência na área de Química de Coordenação, com ênfase em Síntese e caracterização estrutural de compostos inorgânicos. Atualmente é professor adjunto do Centro Universitário do Leste de Minas Gerais – UNILESTE. Atua principalmente nos seguintes temas: ensino de química geral, ensino de química inorgânica e ensino de química.

**ROBERTA BENICÁ SARTORI** Mestranda em Engenharia Química pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ (2017). Pós-Graduada em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, PUC-Minas (2016). Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Vila Velha - UVV (2014). Na área de Engenharia Química, tem experiência em Termodinâmica Aplicada atuando com processos de separação, em extrações convencionais e usando CO<sub>2</sub> supercrítico, envolvendo diferentes matrizes.

**ROBERTO BIANCHINI DERNER** Concluiu o doutorado em Ciência dos Alimentos pela Universidade Federal de Santa Catarina (2006). Atualmente é professor do Departamento de Aquicultura da UFSC e supervisor do Laboratório de Cultivo de Algas. Atua na área de recursos pesqueiros e engenharia de pesca/biotecnologia, com ênfase em aquicultura/algocultura - cultivo de microalgas para a produção de compostos bioativos (pigmentos, ácidos graxos, polissacarídeos, etc.), biocombustíveis (biodiesel, bioetanol etc.) e tratamentos de efluentes líquidos e gasosos. Em seu currículo lattes, os termos mais frequentes na contextualização da produção científica, tecnológica e artístico-cultural são: aquicultura, microalgas, biotecnologia, compostos bioativos, biodiesel, ácidos graxos, pigmentos naturais e tratamento de efluentes.

**ROGER DARROS BARBOSA** Possui graduação em Engenharia de Alimentos pela Universidade Estadual de Campinas (1979), mestrado em Engenharia de Alimentos pela Universidade Estadual de Campinas (1992) e doutorado em Food Science emphasis in Food Engineering - University of Florida (2003). Atualmente é professor assistente doutor da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Tem experiência na área de Ciência e Tecnologia de Alimentos, com ênfase em Engenharia dos Processos Convencionais e Não-Convencionais para Conservação ou Transformação de Alimentos e em Instalações Industriais de Produção de Alimentos, atuando principalmente nos seguintes temas: alta pressão, ultrassom, processamento térmico e transferência de calor em alimentos, sucos de frutas, processamento da laranja e subprodutos, e atividade de água.

**ROMERO MOREIRA OLIVEIRA** Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal do Pará (2011) e mestrado em Engenharia Química pela Universidade Federal do Pará (2013). Tem experiência na área de Engenharia Química, com ênfase em Engenharia Química.

**SARAH ARVELOS** Possui graduação (2011) e mestrado em Engenharia Química (2013) pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU) MG. Atualmente é doutoranda em Engenharia Química pela mesma universidade (início em 2013). Possui experiência na área de Termodinâmica Química com ênfase em Modelagem de Processos Adsorptivos, Equilíbrio de Fases a altas pressões e Predição de Propriedades Físicas de Substâncias Puras por métodos de contribuição de grupos. Atua predominantemente com foco na descrição de fenômenos relativos a processos de produção de gás natural e biodiesel.

**SVETLANA FIALHO SORIA GALVARRO** Eng. agrícola e ambiental, pela Universidade Federal de Viçosa (2011). Mestre em Engenharia Agrícola (2013). Durante a graduação, trabalhou um ano com secador de café e três anos com desenvolvimento de gaseificadores, em projetos de iniciação. Doutoranda em Engenharia Agrícola na área de concentração de Construções Rurais e Ambientais, no qual desenvolve o projeto Avaliação e Caracterização de um sistema de aquecimento de aviários por

meio de tubo radiante convectivo e profa. Msc da Faculdade de Ciências e Tecnologias de Viçosa – Faviçosa.

**TACIANA SOARES DO CARMO** Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal de Uberlândia (2008) e mestrado em Engenharia Química pela Universidade Federal de Uberlândia (2013). Pesquisadora da Universidade Federal de Uberlândia. Tem experiência na área de Engenharia Química, com ênfase em Processos Bioquímicos, atuando principalmente nos seguintes temas: fósforo, biossolubilização, imobilização, co-culturas (fungos e bactérias), fermentações líquidas, sólidas e submersas. Lecionou por dois anos na Universidade Federal do Triângulo Mineiro com disciplinas de teórica e prática na parte de Engenharia Bioquímica.

**TÂNIA LÚCIA SANTOS MIRANDA** Professora Titular da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), lotada no Departamento de Engenharia Química. Doutora e mestre em Bioquímica e Imunologia, ambos pela Universidade Federal de Minas Gerais. Graduação em Engenharia Química da UFMG em 1987. Com uma sólida formação em Bioquímica, tem realizado vários trabalhos na área de Biotecnologia, com enfoque nos fundamentos da Engenharia Química e/ou nos processos de separação. Tais trabalhos envolvem técnicas como géis termossensíveis agindo como solventes extratores, Extração Líquido-Líquido e Membranas Líquidas Surfatantes. Suas áreas de atuação são: Operações de Separação Sólido-Líquido e Líquido-Líquido, aplicadas ao tratamento de efluentes, indústrias químicas, alimentícia e de mineração. É membro do grupo de Operações e Processos de Separação e, nessa área, tem desenvolvido várias pesquisas em parceria com a indústria, envolvendo, principalmente, as técnicas de lixiviação, extração líquido-líquido e membranas líquidas surfatantes (MLS).

**THATIANNE CAMINHA DA SILVA** Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal do Ceará (2014), mestrado em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas (2016). Em seus trabalhos de graduação estudou a adsorção de corantes têxteis em carbonos ativados. Estudou, em seu mestrado, o processo de extração líquido-líquido na purificação de óleos essenciais utilizando de simulação computacional.

**TIAGO LIMA PROCÓPIO** Atualmente aluno do 9º período do curso de graduação em Engenharia Química na Universidade Severino Sombra, onde exerce atividade de iniciação científica. Graduado também em Licenciatura Plena em Matemática pela Fundação Educacional Rosemar Pimentel. Atuo na indústria siderúrgica, desempenhando a função de técnico de laboratório, com atribuições em análises químicas de matérias primas e insumos.

**VANESSA MARCONI JAMARIM** Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (2015). Pesquisador voluntário no

projeto de pesquisa intitulado “Tratamento de efluente têxtil utilizando coagulantes de naturezas distintas” sob orientações da Profa. Dr. Paula Cristina de Souza pelo período de um ano. Pesquisador Voluntário com vínculo com CNPq no projeto de pesquisa intitulado “Desenvolvimento de um reator de Eletrocoagulação e Eletroflotação aplicado ao tratamento de efluentes líquidos industriais” sob Orientação do prof. Dr. Gilson Junior Schiavon pelo período de um ano. Mestranda em Engenharia Química na Universidade Estadual de Maringá.

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-93243-19-6

