



# Impactos das Tecnologias na Engenharia Química

---

Carmen Lúcia Voigt  
(Organizadora)

**Atena**  
Editora

Ano 2019

Carmen Lúcia Voigt  
(Organizadora)

# Impactos das Tecnologias na Engenharia Química

Atena Editora  
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

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

**Diagramação e Edição de Arte:** Natália Sandrini e Lorena Prestes

**Revisão:** Os autores

#### **Conselho Editorial**

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

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

134	Impactos das tecnologias na engenharia química [recurso eletrônico] / Organizadora Carmen Lúcia Voigt. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Impactos das Tecnologias na Engenharia Química; v. 1)  Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader. Modo de acesso: World Wide Web. Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-237-1 DOI 10.22533/at.ed.371190304  1. Engenharia química – Pesquisa – Brasil. I. Voigt, Carmen Lúcia. II. Série.  CDD 660.76
-----	--

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**

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

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

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

## APRESENTAÇÃO

Inovações tecnológicas surgem a todo o momento, em todo o mundo, sendo utilizadas como uma ferramenta estratégica para manutenção e crescimento dos negócios nas indústrias. A Engenharia Química foi uma das carreiras que mais contribuiu para a evolução da Era Industrial para a Era Moderna.

A preocupação em desenvolver produtos e processos de produção torna a Engenharia Química responsável por pesquisas e projetos em relação aos materiais que passam por mudanças físicas e químicas, adquirindo outras características.

A Engenharia Química trabalha com a manipulação de compostos e substâncias para se criar novos produtos. Estes produtos proporcionam uma melhoria na qualidade de vida humana, pois além de pesquisas relacionadas, existe a preocupação em viabilizar as invenções, criar métodos baratos e eficientes de fabricação em massa, implementando processos químico-industriais cada vez melhores, mais econômicos e mais ecológicos.

Neste primeiro volume, organizado para você, apresentamos o papel do Engenheiro Químico no mercado de trabalho, pois este aplica conhecimentos adquiridos no estudo de Química e de Engenharia para criar soluções voltadas à produção ou ao uso de substâncias químicas. É o profissional que constrói um elo entre a ciência e a manufatura. Cabe ao engenheiro químico lidar com a formulação e a solução de problemas associados à indústria química, bem como trabalhar na operação e manutenção de sistemas. Também são expostos, neste volume, trabalhos relacionados ao ensino teórico e prático de Engenharia Química.

Além disso, encontram-se trabalhos relacionados com aplicações estatísticas, simulações e otimização de processos para melhoria de utilização de produtos e subprodutos. Assim como são expostos trabalhos de caracterização de materiais e alterações em processos químicos utilizando novas técnicas de análise de produto, avaliando comportamento, característica de sistemas, propriedades físico-químicas e alteração de composição de produtos já utilizados no mercado.

Baseado nestes trabalhos, convidamos você a aperfeiçoar seus conhecimentos na área da Engenharia Química. Os trabalhos selecionados oportunizam uma nova visão de materiais, processos e técnicas na área, mostrando o impacto tecnológico no desenvolvimento da indústria e sua relação direta com a sociedade e meio ambiente.

Boa leitura.

Carmen Lúcia Voigt

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
O PAPEL DO ENGENHEIRO QUÍMICO NO MERCADO DE TRABALHO: PRODUÇÃO DE UM GUIA PRÁTICO DIGITAL DESTINADO AOS GRADUANDOS E DEMAIS INTERESSADOS NA PROFISSÃO	
Raphael Carlos Rosa Pereira Eder Dias da Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3711903041</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>8</b>
GAMEQ: JOGO PARA O ENSINO NA ENGENHARIA QUIMICA	
Riccardo Cafagna Miguel do Valle Fróes Negreiros Falcão Felipe Emmanouil Martires Stamoglou Ana Lucia Barbosa de Souza Ewerton Emmanuel da Silva Calixto Fernando Luiz Pellegrini Pessoa	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3711903042</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>17</b>
ELABORAÇÃO E AUTOMAÇÃO DE PROTÓTIPO DE REATOR CSTR CONSTRUÍDO COM MATERIAIS DE BAIXO CUSTO VOLTADO À EDUCAÇÃO DE ENGENHARIA QUÍMICA	
Cristiane Daliassi Ramos de Souza Sauro Franceschi de Carvalho Emeson de Souza Lemos Kevelyn Carolina Motta Sbravati	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3711903043</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>27</b>
PROJETO DE DIMENSIONAMENTO DE MÓDULO CONTÍNUO A PARTIR DE MATERIAIS DE BAIXO CUSTO COMO IMPLEMENTAÇÃO DO ENSINO EXPERIMENTAL DE ENGENHARIA QUÍMICA	
Cristiane Daliassi Ramos de Souza Igor Moraes Bezerra Calixto Sauro Franceschi de Carvalho Matheus Macedo Teixeira Rafaela Misseia Cinque de Lima Marco Antônio de Alcântara Rocha	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3711903044</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>36</b>
O SIMULADOR DO FUTURO APLICADO À INDÚSTRIA	
Fernanda Martins	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3711903045</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>43</b>
TERMODINÂMICA QUÍMICA – COMPREENDENDO DE FORÇAS INTERMOLECULARES A COEFICIENTE DE ATIVIDADE	
Lisandra Ferreira de Lima Admilson Lopes Vieira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3711903046</b>	

**CAPÍTULO 7 ..... 53**

DETERMINAÇÃO DE CURVAS DE EQUILÍBRIO SÓLIDO-LÍQUIDO DE SOLVENTES EUTÉTICOS PROFUNDOS (DES) EMPREGANDO A CALORIMETRIA EXPLORATÓRIA DIFERENCIAL (DSC)

Helena Pletsch  
Mariana Carolina Gipiela Corrêa Dias  
Marcos Rogério Mafra

**DOI 10.22533/at.ed.3711903047**

**CAPÍTULO 8 ..... 59**

ANÁLISE E DIAGNÓSTICO DE FALHAS POR TÉCNICAS ESTATÍSTICAS APLICADAS A SISTEMAS DE BOMBEAMENTO HIDRÁULICO

Rebeca Albino de Jesus  
Ezequiel José da Silva Honorato  
Fábio George Nogueira Cruz  
José Nilton Silva

**DOI 10.22533/at.ed.3711903048**

**CAPÍTULO 9 ..... 73**

COMPARAÇÃO DE PERFIS DE VELOCIDADE OBTIDOS POR TUBO DE PITOT E POR SOFTWARE DE SIMULAÇÃO ANSYS CFX

Victor Felipe Arthur Coutinho Ladeia  
Rosilanny Soares Carvalho  
Anna Clara Marques de Queiroz  
João Carlos Gonçalves

**DOI 10.22533/at.ed.3711903049**

**CAPÍTULO 10 ..... 80**

ENGENHARIA DE PROCESSOS: DIMENSIONAMENTO, SIMULAÇÃO E ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DE SISTEMAS DE EVAPORAÇÃO MÚLTIPLO EFEITO DE INDÚSTRIAS DE CELULOSE *KRAFT*

Jamilly Marques Gasparoni  
Cássia Regina Santos Nunes Almeida  
Gustavo Matheus de Almeida

**DOI 10.22533/at.ed.37119030410**

**CAPÍTULO 11 ..... 96**

PROJETO DE HIDROCICLONES USANDO OTIMIZAÇÃO ROBUSTA E ESTUDO DO EFEITO DA ROBUSTEZ

Vitor Alves Garcia  
Fran Sérgio Lobato  
Luiz Gustavo Martins Vieira

**DOI 10.22533/at.ed.37119030411**

**CAPÍTULO 12 ..... 111**

SELEÇÃO DE VARIÁVEIS E CONTROLE DE COMPOSIÇÃO POR INFERÊNCIA DE TEMPERATURA EM PROCESSO PRODUTIVO DO ETILBENZENO

Arioston Araújo de Moraes Júnior  
Leopoldo Oswaldo Alcazar Rojas  
Paulo Romero de Araujo Mariz  
Emanuella Francisca de Lacerda Vieira  
Marcelo da Silva Pedro  
Jonas Laedson Marinho da Silva Santos

**DOI 10.22533/at.ed.37119030412**

<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>119</b>
INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DE PH, TEMPERATURA E TEMPO DE VAPORIZAÇÃO NO PROCESSO DE TINGIMENTO DE TECIDOS	
Wanyr Romero Ferreira Wilson Costa Resende Aline Pereira Leite Nunes	
<b>DOI 10.22533/at.ed.37119030413</b>	
<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>128</b>
ANÁLISE CORROSIVA DO AÇO 304 QUANDO SUBMETIDO AO PROCEDIMENTO DE GALVANOPLASTIA	
Renata de Oliveira Marinho Marcelo Batista Queiroz Eudesio Oliveira Vilar Márcia Cristina de Sousa	
<b>DOI 10.22533/at.ed.37119030414</b>	
<b>CAPÍTULO 15</b> .....	<b>140</b>
EFEITO DA DENSIDADE DE CORRENTE NO PROCESSO DE OBTENÇÃO DE REVESTIMENTOS DE Co-W OBTIDOS POR ELETRODEPOSIÇÃO	
Arthur Filgueira de Almeida Bianca Oliveira Evaristo Josiane Dantas Costa Mikarla Baía de Sousa Nathália Cristina Morais Lia Fook Renato Alexandre Costa de Santana Ana Regina Nascimento Campos	
<b>DOI 10.22533/at.ed.37119030415</b>	
<b>CAPÍTULO 16</b> .....	<b>148</b>
FILTRO DE KALMAN ESTENDIDO E REDE NEURAL ARTIFICIAL NA ESTIMATIVA DE CONCENTRAÇÃO EM UM REATOR QUÍMICO NÃO ISOTÉRMICO	
Arioston Araújo de Moraes Júnior Leopoldo Oswaldo Alcazar Rojas Marcelo da Silva Pedro Paulo Romero de Araujo Mariz Emanuella Francisca de Lacerda Vieira Jonas Laedson Marinho da Silva Santos Rodrigo Marinho Guimarães	
<b>DOI 10.22533/at.ed.37119030416</b>	
<b>CAPÍTULO 17</b> .....	<b>153</b>
COMPÓSITO DE NANOCELULOSE BACTERIANA E NANOTUBOS DE CARBONO	
Guilherme Colla Vinícius Heidemann de Souza Fernanda Vieira Berti Luismar Marques Porto	
<b>DOI 10.22533/at.ed.37119030417</b>	

<b>CAPÍTULO 18</b> .....	<b>160</b>
IMOBILIZAÇÃO DE COLÁGENO HUMANO TIPO I EM MEMBRANAS DE NANOCELULOSE BACTERIANA	
Ana Carolina Jorge Meyer Emily Marques dos Reis Luismar Marques Porto	
<b>DOI 10.22533/at.ed.37119030418</b>	
<b>CAPÍTULO 19</b> .....	<b>167</b>
CENTRIFUGATION STEP CONTROL OF CELLULOSE NANOCRYSTALS SUSPENSION BY pH AND TURBIDITY MEASUREMENTS	
Mayara Felix Santana Bárbara Castro Moreira Flávia Mitsue Yamashita Nilda de Fátima Ferreira Soares José Mauro de Almeida Alvaro Vianna Novaes de Carvalho Teixeira Deusanilde de Jesus Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.37119030419</b>	
<b>CAPÍTULO 20</b> .....	<b>173</b>
ESTUDO TERMODINÂMICO DA ADSORÇÃO DO CORANTE CRISTAL VIOLETA EM NANOTUBOS DE CARBONO FUNCIONALIZADOS	
Leonardo Martins Vargas Gabriel Facciochi Dörtzbacher Guilherme Luiz Dotto	
<b>DOI 10.22533/at.ed.37119030420</b>	
<b>CAPÍTULO 21</b> .....	<b>181</b>
ESTUDO DA REOLOGIA E DA SALINIDADE DE MICROEMULSÕES À BASE DE GLICERINA PARA SEREM UTILIZADAS NA RECUPERAÇÃO DE PETRÓLEO	
Amanda Brito de Carvalho Fabiola Dias da Silva Curbelo Elayne Andrade Araújo Alfredo Ismael Curbelo Garnica	
<b>DOI 10.22533/at.ed.37119030421</b>	
<b>CAPÍTULO 22</b> .....	<b>196</b>
ORGANOFILIZAÇÃO DE ARGILAS BENTONÍICAS PARA APLICAÇÃO EM FLUIDOS DE PERFURAÇÃO BASE MICROEMULSIONADA	
Renata Rodrigues Magalhães Roxana Pereira Fernandes de Sousa Alfredo Ismael Curbelo Garnica Fabiola Dias da Silva Curbelo Thaine Taumaturgo Caminha	
<b>DOI 10.22533/at.ed.37119030422</b>	

<b>CAPÍTULO 23</b> .....	<b>201</b>
PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS E VOLUMÉTRICAS DO QUEROSENE DE AVIAÇÃO E DO BIOQUEROSENE	
<p>Idila Rafaela Carvalho Gonçalves  Ana Clara Cazarin Queiroz  Luciana Loureiro de Pinho Rolemberg de Andrade  Sílvia Maria Zanini Sebrão  Krishnaswamy Rajagopal</p>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.37119030423</b>	
<b>CAPÍTULO 24</b> .....	<b>210</b>
AVALIAÇÃO REOLÓGICA DE TINTAS ACRÍLICAS COMERCIAIS E ADITIVADAS COM CARGA CONDUTORA	
<p>Alex da Silva Sirqueira  Monica Cristina dos Santos Vieira  Monica Feijó Naccache  Stanley Pires de Alcântara</p>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.37119030424</b>	
<b>CAPÍTULO 25</b> .....	<b>222</b>
EFEITO DA ADIÇÃO DA CINZA GASEIFICADA DE CARVÃO PULVERIZADO NA FORMULAÇÃO DE CERÂMICA VERMELHA	
<p>Gabryella Cerri Mendonça  Cristiano Corrêa Ferreira</p>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.37119030425</b>	
<b>CAPÍTULO 26</b> .....	<b>232</b>
TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM SISTEMAS PARTICULADOS: DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA EFETIVA DE FERTILIZANTES GRANULADOS NA ESTAGNAÇÃO DE AR	
<p>Hugo Perazzini  Maise Tonon Bitti Perazzini  Rayssa Caroline Ribeiro Bernardes  João Marcos Cardoso Silva</p>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.37119030426</b>	
<b>CAPÍTULO 27</b> .....	<b>248</b>
DETERMINAÇÃO DA SOLUBILIDADE DA UREIA EM SOLUÇÕES AQUOSAS DE ETANOL	
<p>Raquel de Oliveira Silva  Ana Paula Silva Capuci  Raíssa Araújo de Oliveira Campos  Ricardo Amâncio Malagoni</p>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.37119030427</b>	
<b>CAPÍTULO 28</b> .....	<b>255</b>
CALIBRAÇÃO DE MEDIDORES DE VAZÃO COM ALTAS VAZÕES E VISCOSIDADES ELEVADAS: UMA ALTERNATIVA TÉCNICA À LEGISLAÇÃO BRASILEIRA DE ROYALTIES E PARTICIPAÇÕES ESPECIAIS	
<p>Carlos Eduardo Ribeiro de Barros Barateiro  Romulo Carlos da Silva Emerik</p>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.37119030428</b>	
<b>SOBRE A ORGANIZADORA</b> .....	<b>271</b>

## DETERMINAÇÃO DA SOLUBILIDADE DA UREIA EM SOLUÇÕES AQUOSAS DE ETANOL

### **Raquel de Oliveira Silva**

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade  
de Engenharia Química  
Uberlândia – MG

### **Ana Paula Silva Capuci**

Universidade de Uberaba, Departamento de  
Engenharia Química  
Uberaba – MG

### **Raíssa Araújo de Oliveira Campos**

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade  
de Engenharia Química  
Uberlândia – MG

### **Ricardo Amâncio Malagoni**

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade  
de Engenharia Química  
Uberlândia – MG

**RESUMO:** A ureia, produzida a partir de amônia e dióxido de carbono, possui 46% de nitrogênio em sua composição, sendo assim, classificada como uma carbamida. Devido ao seu alto teor de nitrogênio essa substância é um dos fertilizantes mais produzidos no mundo, no entanto, pouco foi realizado para caracterizar seu comportamento em solução. Neste trabalho, foram realizados ensaios de solubilidade de ureia em mistura de etanol+água, com porcentagem mássica de etanol 0% a 100%, em temperaturas que variam entre 278,2 e 333,2 K. Cada experimento foi realizado em pressão atmosférica e temperatura

constante com a solução contida dentro de uma célula de equilíbrio e agitada através de um agitador eletromagnético por um período de 2 h, seguidas de 2 h de repouso. Após a coleta dos dados, fizeram-se os cálculos da solubilidade da ureia, os quais são baseados no método gravimétrico. Os resultados experimentais de solubilidade foram correlacionados em função da temperatura usando equações empíricas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Solubilidade. Ureia. Etanol. Equilíbrio sólido-líquido.

**ABSTRACT:** Urea, produced from ammonia and carbon dioxide, has 46% nitrogen in its composition and is thus classified as a carbamide. Due to its high nitrogen content this substance is one of the most produced fertilizers in the world, however, little has been done to characterize its behavior in solution. In this work, urea solubility tests were performed in a mixture of ethanol + water, with a mass percentage of 0% to 100% ethanol, at temperatures ranging from 278.2 to 333.2 K. Each experiment was carried out at atmospheric pressure and constant temperature with the solution contained within an equilibration cell and agitated through an electromagnetic stirrer for a period of 2 h, followed by 2 h at rest. After the data were collected, the urea solubility calculations were made, which are based on the gravimetric method. The experimental results of solubility were correlated as a function of

temperature using empirical equations.

**KEYWORDS:** Solubility. Urea. Ethanol. Solid-liquid balance.

## 1 | INTRODUÇÃO

A ureia é um composto sólido, orgânico e cristalino, cor branca, inodoro, tóxico, higroscópico e de fórmula  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ , pertencente quimicamente ao grupo de amidas. Com massa molar de  $60,06 \text{ kg}\cdot\text{kmol}^{-1}$ , densidade de  $1.330 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  e ponto de fusão de  $406,15 \text{ K}$  (Carvalho et al., 2012). A ureia é empregada em vários outros campos como produção de melaminas, plástico, resinas sintéticas e impermeabilizantes, além de fabricar resinas ureia-formaldeído. Pode-se citar também a alimentação de gado, estabilização de explosivos e a produção de resinas, polímeros e medicamentos.

A solubilidade é medida pela quantidade de soluto que se dissolve em uma determinada quantidade de solvente produzindo uma solução saturada, isto é, que não permite a dissolução de mais soluto (Shiver, 2003). Para Ran et al. (2002), dados de solubilidade de compostos químicos em água e em misturas de solventes são fundamentais no projeto de equipamentos industriais de separação, como: cristalizadores, extratores, evaporadores, lixiviadores e unidade de absorção. A falta de dados experimentais de solubilidade de solutos em solventes limita os estudos de desenvolvimento de modelos preditivos (Bernades et al., 2004).

O objetivo desse trabalho foi determinar a solubilidade da ureia em solução aquosa de etanol em concentrações de 0% a 100% (m/m) para uma faixa de temperatura de  $278,2$  a  $333,2 \text{ K}$ . Os valores de solubilidade foram determinados (por gravimetria) e comparados com os valores preditos pelas equações empíricas.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Reagentes

Nos ensaios de solubilidade foram utilizados etanol PA (Proquímicos, pureza: 99,8%), ureia (Nuclear, pureza: 99,5%) e água bidestilada e deionizada (Marte, D50).

### 2.2 Unidade Experimental

A unidade experimental, Figura 1, constituiu-se de uma célula de vidro borossilicato de  $70 \text{ mL}$ , encamisada, em que a entrada e a saída da camisa foram conectadas por mangueira de látex a um banho termostatizado (Tecnal, TE-184), que promoveu o equilíbrio na temperatura desejada. Já na parte superior da célula, inseriu-se um termopar FullGage (Tic-17RGTi) acoplado a uma rolha de tecnyl para vedação da célula. A célula foi apoiada em um agitador eletromagnético (Tecnal, TE0851) contendo uma barra magnética revestida com teflon (comprimento:  $105,02 \text{ mm}$ ; diâmetro:  $4,18 \text{ mm}$ ), a fim de promover a agitação da solução contida no interior da célula.



Figura 1 – Unidade experimental.

## 2.3 Procedimento Experimental

As soluções aquosas de etanol, nas concentrações de 20% e 80%, foram preparadas em balões volumétricos de 250 mL. Adicionou-se no interior da célula, a solução previamente preparada e a ureia, em excesso. Na parte superior da célula foi acoplada uma rolha de borracha contendo um termopar. Este sistema foi colocado sobre um agitador eletromagnético, no qual a mistura permaneceu em agitação com auxílio de uma barra magnética durante 2 h, seguidas de 2 h de repouso, conforme proposto por Silva (2015). As amostras de solução saturada foram retiradas da célula utilizando-se uma seringa de vidro de 10 mL, que permaneceu em banho-maria na mesma temperatura do experimento. Encerrado o repouso, foram amostradas quatro alíquotas de volume igual à 4 mL cada, e adicionadas em quatro béqueres previamente lavados, secos, pesados e devidamente identificados. As amostras foram secas à 333,15 K por um período de 24 h em uma estufa (Sterlifer, SX 1.3 DTME). Na sequência, os béqueres foram resfriados até temperatura ambiente em dessecador contendo sílica. Com a massa de cada béquer contendo os cristais de ureia, calculou-se a solubilidade média.

Os valores da solubilidade em fração molar foram calculados usando a Equação (1).

$$x = \frac{\frac{m_{ureia}}{M_{ureia}}}{\frac{m_{etanol}}{M_{etanol}} + \frac{m_{água}}{M_{água}} + \frac{m_{ureia}}{M_{ureia}}} \quad (1)$$

sendo:  $m_{ureia}$  a massa de ureia,  $m_{etanol}$  a massa de etanol e  $m_{água}$  a massa de água,  $M_{ureia}$  a massa molecular da ureia,  $M_{etanol}$  a massa molecular do etano e  $M_{água}$  a massa molecular da água.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados experimentais de solubilidade foram correlacionados em função da temperatura usando as equações de Lee e Lahti (1972) e Yaws *et al.* (1993), Equações (2) e (3), respectivamente.

$$\ln x = A + BT \quad (2)$$

$$\log x = A' + \frac{B'}{T} + \frac{C'}{T^2} \quad (3)$$

sendo:  $A$ ,  $B$ ,  $A'$ ,  $B'$  e  $C'$  os parâmetros das equações e  $T$  a temperatura em Kelvin.

A Tabela 1 apresenta os valores dos parâmetros e os seus desvios, para cada uma das equações utilizadas, nas concentrações de etanol em água de 20 e 80%. Os ajustes foram realizados usando o software Statistica com um nível de significância de 5%.

Nota-se pelas Figuras 2 e 3, que o aumento da concentração de etanol diminui a solubilidade da ureia, considerando a faixa de temperatura estudada. Calculando-se o desvio relativo entre o valor experimental de solubilidade e o valor predito pela equação, verifica-se que a equação de Lee e Lahti é a que melhor representa os dados experimentais. Os desvios relativos médios foram iguais a 0,31% para a concentração de 20% de etanol em água e 0,32% para a concentração de 80% de etanol.

0% de etanol em água				20% de etanol em água			
Lee e Lahti		Yaws <i>et al.</i>		Lee e Lahti		Yaws <i>et al.</i>	
Parâmetros	Desvios	Parâmetros	Desvios	Parâmetros	Desvios	Parâmetros	Desvios
$A = -5,71931$	0,159518	$A = -1$	0,45	$A = -6,68154$	0,2838	$A' = -0,43126$	1,9
$B = 0,01467$	0,0005	$B = 673$	275,67	$B = 0,01763$	0,0009	$B' = 667,1040$	1190,5
		$C = -196660$	42353,85			$C' = -214800$	183056,3
$R^2=0,9946$		$R^2= 0,99946$		$R^2=0,9779$		$R^2= 0,9865$	
80% etanol em água				100% etanol em água			
Lee e Lahti		Yaws <i>et al.</i>		Lee e Lahti		Yaws <i>et al.</i>	
Parâmetros	Desvios	Parâmetros	Desvios	Parâmetros	Desvios	Parâmetros	Desvios
$A = -7,73807$	0,20239	$A' = 3,76271$	1,73083	$A = -9,7077$	0,13879	$A' = 3,7$	1,1
$B = 0,01987$	0,00064	$B' = -1925,1$	1069,3	$B = 0,0221$	0,0004	$B' = -2164,7$	706
		$C' = 169537,6$	164784			$C' = 191970,5$	109055,1
$R^2= 0,9911$		$R^2= 0,9913$		$R^2= 0,9984$		$R^2= 0,9985$	

Tabela 1 – Valores dos parâmetros e seus desvios para as equações empíricas utilizadas.

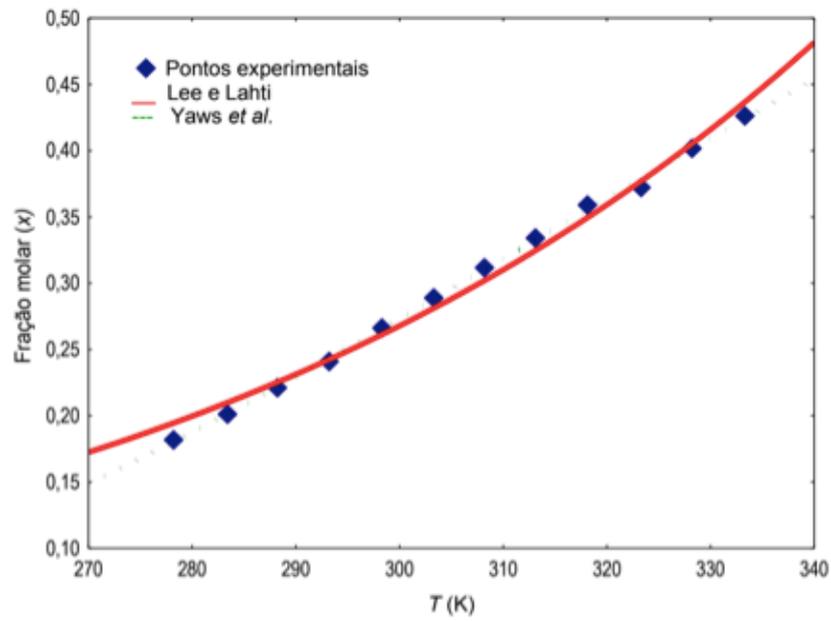


Figura 2 – Solubilidade da ureia em função da temperatura – 0% de etanol (100% água).

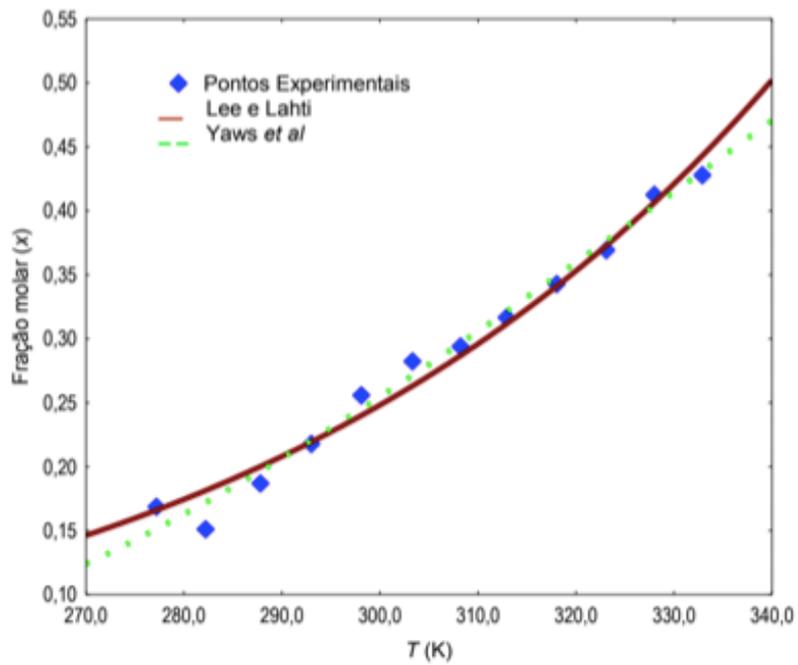


Figura 3 – Solubilidade em função da temperatura - 20% de etanol.

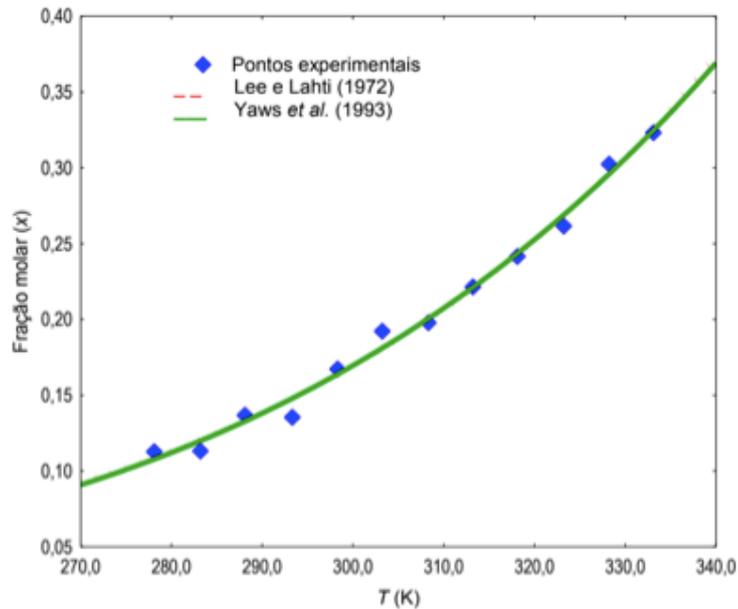


Figura 4 – Solubilidade em função da temperatura - 80% de etanol

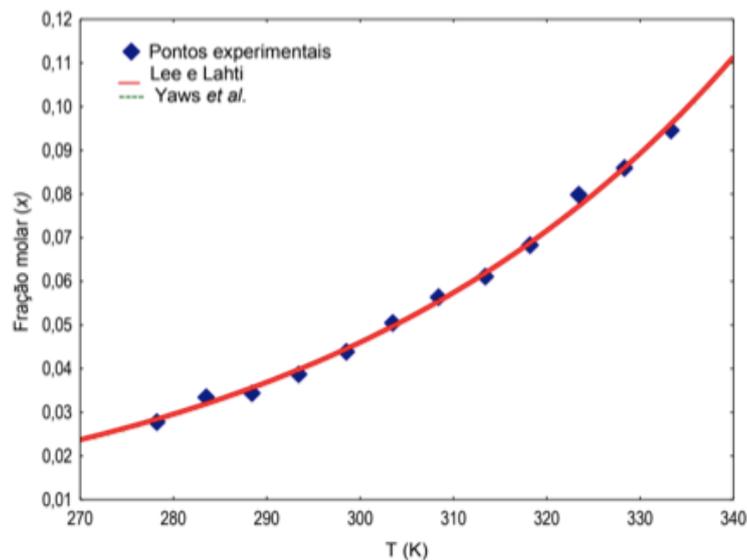


Figura 5 – Solubilidade da ureia em função da temperatura – 100% etanol

#### 4 | CONCLUSÃO

Considerando a variável temperatura, nota-se a influência positiva desta sobre a solubilidade, isto é, o aumento da temperatura do sistema resulta em acréscimo nos valores da solubilidade da ureia. Com relação à concentração de etanol, obtiveram-se maiores valores de solubilidade no sistema com menor quantidade de etanol. A equação proposta por Lee e Lahti foi a que melhor correlacionou os dados experimentais, apresentando menores desvios relativos.

## REFERÊNCIAS

BERNARDES, E.A.; BRUNETTO, R.S.; FRANCO Jr., M.R. **Coeficientes de atividade a diluição infinita aplicados ao estudo da poluição aquática**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 15º, 2004, Curitiba: UFPR. *Anais do XV COBEQ*. Curitiba, 2004.

CARVALHO, N.D.; CASTRO, C.C.; LOBATO, F.S.; MALAGONI, R.A. **Solubilidade da ureia em etanol +água**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 19º, 2012, Búzios. *Anais do XIX COBEQ*. Búzios: UFRJ, 2012.

LEE, F.M.; LAHTI, L.E. **Solubility of urea in water-alcohol mixtures**. *J. Chem. and Eng. Data*, 17, 304-306, 1972.

RAN, Y.; HE, Y.; YANG, G.; JOHNSON, J.L.H.; YALKOWSKY, S.H. **Estimation of aqueous solubility of organics compounds by using the general solubility equation**. *Chemosphere*, v. 48, p. 487-509, 2002.

SHRIVER, D.F.; ATKINS, P.W. **Química inorgânica**. 3ª edição. São Paulo: Ed. Bookman, 2003.

SILVA, A.P. **Determinação da solubilidade do fertilizante ureia em solventes puros e em misturas hidroalcoólicas**. 2015. 141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2015.

YAWS, C.L.; LIN, X.; BU, L. **The water solubility of naphthenes**. *Chem. Eng.*, v. 10, p. 122-123, 1993.

## **SOBRE A ORGANIZADORA**

**CARMEN LÚCIA VOIGT** Doutora em Química na área de Química Analítica e Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Especialista em Química para a Educação Básica pela Universidade Estadual de Londrina. Graduada em Licenciatura em Química pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Experiência há mais de 10 anos na área de Educação com ênfase em avaliação de matérias-primas, técnicas analíticas, ensino de ciências e química e gestão ambiental. Das diferentes atividades desenvolvidas destaca-se uma atuação por resultado, como: supervisora de laboratórios na indústria de alimentos; professora de ensino médio; professora de ensino superior atuando em várias graduações; professora de pós-graduação *lato sensu*; palestrante; pesquisadora; avaliadora de artigos e projetos; revisora de revistas científicas; membro de bancas examinadoras de trabalhos de conclusão de cursos de graduação. Autora de artigos científicos. Atuou em laboratório multiusuário com utilização de técnicas avançadas de caracterização e identificação de amostras para pesquisa e pós-graduação em instituição estadual.

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-237-1

