



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

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

CAPÍTULO 1	1
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	
DOI 10.22533/at.ed.3711903041	
CAPÍTULO 2	8
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	
DOI 10.22533/at.ed.3711903042	
CAPÍTULO 3	17
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	
DOI 10.22533/at.ed.3711903043	
CAPÍTULO 4	27
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	
DOI 10.22533/at.ed.3711903044	
CAPÍTULO 5	36
O SIMULADOR DO FUTURO APLICADO À INDÚSTRIA	
Fernanda Martins	
DOI 10.22533/at.ed.3711903045	
CAPÍTULO 6	43
TERMODINÂMICA QUÍMICA – COMPREENDENDO DE FORÇAS INTERMOLECULARES A COEFICIENTE DE ATIVIDADE	
Lisandra Ferreira de Lima Admilson Lopes Vieira	
DOI 10.22533/at.ed.3711903046	

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 <i>KRAFT</i>	
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	

CAPÍTULO 13	119
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	
DOI 10.22533/at.ed.37119030413	
CAPÍTULO 14	128
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	
DOI 10.22533/at.ed.37119030414	
CAPÍTULO 15	140
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	
DOI 10.22533/at.ed.37119030415	
CAPÍTULO 16	148
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	
DOI 10.22533/at.ed.37119030416	
CAPÍTULO 17	153
COMPÓSITO DE NANOCELULOSE BACTERIANA E NANOTUBOS DE CARBONO	
Guilherme Colla	
Vinícius Heidemann de Souza	
Fernanda Vieira Berti	
Luismar Marques Porto	
DOI 10.22533/at.ed.37119030417	

CAPÍTULO 18	160
IMOBILIZAÇÃO DE COLÁGENO HUMANO TIPO I EM MEMBRANAS DE NANOCELULOSE BACTERIANA	
Ana Carolina Jorge Meyer Emily Marques dos Reis Luismar Marques Porto	
DOI 10.22533/at.ed.37119030418	
CAPÍTULO 19	167
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	
DOI 10.22533/at.ed.37119030419	
CAPÍTULO 20	173
ESTUDO TERMODINÂMICO DA ADSORÇÃO DO CORANTE CRISTAL VIOLETA EM NANOTUBOS DE CARBONO FUNCIONALIZADOS	
Leonardo Martins Vargas Gabriel Facciochi Dörtzbacher Guilherme Luiz Dotto	
DOI 10.22533/at.ed.37119030420	
CAPÍTULO 21	181
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	
DOI 10.22533/at.ed.37119030421	
CAPÍTULO 22	196
ORGANOFILIZAÇÃO DE ARGILAS BENTONÍTICAS 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	
DOI 10.22533/at.ed.37119030422	

CAPÍTULO 23	201
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>	
DOI 10.22533/at.ed.37119030423	
CAPÍTULO 24	210
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>	
DOI 10.22533/at.ed.37119030424	
CAPÍTULO 25	222
EFEITO DA ADIÇÃO DA CINZA GASEIFICADA DE CARVÃO PULVERIZADO NA FORMULAÇÃO DE CERÂMICA VERMELHA	
<p>Gabryella Cerri Mendonça Cristiano Corrêa Ferreira</p>	
DOI 10.22533/at.ed.37119030425	
CAPÍTULO 26	232
TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM SISTEMAS PARTICULADOS: DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA EFETIVA DE FERTILIZANTES GRANULADOS NA ESTAGNAÇÃO DE AR	
<p>Hugo Perazzini Maisa Tonon Bitti Perazzini Rayssa Caroline Ribeiro Bernardes João Marcos Cardoso Silva</p>	
DOI 10.22533/at.ed.37119030426	
CAPÍTULO 27	248
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>	
DOI 10.22533/at.ed.37119030427	
CAPÍTULO 28	255
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>	
DOI 10.22533/at.ed.37119030428	
SOBRE A ORGANIZADORA	271

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

Helena Pletsch

Universidade Federal do Paraná, Departamento de Engenharia Química
Curitiba-PR

Mariana Carolina Gipiela Corrêa Dias

Universidade Federal do Paraná, Departamento de Engenharia Química
Curitiba - PR

Marcos Rogério Mafra

Universidade Federal do Paraná, Departamento de Engenharia Química
Curitiba - PR

RESUMO: Os solventes eutéticos profundos (DES) constituem potenciais alternativas ao uso de compostos orgânicos tóxicos e voláteis nas indústrias farmacêutica, alimentícia, química e petroquímica. Entretanto, devido ao estado inicial em que se encontram as pesquisas relacionadas aos DES, faz-se necessário a investigação aprofundada das propriedades físico-químicas e das possíveis aplicações de tais solventes. Assim, este trabalho objetivou a síntese e a determinação de propriedades térmicas de DES formados por cloreto de colina e etilenoglicol. Os sistemas de DES utilizados no estudo foram facilmente sintetizados e as suas propriedades térmicas foram avaliadas através de calorimetria exploratória diferencial (DSC). A aplicação desta técnica possibilitou

a construção do diagrama de equilíbrio sólido-líquido do sistema de cloreto de colina e etilenoglicol, além da confirmação da existência do ponto eutético desta mistura.

PALAVRAS-CHAVE: solventes eutéticos profundos, equilíbrio sólido-líquido, cloreto de colina, etilenoglicol.

ABSTRACT: *Deep Eutectic Solvents* (DES) are a class of promising compounds that can replace organic volatile and toxic solvents currently employed in pharmaceutical, food, chemical and petrochemical industries. However, since DES are a recent subject of investigations, it is necessary to deepen the research level regarding properties and applications of these solvents. Thus, the current study focused on synthesizing DES from choline chloride and ethylene glycol and determining the thermal properties of the chemicals formed. Our group synthesized the deep solvents employing a simple thermal method and further characterized these compounds through differential scanning calorimetry (DSC). The results allowed the construction of the solid-liquid equilibrium chart of choline chloride and ethylene glycol and the identification of the eutectic point of the mixture.

KEYWORDS: deep eutectic solvents, solid-liquid equilibrium, choline chloride, ethylene glycol.

1 | INTRODUÇÃO

A crescente preocupação mundial com problemas ambientais provocou grandes impactos na Engenharia Química e motivou o desenvolvimento de substâncias e processos industriais menos nocivos ao meio ambiente e ao ser humano. Desta forma, uma nova área de pesquisa, conhecida como “química verde”, assumiu um papel de grande destaque. Dentre os diversos aspectos explorados por essa nova vertente científica, encontra-se a substituição de solventes orgânicos tóxicos e voláteis, empregados em grande extensão em diversos processos da indústria, por compostos biodegradáveis (Khandelwal *et al.*, 2016).

Um dos avanços tecnológicos de maior destaque da química verde compreende os “líquidos-iônicos” (LIs). Segundo Dai (2013), devido à manifestação de propriedades como baixa pressão de vapor, excelente estabilidade térmica e viscosidade ajustável, os LIs constituem importantes alternativas aos solventes orgânicos voláteis. Ademais, os LIs podem ser sintetizados em função da polaridade e seletividade desejadas em uma determinada aplicação industrial e, desta forma, possuem grande capacidade de solubilizar uma série de materiais orgânicos e inorgânicos (Khashayar, 2014). No entanto, ainda de acordo com Dai (2013), os LIs apresentam alto custo de produção e sua síntese demanda, na maioria dos casos, o uso de precursores tóxicos.

Alternativamente, pesquisadores (Abbot *et al.*, 2003; Dai, 2013) desenvolveram uma nova classe de fluidos, análogos aos líquidos iônicos, e conhecidos como solventes eutéticos profundos (DES, do inglês “*Deep Eutectic Solvents*”). Os DES são substâncias formadas pela mistura eutética de ácidos e bases de Lewis. Geralmente, os DES são obtidos através da complexação de um sal quaternário de amônio com um doador de ligação de hidrogênio (HBD, do inglês “*Hydrogen Bond Donor*”). Uma das principais características dos DES são as suas baixas temperaturas de fusão, com valores consideravelmente inferiores aos pontos de fusão dos seus constituintes puros. Segundo Abbot *et al.* (2014), esta redução na temperatura de transição sólido-líquido característica dos DES é resultado da formação de ligações de hidrogênio entre os compostos presentes no sistema.

Os DES apresentam vantagens em relação aos LIs pois, além de possuírem propriedades físico-químicas semelhantes, a síntese de tais solventes eutéticos engloba rotas relativamente simples e baratas, e as quais não envolvem o uso de precursores tóxicos. Adicionalmente, estudos (Abbot *et al.*, 2014; Dai, 2013) reportam importantes aplicações de DES na indústria alimentícia, farmacêutica, petroquímica e química.

Em vista do potencial uso dos solventes eutéticos profundos como alternativas “verdes” aos solventes tradicionalmente empregados na indústria, o presente trabalho objetivo aprofundar o conhecimento das propriedades termodinâmicas de alguns dos sistemas formadores de DES. Para tanto, serão estudados os comportamentos térmicos e as curvas de equilíbrio sólido-líquido de misturas contendo cloreto de

colina e etilenoglicol (HDB) através da técnica de calorimetria exploratória diferencial (DSC). A escolha de um sistema de DES envolvendo cloreto de colina foi realizada considerando a sua possível aplicação na purificação de biodiesel (Abbot *et al.*, 2007).

2 | SEÇÃO EXPERIMENTAL

Cloreto de colina ([Ch]Cl) (pureza em fração mássica >99,0 %), produzido pela Merck, e Etilenoglicol P.A. (EG) (pureza em fração mássica >99,5 %), fabricado pela Biotec, foram previamente secos e misturados seguindo diferentes proporções molares. Os reagentes foram pesados individualmente em uma balança analítica AL 204 Mettler Toledo, respeitando as proporções molares de etilenoglicol de 0%, 30 %, 50 %, 70 %, 90% e 100 %. Em seguida, os reagentes foram adicionados a um béquer e a mistura sólida foi homogeneizada com o auxílio de um bastão de vidro.

As misturas sólidas contendo as diferentes proporções de precursores foram levadas a um banho maria Dubnoff previamente estabilizado em 60 °C e com rotação orbital de 220 rpm. As amostras permaneceram no banho por aproximadamente 30 min, tempo suficiente para que se pudesse observar a formação de líquidos homogêneos. Os DES sintetizados foram retirados do banho e armazenados em um dessecador, a fim de controlar a umidade e promover resfriamento natural.

A caracterização térmica dos DES envolveu o uso de calorimetria exploratória diferencial (DSC). A determinação do ponto eutético, transição vítrea, transição sólido-sólido (polimorfismo) e fusão das amostras foi realizada empregando o equipamento DSC 8500 PerkinElmer. Cerca de 5 mg de DES foram pesados em panelinhas padrão de aço inoxidável e inseridas no equipamento. As panelinhas ficaram sujeitas a um fluxo de nitrogênio puro de 20 ml/min. As amostras, inicialmente à 20°C, foram resfriadas até -100 °C. Em seguida, as mesmas foram aquecidas (5 °C/ min) até 30 °C, temperatura na qual as misturas foram mantidas por um breve intervalo de tempo. A próxima etapa da metodologia empregada no DSC envolveu o resfriamento das amostras, de 30 °C a -100°C, e com uma taxa igual à de aquecimento (5 °C/ min). Ao total, foram realizados três ciclos de aquecimento e resfriamento entre as temperaturas de -100 °C e 30 °C.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

A metodologia empregada para a análise DSC mostrou-se satisfatória e possibilitou a observação de pontos de polimorfismo, cristalização e fusão das amostras preparadas. Adicionalmente, os eventos térmicos observados no DSC apresentaram reprodutibilidade em, ao menos, dois dentre os três ciclos de aquecimento e resfriamento conduzidos. A Figura 1 apresenta o resultado obtido para os três ciclos de aquecimento e resfriamento do DES contendo 90% de etilenoglicol. As demais amostras, com as composições descritas na seção experimental, apresentaram curvas semelhantes.

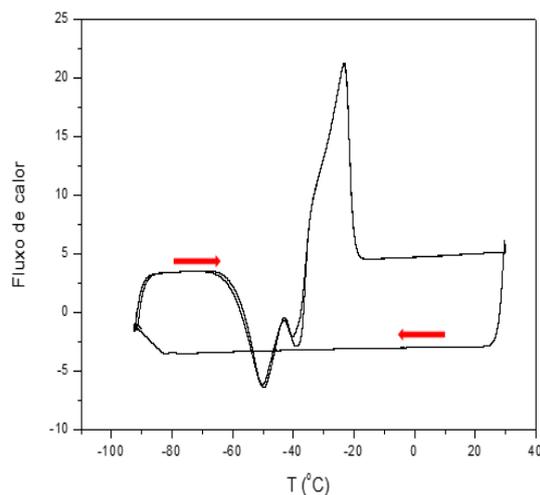


Figura 1 – Resultado completo da análise DSC (3 ciclos) para a amostra contendo 90% de etilenoglicol.

Na Figura 2, é possível visualizar, durante os ciclos de aquecimento, a ocorrência de eventos exotérmicos. Estes eventos, que ocorrem em sequência, provavelmente estão associados a transições sólido-sólido (polimorfismo) e à estabilização do DES. A uma temperatura imediatamente superior àquela em que uma possível transição entre fases sólidas ocorre, observa-se a existência de um pico endotérmico. Evidências indicam que este pico representa a fusão do DES. Picos semelhantes foram obtidos para todas as amostras analisadas, com variações na temperatura de ocorrência e na intensidade de fluxo de calor.

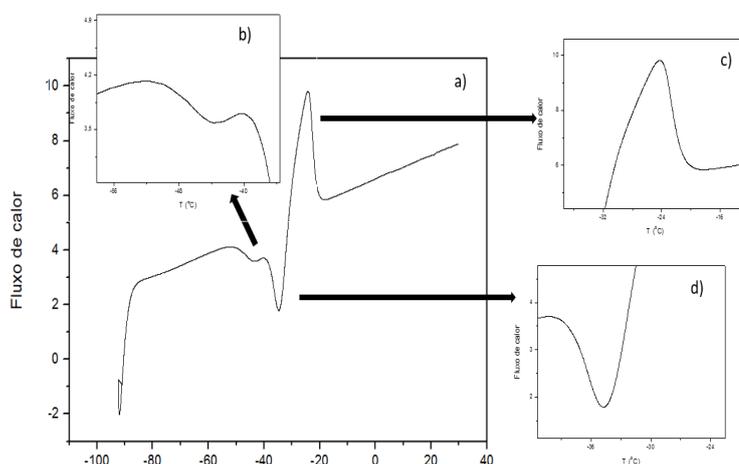


Figura 2 – Resultado de um ciclo de aquecimento (a) do DSC obtido para amostra de 90% de etilenoglicol. Picos indicando polimorfismo (b), cristalização (d) e fusão (c) do DES.

Em posse dos resultados do DSC e das temperaturas de fusão das diferentes amostras testadas, foi possível obter o diagrama de equilíbrio sólido-líquido para o sistema formado por cloreto de colina e etilenoglicol. O diagrama encontra-se na Figura 3.

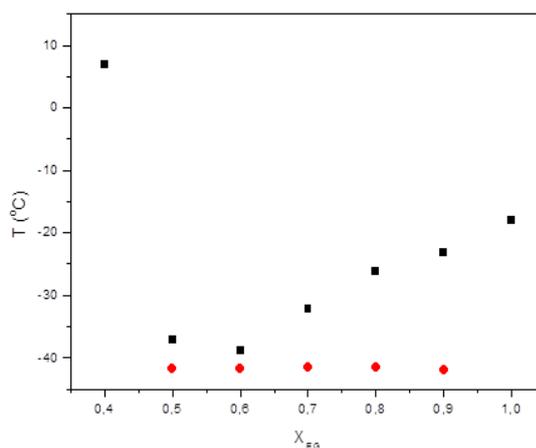


Figura 3 – Equilíbrio sólido-líquido obtido para o DES formado por cloreto de colina e etilenoglicol.

A análise do diagrama indica a existência de um ponto eutético para o sistema formado por cloreto de colina e etilenoglicol. A temperatura encontrada para este ponto foi de aproximadamente -40 °C, correspondendo a uma fração molar de 60% de etilenoglicol. Experimentos futuros devem ser realizados a fim de se construir um diagrama de equilíbrio sólido-líquido completo, envolvendo todas as possíveis frações molares de EG.

4 | CONCLUSÕES

Neste presente trabalho foi possível confirmar que misturas de cloreto de colina e etilenoglicol ([Ch]Cl+EG) podem formar solventes eutéticos profundos. Ainda, mostrou-se que o sistema de DES envolvendo tais precursores pode ser facilmente sintetizado a partir de uma rota economicamente viável e que não envolve substâncias tóxicas. A caracterização do equilíbrio sólido-líquido da mistura de [Ch]Cl e EG pode ser desempenhada através de uma metodologia de DSC relativamente simples e eficaz. A técnica foi capaz de fornecer dados de pontos de fusão e permitiu, desta forma, a construção do diagrama de equilíbrio sólido-líquido para o DES estudado, além da confirmação do ponto eutético.

Apesar dos resultados positivos deste trabalho, é fundamental realizar investigações mais aprofundadas sobre o comportamento térmico e sobre as propriedades físicas do sistema de [Ch]Cl e EG. Adicionalmente, pretende-se testar, em estudos futuros, a metodologia de DSC para diversos sistemas de DES, em especial aqueles formados a partir de [Ch]Cl e glicerol. Cogita-se também, investigar a aplicação de DES constituídos por cloreto de colina em processos de purificação de biodiesel.

5 | NOMENCLATURA

DES – Solventes eutéticos profundos, do inglês “*Deep Eutectic Solvents*”.

DSC – Calorimetria exploratória diferencial.

HDB – doador de ligações de hidrogênio, do inglês “*Hydrogen Bond Donnor*”.

[Ch]Cl – Cloreto de colina.

EG – Etilenoglicol.

x_E – Fração molar de etilenoglicol na mistura.

REFERÊNCIAS

ABBOTT, A. P.; CAPPER, G.; DAVIES, D. L.; RASHEED, R. K.; TAMBYRAJAH, V. **Novel solvent properties of choline chloride/urea mixtures.** *Chem. Commun.*, p. 70–71, 2003

ABBOTT, A. P.; CULLIS, P. M.; GIBSON, M. J.; HARRIS, R.C.; RAVEN, E.. **Extraction of glycerol from biodiesel into a eutectic based ionic liquid.** *Green Chemistry*, v. **9**, p. 868-872, 2007.

ABBOTT, A.P.; SMITH, E.L.; RYDER, K.S. **Deep Eutectic Solvents (DES) and Their Applications.** *Chemical Reviews*, v. 114 (21), p. 11060-11082, 2014.

DAI, Y.. **Natural Deep Eutectic Solvents and their application in natural product.** Tese (Ph.D), 186 f. - *Universidade Leiden* (Holanda), 2013.

KHANDELWAL, S.; KUMAR, MAHENDRA.; TAILOR, Y.K. **Deep eutectic solvents (DESs) as eco-friendly and sustainable solvent/ catalyst systems in organic transformations.** *Journal of Molecular Liquids*, v. 215, p. 345-386, 2016.

KHASHAYAR, G. **A Review of Ionic Liquids, Their Limits and Applications.** *Green and Sustainable Chemistry*, v. 44, p. 44-53, 2014

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

