



Henrique Ajuz Holzmann  
(Organizador)

# As Engenharias frente a Sociedade, a Economia e o Meio Ambiente

Henrique Ajuz Holzmann  
(Organizador)

As Engenharias frente a Sociedade, a  
Economia e o Meio Ambiente

Atena Editora  
2019

2019 by Atena Editora  
Copyright © Atena Editora  
Copyright do Texto © 2019 Os Autores  
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora  
Editora Executiva: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Antonella Carvalho de Oliveira  
Diagramação: Natália Sandrini  
Edição de Arte: Lorena Prestes  
Revisão: Os Autores

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

### **Conselho Editorial**

#### **Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

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  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

#### **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

### **Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Prof.ª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista  
Prof.ª Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof.ª Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

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

E57 As engenharias frente a sociedade, a economia e o meio ambiente  
[recurso eletrônico] / Organizador Henrique Ajuz Holzmann. –  
Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (As Engenharias Frente  
a Sociedade, a Economia e o Meio Ambiente; v. 1)

Formato: PDF  
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader  
Modo de acesso: World Wide Web  
Inclui bibliografia  
ISBN 978-85-7247-429-0  
DOI 10.22533/at.ed.290192506

1. Engenharia – Aspectos sociais. 2. Engenharia – Aspectos  
econômicos. 3. Desenvolvimento sustentável. I. Holzmann, Henrique  
Ajuz. II. Série.

CDD 658.5

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

Atena Editora  
Ponta Grossa – Paraná - Brasil  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
contato@atenaeditora.com.br

Atena  
Editora

Ano 2019

## APRESENTAÇÃO

As obras As Engenharias frente a Sociedade, a Economia e o Meio Ambiente Volume 1, 2, 3 e 4 abordam os mais diversos assuntos sobre métodos e ferramentas nas diversas áreas das engenharias a fim de melhorar a relação do homem com o meio ambiente e seus recursos.

O Volume 1 está disposto em 31 capítulos, com assuntos voltados a engenharia do meio ambiente, apresentando processos de recuperação e reaproveitamento de resíduos e uma melhor aplicação dos recursos disponíveis no ambiente, além do panorama sobre novos métodos de obtenção limpa da energia.

Já o Volume 2, está organizado em 32 capítulos e apresenta uma vertente ligada ao estudo dos solos e águas, com estudos de sua melhor utilização, visando uma menor degradação do ambiente; com aplicações voltadas a construção civil de baixo impacto.

O Volume 3 apresenta estudos de materiais para aplicação eficiente e econômica em projetos, bem como o desenvolvimento de projetos mecânico e eletroeletrônicos voltados a otimização industrial e a redução de impacto ambiental, sendo organizados na forma de 28 capítulos.

No último Volume, são apresentados capítulos com temas referentes a engenharia de alimentos, e a melhoria em processos e produtos.

Desta forma um compendio de temas e abordagens que facilitam as relações entre ensino-aprendizado são apresentados, a fim de se levantar dados e propostas para novas discussões em relação ao ensino nas engenharias, de maneira atual e com a aplicação das tecnologias hoje disponíveis.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
CIDADES SUSTENTÁVEIS: PRÁTICAS PARA A RECUPERAÇÃO DAS ÁGUAS	
Aline Pereira Gaspar Karen Niccoli Ramirez	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2901925061</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>14</b>
APROVEITAMENTO DA ÁGUA DE CHUVA EM EMPREENDIMENTOS RURAIS: CAPTAÇÃO, ARMAZENAMENTO E UTILIZAÇÃO	
Natalia da Rocha Pinto Elfride Anrain Lindner	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2901925062</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>31</b>
PURIFICAÇÃO DE ÁGUA DOMÉSTICA UTILIZANDO PROCESSOS DE FILTRO BIOLÓGICO, FOTOCATÁLISE DE TiO <sub>2</sub> E ADIÇÃO DE MORINGA	
Maria Marcyara Silva Souza Francisco Wellington Martins da Silva Antônia Mayara dos Santos Mendes Quezia Barboza Rodrigues Juan Carlos Alvarado Alcócer	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2901925063</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>41</b>
DETERMINAÇÃO DO DESEMPENHO DO SISTEMA DE RECUPERAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA UTILIZANDO BOMBA DE ÁGUA COM ENERGIA MOLECULAR E TUBOS DE BOROSSILICATO	
Igor José Langer Luis Eduardo Palomino Bolivar	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2901925064</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>47</b>
CARACTERIZAÇÃO DA PRODUÇÃO E REVISÃO DAS TÉCNICAS DE GERENCIAMENTO DA ÁGUA PRODUZIDA NOS CAMPOS MADUROS DA BACIA DO RECÔNCAVO	
Thaís Freitas Barbosa Victor Menezes Vieira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2901925065</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>60</b>
CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS DE QUATRO SUB-BACIAS DE DRENAGEM DE PONTA GROSSA-PR	
Rafaela Paes de Souza Barbosa Gustavo Forastiere Simoneli Maria Magdalena Ribas Döll Mayra Alves Donato	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2901925066</b>	

<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>73</b>
VERIFICAÇÃO DO ÍNDICE DE QUALIDADE HÍDRICA DA LAGOA COSTEIRA DE JACAREPAGUÁ NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO	
<a href="#">Ana Carolina Silva de Oliveira Lima</a> <a href="#">Ana Cláudia Pimentel de Oliveira</a>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2901925067</b>	
<b>CAPÍTULO 8</b> .....	<b>77</b>
POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS E TOXICIDADE DE PRODUTOS COMERCIAIS À BASE DE FUMO ( <i>NICOTIANA TABACUM</i> ) UTILIZADOS EM AGRICULTURA ORGÂNICA	
<a href="#">Magda Regina Santiago</a> <a href="#">Lígia Maria Salvo</a>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2901925068</b>	
<b>CAPÍTULO 9</b> .....	<b>85</b>
CONSCIENTIZAÇÃO AMBIENTAL E GEOTÉCNICA: CARTILHA INFANTIL E O PROJETO GEOPREVENÇÃO	
<a href="#">Carla Vieira Pontes</a> <a href="#">Talita Gantus de Oliveira</a> <a href="#">Vitor Pereira Faro</a> <a href="#">Roberta Bomfim Boszczowski</a>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2901925069</b>	
<b>CAPÍTULO 10</b> .....	<b>95</b>
AVALIAÇÃO DO EFEITO DA CAMADA DE COBERTURA NA ESTABILIDADE EM ATERROS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	
<a href="#">Alison de Souza Norberto</a> <a href="#">Rafaella de Moura Medeiros</a> <a href="#">Maria Odete Holanda Mariano</a>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250610</b>	
<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>104</b>
AVALIAÇÃO DO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DE SERVIÇOS DE SAÚDE (RSS) DE UM HOSPITAL MATERNIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO	
<a href="#">Leonardo de Lima Moura</a> <a href="#">Claudio Fernando Mahler</a>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250611</b>	
<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>117</b>
UM ESTUDO SOBRE A IMPLEMENTAÇÃO DE UMA USINA DE RECICLAGEM DE PAPEL PARA UMA INSTITUIÇÃO DE ENSINO SUPERIOR EM MANHUAÇU	
<a href="#">Millena Gabriela Gualberto de Souza</a> <a href="#">Nandeyara de Oliveira Costa</a> <a href="#">Glaucio Luciano de Araujo</a> <a href="#">Marcela Moreira Couto</a>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250612</b>	
<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>126</b>
BIOGÁS: O APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO GÁS METANO GERADO EM ATERROS SANITÁRIOS	
<a href="#">Daniela Cristiano Rufino</a>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250613</b>	

<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>138</b>
PRODUÇÃO DE BIOETANOL UTILIZANDO HIDROLISADO CELULÓSICO DE BIOMASSA	
Cristian Jacques Bolner de Lima	
Francieli Fernandes	
Charles Souza da Silva	
Juniele Gonçalves Amador	
Charles Nunes de Lima	
Monique Virões Barbosa dos Santos	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250614</b>	
<b>CAPÍTULO 15</b> .....	<b>146</b>
PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE DEJETOS DE SUÍNOS PARA A GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM PROPRIEDADES RURAIS DA REGIÃO DE CANOINHAS-SC	
Bruna Weinhardt da Silveira	
Leila Cardoso	
Olaf Graupmann	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250615</b>	
<b>CAPÍTULO 16</b> .....	<b>150</b>
MODELAGEM DE BIORRETORES EM SÉRIE E COM RECICLO PARA A PRODUÇÃO DE ETANOL ATRAVÉS DE UM ESTUDO DE CASO INDUSTRIAL	
Guilherme Guimaraes Ascendino	
Juan Canellas Bosch Neto	
Laura de Oliveira Martins Torres	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250616</b>	
<b>CAPÍTULO 17</b> .....	<b>166</b>
O USO DO HIDROGÊNIO EM MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA	
Gustavo Destefani Picheli	
Luiz Carlos Vieira Guedes	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250617</b>	
<b>CAPÍTULO 18</b> .....	<b>183</b>
ENERGIA SOLAR: PANORAMA BRASILEIRO	
Douglas Mito Cerezoli	
Leonardo Vinhaga	
Camila Ricci	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250618</b>	
<b>CAPÍTULO 19</b> .....	<b>195</b>
ECONOMIA DE ENERGIA: UMA ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL – ESTUDO DE CASO NO BLOCO I DO UNIPAM	
Daniel Marcos de Lima e Silva	
Maísa de Castro Silva	
Marcelo Ferreira Rodrigues	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250619</b>	

<b>CAPÍTULO 20</b> .....	<b>211</b>
USINAS SOLARES FLUTUANTES EM RESERVATÓRIOS DE HIDRELÉTRICAS: UMA SOLUÇÃO ALTERNATIVA PARA AUMENTAR A DEMANDA DE GERAÇÃO DE ENERGIA NA REGIÃO NORDESTE	
Jéssica Beatriz Dantas Antonio Ricardo Zaninelli do Nascimento Thayse Farias de Barros	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250620</b>	
<b>CAPÍTULO 21</b> .....	<b>222</b>
CÉLULAS SOLARES SENSIBILIZADAS POR CORANTES NATURAIS	
José Waltrudes Castanheira Pereira Márcio Cataldi	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250621</b>	
<b>CAPÍTULO 22</b> .....	<b>238</b>
AVALIAÇÃO ANALÍTICA DAS EFICIÊNCIAS TÉRMICAS E ELÉTRICAS DE UM MÓDULO FOTOVOLTAICO ACOPLADO A UM COLETOR SOLAR DE PLACA PLANA	
Maxwell Sousa Costa Anderson da Silva Rocha Lucas Paglioni Pataro Faria	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250622</b>	
<b>CAPÍTULO 23</b> .....	<b>252</b>
ESTUDO DO POTENCIAL EÓLICO NAS REGIÕES NOROESTE E SUL DO ESTADO DO CEARÁ NO PERÍODO DE 2013 À 2016	
Amanda Souza da Silva Rejane Félix Pereira Umberto Sampaio Madeiro Junior Guilherme Geremias Prata Ivandro de Jesus Moreno de Oliveira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250623</b>	
<b>CAPÍTULO 24</b> .....	<b>258</b>
INVESTIGAÇÃO SOBRE A IMPORTÂNCIA E UTILIZAÇÃO DE PAPEL RECICLADO EM UMA INSTITUIÇÃO DE ENSINO SUPERIOR EM MINAS GERAIS	
Nandeyara de Oliveira Costa Millena Gabriela Gualberto de Souza Glaucio Luciano de Araújo Marcela Moreira Couto	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250624</b>	
<b>CAPÍTULO 25</b> .....	<b>270</b>
UTILIZAÇÃO DA CINZA RESULTANTE DA INCINERAÇÃO DOS RESÍDUOS DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE PAPEL	
Olaf Graupmann Susan Hatschbach Graupmann	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250625</b>	
<b>CAPÍTULO 26</b> .....	<b>273</b>
PRODUÇÃO DE LUMINÁRIAS A PARTIR DE RESÍDUOS DE MADEIRA	
Ana Luiza Enders Nunes Vieira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250626</b>	

<b>CAPÍTULO 27</b> .....	<b>279</b>
REAPROVEITAMENTO DE MATERIAL FRESADO EM CAMADAS DE BASE DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS FLEXÍVEIS	
<p>Marcos Túlio Fernandes  Jouséberon Miguel da Silva  Henrique Lopes Jardim  Alaor Afonso Ramos Soares  Glaucimar Lima Dutra</p>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250627</b>	
<b>CAPÍTULO 28</b> .....	<b>289</b>
NOVA PROPOSTA DE ANTENA TÊXTIL COM SUBSTRATO BIODEGRADÁVEL PARA COMUNICAÇÕES SEM FIO	
<p>Matheus Emanuel Tavares Sousa  Humberto Dionísio de Andrade  Samanta Mesquita de Holanda  Idalmir de Souza Queiroz Júnior</p>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250628</b>	
<b>CAPÍTULO 29</b> .....	<b>296</b>
RISCOS DE INCÊNDIO ASSOCIADOS AO USO DE LÍQUIDOS IÔNICOS EM DIFERENTES PROCESSOS	
<p>Milson dos Santos Barbosa  Isabela Nascimento Souza  Juliana Lisboa Santana  Isabelle Maria Duarte Gonzaga  Lays Carvalho de Almeida  Aline Resende Dória  Luma Mirely Souza Brandão  Débora da Silva Vilar  Priscilla Sayonara de Sousa Brandão</p>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250629</b>	
<b>CAPÍTULO 30</b> .....	<b>307</b>
CENÁRIO DAS PESQUISAS SOBRE IMPACTOS AMBIENTAIS DECORRENTES DE IMPLANTAÇÃO OU DUPLICAÇÃO DE RODOVIAS: UMA REVISÃO INTEGRATIVA	
<p>Zeferino José Alencar Bezerra  Emerson Acácio Feitosa Santos  João Gomes da Costa  Thiago José Matos Rocha  Aldenir Feitosa dos Santos  Jessé Marques da Silva Júnior Pavão</p>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250630</b>	
<b>CAPÍTULO 31</b> .....	<b>323</b>
A MECÂNICA DOS AGENTES IMPONDERÁVEIS: UMA PROPOSTA DE INTEGRAÇÃO PARA AS DISCIPLINAS DE QUÍMICA E MECÂNICA NO ENSINO TÉCNICO	
<p>Maria Lia Scalli Fonseca  Felipe de Lucas Barbosa  José Otavio Baldinato</p>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250631</b>	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR</b> .....	<b>341</b>

## RISCOS DE INCÊNDIO ASSOCIADOS AO USO DE LÍQUIDOS IÔNICOS EM DIFERENTES PROCESSOS

**Milson dos Santos Barbosa**

Universidade Tiradentes  
Aracaju – Sergipe

**Isabela Nascimento Souza**

Universidade Tiradentes  
Aracaju – Sergipe

**Juliana Lisboa Santana**

Universidade Tiradentes  
Aracaju – Sergipe

**Isabelle Maria Duarte Gonzaga**

Universidade Tiradentes  
Aracaju – Sergipe

**Lays Carvalho de Almeida**

Universidade Tiradentes  
Aracaju – Sergipe

**Aline Resende Dória**

Universidade Tiradentes  
Aracaju – Sergipe

**Luma Mirely Souza Brandão**

Universidade Tiradentes  
Aracaju – Sergipe

**Débora da Silva Vilar**

Universidade Tiradentes  
Aracaju – Sergipe

**Priscilla Sayonara de Sousa Brandão**

Universidade Federal do Vale do São Francisco  
Petrolina – Pernambuco

número de publicações sobre líquidos iônicos (LIs) aumentou substancialmente. Os LIs têm atraído cada vez mais o interesse acadêmico e industrial devido capacidade de manipular suas propriedades, por meio da combinação de diferentes cátions e ânions, para atender requisitos para aplicações específicas. Além disso, LIs apresentam excelentes características, tais como pressão de vapor negligenciável, elevada estabilidade química e térmica e não inflamabilidade, o que tem estimulando muitos campos de pesquisa. Entretanto, a não inflamabilidade é muitas vezes destacada como uma vantagem de segurança dos LIs sobre compostos orgânicos voláteis tradicionais. Relatos recentes têm sugerido que o fato de que, apesar muitos LIs não serem inflamáveis, esse fato não significa que eles são seguros para serem utilizados próximo ao fogo e/ou fontes de calor. Dado que análises específicas realizadas para um grande grupo de LIs, incluindo aqueles já comercialmente disponíveis, evidenciam que muitos destes solventes não convencionais são combustíveis e podem promover riscos de incêndios devido à sua natureza inflamável. Para elucidar melhor o complexo risco de incêndio relacionado a uso de LIs em processos, uma avaliação detalhada e sistemática, é mostrada no presente estudo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Líquidos iônicos. Incêndio. Segurança de processos

**RESUMO:** Ao longo das últimas décadas, o

**ABSTRACT:** Over the last few decades, the number of publications on ionic liquids (ILs) has increased substantially. ILs have increasingly attracted academic and industrial interest because of the ability to manipulate their properties by combining different cations and anions to meet specific application requirements. In addition, ILs exhibit excellent characteristics, such as negligible vapour pressure, high chemical and thermal stability and non-flammability, which has stimulated many fields of research. However, non-flammability is often highlighted as a safety advantage of ILs over traditional volatile organic compounds. Recent reports have suggested that the fact that although many ILs are not flammable, this fact does not mean that they are safe to be used near fire and / or heat sources. Since specific analyses performed for a large group of ILs, including those already commercially available, show that many of these unconventional solvents are combustible and may promote fire hazards due to their flammable nature. To further elucidate the complex fire risk related to the use of ILs in processes, a detailed and systematic assessment is shown in the present study.

**KEYWORDS:** Ionic liquids. Fire. Process safety.

## 1 | INTRODUÇÃO

Os solventes convencionais são utilizados diariamente em numerosos processos e, estima-se que eles sejam responsáveis por cerca de 60% de todas as emissões de poluentes oriundos do setor industrial (ANASTAS e EGHBALI, 2010)). Como o uso de solventes é inevitável, duas principais estratégias para o desenvolvimento de processos mais limpos foram propostas: a substituição de solventes derivados do petróleo por solventes a partir de recursos renováveis, e a substituição de solventes perigosos por outros que apresentam melhores propriedades ambientais, de saúde e de segurança (CEVASCO e CHIAPPE, 2014; BUBALO *et al.*, 2015).

Os líquidos iônicos (LIs) são sais fundidos, conhecidos com uma nova classe de substâncias químicas compostas exclusivamente por íons que está sendo amplamente estudada, aplicada e reconhecida como alternativa promissora na substituição de compostos voláteis na indústria (SEDDON, 1997). O fato de serem formados por íons de elevadas dimensões faz com que os líquidos iônicos apresentem uma baixa energia de rede, isto é, não possuem uma estrutura cristalina bem definida, o que confere para a maioria dos LIs estar no estado líquido à temperatura ambiente ou próximo. Ademais, a ausência de uma estrutura cristalina ordenada promove baixos pontos de fusão a maioria dos LIs, que normalmente estão abaixo de 100 °C (GOOSSENS *et al.*, 2016). Ao longo da última década, o interesse em LIs cresceu exponencialmente porque eles apresentam propriedades químicas e físicas novas e interessantes, mas é a pressão de vapor muito baixa a insignificante exibida por algumas LIs que atraiu principalmente a atenção de muitos pesquisadores (DONG *et al.*, 2016). Esse interesse tem sido impulsionado por oportunidades percebidas para efetuar melhorias na eficiência geral dos processos usando os princípios da química verde. Tanto as equipes de pesquisa

industrial e acadêmica estão tentando redesenhar processos químicos para reduzir, ou eliminar, perdas de solventes, particularmente voláteis compostos orgânicos (SEDDON, 1997; EL SEOUD *et al.*, 2007).

Todavia, percepção de que todos os LIs são solventes verdes seguros pode levar a um projeto experimental inseguro e com riscos de incêndios (SMIGLAK *et al.*, 2006). Muitos pesquisadores principiantes, ao sintetizarem LIs, talvez não estejam cientes de que fumaças brancas são evaporadas de muitos LIs. Esta fumaça pode conter inúmeras espécies inflamáveis, além de ácido fluorídrico (HF), que é muito tóxico e corrosivo, e por isso deve ser tomado um cuidado considerável ao manusear esses compostos. A partir de então, LIs foram qualificados como líquido “combustível”, classe IIIB, que define como inflamáveis as substâncias capazes de serem facilmente inflamadas e queimadas rapidamente (FOX *et al.*, 2008).

Neste cenário, a Associação de Segurança e Saúde do Trabalho (Occupational Safety and Health Administration - OSHA) e a Associação Nacional de Proteção Contra Incêndios (National Fire Protection Association - NFPA) dos Estados Unidos concordaram que classificações mais específicas para LIs devem ser criadas, a fim de remover inconsistências no termo “inflamável”. Tanto os “líquidos inflamáveis” como os “líquidos combustíveis” devem aderir a protocolos adicionais de segurança contra incêndio. No entanto, as propriedades de inflamabilidade e possíveis riscos de incêndio de um material não podem ser definidas por um único teste de inflamabilidade (APTE, 2006; FOX *et al.*, 2008). De fato, ao considerar a proteção contra incêndio e procedimentos de resposta de emergência, as características físico-químicas de solventes com potenciais riscos de incêndio são essenciais (BURKE, 2013). Isto é especialmente importante quando se consideram as aplicações industriais e comerciais de LIs. No caso de um incêndio industrial ou incêndio envolvendo materiais que contenham LIs, esses solventes não convencionais atuarão como combustíveis e podem emitir produtos inflamáveis de decomposição (FOX *et al.*, 2008).

Diante do exposto, com o crescente interesse em LIs, é extremamente útil relatos de análises direcionadas aos possíveis riscos associados à utilização de LIs nos mais variados processos. Aqui, são explanadas as principais razões que levam profissionais da indústria e pesquisadores à rotular líquidos iônicos como solventes seguros e são discutidas as recentes pesquisas voltadas para a segurança de LIs.

## 2 | METODOLOGIA

O presente trabalho utiliza a pesquisa bibliográfica, a fim de indagar e de buscar informações sobre os potenciais riscos de incêndio ao utilizar líquidos iônicos em diferentes processos. Para esse efeito, realizou-se um levantamento em base de dados nacionais e estrangeiros de artigos e livros publicados em periódicos indexados, além de documentos como Normas de segurança e saúde no trabalho. Como resultados,

primeiramente é apresentada uma visão geral dos motivos que levam a grande maioria das publicações a descrever os LIs como solventes seguros. Posteriormente, são apresentados estudos que evidenciam a partir de análises experimentais os potenciais riscos de incêndio ao se trabalhar com LIs em diferentes tipos de processos.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Razões para rotular líquidos iônicos como solventes seguros

O crescente interesse em pesquisa industrial e acadêmica sobre LIs impulsionou a suposição genérica de que esses solventes não convencionais são altamente estáveis, não inflamáveis e seguros para serem utilizados em qualquer processo (MORGAN *et al.*, 2013). Conseqüentemente, argumenta-se que os LIs, apresentam margens superiores de segurança contra incêndio em comparação com solventes convencionais altamente inflamáveis. Além da sua ampla versatilidade quando comparada com solventes convencionais, os LIs são apontados como solventes menos agressivos e seguros ao meio ambiente. A justificativa para rotulá-los “seguros” é baseada no fato de que, dentre os 12 princípios da Química Verde, os LIs podem atender à 4 princípios, são eles: (EARLE *et al.*, 2006; RANKE *et al.*, 2007; FUKAYA *et al.*, 2013; BUBALO *et al.*, 2015;).

1. Síntese de produtos menos perigosos: Quando possível, deve-se utilizar e gerar uma substância química com pouca ou nenhuma toxicidade à saúde humana e ao ambiente;
2. Desenvolvimento de produtos seguros: Deve-se desenvolver produtos químicos que exerçam a função desejada e ao mesmo tempo não sejam tóxicos;
3. Desenho para a degradação: Os produtos químicos precisam ser desenhados de tal maneira que, ao final de sua função, se degradem em produtos inofensivos e não persistam no meio ambiente;
4. Química intrinsecamente segura para a prevenção de acidentes: Deve-se utilizar substâncias seguras, com nenhum ou mínimo potencial de acidentes, evitando produtos inflamáveis ou que possibilitem vazamentos, incêndios, explosões e outros.

Devido às propriedades citadas anteriormente, como pressão de vapor desprezível, alta estabilidade térmica e não inflamabilidade, muitas vezes o potencial impacto ambiental dos líquidos iônicos é considerado reduzido. Entretanto, alguns estudos relatam que apesar dos LIs contribuírem para a redução da poluição do ar, o seu descarte inadequado em ambientes aquáticos pode causar a contaminação da água, devido à sua potencial toxicidade e difícil biodegradabilidade (ZHAO *et al.*, 2007; HECKENBACH *et al.*, 2016). O fato de que as características dos líquidos iônicos podem ser manipuladas a partir da sua síntese combinada tem promovido vários

esforços para produção de LIs biodegradáveis (GATHERGOOD *et al.*, 2004). Outra alternativa para minimizar os possíveis efeitos negativos do descarte de LIs no meio ambiente é a sua recuperação e/ou reciclagem, cuja metodologia de extração depende do processo no qual o LI é aplicado (ALVAREZ-GUERRA *et al.*, 2014; CLAUDIO *et al.*, 2014).

Segundo ROGERS *et al.* (2012), esses solventes não convencionais têm atraído um grande interesse por possuir características físico-químicas atrativas para inúmeros processos, quando comparado com solventes convencionais, tais como:

- a. Funcionam como excelentes solventes para um amplo número de materiais orgânicos e inorgânicos. Isso possibilita a sua utilização em reações com ambos os tipos de reagentes, tornando-os, portanto, viáveis e extremamente atrativos do ponto de vista tecnológico e industrial;
- b. A capacidade inflamável é desprezível porque esses solventes não são voláteis. Assim, os líquidos iônicos podem ser usados em elevadas temperaturas, diminuindo os riscos. Além disso, podem ser considerados como solventes combustíveis;
- c. Possibilidade de recuperação, remoção e reciclagem devido à alta estabilidade térmica e química;
- d. A boa condutividade elétrica e grande mobilidade iônica favorece o alto potencial eletroquímico. No mais, a janela eletroquímica estável dos LIs minimiza processos de oxidação ou redução sobre um eletrodo;
- e. As propriedades catalíticas em síntese orgânica e inorgânica são amplamente atrativas. Os LIs influenciam de forma positiva na seletividade e nos rendimentos em diferentes reações;
- f. A solubilidade dos líquidos iônicos pode ser ajustada para que estes solventes sejam miscíveis com água e até com alguns solventes orgânicos. Muitos possuem a capacidade de dissolver uma ampla gama de ácidos inorgânicos e orgânicos. Isto é importante para processos que necessitam da dissolução de distintos reagentes numa mesma fase;
- g. A hidrofiliabilidade e a hidrofobicidade dos líquidos iônicos podem ser alteradas a partir da modificação na estrutura dos cátions e ânions sintetizados.

Os LIs, como os solventes em geral, são classificados com base na estrutura química. No entanto, eles possuem características estruturais que podem ser facilmente manipuladas, o que faz com que a sua classificação seja complexa (ANGELL *et al.*, 2012). Isso ressalta a necessidade de tratar LIs como qualquer outro produto químico, com propriedades potencialmente perigosas, toxicidade e/ou estabilidade desconhecida. Em particular, é importante enfatizar que, embora as LIs sejam produtos químicos que possam ser aplicados como solventes e catalisadores em processos de química verde, não podem necessariamente ser considerados ou

descritos como solventes verdes. É importante notar que, embora muitos sais orgânicos semelhantes a LI tenham importantes aplicações industriais e comerciais, o destino ambiental e quaisquer problemas de toxicidade potenciais para a maioria dos LI não são conhecidos. Assim, embora os LIs sejam comumente referidos em um contexto “verde”, pouco se sabe sobre os perigos associados à sua utilização em diferentes processos e, por isso, esses devem ser avaliados com cautela.

### 3.2 Pesquisas voltadas para a segurança de líquidos iônicos

De acordo com os regulamentos da OSHA, os líquidos inflamáveis têm pontos de inflamação abaixo de 37,8 °C, enquanto que os líquidos combustíveis são aqueles com ponto de inflamação acima de 37,8 °C. Com base nos relatos de diferentes estudos, todos os LIs apresentam a característica benigna de ser não-volátil, até elevadas temperaturas. Esta classificação implica que não devem ser tomadas precauções em processos que envolvem o uso de LIs (SHELDON, 2005; WELTON, 2011). No entanto, o desempenho de LIs relacionadas a riscos de incêndio é raramente investigado, pois questões de segurança relacionadas a LIs merecem maior atenção por vários motivos:

- I. Cada LI deve ser analisado individualmente à nível de segurança dentro do processo no qual está inserido, uma vez que estes solventes apresentam à possibilidade de manipular livremente as suas características, combinando os cátions e ânions de mais de um milhão de formas diferentes para atender os requisitos de aplicações específicas;
- II. Artigos indexados e guias comerciais ainda contêm informações equivocadas sobre LIs, dado que geralmente relatórios não descrevem volatilidade, comportamentos de inflamabilidade e estabilidade térmica de forma específica;
- III. A avaliação das propriedades físico-químicas em relação à segurança é necessária em estágios iniciais da síntese dos LIs e do projeto no qual o mesmo será inserido;
- IV. O regulamento da comunidade europeia sobre produtos químicos e a sua utilização segura, que trata do registo, avaliação, autorização e restrição de substâncias químicas, tem exigido análises especializadas em riscos físico-químicos associados aos LIs.

Ao considerar uma avaliação dos perigos inerentes à LIs e a descrição inapropriada das propriedades de LIs, alguns estudos foram dedicados a qualificar os perigos físico-químicos para alguns LIs (EARLE *et al.*, 2006; LEN *et al.*, 2012; CHANCELIER *et al.*, 2014). Como resultado desses primeiros estudos, nem todos os LIs podem ser considerados intrinsecamente seguros e alguns podem desencadear riscos físico-químicos durante a sua própria síntese. De fato, em muitas rotas de síntese estão envolvidos átomos de halogênio que podem levar a problemas de corrosão. Artigos recentes têm, em particular, ajudado a desmitificar a não volatilidade e a alta

estabilidade térmica dos LIs. Como exemplo, o estudo de Earle *et al.* (2006) mostrou que muitas LIs, particularmente LIs baseadas em imidazólio, podem ser destiladas (sob vácuo parcial) e seus produtos de decomposição geralmente são voláteis. Outros pesquisadores abordaram experimentalmente propriedades de estabilidade térmica de vários LIs, mostrando que a estabilidade térmica acima de 400 °C não é a regra comum para LIs e, na realidade, a estabilidade térmica varia muito (KULKARNI *et al.*, 2007; KAMAVARAM e REDDY, 2008).

O calor completo da combustão é um dos primeiros indicadores utilizados para avaliar previamente possíveis riscos de incêndio de uma substância química. Representa o conteúdo energético geral que uma substância é susceptível de liberar por combustão completa em um evento de incêndio. Para esse propósito, uma série de relatos a respeito de LIs em queima com chamas tem sido descrita. Embora os líquidos iônicos sejam rotulados como materiais “não inflamáveis”, em alguns estudos, esse rótulo não se aplica (BARANYAI *et al.*, 2004).

Smiglak *et al.* (2006), realizaram testes de combustão com 20 LIs e seus resultados indicaram que, embora muitas LIs possam ter pressão de vapor insignificante, LIs são uma classe de solvente não convencionais que não devem ser necessariamente consideradas seguras quando se trabalha próximo a uma fonte de calor, chama ou ignição. Isto porque os produtos de decomposição formados durante a decomposição térmica de alguns LIs são sensíveis à combustão. Diallo *et al.* (2012), relataram que quanto mais carbono na estrutura do LI, maior é a liberação de calor gerada pelo material queimado. Além disso, o contra-íon tem um efeito definitivo sobre a inflamabilidade, com a tendência geral de  $Cl < Br < N(CN)_2 < BF_4 = PF_6 < TFSI$ . Pode-se argumentar que, alguns dos contra-íons, não somente reduzem o combustível disponível para a combustão através da formação de carvão, mas também podem ser capazes de realizar reações inusitadas em fase gasosa que inibam a combustão e o consumo de oxigênio.

A combustão experimental de alguns LIs mostrou um potencial cenário acidental em processos realizados em laboratórios. Na maioria dos casos, a decomposição exotérmica rápida ocorreu quando LIs com alto teor de nitrogênio foram utilizados em condições de altas temperaturas, devido a sua sensibilidade à ignição e consequente combustão. A combustão pode até tender a ser explosiva, mesmo sob vácuo (SMIGLAK *et al.*, 2006). Além disso, os testes de queima realizados por Schaller *et al.* (2010), com LI de nitrato de 4-amino-1-metil-1,2,4-triazólio, levaram a uma temperatura de chama de 2200 K. Uma vez que as várias ligações moleculares atingem a temperatura de decomposição térmica desses LIs, moléculas pequenas inflamáveis poderiam ser liberadas levando à combustão. Estes exemplos mostram novamente que os testes tradicionais de ponto de inflamação não são suficientes para caracterizar adequadamente o risco de incêndio. Os problemas de combustão também podem surgir a partir do comportamento específico dos LIs, em que o contato com diferentes moléculas químicas pode inflamar-se espontaneamente devido à ocorrência de

reações altamente exotérmicas (MARLAIR *et al.*, 1999; SHAMSHINA *et al.*, 2010).

A liberação de calor é apenas uma das muitas características potenciais a serem consideradas. É necessário também analisar a interação de estruturas metálicas com LIs, e assim prevenir processos contra o fenômeno natural de corrosão e contra os indesejáveis perigos de incêndio. Dessa forma, artigos recentes relatam a incompatibilidade de LIs com metais em diversos processos de hidrólise, visto que a formação de subprodutos como compostos voláteis (a exemplo de HF e  $\text{POF}_3$ ) pode danificar materiais como aço e vidro (IOLANIÁCOHEN, 2000; BERGER *et al.*, 2011). Tseng *et al.* (2010), relataram a significativa corrosão do titânio na presença do cloreto de 1-etil-3-metilimidazólio. Entretanto, os mesmos autores notaram a excelente resistência à corrosão do aço inoxidável 304SS para o mesmo LI.

Em suas pesquisas sobre o uso de LIs em aplicações de alta pressão, Predel e Predel e Schlücker, observaram que mesmo quando todos os LIs testados apresentaram pouca corrosão ao aço inoxidável, as taxas de corrosão de algumas LIs para outros tipos de aços foram muito altas. Assim, ambos os autores concluíram que muitos LIs definitivamente não são adequados em aplicações envolvendo cobre. De fato, a corrosividade de um dado metal é determinada pela estrutura química do LI que corresponde a natureza do seu cátion e ânion (PERISSI *et al.*, 2006).

Em suma, a estrutura química do cátion e do ânion dos LIs pode ter um grande efeito sobre a liberação de calor e, portanto, não se deve assumir que todos os LIs possuem um mesmo potencial de inflamabilidade. A capacidade de alguns LIs para carbonização pode ter alguns efeitos inesperados na propagação da chama, assim como o potencial de outros LIs de gasificação completa também pode sugerir que ocorra um incêndio em escala maior.

Os resultados de todos os artigos aqui mencionados indicam que a seleção de LIs como solventes utilizados em processos químicos é uma questão muito importante e requer novas investigações em relação a estrutura química e a concentração de LIs nas mais distintas aplicações. Tendo em vista todos esses estudos e que, até o momento, nenhum acidente grave foi relatado com LIs nos estágios atuais de uso, é pertinente desenvolver metodologias sistemáticas e abrangentes de determinação de perigos associados à LIs. Ao engenheiro de segurança contra incêndio e ao químico de processos, quanto maior a quantidade de informações sobre o potencial de inflamabilidade dos LIs, maior será a segurança de futuros processos envolvendo estes solventes não convencionais.

## 4 | CONCLUSÕES

Na maioria dos casos, os LIs têm muitas vantagens para obtenção de processos mais seguros em comparação com solventes convencionais. No entanto, afirmar que todos os LIs são seguros por natureza, é uma conclusão precipitada. Na literatura, existem algumas afirmações generalizadas relacionadas à segurança físico-química,

como “não inflamabilidade”, “não volatilidade”, e “não corrosividade”, que devem ser evitadas para não propagar informações errôneas. Conforme discutido no estudo, é importante ir além das classificações convencionais de perigo para uma melhor compreensão das propriedades físico-químicas dos LIs. Assim como os compostos químicos não são comparados de forma igualitária, os LIs não devem ser comparados exatamente com solventes industriais, uma vez que são solventes não convencionais com composições químicas complexas. As características físico-químicas desempenham um papel importante na real segurança dos LIs, bem como nos problemas de degradabilidade e toxicidade. Certamente, eles têm suas vantagens, mas podem ser inflamáveis e, conhecendo as condições nas quais os LIs podem gerar riscos, melhores avaliações de segurança contra incêndio podem ser realizadas. Desse modo, os riscos de incêndio nos processos envolvendo LIs devem ser investigados, porque talvez esses produtos químicos não sejam inflamáveis devido ao ponto de inflamação, mas em alguns processos ou aplicações específicas, podem provocar incêndios e graves danos. Como todas os novos produtos e tecnologias, é necessário avaliar adequadamente os seus pontos fortes e fracos, a fim de entender e atribuir os melhores parâmetros de desempenho de segurança apropriados dentro do contexto no qual serão inseridos.

## REFERÊNCIAS

ALVAREZ-GUERRA, E.; IRABIEN, A.; VENTURA, S. P. M.; COUTINHO, J. A. P. **Ionic liquid recovery alternatives in ionic liquid-based three-phase partitioning (ILTTP)**. *Aiche Journal*, v. 60, n. 5, p. 577-3586, 2014.

ANASTAS, P.; EGHBALI, N. **Green chemistry: principles and practice**. *Chemical Society Reviews*, v. 39, n. 34, p. 301-312, 2010.

ANGELL, C. A.; ANSARI, Y.; ZHAO, Z. **Ionic liquids: past, present and future**. *Faraday discussions*, v. 154, n.7, p. 9-27, 2012.

APTE, V. B. **Flammability testing of materials used in construction, transport and mining**. Woodhead Publishing, 2006.

BARANYAI, K. J.; DEACON, G. B.; MACFARLANE, D. R.; PRINGLE, J. M.; SCOTT, J. L. **Thermal degradation of ionic liquids at elevated temperatures**. *Australian journal of chemistry*, v. 57, n. 2, p. 145-147, 2004.

BERGER, M. E. M.; ASSENBAUM, D.; TACCARDI, N.; SPIECKER, E.; WASSERSCHIED, P. **Simple and recyclable ionic liquid based system for the selective decomposition of formic acid to hydrogen and carbon dioxide**. *Green Chemistry*, v. 13, n. 6, p. 1411-1415, 2011.

BUBALO, M. C.; VIDOVIC, S.; REDOVNIKOV, I. R.; JOKIC, S. **Green solvents for green Technologies**. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, v. 48, n. 54, p. 311-318, 2015.

BURKE, R. **Hazardous materials chemistry for emergency responders**. CRC Press, 2013.

CEVASCO, G.; CHIAPPE, C. **Are ionic liquids a proper solution to current environmental**

**challenges.** Green Chemistry, v. 16, n. 12, p. 2375-2385, 2014.

CHANCELIER, L.; DIALLO, A. O.; SANTINI, C. C.; MARLAIR, G.; GUTEL, T.; MAILLEY, S.; LEN, C. **Targeting adequate thermal stability and fire safety in selecting ionic liquid-based electrolytes for energy storage.** Physical Chemistry Chemical Physics, v. 16, n. 5, p. 1967-1976, 2014.

CLAUDIO, A. F. M.; MARQUES, C. F. C.; BOAL-PALHEIROS, I.; FREIRE, M. G.; COUTINHO, J. A. P. **Development of back-extraction and recyclability routes for ionic-liquid-based aqueous two-phase systems.** Green Chemistry, v. 16, n. 7, p. 259-268, 2014.

DONG, K.; ZHANG, S.; WANG, J. **Understanding the hydrogen bonds in ionic liquids and their roles in properties and reactions.** Chemical Communications, v. 52, n. 41, p. 6744-6764, 2016.

EARLE, M. J.; ESPERANCA, J.; GILEA, M. A.; LOPES, J. N. C.; REBELO, L. P. N.; MAGEE, J. W.; SEDDON, K. R.; WIDEGREN, J. A. **The distillation and volatility of ionic liquids.** Nature, v. 439, n. 4, p. 831-834, 2006.

EL SEOUD, O. A.; KOSCHELLA, A.; FIDALE, L. C.; DORN, S.; HEINZE, T. **Applications of ionic liquids in carbohydrate chemistry: a window of opportunities.** Biomacromolecules, v. 8, n. 9, p. 2629-2647, 2007.

FOX, D. M.; GILMAN, J. W.; MORGAN, A. B.; SHIELDS, J. R.; MAUPIN, P. H.; LYON, R. E.; TRULOVE, P. C. **Flammability and thermal analysis characterization of imidazolium-based ionic liquids.** Industrial & Engineering Chemistry Research, v. 47, n. 16, p. 6327-6332, 2008.

FUKAYA, Y.; HIROYUKI OHNO, H. **Hydrophobic and polar ionic liquids.** Physicochemical Chemistry Chemical Physics, v. 15, n. 7, p. 4066-4072, 2013.

GATHERGOOD, N.; GARCIA, M. T.; SCAMMELLS, P. J. **Biodegradable ionic liquids: Part I. Concept, preliminary targets and evaluation.** Green Chemistry, v. 6, n. 19, p. 166-175, 2004.

GOOSSENS, K.; LAVA, K.; BIELAWSKI, C. W.; BINNEMANS, K. **Ionic liquid crystals: versatile materials.** Chemical reviews, v. 116, n. 8, p. 4643-4807, 2016.

HECKENBACH, M. E.; ROMERO, F. N.; GREEN, M. D.; HALDEN, R. U. **Meta-analysis of ionic liquid literature and toxicology.** Chemosphere, v. 150, n. 15, p. 266-274, 2016.

[http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show\\_document?p\\_id=9752&p\\_table=STANDARD](http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_id=9752&p_table=STANDARD); <http://www.nfpa.org/faq.asp?categoryID=920>.

[http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show\\_document?p\\_table=STANDARDS&p\\_id=10676](http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=10676)

IOLANIÁCOHEN, J. **Polycations. Part X. LIPs, a new category of room temperature ionic liquid based on polyammonium salts.** Chemical Communications, n. 24, p. 2413-2414, 2000.

KAMAVARAM, V.; REDDY, R. G. **Thermal stabilities of di-alkylimidazolium chloride ionic liquids.** International Journal of Thermal Sciences, v. 47, n. 6, p. 773-777, 2008.

KULKARNI, P. S.; BRANCO, L. C.; CRESPO, J. G.; NUNES, M. C.; RAYMUNDO, A.; AFONSO, C. A. **Comparison of physicochemical properties of new ionic liquids based on imidazolium, quaternary ammonium, and guanidinium cations.** Chemistry-A European Journal, v. 13, n. 30, p. 8478-8488, 2007.

LEN, C.; MORGAN, A. B.; MARLAIR, G. **Revisiting physico-chemical hazards of ionic liquids.** Separation and purification technology, v. 97, n. 15, p. 228-234, 2012.

- MARLAIR, G.; CWIKLINSKI, C.; TEWARSON, A. **An analysis of some practical methods for estimating heats of combustion in fire safety studies.** In: Interflam 99. 1999.
- MORGAN, A. B.; LEN, C.; MARLAIR, G. **An innovative experimental approach aiming to understand and quantify the actual fire hazards of ionic liquids.** Energy & Environmental Science, v. 6, n. 3, p. 699-710, 2013.
- PERISSI, I.; BARDI, U.; CAPORALI, S.; LAVACCHI, A. **High temperature corrosion properties of ionic liquids.** Corrosion Science, v. 48, n. 9, p. 2349-2362, 2006.
- PREDEL, T.; SCHLÜCKER, E. **Ionic liquids in oxygen compression.** Chemical engineering & technology, v. 32, n. 8, p. 1183-1188, 2009.
- PREDEL, T.; SCHLÜCKER, E.; WASSERSCHIED, P.; GERHARD, D.; ARLT, W. **Ionic liquids as operating fluids in high pressure applications.** Chemical Engineering & Technology, v. 30, n. 11, p. 1475-1480, 2007.
- RANKE, J.; MULLER, A.; BOTTIN-WEBER, U.; STOCK, F.; STOLTE, S.; ARNING, J.; STORMANN, R.; JASTORFF, B. **Lipophilicity parameters for ionic liquid cations and their correlation to in vitro cytotoxicity.** Ecotoxicology and Environmental Safety, v. 67, n. 11, p. 430-438, 2007.
- ROGERS, R. D.; SEDDON, K. R.; VOLKOV, S. **Green industrial applications of ionic liquids.** Springer Science & Business Media, v. 9, n. 4, p. 149-157, 2012.
- SCHALLER, U.; KEICHER, T.; WEISER, V.; KRAUSE, H.; SCHLECHTRIEM, S. **Synthesis, characterization and combustion of triazolium based salts.** In: Proceedings of the Insensitive Munitions and Energetic Materials Technology Symposium. 2010.
- SEDDON, K. R. **Ionic liquids for clean technology.** Journal of Chemical Technology and Biotechnology, v. 68, n. 4, p. 351-356, 1997.
- SHAMSHINA, J. L.; SMIGLAK, M.; DRAB, D. M.; PARKER, T. G.; DYKES JR, H. W. H., DI SALVO, R.; ROGERS, R. D. **Catalytic ignition of ionic liquids for propellant applications.** Chemical Communications, v. 46, n. 47, p. 8965-8967, 2010.
- SHELDON, R. A. **Green solvents for sustainable organic synthesis: state of the art.** Green Chemistry, v. 7, n. 5, p. 267-278, 2005.
- SMIGLAK, M.; REICHERT, M.; HOLBREY, J. D.; WILKES, J. S.; SUN, L.; THRASHER, J. S.; KIRICHENKO, K.; SINGH, S.; KATRITZKY, A. K.; ROGERS, R. D. **Combustible ionic liquids by design: is laboratory safety another ionic liquid myth.** Chemical Communications, n. 24, p. 2554-2556, 2006.
- TSENG, C. H.; CHANG, J. K.; CHEN, J. R.; TSAI, W. T.; DENG, M. J.; SUN, I. W. **Corrosion behaviors of materials in aluminum chloride-1-ethyl-3-methylimidazolium chloride ionic liquid.** Electrochemistry Communications, v. 12, n. 8, p. 1091-1094, 2010.
- WELTON, T. **Ionic liquids in green chemistry.** Green Chemistry, v. 13, n. 2, p. 225-225, 2011.
- ZHAO, D.; LIAO, Y.; ZHANG, Z. **Toxicity of ionic liquids.** Clean-soil, air, water, v. 35, n. 8, p. 42-48, 2007.

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-429-0

