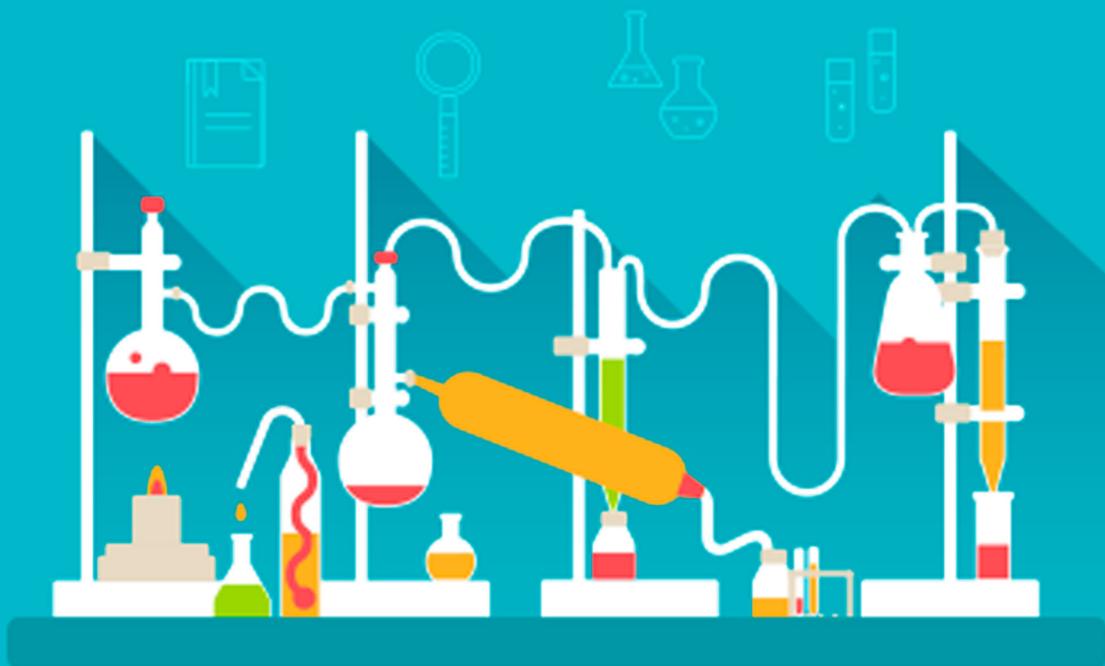


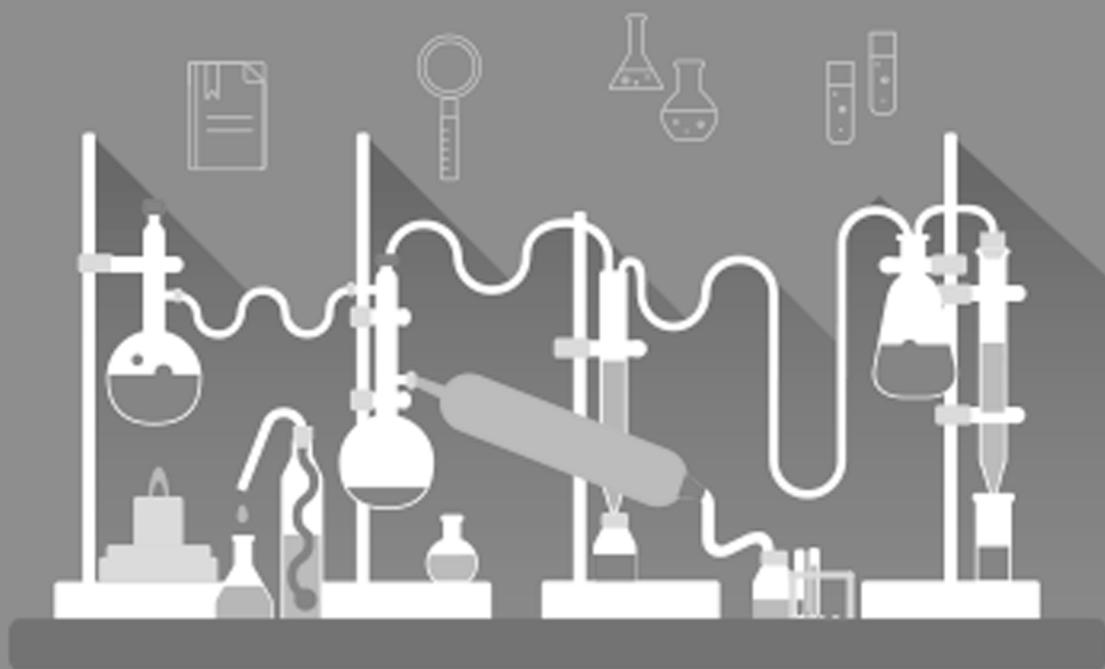
# A Química nas Áreas Natural, Tecnológica e Sustentável



Érica de Melo Azevedo  
(Organizadora)

**Atena**  
Editora  
Ano 2020

# A Química nas Áreas Natural, Tecnológica e Sustentável



Érica de Melo Azevedo  
(Organizadora)

**Atena**  
Editora  
Ano 2020

**Editora Chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Assistentes Editoriais**

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecário**

Maurício Amormino Júnior

**Projeto Gráfico e Diagramação**

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremona

Karine de Lima Wisniewski

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

**Imagens da Capa**

Shutterstock

**Edição de Arte**

Luiza Alves Batista

**Revisão**

Os Autores

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. 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.

A Atena Editora não se responsabiliza por eventuais mudanças ocorridas nos endereços convencionais ou eletrônicos citados nesta obra.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação.

**Conselho Editorial**

**Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília

Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo  
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá  
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima  
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas  
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

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

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

## **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves -Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira  
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco  
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá

Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Linguística, Letras e Artes**

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro  
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará  
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná  
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza  
Prof. Me. Adalto Moreira Braz – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí  
Prof. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional  
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Drª Andrezza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia  
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais  
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco  
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar  
Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo  
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas  
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília  
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa  
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás  
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia  
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases  
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina

Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil  
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita  
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí  
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora  
Prof. Dr. Fabiano Lemos Pereira – Prefeitura Municipal de Macaé  
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas  
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo  
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária  
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina  
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro  
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza  
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College  
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará  
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social  
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe  
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay  
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco  
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás  
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA  
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia  
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis  
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR  
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe  
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná  
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos  
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior  
Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo  
Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará  
Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco  
Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal

Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba  
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão  
Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana  
Profª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo  
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

## A química nas áreas natural, tecnológica e sustentável

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira  
**Bibliotecário** Maurício Amormino Júnior  
**Diagramação:** Camila Alves de Cremona  
**Edição de Arte:** Luiza Alves Batista  
**Revisão:** Os Autores  
**Organizadora:** Érica de Melo Azevedo

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

Q6 A química nas áreas natural, tecnológica e sustentável 1  
[recurso eletrônico] / Organizadora Érica de Melo  
Azevedo. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.

Formato: PDF  
Requisitos de sistemas: Adobe Acrobat Reader  
Modo de acesso: World Wide Web  
Inclui bibliografia  
ISBN 978-65-5706-385-9  
DOI 10.22533/at.ed.859201709

1. Química – Pesquisa – Brasil. 2. Tecnologia. 3.  
Sustentabilidade. I. Azevedo, Érica de Melo.

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

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil  
Telefone: +55 (42) 3323-5493  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

## APRESENTAÇÃO

A Coleção “A Química nas Áreas Natural, Tecnológica e Sustentável” apresenta artigos de pesquisa na área de química e que envolvem conceitos de sustentabilidade, tecnologia, ensino e ciências naturais. A obra contém 69 artigos, que estão distribuídos em 3 volumes. No volume 1 são apresentados 29 capítulos sobre aplicações e desenvolvimentos de materiais adsorventes sustentáveis e polímeros biodegradáveis; o volume 2 reúne 20 capítulos sobre o desenvolvimento de materiais alternativos para tratamento de água e efluentes e propostas didáticas para ensino das temáticas em questão. No volume 3 estão compilados 20 capítulos que incluem artigos sobre óleos essenciais, produtos naturais e diferentes tipos de combustíveis.

Os objetivos principais da presente coleção são apresentar aos leitores diferentes aspectos das aplicações e pesquisas de química e de suas áreas correlatas no desenvolvimento de tecnologias e materiais que promovam a sustentabilidade e o ensino de química de forma transversal e lúdica.

Os artigos constituintes da coleção podem ser utilizados para o desenvolvimento de projetos de pesquisa, para o ensino dos temas abordados e até mesmo para a atualização do estado da arte nas áreas de adsorventes, polímeros, análise e tratamento de água e efluentes, propostas didáticas para ensino de química, óleos essenciais, produtos naturais e combustíveis.

Após esta apresentação, convido os leitores a apreciarem e consultarem, sempre que necessário, a coleção “A Química nas áreas natural, tecnológica e Sustentável”. Desejo uma excelente leitura!

Érica de Melo Azevedo

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO EMPREGANDO BAGAÇO DE UVA (*VITIS LABRUSCA*) IN NATURA E MODIFICADO COMO ADSORVENTE**

Júlia Cristina Diel  
Isaac dos Santos Nunes  
Dinalva Schein  
Joseane Sarmento Lazarotto  
Vitória de Lima Brombilla  
Carolina Smaniotto Fronza

**DOI 10.22533/at.ed.8592017091**

### **CAPÍTULO 2..... 14**

#### **ADSORÇÃO DE CONTAMINANTE ORGÂNICO EM ÁGUA POR RESÍDUO AGROINDUSTRIAL TRATADO SIMULTANEAMENTE COM ÁCIDO E ULTRASSOM**

Matias Schadeck Netto  
Carlos Heitor Fernandez Cervo  
Jivago Schumacher de Oliveira  
Edson Luiz Foletto  
Evandro Stoffels Mallmann  
Osvaldo Chiavone-Filho  
Guilherme Luiz Dotto

**DOI 10.22533/at.ed.8592017092**

### **CAPÍTULO 3..... 24**

#### **ADSORÇÃO DE ÍONS CÁDMIO POR DERIVADOS CARBOXIMETILADOS E SULFATADOS DE QUITOSANA**

João Lucas Isidio de Oliveira Almeida  
Micaele Ferreira Lima  
Shirley Abel Barboza Coelho  
Emanuela Feitoza da Costa  
Flavia Oliveira Monteiro da Silva Abreu  
Carlos Emanuel de Carvalho Magalhães

**DOI 10.22533/at.ed.8592017093**

### **CAPÍTULO 4..... 32**

#### **AGGLOMERATED BOARDS EVALUATION WITH WASTE OF POLYURETHANE SKIN AND NON-HALOGENATED FLAME RETARDANTS**

Aguinaldo Oliveira Machado  
Jocelei Duarte  
Maria Fernanda de Oliveira  
Ana Maria Coulon Grisa  
Mara Zeni Andrade

**DOI 10.22533/at.ed.8592017094**

### **CAPÍTULO 5..... 43**

#### **POLIURETANOS BIODEGRADÁVEIS: UMA ABORDAGEM DOS ELEMENTOS**

## ENVOLVIDOS NO PROCESSO DE SÍNTESE

Amanda Furtado Luna  
Andressa Lima Delfino  
Glenda Kélvia Ferreira Bezerra  
Domingos Rodrigues da Silva Filho  
Fernando da Silva Reis  
José Milton Elias de Matos

**DOI 10.22533/at.ed.8592017095**

## **CAPÍTULO 6..... 56**

### **CARACTERIZAÇÃO DA *PHORMIUM TENAX* PARA USO COMO REFORÇO EM COMPOSITO DE POLIPROPILENO**

Fábio Furtado  
Thais Helena Sydenstricker Flores-Sahagun  
Talita Szlapak Franco  
Harrison Lourenço Corrêa

**DOI 10.22533/at.ed.8592017096**

## **CAPÍTULO 7..... 67**

### **CARACTERIZAÇÃO DO HIDROGEL À BASE DE POLIACRILATO DE AMÔNIO E A SUA UTILIZAÇÃO NA ADUBAÇÃO POTÁSSICA DO TOMATEIRO**

Ivonete Oliveira Barcellos  
Raíssa dos Santos Conceição  
Ana Lúcia Bertarello Zeni

**DOI 10.22533/at.ed.8592017097**

## **CAPÍTULO 8..... 80**

### **PREPARAÇÃO E MEDIÇÃO DE PROPRIEDADES TÉRMICAS DO COMPOSITO EPÓXI - PZT**

Victor Ciro Solano Reynoso  
Edinilton Moraes Cavalcante

**DOI 10.22533/at.ed.8592017098**

## **CAPÍTULO 9..... 91**

### **CULTIVO DE *Aspergillus niger* EM ESTADO SÓLIDO EM BIORREATOR DE LEITO EMPACOTADO SEGUIDO DE EXTRAÇÃO DE ENZIMAS POR PERCOLAÇÃO**

Fernanda Perpétua Casciatori  
Natalia Alvarez Rodrigues  
Samuel Pratavieira de Oliveira  
Eric Takashi Katayama

**DOI 10.22533/at.ed.8592017099**

## **CAPÍTULO 10..... 104**

### **EFEITO DA TEMPERATURA NA ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO USANDO BAGAÇO DE MALTE *IN NATURA***

Renata Cândido Araújo de Lima  
Kevyn Zapelão  
Andréia Anschau

**DOI 10.22533/at.ed.85920170910**

**CAPÍTULO 11.....113**

**EFEITO DAS CONDIÇÕES DE REPROCESSAMENTO NA DEGRADAÇÃO DO POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE**

Lisete Cristine Scienza  
Amanda Vecila Cheffer de Araújo  
Hariel Marçal Kops Hubert  
Vinícius Martins  
Luis Henrique Alves Cândido  
Ademir José Zattera

**DOI 10.22533/at.ed.85920170911**

**CAPÍTULO 12..... 124**

**ENCAPSULAMENTO DE ZEÓLITA FERTILIZANTE UTILIZANDO BIOPOLÍMERO**

Suzana Frighetto Ferrarini  
Beatriz Bonetti  
Marta Eliza Hammerschmitt  
Camila Fensterseifer Galli  
Marçal José Rodrigues Pires

**DOI 10.22533/at.ed.85920170912**

**CAPÍTULO 13..... 135**

**ENVELHECIMENTO NATURAL: COMPARAÇÃO DE TECIDOS DE POLIETILENO DE ULTRA ALTA MASSA MOLAR APLICADOS EM PROTEÇÃO BALÍSTICA**

Vitor Hugo Cordeiro Konarzewski  
Ruth Marlene Campomanes Santana  
Edson Luiz Fancisquetti

**DOI 10.22533/at.ed.85920170913**

**CAPÍTULO 14..... 149**

**ESTUDO DA PRODUÇÃO DE PISOS DE BORRACHA SBR, E DE SILICONE, UTILIZANDO A BORRACHA DE SILICONE RECICLADA COMO CARGA**

Miriam Lucia Chiquetto Machado  
Blenda de Assunção Cardoso Gaspar  
Nilson Casimiro Pereira  
Max Filipe Silva Gonçalves  
Cícera Soares Pereira

**DOI 10.22533/at.ed.85920170914**

**CAPÍTULO 15..... 162**

**SUORTE HÍBRIDO CONTENDO Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> E QUITOSANA PARA IMOBILIZAÇÃO DA PAPAÍNA**

Aurileide Maria Bispo Frazão Soares  
Lizia Maria Oliveira Gonçalves  
Samuel de Macêdo Rocha  
Wallonilson Veras Rodrigues  
Anderson Fernando Magalhães dos Santos

Anderson Nogueira Mendes  
Welter Cantanhêde da Silva  
**DOI 10.22533/at.ed.85920170915**

**CAPÍTULO 16..... 177**

**INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DE PÓS-CURA NO COMPORTAMENTO MECÂNICO DO COMPOSITO POLIMÉRICO NANOESTRUTURADO REFORÇADO COM ÓXIDO DE GRAFENO**

Marivaldo Batista dos Santos Junior  
Erica Cristina Almeida  
Alan Santos Oliveira  
Vaneide Gomes

**DOI 10.22533/at.ed.85920170916**

**CAPÍTULO 17..... 184**

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE ADSORÇÃO DO CORANTE AZUL DE METILENO UTILIZANDO FIBRA DO MESOCARPO DO COCO *IN NATURA* E PRÉ-TRATADA COM PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO ALCALINO**

Isabela Nogueira Marques Ribeiro  
Geovanna Miranda Teixeira  
Emanuel Souza e Souza  
Êmile dos Santos Araujo  
Luciene Santos de Carvalho  
Luiz Antônio Magalhães Pontes  
Leila Maria Aguilera Campos

**DOI 10.22533/at.ed.85920170917**

**CAPÍTULO 18..... 197**

**MÉTODOS DE SÍNTESE E A CLASSIFICAÇÃO DOS POLIANIDRIDOS BIODEGRADÁVEIS**

Jairo dos Santos Trindade  
Vanessa Karen Ferreira dos Santos Guimarães  
José Milton Elias de Matos

**DOI 10.22533/at.ed.85920170918**

**CAPÍTULO 19..... 209**

**O USO DA BORRACHA DE PNEUS EM LIGANTES ASFÁLTICOS**

Matheus Borges Lopes

**DOI 10.22533/at.ed.85920170919**

**CAPÍTULO 20..... 212**

**OBTENÇÃO DE CARVÃO ATIVADO DE CASCA DE SOJA E APLICAÇÕES EM PROCESSOS DE ADSORÇÃO**

Roberta Sorhaia Samayara Sousa Rocha de França  
Letícia Pinto  
Andréia Anschau

**DOI 10.22533/at.ed.85920170920**

<b>CAPÍTULO 21</b> .....	<b>224</b>
PARTÍCULAS DE P(BA-CO-MMA)/PMMA CONTENDO ÁCIDO ITACÔNICO OBTIDAS ATRAVÉS DA COPOLIMERIZAÇÃO EM EMULSÃO	
Leonardo Zborowski Daniela Beirão Porto Jesus Roberto Taparelli Lucia Helena Innocentini Mei Diego de Holanda Saboya Souza	
<b>DOI 10.22533/at.ed.85920170921</b>	
<b>CAPÍTULO 22</b> .....	<b>236</b>
PECTINA: UM SUBPRODUTO VALIOSO DA INDÚSTRIA CITRÍCOLA	
Camila Souza da Mata Losque Patrícia Reis Pinto	
<b>DOI 10.22533/at.ed.85920170922</b>	
<b>CAPÍTULO 23</b> .....	<b>247</b>
PROJETO DE CERTIFICAÇÃO PARA PLÁSTICOS RECICLADOS NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA: DE REFUGO A RECURSO	
Ormene Carvalho Coutinho Dorneles Daniel Coutinho Dorneles	
<b>DOI 10.22533/at.ed.85920170923</b>	
<b>CAPÍTULO 24</b> .....	<b>258</b>
PROPRIEDADES DE COMPÓSITOS FABRICADOS COM RESÍDUO INDUSTRIAL, PROJETO E PROSPECÇÃO DE CUSTO DE PRODUÇÃO DE MOBILIÁRIO URBANO COM CONCEITO DE ECONOMIA CIRCULAR	
Fernanda Pereira de Castro Negreiros Paula Bertolino Sanvezzo Marcia Cristina Branciforti	
<b>DOI 10.22533/at.ed.85920170924</b>	
<b>CAPÍTULO 25</b> .....	<b>277</b>
PROPRIEDADES DE ESPUMAS DE POLI(URETANO-CO-ISOCIANURATO) BASEADAS EM DIFERENTES DIÓIS	
Thiago do Carmo Rufino José Giaretta	
<b>DOI 10.22533/at.ed.85920170925</b>	
<b>CAPÍTULO 26</b> .....	<b>292</b>
SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE SÍLICA MESOPOROSA E SEU POTENCIAL USO COMO ADSORVENTE NA DESCONTAMINAÇÃO DE EFLUENTES	
Cezar Augusto Moreira Matheus Devanir Custódio Jéssica de Lara Andrade Angélica Gonçalves Oliveira Edgardo Alfonso Gómez Pineda Ana Adelina Winkler Hechenleitner	

Daniela Martins Fernandes de Oliveira

**DOI 10.22533/at.ed.85920170926**

**CAPÍTULO 27..... 307**

**USO DOS POLÍMEROS NA LIBERAÇÃO CONTROLADA DE MEDICAMENTOS  
PARA O TRATAMENTO DO CÂNCER**

Ingrid Ribeiro

Wanyr Romero Ferreira

Aline Pereira Leite Nunes

**DOI 10.22533/at.ed.85920170927**

**CAPÍTULO 28..... 315**

**INFLUÊNCIA DO HÍBRIDO NANOARGILA COM ÓLEOS ESSENCIAIS NA BLEND  
DE PEBD/ATP**

Marília Cheis Farina

Rafaela Reis Ferreira

Anderson Maia

Rondes Ferreira da Silva Torin

**DOI 10.22533/at.ed.85920170928**

**CAPÍTULO 29..... 322**

**EFEITO DA HOMOGENEIZAÇÃO À ALTA PRESSÃO NA ESTABILIZAÇÃO DE  
EMULSÕES OBTIDAS POR SISTEMAS DE BIOPOLÍMEROS WPC:ALG**

Kívia Mislaine Albano

Vania Regina Nicoletti

**DOI 10.22533/at.ed.85920170929**

**SOBRE A ORGANIZADORA..... 333**

**ÍNDICE REMISSIVO..... 334**

## PROPRIEDADES DE ESPUMAS DE POLI(URETANO-CO-ISOCIANURATO) BASEADAS EM DIFERENTES DIÓIS

Data de aceite: 01/09/2020

### Thiago do Carmo Rufino

Department of Polyurethanes, The Dow  
Chemical Company  
<http://lattes.cnpq.br/5183993967979762>

### José Giaretta

Department of Polyurethanes, The Dow  
Chemical Company  
<http://lattes.cnpq.br/6213127262502333>

**RESUMO:** Sabe-se que as espumas rígidas de poli(uretano-co-isocianurato) (PUIR) fornecem isolamento térmico superior, desempenho mecânico e maior produtividade para o mercado de construção, principalmente em painéis sanduíche. A maioria deles é baseada em poliéter polióis tradicionais, como o poli(etilenoglicol) (PEG) e o poli(propilenoglicol) (PPG), amplamente discutidos na literatura. No entanto, os dióis de policarbonato geralmente não são aplicados em formulações de espuma PUIR e, portanto, há uma falta de informações a esse respeito. Assim, este estudo avaliou as propriedades de espumas PUIR baseadas em diferentes dióis oligoméricos (PEG, PPG e dois graus de policarbonato: PC1, PC2). No geral, a conversão do PUIR foi afetada pela disponibilidade de hidroxilas terminais dos oligômeros em vez da natureza de sua estrutura central. Observou-se o mesmo comportamento cinético, mecânico e térmico para o par formulações baseadas em PEG e PC1, enquanto aquelas baseadas em PPG e PC2 foram semelhantes entre si. Todas

as formulações atingiram o nível R1 (ABNT NBR 7358:2015) para ação retardante ao fogo, sendo adequadas para aplicação em construção civil.

**PALAVRAS-CHAVE:** Poliisocianurato, poliuretano, poliéter, poliéster, policarbonato.

### POLY(URETHANE-CO-ISOCYANURATE) FOAM PROPERTIES BASED ON DIFFERENT DIOLS

**ABSTRACT:** Poly(urethane-co-isocyanurate) rigid (PUIR) foams are known to provide superior thermal insulation, mechanical performance, and higher productivity to the construction market, mainly in sandwich panels. Most of these are based on traditional polyether polyols, such as poly(ethylene glycol) (PEG) and poly(propylene glycol) (PPG), which are widely reported in the literature. Moreover, polycarbonate diols are not usually applied on PUIR foam formulations and, thereupon, there is a lack of information with this regard. Thus, this study assessed the PUIR foam properties based on different oligomeric diols (PEG, PPG, and two polycarbonate grades: PC1, PC2). Overall, the PUIR conversion was affected by the availability of oligomers hydroxyl ends rather than by their backbone nature. There was a trend of PEG and PC1 to present the same kinetic, mechanical, and thermal behavior, whereas the pair PPG and PC2 presented similar performance. All formulations met R1 level (ABNT NBR 7358:2015) for fire retardant action, being suitable for civil construction application.

**KEYWORDS:** Polyisocyanurate, polyurethane, polyether, polyester, polycarbonate.

## INTRODUÇÃO

Os poliuretanos (PU) representam uma importante classe de materiais poliméricos cujos meros e/ou segmentos são unidos por grupos carbamida (ou uretano), oriundos da poliadição entre hidroxilas (OH) e isocianatos (NCO) (Lou M. Alberino 2000). Devido à natureza destas reações, que podem ocorrer a temperaturas relativamente baixas (p. ex. 20-70 °C), e aos numerosos métodos de mistura e aplicação (p. ex. alta e baixa pressão, misturadores estáticos, injeção, moldagem, pulverização), os PU são empregados em diversos segmentos de mercado, tais como automotivo, aeronáutico, moveleiro, transportes, eletrônicos, eletrodomésticos, revestimentos, aglomerantes, calçados, elastômeros em geral, infra-estrutura e construção civil (Lou M. Alberino 2000, Markit 2019, Markit 2020). Este último segmento tem elevado as exigências em relação às espumas rígidas de poliuretanos (PUR) e de poliisocianurato (PIR), dadas as novas normas que entraram em vigor no Brasil (França 2018, Bombeiros 2019) referentes à resistência de materiais orgânicos a incêndios. Por isso, os novos desenvolvimentos em PUR e PIR devem levar a chamada “reação ao fogo” em consideração.

Espumas baseadas em PUR apresentam adesão eficiente a diversos substratos e são, geralmente, convertidas em torno de 40 °C, porém demandam maiores proporções de aditivos retardantes à chama para atenderem aos requisitos de mercado. Por outro lado, as espumas baseadas em PIR são reconhecidas por sua resistência superior quando submetida à queima, o que resulta da maior estabilidade térmica do trímero de NCO, o isocianurato (Nawata, Kresta et al. 1975, Reymore, Carleton et al. 1975, Taguchi, Shibuya et al. 1990). No entanto, a rigidez dessa estrutura hétérocíclica prejudica a adesão e demanda maiores temperaturas de processo para viabilizar sua conversão (~70 °C). Com isso, uma estratégia para combinar essas qualidades em um único produto é a mistura de ambos na forma de copolímeros, como um poli(uretano-co-isocianurato) (PUIR), que são amplamente utilizados na produção de painéis sanduíches (p. ex. paredes, telhas, portas), refrigeradores comerciais e domésticos, dutos, tubulações, entre outros (Flores, Fernández-Francos et al. 2012, Park, Park et al. 2013). Além da temperatura, a síntese do PUIR também pode ser controlada pela estequiometria dos reagentes/oligômeros e pelos tipos de catalisadores empregados. Como a taxa de reação do NCO reagindo com OH é maior (Lovering e Laidler 1962) que o NCO reagindo consigo mesmo (Buckles e McGrew 1966), catalisadores específicos são usados para viabilizar a conversão de isocianurato, bem como um excesso estequiométrico de grupos NCO em relação aos grupos OH, conhecido como «índice de isocianato» ou apenas “índice” no jargão da área. Geralmente, o índice varia de 2,0 a 6,0 ao produzir um PUIR (Ionescu 2005) e vários tipos de catalisadores podem ser usados,

como aminas, alcóxidos, óxidos, carboxilatos, hidretos, bases de nitrogênio, fósforo, arsênico e antimônio, ácidos e compostos organometálicos (Nawata, Kresta et al. 1975, Kresta, Shen et al. 1977, Kresta, Shen et al. 1979).

Embora a catálise e a estequiometria sejam fatores importantes na produção de espumas baseadas em PUIR, estes parâmetros referem-se apenas às terminações das cadeias dos oligômeros, onde ocorrem as reações entre hidroxila e isocianato. Outro ponto a se considerar durante o planejamento de uma formulação é a natureza química da estrutura central dessas macromoléculas. Com esse respeito, as possibilidades incluem cadeias lineares, cíclicas, saturadas, insaturadas, aromáticas, diversos grupos orgânicos (p. ex. éster, éter, carbonato, ureia, carbamida, acrílico, vinílico) (Lou M. Alberino 2000, Abdel-Wakil, Kamoun et al. 2019, Malewska e Prociak 2020) e podem ser mono-, bi- ou polifuncionais – referindo-se ao número médio de sítios reativos por macromolécula. No caso dos bifuncionais, os dióis poliéteres, como o poli(etilenoglicol) (PEG) e o poli(propilenoglicol) (PPG), são amplamente empregados em espumas rígidas de PU. Já os dióis derivados de policarbonatos (PC) são mais empregados em formulações de elastômeros de PU (UBE 2020), havendo poucos relatos sobre espumas rígidas baseadas em PUIR a partir destes oligômeros. O interesse em adicionar PC às formulações de PU reside no potencial ganho de propriedades da espuma, como maior resistência à hidrólise, à oxidação, à decomposição e maiores resistências mecânica e térmica, em comparação aos poliéteres (Cheng-Po KUO 2019).

Na indústria de PU, chama-se de sistema bicomponente o par “poliol formulado” e “isocianato”. O primeiro trata de uma formulação composta por vários tipos de polióis oligoméricos, surfactantes, aditivos, agentes de expansão e catalisadores, como o exemplificado na Tabela 1. Já o termo “isocianato”, no jargão do presente contexto, pode se referir a um poliisocianato, misturas de diisocianatos e prepolímeros funcionalizados com isocianatos. Dentre as variedades disponíveis no mercado, o mais utilizado no segmento de espumas rígidas é o diisocianato de metileno de fenila polimérico (PMDI) (Ionescu 2005), devido à sua baixa pressão de vapor ( $\leq 1,3 \times 10^{-8}$  bar), baixa viscosidade ( $\sim 185$  cPs, 25 °C) e menor tendência à dimerização e cristalização (MatWeb 2020).

Item	Teor (%)
Oligômero poliol 1	
Oligômero poliol 2	
Oligômero poliol 3	50 – 96,5
Oligômero poliol 4	

Surfactante 1	
Surfactante 2	1 - 4
Aditivo 1	
Aditivo 2	1 - 15
Catalisador 1	
Catalisador 2	0,5 - 6
Catalisador 3	
Agente de Expansão 1	
Agente de Expansão 2	1 - 25

Tabela 1. Composição típica de um polioli formulado usado em espumas rígidas de PU.

Portanto, pode-se afirmar que espumas baseadas em PUIR são materiais complexos. Então, uma estratégia para reduzir a complexidade dos estudos nesse cenário é a execução de experimentos univariados que, apesar de sua simplicidade, podem revelar as tendências de um determinado sistema. Desta maneira, o presente trabalho avaliou diferentes polióis formulados trocando-se apenas um componente da formulação por vez, a fim de elucidar o efeito da estrutura dos oligômeros sobre as propriedades químicas, mecânicas e térmicas das espumas resultantes, que apresentam potencial para aplicação em diversos ramos da indústria de construção civil.

## EXPERIMENTAL

Foram utilizados o PMDI ( $M_n = 340$  g/mol, teor de NCO = 31,6%), o poli(etilenoglicol) (PEG,  $M_n = 400$  g/mol, número de hidroxila (#OH) = 260 mgKOH/g), e o poli(propilenoglicol) (PPG,  $M_n = 432$  g/mol) da empresa Dow Brasil Indústria e Comércio de Produtos Químicos Ltda.. Já os oligômeros dióis de policarbonato e poli(éster-*b*-carbonato) – chamado daqui em diante por ‘policarbonato’ – a foram gentilmente doados pela empresa UBE *Industries Ltd.*, e foram codificados como PC1 ( $M_n = 500$  g/mol, #OH = 224 mgKOH/g) e PC2 ( $M_n = 1000$  g/mol, #OH = 110 mgKOH/g). A Figura 1 apresenta estruturas químicas possíveis para os referidos materiais. Os demais componentes da formulação representam segredo industrial da Dow Brasil e, portanto, não foram divulgados. No entanto, esta fração foi mantida a mesma em todos os ensaios realizados, o que constituiu uma “Formulação base” para a produção de todos os polióis formulados, destacados em azul na Tabela 2, e (posteriormente) empregados na produção das espumas relatadas neste trabalho. Por fim, todos os produtos foram utilizados tal qual recebidos, sem tratamento prévio.

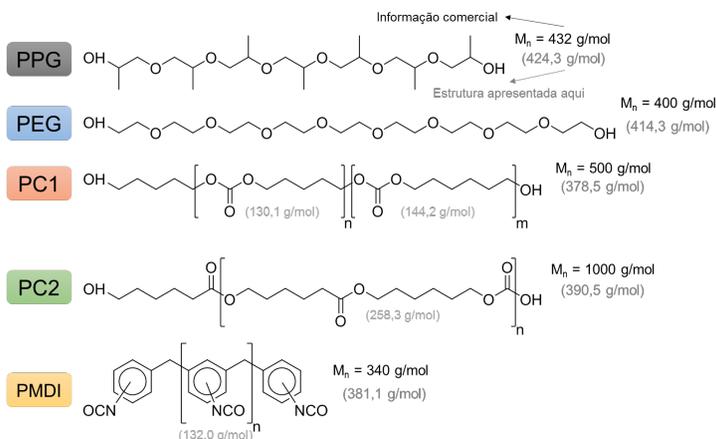


Figura 1. Estruturas possíveis para os materiais avaliados. Apesar de polímeros não serem quimicamente definidos, a massa molar exata de cada estrutura está indicada (em cinza) apenas como referência ao leitor.

Item	PU-PPG	PU-PEG	PU-PC1	PU-PC2
Formulação base (p)	91	91	91	91
PPG (p)	9	--	--	--
PEG (p)	--	9	--	--
PC1 (p)	--	--	9	--
PC2 (p)	--	--	--	9
PMDI (p)	200	200	200	200
Total de PU (p)	300	300	300	300

Tabela 2. Composição das espumas produzidas expressa em proporção mássica (p). Em azul, a composição referente ao polioli formulado. Em vermelho, o isocianato.

Os componentes em destaque azul na Tabela 2 foram previamente misturados, em um recipiente com capacidade para 1 L, para compôr o polioli formulado. Então, adicionou-se o PMDI sobre o polioli (ambos a 20 °C) e, após a adição completa, iniciou-se a agitação mecânica a 3000 RPM por 5 segundos, com o auxílio de um impulsor mecânico de aço inox do tipo turbina, com 3 pás e anel guia. Em seguida, o material foi vertido em um molde (25 x 25 x 10 cm<sup>3</sup>) para moldagem a 65 °C por 10 minutos. A densidade moldada foi mantida fixa em 38 kg/m<sup>3</sup> para permitir a comparação do desempenho mecânico das diferentes formulações. Dois blocos de espuma rígida foram produzido para cada condição da Tabela 2. As espumas foram avaliadas após uma semana por diversas técnicas.

Referente à caracterização química das formulações, espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) no modo reflectância total

atenuada (ATR) foi empregada na faixa de 4000 a 600  $\text{cm}^{-1}$ , com resolução de 4  $\text{cm}^{-1}$  e 32 acumulações. Além disso, foi avaliado o perfil de crescimento das espumas no equipamento FOAMAT®, modelo 285 da Format Messtechnik GmbH. Este equipamento contou com um sonar para monitorar a altura da espuma durante sua expansão (Hofmann 2005). O processo de formação da espuma foi o mesmo descrito acima, porém, após a mistura, o recipiente contendo os reagentes foi movido sob a área de trabalho do sonar para as medições de altura em função do tempo. Em seguida, o perfil de crescimento da espuma foi normalizado pela altura máxima e o resultado foi expresso em porcentagem. A partir desta curva, o tempo de creme foi determinado quando a espuma iniciou a subida, enquanto o tempo de gel foi tomado no tempo correspondente a 80% da altura da espuma.

Para avaliar o desempenho mecânico das espumas, ensaios de resistência à compressão (ASTM D1621) e resistência à flexão (DIN EN ISO 178) foram realizados num equipamento universal de testes físicos Instron, modelo. Para resistência à compressão, as dimensões das três amostras de espuma foram 10 x 10 x 5  $\text{cm}^3$  e velocidade de ensaio de 5 mm/min; para resistência à flexão, três amostras de 20 x 5 x 1,6  $\text{cm}^3$  foram analisadas à velocidade de 10 mm/min. Os resultados foram expressos como curvas e valores médios.

Por fim, a caracterização térmica ocorreu via análise termogravimétrica (TGA, meio inerte e oxidativo) e testes de inflamabilidade (ABNT NBR 7358). As análises por TGA foram tomadas do núcleo das espumas PUIR, cerca de 7 mg de amostra em pó, e submetidas a um programa de aquecimento de 30 a 800  $^{\circ}\text{C}$ , à taxa de 10  $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ , meio tanto inerte ( $\text{N}_2$ ) quanto oxidante (ar sintético com  $\text{O}_2$ ). Para avaliação da inflamabilidade, as dimensões das três amostras de espuma foram de 15 x 5,0 x 1,3  $\text{cm}^3$  e submetidas à queima horizontal, mantendo-se o contato direto com a chama por 1 minuto em uma de suas extremidades longitudinais. O julgamento do desempenho é baseado na extensão da área queimada após a extinção da chama, de acordo com os graus R1 (<4,0 cm queimado), R2 (<8,0 cm queimado), R3 (<12,5 cm queimado) e “não retardante” (mais de 12,5 cm queimado).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 mostra os espectros de FTIR para amostras de espuma produzidas conforme as formulações da Tabela 2. No geral, o perfil dos espectros foram similares, dada a similaridade das formulações entre si – o que já era esperado. Foram observadas as bandas características de PUIR, como a do estiramento C=C aromático centrada em 1511  $\text{cm}^{-1}$ , absorções do tipo amida II e amida III em 1535 e 1228  $\text{cm}^{-1}$  (respectivamente), isocianurato em 1414  $\text{cm}^{-1}$  (destaque em laranja, Figura 2), carbonila de uretano em 1711  $\text{cm}^{-1}$  (destaque em cinza, Figura 2), estiramento de

carbodiimida em torno de  $2126\text{ cm}^{-1}$  e estiramento de isocianato residual a  $2277\text{ cm}^{-1}$  (Wang, Feve et al. 1994, Wang, Feve et al. 1994, Zhang, Ren et al. 2007, Barman, Parasar et al. 2016). A diferença mais evidente entre os espectros foi observada em torno de  $1270\text{ cm}^{-1}$  (destaque em amarelo, Figura 2) referente à absorção da ligação C-O, presente em grupos éteres e carbonatos (Silverstein, Webster et al. 2005, Romero, Grigsby et al. 2016, Rufino, Breitreitz et al. 2017). É notória a semelhança do perfil de absorção, na região em destaque amarelo, entre os poliéteres (PPG, PEG) e os policarbonatos (PC1, PC2), cada qual com um perfil correspondente ao seu grupo orgânico.

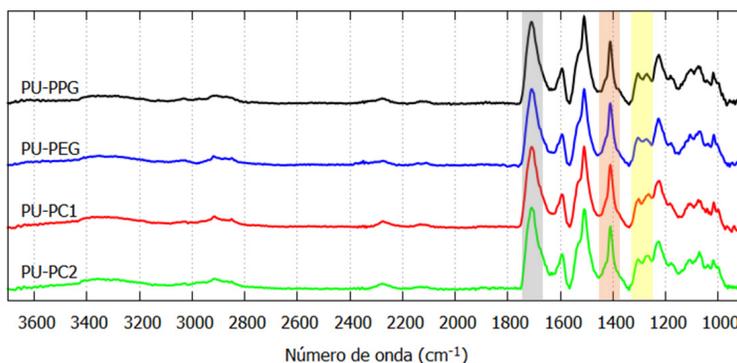


Figura 2. Espectros de infravermelho do núcleo das espumas PUIR. Condições: modo de refletância total atenuada (ATR), de  $4000$  a  $600\text{ cm}^{-1}$ , resolução de  $4\text{ cm}^{-1}$  e 32 digitalizações com correção da linha de base. Destaques em cinza para absorção de uretanos, em laranja para isocianuratos e em amarelo para a diferença entre matrizes baseadas em poliéter e policarbonato.

A Figura 3 mostra o perfil de crescimento (altura X tempo) observado durante o processo de formação das espumas. Nesta análise, leva-se em conta que a expansão (ou altura) da espuma é consequência de relaxações e reações químicas que ocorrem durante a conversão da mistura líquida “poliol/isocianato” em um sólido PUIR expandido (Rufino e Giaretta 2019). Por exemplo, a derivada das curvas da Figura 3 representa a velocidade de expansão e, portanto, quanto maior a inclinação, maior é a velocidade de reação; já os pontos de inflexão podem ser relacionados a mudanças no regime de conversão, como o balanço entre as reações “poliol + isocianato” a poliuretanos (PUR) e “isocianato + isocianato” a poliisocianuratos (PIR) (Xu, Wu et al. 2017). De modo geral, nota-se que as curvas da Figura 3 apresentaram um início de crescimento similar (até  $\sim 25\%$  da altura) para todas as formulações. Isto se deve a primeira reação de expansão que ocorre, predominantemente, entre a água presente no poliol formulado e o isocianato,

que apresentaram as mesmas concentrações em todas as formulações. Também, todas as curvas apresentaram dois regimes de subida. O primeiro (abaixo de 83%, Figura 3) deve-se principalmente à conversão de PUR, uma vez que a taxa de reação “NCO + OH” é maior do que “NCO + NCO”. Já o segundo (acima de 83%), deve-se à conversão predominante de PIR porque, com o consumo prévio dos grupos OH, a probabilidade de ocorrer a trimerização do NCO aumenta dada a menor concorrência por este grupo reativo. A principal diferença entre as curvas ficou evidente a 90% de altura da espuma, quando as curvas estão agrupadas em pares separados entre si por 20 s, ilustrado na Figura 3. Conforme o esperado, as espumas mais ricas em hidroxilas primárias (curvas azul, PU-PEG, e vermelha, PU-PC1) reagiram mais rapidamente que a mais rica em hidroxilas secundárias (curva preta, PU-PPG) (Ionescu 2005). Além disso, a formulação PU-PC2 apresentou perfil de crescimento semelhante à do PU-PPG, o que pode ser consequência da combinação de dois efeitos. Primeiro, um efeito de diluição das pontas de cadeia devido à maior massa molar do PC2 (~1000 g/mol) em relação ao PPG (~432 g/mol), o que proporciona menor concentração de hidroxilas reativas. Segundo, o PC2 é um oligômero heterotelequérico (Tasdelen, Kahveci et al. 2011) que apresenta terminação em ácido carboxílico em uma de suas extremidades que, por sua vez, apresenta 40% da reatividade relativa quando comparado à hidroxila primária em reação não catalisada, a 25 °C, com NCO (Herrington, Hock et al. 1997). Assim, o principal fator de influência na cinética de polimerização foi a natureza dos grupos OH, que não foi afetada pela estrutura central dos oligômeros, conforme o esperado e já demonstrado por P.J. Flory (Flory 1953).

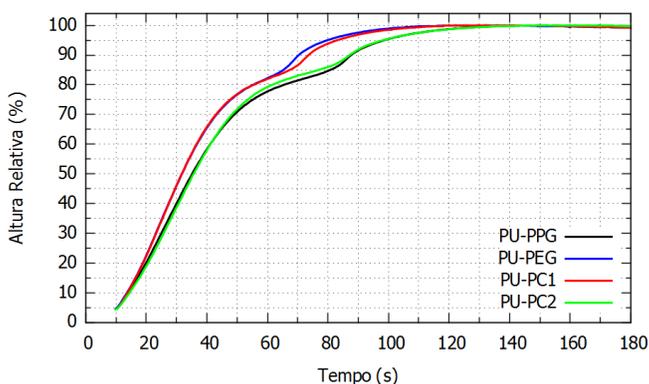


Figura 3. Perfil de crescimento obtido para formulações compostas por PU-PPG, PU-PEG, PU-PC1 e PU-PC2.

As Figuras 4.a e 4.b apresentam as curvas tensão X deformação para experimentos de resistência à compressão e à flexão, respectivamente. Em relação à resistência à compressão (Figura 4.a), a região linear de 1% a 4% de deformação é semelhante para todas as curvas, o que sugere que a troca de diol na proporção de até 9% não afetou o módulo elástico. Por outro lado, a inflexão ocorreu em diferentes níveis de deformação, implicando que o comportamento plástico sofreu alterações (p. ex. ponto de escoamento alterado) (Rufino e Giaretta 2019). Novamente, observou-se um comportamento semelhante entre os pares PU-PPG/PU-PC2 (curvas em preto e verde, Figura 4.a) e PU-PEG/PU-PC1 (curvas azul e vermelha, Figura 4.a). Dada a discutida diferença no perfil de crescimento (Figura 2), o grau de conversão/reticulação alcançado em cada formulação pode ter sido afetado proporcionalmente, sendo esta uma possível explicação para o comportamento mecânico similar entre os pares mencionados. Corroborando esta hipótese, a Figura 4.b mostra as curvas de tensão sob flexão que, apesar de se tratar de outra forma de sollicitação mecânica, ainda manteve a semelhança dos perfis para os pares mencionados (PU-PPG/PU-PC2 e PU-PEG/PU-PC1). R.B Trinca e M.I. Felisberti (Trinca e Felisberti 2015, Trinca e Felisberti 2015) estudaram poliuretanos segmentados baseados em poli(carbonato de trimetileno) (PTMC), poli(L-lactídeo) (PLLA) e PEG em diversas composições destes componentes de acordo com um planejamento experimental do tipo simplex centróide. Eles relataram o aumento da flexibilidade do PU resultante com o aumento da fração de PTMC na formulação. Assim, uma flexibilidade superior era esperada ao se incorporar PC1 e PC2 nas espumas de PUIR descritas aqui. No entanto, apenas a formulação PU-PC2 apresentou maior flexibilidade do que as demais, o que pode ser devido à combinação de fatores como, o citado menor grau de reticulação, maior massa molar entre nós oriunda do PC2 e flexibilidade intrínseca de carbonatos e ésteres.

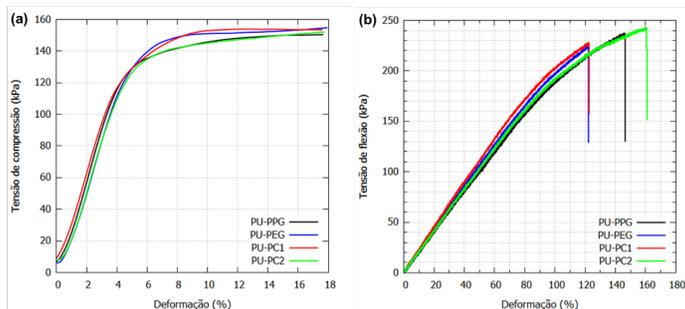


Figura 4. Curvas médias de tensão X deformação obtidas das formulações PU-PPG, PU-PEG, PU-PC1 e PU-PC2. (a) Resistência à compressão e (b) resistência à flexão. Adaptado de (Rufino e Giaretta 2019).

A Figura 5 mostra as curvas termogravimétricas, em meio oxidante (tracejado) e inerte (sólido), para todas as espumas produzidas conforme a Tabela 2. No geral, o primeiro evento de perda de massa foi observado entre 140 e 340 °C para todas as formulações e condições atmosféricas de teste. Este fato sugere que o mecanismo de degradação é o mesmo para os meios inerte e oxidativo e independe da estrutura dos dióis empregados – que representaram 3% da massa das espumas. Nesta faixa de temperatura, ocorre a degradação da carbamida (uretano) via dissociação e despolimerização (Chattopadhyay e Webster 2009), sendo este último o mais relevante tendo em vista a presença de catalisadores remanescentes da polimerização e formação da espuma, que também atuam no sentido reverso da reação (Herrington, Hock et al. 1997); ocorre também a clivagem dos éteres presentes na matriz polimérica ( $T > 250$  °C). Ambos processos resultam em diversas espécies voláteis, como aminas primárias e secundárias, gás carbônico, glicóis e alcóois, que podem levar à formação de outros produtos durante a análise (Chattopadhyay e Webster 2009). A partir de 340 °C há uma nítida separação entre as curvas obtidas em meio oxidativo daquelas obtidas em meio inerte. As primeiras resultam da incorporação de oxigênio e geram radicais, como peróxidos e hidroperóxidos, que levam à formação de acetatos, formiatos, aldeídos, benzofenona e quinóides. Já o meio inerte ( $T > 340$  °C) segue com a formação de carbodiimidas, ureia, isocianurato, entre outros nitrogenados oriundos da decomposição radicalar (Chattopadhyay e Webster 2009). A diferença dos níveis de resíduo a 700 °C entre os meios inerte e oxidativo é resultante do mecanismo de degradação de cada um, sendo mais favorável/provável a formação de um resíduo complexo e de elevada massa molar para o primeiro, enquanto que a participação do oxigênio no segundo caso viabiliza a formação de espécies de menor massa molar e, portanto, voláteis à temperatura de análise.

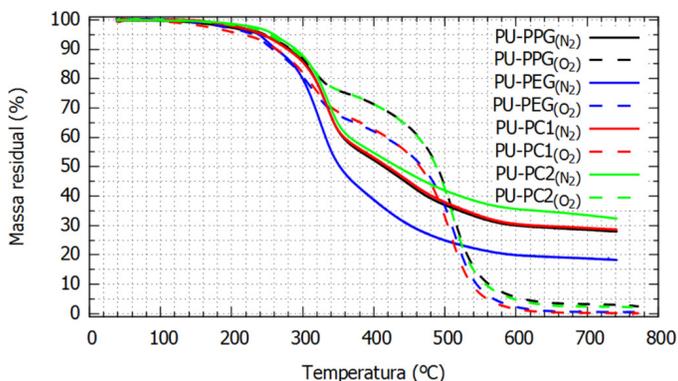


Figura 5. Curvas termogravimétricas das espumas baseadas em PU-IR. Condições: cerca de 7 mg de amostra em pó, de 30 a 800 °C, 10 °C/min, meio inerte (N<sub>2</sub>) e oxidante (O<sub>2</sub>).

Outro aspecto importante das curvas em meio oxidativo (tracejadas, Figura 5) é a tendência dos pares PU-PPG/PU-PC2 e PU-PEG/PU-PC1 se comportarem de forma similar. Novamente, a hipótese do grau de conversão de PU ser maior para o par PU-PEG/PU-PC1 (curvas tracejadas em azul e vermelho, Figura 5) é corroborada pela maior perda de massa durante o primeiro evento em comparação ao par PU-PPG/PU-PC2 (curvas tracejadas em preto e verde, Figura 5). Esta diferença de perfil de degradação chega a ser de 10% em massa na faixa de 360 a 420 °C, sendo que o par PU-PPG/PU-PC2 manteve maiores massas até o fim da análise, comparativamente. Apesar desta diferença de comportamento, todas as formulações apresentaram um desempenho similar ante ao teste de inflamabilidade, conforme as fotografias da Figura 6. Estes resultados sugerem que intercâmbios entre os todos dióis avaliados, da ordem de até 9% em massa do polioli formulado, não comprometem as características de queima do produto acabado, que apresentou chama autoextinguível nível R1.

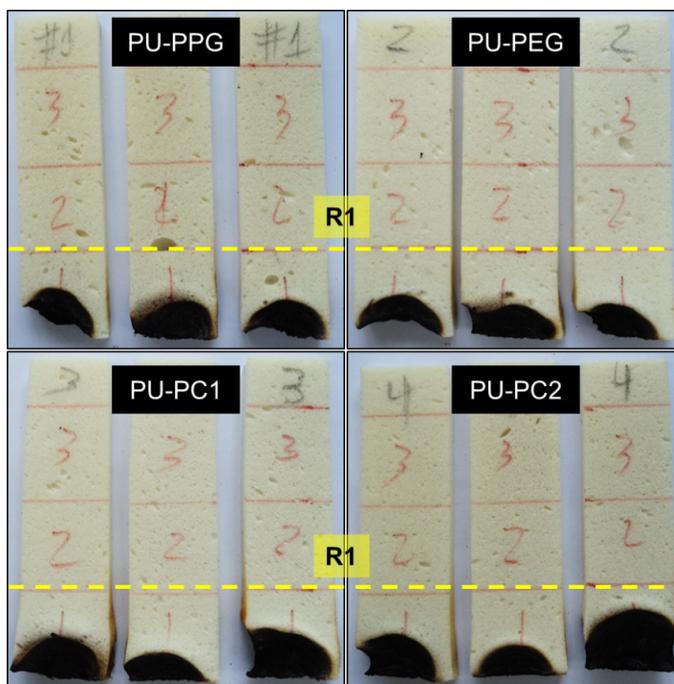


Figura 6. Fotografias após o teste de inflamabilidade realizado do núcleo das espumas PUIR. Condições: amostras de dimensões 15 x 5,0 x 1,3 cm<sup>3</sup>, 1 min de exposição, queima horizontal, classificação nível "R", triplicatas.

## CONCLUSÕES

Espuma rígidas baseadas em PUIR foram produzidas, com sucesso, misturando-se um isocianato polimérico (PMDI) e polióis formulados contendo diferentes estruturas de dióis poliéter, policarbonato e poli(éster-*co*-carbonato). A cinética de formação das espumas foi independente da estrutura central dos 4 dióis avaliados, ao passo que se mostrou dependente da natureza das hidroxilas terminais desses oligômeros. Formulações contendo PPG e PC2 tiveram o comportamento plástico aprimorado, porém, retendo o módulo e a resistência à compressão, implicando em maior tenacidade em relação àquelas contendo PEG e PC1. Além disso, todas as formulações testadas atingiram o nível R1 para ação retardante ao fogo, o que significa que os dióis avaliados neste trabalho são adequados para aplicação na indústria da construção civil.

## AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de expressar sua gratidão à Dow Brasil Indústria e Comércio de Produtos Químicos Ltda. pelo financiamento desta pesquisa e à UBE *Industries Ltd.* pelo fornecimento dos dióis de policarbonato.

## REFERÊNCIAS

- Abdel-Wakil, W. S., E. A. Kamoun, A. Fahmy, W. Hassan, F. Abdelhai e T. M. Salama (2019). **Assessment of vinyl acetate polyurethane-based graft terpolymers for emulsion coatings: Synthesis and characterization.** *Journal of Macromolecular Science, Part A* 57(4): 229-243.
- Barman, S., B. Parasar, P. Kundu e S. Roy (2016). **A copper based catalyst for polyurethane synthesis from discarded motherboard.** *RSC Advances* 6(79): 75749-75756.
- Bombeiros, P. M. d. E. d. S. P. C. d. (2019). **Instrução Técnica No 10/2019.** Controle de materiais de acabamento e de revestimento. *São Paulo*, Secretaria de Segurança Pública. IT 10/2019: 1-8.
- Buckles, R. E. e L. A. McGrew (1966). **A Kinetic Study of the Dimerization of Phenyl Isocyanate.** *Journal of the American Chemical Society* 88(15): 3582-3586.
- Chattopadhyay, D. K. e D. C. Webster (2009). **Thermal stability and flame retardancy of polyurethanes.** *Progress in Polymer Science* 34(10): 1068-1133.
- Cheng-Po KUO, K.-C. W., Wen-Pin Chuang, Shu-Jiuan Huang, Hsi-Yen Hsu, Chiou-Hwang Lee (2019). **Polycarbonate diol, polyurethane formed therefrom, and method for forming polycarbonate diol.** *United States*, Industrial Technology Research Institute ITRI.

Flores, M., X. Fernández-Francos, J. M. Morancho, À. Serra e X. Ramis (2012). **Curing and characterization of oxazolidone-isocyanurate-ether networks.** *Journal of Applied Polymer Science* 125(4): 2779-2789.

Flory, P. J. (1953). **Principles of Polymer Chemistry**, Cornell University Press.

França, M. (2018). **DECRETO Nº 63.911, de 10 de Dezembro de 2018.** A. L. d. E. d. S. Paulo.

Herrington, R., K. Hock e R. Autenrieth (1997). **Flexible polyurethane foams.** Midland, Dow Chemical.

Hofmann, B. (2005). **Meeting product quality demands by monitoring PU foam formation.** *Urethanes Technology* Dec.04/Jan.05: 18-20.

Ionescu, M. (2005). **Chemistry and Technology of Polyols for Polyurethanes**, Rapra Technology Limited.

Kresta, J. E., C. S. Shen e K. C. Frisch (1977). **Polymerization and Cyclotrimerization of Isocyanates Catalyzed by Cyclic Sulfonium Zwitterions** *Die Makromolekulare Chemie* 178(8): 2495-2498.

Kresta, J. E., C. S. Shen e K. C. Frisch (1979). **Catalysis of Carbamate Reactions by Cyclic Sulfonium Zwitterions.** *Makromolekulare Chemie-Macromolecular Chemistry and Physics* 178(7): 2127-2130.

Lou M. Alberino, J. N. A., Wiley L. Barton, Daniel W. Baugh Jr., Jim L. Bertran, Deb Bhattacharjee, Milt J. Blankenship, Tom W. Bodnar, Gary W. Bogan, Hank W. Bonk, Ron A. Calabrese, Peter S. Carleton, R. Collins, Marty C. Cornell, Linda B. Coney, Paul E. Cranley, Dave T. DeGuiseppe, Darrel E. Docking, V. Rao Durvasula, Mattijs van den Engh, Alberto Fangareggi, William J. Farrissey, H. Fransen, Hans Friendli, Michael L. Gould, George Hartwell, Ron M. Herrington, Richard A. Hickner, Lee M. Huber, Doug L. Hunter, J. K. Jennings, Peter Keller, Ed E. Kennedy, Stephen A. Knis, Terry L. Lamb, Timothy D. Landry, Peter J. Manno, Fred Martines III, T. Roy McClellan, Allan R. Meath, Gary Mistry, Terry L. Moore, Don L. Nelson, Kemal Onder, Ron V. Petrella, Reini Plattner, Keith R. Plowman, Ralph D. Priester Jr., Harold E. Reymore, Reinhard H. Richter, Gino Sacchetti, Hans Staueber, Carole A. Steffens, Fred A. Stuber, Johan A. Thoen, J.J. Tichy, Ulrich Tribelhorn, Robert B. Turner, Jonh G. Uhlmann, Henri Ulrich, Nancy P. Vespoli, Joe H. Waibel, Dave J. Williams, Kenneth W. Williams, Marinda L. Wu (2000). **Reaction Polymers: Chemistry, Technology, Applications, Markets.** Munich, Alemanha, Hanser Gardner Publishers.

Lovering, E. G. e K. J. Laidler (1962). **Kinetic Studies of Some Alcohol-Isocyanate Reactions.** *Canadian Journal of Chemistry* 40(1): 31-36.

Malewska, E. e A. Prociak (2020). **Porous polyurethane-polystyrene composites produced in a co-expansion process.** *Arabian Journal of Chemistry* 13(1): 37-44.

Markit, I. (2019). "Chemical Economics Handbook: Polyurethane Foams." Retrieved 24/06, 2020, from <https://ihsmarkit.com/products/polyurethane-foams-chemical-economics-handbook.html>.

Markit, I. (2020). "Chemical Economics Handbook: Polyurethane Elastomers." Retrieved 24/06, 2020, from <https://ihsmarkit.com/products/polyurethane-elastomers-chemical-economics-handbook.html>.

MatWeb. (2020). "Dow PAPI™ 27 Polymeric MDI." Retrieved 25/06, 2020, from <http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=cb6d65ec13c1408fb9b91b79f59ce048&ckck=1>.

Nawata, T., J. E. Kresta e K. C. Frisch (1975). **Comparative Studies of Isocyanurate and Isocyanurate-Urethane Foams**. *Journal of Cellular Plastics* 11(5): 267-278.

Park, D. H., G. P. Park, S. H. Kim e W. N. Kim (2013). **Effects of isocyanate index and environmentally-friendly blowing agents on the morphological, mechanical, and thermal insulating properties of polyisocyanurate-polyurethane foams**. *Macromolecular Research* 21(8): 852-859.

Reymore, H. E., P. S. Carleton, R. A. Kolakowski e A. A. R. Sayigh (1975). **Isocyanurate Foams: Chemistry, Properties and Processing**. *Journal of Cellular Plastics* 11(6): 328-344.

Romero, R. R., R. A. Grigsby, E. L. Rister, J. K. Pratt e D. Ridgway (2016). **A Study of the Reaction Kinetics of Polyisocyanurate Foam Formulations using Real-time FTIR**. *Journal of Cellular Plastics* 41(4): 339-359.

Rufino, T. d. C., M. C. Breitkreitz e M. I. Felisberti (2017). **Telechelic Poly(bisphenol A carbonate) Synthesis by Glycolysis: A Response Surface Methodology Approach**. *Industrial & Engineering Chemistry Research* 56(14): 3983-3992.

Rufino, T. d. C. e J. Giaretta (2019). **Impact of different chemical groups over the polyurethane/polyisocyanurate foam properties**. *15th Brazilian Polymer Conference*, Bento Gonçalves, RS, Brazil.

Silverstein, R. M., F. X. Webster e D. Kiemle (2005). **Spectrometric Identification of Organic Compounds, 7th Edition**, Wiley.

Taguchi, Y., I. Shibuya, M. Yasumoto, T. Tsuchiya e K. Yonemoto (1990). **The Synthesis of Isocyanurates on the Trimerization of Isocyanates under High-Pressure**. *Bulletin of the Chemical Society of Japan* 63(12): 3486-3489.

Tasdelen, M. A., M. U. Kahveci e Y. Yagci (2011). **Telechelic polymers by living and controlled/living polymerization methods**. *Progress in Polymer Science* 36(4): 455-567.

Trinca, R. B. e M. I. Felisberti (2015). **Effect of diisocyanates and chain extenders on the physicochemical properties and morphology of multicomponent segmented polyurethanes based on poly(l-lactide), poly(ethylene glycol) and poly(trimethylene carbonate)**. *Polymer International* 64(10): 1326-1335.

Trinca, R. B. e M. I. Felisberti (2015). **Segmented polyurethanes based on poly(l-lactide), poly(ethylene glycol) and poly(trimethylene carbonate): Physico-chemical properties and morphology**. *European Polymer Journal* 62: 77-86.

UBE. (2020). "Polycarbonate diol ETERNACOLL®." Retrieved 25/06, 2020, from <https://www.ube.com/contents/pcd/index.html>.

Wang, F. C., M. Feve, T. M. Lam e J.-P. Pascault (1994). **FTIR analysis of hydrogen bonding in amorphous linear aromatic polyurethanes. I. Influence of temperature.** *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics* 32(8): 1305-1313.

Wang, F. C., M. Feve, T. M. Lam e J.-P. Pascault (1994). **FTIR analysis of hydrogen bonding in amorphous linear aromatic polyurethanes. II. Influence of styrene solvent.** *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics* 32(8): 1315-1320.

Xu, J., T. Wu, W. Sun e C. Peng (2017). **Generalization and Modelling of Rigid Polyisocyanurate Foam Reaction Kinetics, Structural Units Effect, and Cell Configuration Mechanism.** *Cellular Polymers* 36.

Zhang, C., Z. Ren, Z. Yin, H. Qian e D. Ma (2007). **Amide II and Amide III Bands in Polyurethane Model Soft and Hard Segments.** *Polymer Bulletin* 60(1): 97-101.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Adsorção 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 21, 24, 25, 26, 28, 29, 30, 104, 105, 106, 107, 108, 110, 111, 112, 174, 184, 185, 187, 188, 190, 191, 192, 193, 195, 196, 212, 213, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 292, 293, 294, 296, 297, 298, 299, 300, 301, 302, 303

Alginato de sódio 322, 323, 324, 325

Asfalto-borracha 209

Ativação química 14, 15, 19, 212, 214, 215, 223

Azul de metileno 1, 4, 12, 13, 104, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 184, 185, 187, 188, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 215, 217, 218, 220, 221, 222, 223, 295, 299

### B

Bagaço de uva 1, 3, 4, 6, 11, 12

Biodegradável 24, 25, 43, 44, 46, 49, 110, 114, 126, 198, 202, 203, 206, 236, 310, 315

Biomassa lignocelulósica 184, 186

Biorreator de leite empacotado 91, 101

Biossorção 24, 104, 110, 111, 186, 212, 223

Borracha de silicone 149, 151, 152, 153, 157, 158, 159, 160, 161

Borracha SBR 149, 153

### C

Câncer 203, 307, 308, 309, 310, 311, 312, 313

Cápsulas de zeólita fertilizante 124

Caracterização térmica 90, 282

Carboximetilação 24, 25, 26, 28, 30

Chitosan 13, 24, 125, 134, 162, 163, 174, 175, 176, 195, 312, 313

Coacervação complexa 322

Comportamento reológico de emulsões 322, 329, 332

Compósito 41, 56, 64, 80, 81, 82, 83, 87, 90, 124, 129, 132, 177, 178, 179, 180, 182, 183, 203, 260, 261, 272, 273

Corante 1, 4, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 21, 104, 105, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 184, 185, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 217, 218, 221, 222, 223, 292, 295, 296, 298, 299, 300, 301, 302, 303

## **E**

Economia circular 45, 247, 251, 254, 255, 256, 258, 260, 261, 263, 270, 274, 275

Efluente têxtil 104

Envelhecimento natural 135, 138, 143, 144, 145, 258, 262, 265, 266, 267, 268, 269, 274

Enzymatic Immobilization 163

Epóxi-PZT 80, 82

Eugenol 315, 316, 320, 321

Extração de enzimas 91

Extrusão 113, 115, 116, 118, 119, 261, 263, 272, 273

## **G**

Geleificantes 236

## **H**

Hidrofilicidade 56, 64

Hidrogéis 67, 68, 69

## **I**

Insumo agrícola 67

## **L**

Liberação controlada de medicamentos 198, 307, 309

Ligantes asfálticos 209

## **M**

Montmorilonita 127, 315, 316

## **O**

Óxido de grafeno 177, 178, 179, 182

## **P**

Papain 162, 163, 175, 176

Partículas core-shell 224, 225

PEAD 113, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122

Pectina 214, 236, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 328

PEUAM 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146

Poliacrilatos 67, 73, 78

Poliisocianurato 277, 278

Polimerização em emulsão 224, 225, 228, 235  
Poliol 43, 45, 46, 47, 49, 50, 279, 280, 281, 283, 287  
Poliuretano 32, 33, 40, 41, 42, 45, 47, 48, 50, 51, 277  
Prospecção de custo de produção 258

## **R**

Resíduo agroindustrial 11, 14, 16, 21, 213  
Resíduos 1, 3, 4, 12, 14, 15, 17, 21, 32, 33, 40, 41, 44, 52, 78, 93, 102, 106, 111, 113, 125, 134, 150, 151, 152, 153, 156, 157, 158, 159, 160, 184, 186, 187, 195, 212, 219, 223, 227, 240, 241, 246, 251, 256, 258, 259, 260, 261, 275, 321, 333  
Retardante de chamas 33

## **S**

Sílica mesoporosa 292, 293, 294, 295, 303  
Sulfatação 24, 25, 26

## **U**

Ultrassom 14, 16, 17, 19, 20, 21, 179, 180, 308, 324, 326, 332  
Uso de Biopolímero 124

# A Química nas Áreas Natural, Tecnológica e Sustentável

-  [www.arenaeditora.com.br](http://www.arenaeditora.com.br)
-  [contato@arenaeditora.com.br](mailto:contato@arenaeditora.com.br)
-  [@arenaeditora](https://www.instagram.com/arenaeditora)
-  [www.facebook.com/arenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/arenaeditora.com.br)

# A Química nas Áreas Natural, Tecnológica e Sustentável



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



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



[@arenaeditora](https://www.instagram.com/arenaeditora)



[www.facebook.com/arenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/arenaeditora.com.br)