

Avanços das Pesquisas e Inovações na Engenharia Química

Jéssica Verger Nardeli
(Organizadora)

Avanços das Pesquisas e Inovações na Engenharia Química

Jéssica Verger Nardeli
(Organizadora)

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação: Karine de Lima

Edição de Arte: Lorena Prestes

Revisão: Os 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. 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

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
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
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
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 Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie di Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia
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
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
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. 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
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Fernando José Guedes da Silva Júnior – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
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. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª 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

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. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão

Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
 Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
 Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
 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
 Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
 Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
 Prof. Me. Douglas Santos Mezacas -Universidade Estadual de Goiás
 Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
 Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
 Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
 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. Me. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
 Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
 Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
 Profª Ma. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
 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 Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Profª Ma. Lilian 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. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
 Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual de Maringá
 Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
 Prof. Me. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
 Profª Ma. Renata Luciane Posaque Young Blood – UniSecal
 Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
 Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
 Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

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

A946 Avanços das pesquisas e inovações na engenharia química 1
[recurso eletrônico] / Organizadora Jéssica Verger Nardeli. –
Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.

Formato: PDF
 Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader.
 Modo de acesso: World Wide Web.
 Inclui bibliografia
 ISBN 978-65-86002-53-9
 DOI 10.22533/at.ed.539202003

1. Engenharia química – Pesquisa – Brasil. I. Nardeli, Jéssica Verger.

CDD 660.76

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Atena Editora
 Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A coleção “Avanços das Pesquisas e Inovações na Engenharia Química volume 1” é uma obra que tem como foco principal a discussão e divulgação científica por meio de trabalhos com diferentes funcionalidades que compõe seus capítulos. O volume abordará de forma categorizada trabalhos, pesquisas que transiram nos vários caminhos da engenharia química de forma mais aplicada tanto para pesquisa como indústria.

O objetivo central foi apresentar de forma categorizada e clara estudos correlacionados a estudo cinético, termodinâmico, físico-químico, caracterização de materiais por meio de várias técnicas (Microscopia eletrônica de varredura, análise de difração de raio-X dentre outras) e abordagens (tamanho de partícula, tratamento estatístico) desenvolvidos em diversas instituições de ensino e pesquisa do país. Em todos esses trabalhos a linha condutora foi o aspecto relacionado à caracterização, aplicação, otimização de procedimentos e metodologias, dentre outras abordagens importantes na área de exatas e engenharia. O avanço das pesquisas e divulgação dos resultados tem sido um fator importante para o desenvolvimento da ciência e estímulo de inovação.

Temas diversos e interessantes são, deste modo, discutidos aqui com a proposta de fundamentar o conhecimento de acadêmicos, mestres e todos aqueles que de alguma forma se interessam pela área de exatas e engenharia química aplicada e educacional. Possuir um material que demonstre evolução de diferentes metodologias, abordagens, otimização de processos, caracterização com técnicas substanciais é muito relevante, assim como abordar temas atuais e de interesse tanto no meio acadêmico como social.

Deste modo a obra “Avanços das Pesquisas e Inovações na Engenharia Química volume 1” apresenta estudos fundamentados nos resultados práticos obtidos pelos diversos professores e acadêmicos que arduamente desenvolveram seus trabalhos que aqui serão apresentados de maneira concisa e didática. Sabemos o quão importante é a divulgação científica, por isso evidenciamos também a estrutura da Atena Editora capaz de oferecer uma plataforma consolidada e confiável para estes pesquisadores explorarem e divulgarem seus resultados.

Jéssica Verger Nardeli

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| CAPÍTULO 1 | 1 |
| RESINA BENZOAZINA: OBTENÇÃO E POTENCIAL DE APLICAÇÃO NO SETOR AEROESPACIAL | |
| Cirlene Fourquet Bandeira | |
| Aline Cristina Pereira Trofino | |
| Sérgio Roberto Montoro | |
| Michelle Leali Costa | |
| Edson Cocchieri Botelho | |
| DOI 10.22533/at.ed.5392020031 | |
| CAPÍTULO 2 | 13 |
| ANÁLISE MORFOLÓGICA E LIXIVIAÇÃO DA LAMA VERMELHA APÓS TRATAMENTO TÉRMICO | |
| Bruno Marques Viegas | |
| Keize Lorena Martins dos Passos | |
| Edilson Marques Magalhães | |
| Josiel Lobato Ferreira | |
| Diego Cardoso Estumano | |
| José Antônio da Silva Souza | |
| Emanuel Negrão Macêdo | |
| DOI 10.22533/at.ed.5392020032 | |
| CAPÍTULO 3 | 24 |
| ESTUDOS CINÉTICO E TERMODINÂMICO DA UTILIZAÇÃO DE MESOCARPO DE COCO VERDE NA REMOÇÃO DE ÍONS FLUORETO EM SOLUÇÃO | |
| César Augusto Canciam | |
| Nehemias Curvelo Pereira | |
| DOI 10.22533/at.ed.5392020033 | |
| CAPÍTULO 4 | 36 |
| ESTUDO FÍSICO-QUÍMICO DE LICORES DE CUPUAÇU (<i>THEOBROMA GRANDIFLORUM</i> SCHUM) COMERCIALIZADOS EM BELÉM DO PARÁ | |
| João Pedro dos Reis Lima | |
| Allyson Allennon Pinheiro do Rosário | |
| José Marcos Nobre de Moura Junior | |
| Ewerton Carvalho de Souza | |
| Ivan Carlos da Costa Barbosa | |
| Ewerton Reginaldo dos Santos Neves | |
| Ronaldo Magno Rocha | |
| Charles Alberto Brito Negrão | |
| Regina Celi Sarkis Müller | |
| Antonio dos Santos Silva | |
| DOI 10.22533/at.ed.5392020034 | |
| CAPÍTULO 5 | 45 |
| INFLUÊNCIA DA CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS TOTAIS NA ELEVAÇÃO DO PONTO DE EBULIÇÃO DE SOLUÇÕES DE LEITE/SACAROSE | |
| Marcio Augusto Ribeiro Sanches | |
| Rodrigo Rodrigues Evangelista | |
| Daniele Penteadó Rosa | |
| Tiago Carregari Polachini | |
| Javier Telis Romero | |
| DOI 10.22533/at.ed.5392020035 | |

CAPÍTULO 6 54

CINÉTICA DE SECAGEM DE *Alpinia zerumbet* E INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NAS PROPRIEDADES DO SEU ÓLEO ESSENCIAL

Paulo Sérgio Santos Júnior
Gustavo Oliveira Everton
Amanda Mara Teles
Bárbara De Souza Silva
Harvey Alexander Villa-Veléz
Adenilde Nascimento Mouchrek
Victor Elias Mouchrek Filho

DOI 10.22533/at.ed.5392020036

CAPÍTULO 7 66

OSCILAÇÕES AMORTECIDAS EM SISTEMAS DE PARTÍCULAS COM MEMÓRIA ACOPLADA

Jair Rodrigues Neyra
Rafael Santos da Costa
José Rodrigues de Souza Chaves Gonçalves
Marcos Vinicius de Souza Araújo
Paulo Gerson da Cruz Ferreira
Vinícius Frantinne Brito Alves
Waldemar Monteiro de Moura
Eliton Lima Rocha
Maria Liduína das Chagas
Thiago Rafael da Silva Moura

DOI 10.22533/at.ed.5392020037

CAPÍTULO 8 79

NANOPARTÍCULAS DE FE E PY COMO CATALISADORES DA LIQUEFAÇÃO DO CARVÃO

Rafael Santos da Costa
Jair Rodrigues Neyra
José Rodrigues de Souza Chaves Gonçalves
Marcos Vinícios de Souza Araújo
Paulo Gerson da Cruz Ferreira
Vinícius Frantinne Brito Alves
Waldemar Monteiro de Moura
Andrew Nunes de Barros Reis
Maria das Graças Dias da Silva
Marcos Lima Cardoso
Thiago Rafael da Silva Moura

DOI 10.22533/at.ed.5392020038

CAPÍTULO 9 90

ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO ÓTIMO DE DECANTADOR HORIZONTAL CENTRÍFUGO PARA SEPARAÇÃO DE SISTEMAS CONTENDO FASE OLEOSA DISPERSA

Alex Vazzoler

DOI 10.22533/at.ed.5392020039

CAPÍTULO 10 99

LIPASE EXTRACELULAR DO FUNGO *METARHIZIUM ANISOPLIAE* PRODUZIDA A PARTIR DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAS

Fabriele de Sousa Ferraz
Laiane Martins Duarte
Isadora Souza Santos Dias
Lina María Grajales

DOI 10.22533/at.ed.53920200310

CAPÍTULO 11 107

SÍNTESE E APLICAÇÃO DE ESFERAS POROSAS DE QUITOSANA NA ADSORÇÃO DE NÍQUEL EM SOLUÇÃO AQUOSA

Flávia Cristina Cardoso Dória
Elaine Cristina Nogueira Lopes de Lima

DOI 10.22533/at.ed.53920200311

CAPÍTULO 12 123

ADSORÇÃO DO COBRE II A PARTIR DA ATIVAÇÃO TÉRMICA DA CASCA DE BURITI (MAURITIA FLEXUOSA)

Larissa Tavares Esquerdo
Brenda Thayssa Figueira Daniel
Yuri Leon dos Santos Silva
Elinaldo Silva Caldas
Alacid do Socorro Siqueira Neves
Reginaldo Sabóia de Paiva
Disterfano Lima Martins Barbosa

DOI 10.22533/at.ed.53920200312

CAPÍTULO 13 131

ISOTERMAS DE SORÇÃO E PROPRIEDADES TERMODINAMICAS DO ABIU (*POUTERIA CAIMITO*)

Emilio Émerson Xavier Guimarães Filho
Ronaldo Maison Martins Costa
Julles Mitoura dos Santos Junior
Nathalia Cristina Ramos Lima
Audirene Amorim Santana

DOI 10.22533/at.ed.53920200313

CAPÍTULO 14 143

CARACTERIZAÇÃO DO OITI *LICANIA TOMENTOSA* (BENTH.) E COMPARAÇÃO DOS PÓS OBTIDOS POR DIFERENTES MÉTODOS DE SECAGEM

Ianê Valente Pires
Tatyane Myllena Souza da Cruz
Gisélia de Sousa Nascimento
Natasha Cunha
Antonio Manoel da Cruz Rodrigues
Heloisa Helena Berredo Reis de Medeiros

DOI 10.22533/at.ed.53920200314

CAPÍTULO 15 153

EFEITO DO TEOR E DO TIPO DE DOPANTE (MG OU MN) NAS PROPRIEDADES DOS CATALISADORES BASEADOS EM ÓXIDO DE FERRO DESTINADOS A WGRS

Larissa Soares Lima
Mariana Santos Rodrigues
Rodrigo Ribeiro de Souza
Maurício de Almeida Pereira
Maria Luiza Andrade da Silva

DOI 10.22533/at.ed.53920200315

CAPÍTULO 16 164

RESÍDUOS DE FERRO E ALUMÍNIO EM COMPÓSITOS POLIMÉRICOS

Gabriel da Cruz Oliveira
Lucas Rezende Almeida

Willian Rayol da Silva
Bruno Henrique Alves Mendes
Brenda Thayssa Figueira Daniel
Deibson Silva da Costa
Reginaldo Sabóia de Paiva

DOI 10.22533/at.ed.53920200316

CAPÍTULO 17 172

DISTRIBUIÇÃO DE TAMANHO DE PARTÍCULA DE BIOMASSA LIGNOCELULÓSICA DE BAGAÇO DE MANDIOCA (BLBM)

Rodrigo Rodrigues Evangelista
Tiago Carregari Polachini
Juan A. Cárcel
Javier Telis-Romero
Antonio Mulet

DOI 10.22533/at.ed.53920200317

CAPÍTULO 18 184

DISTRIBUIÇÃO DE TAMANHO DE PARTÍCULA DE BIOMASSA LIGNOCELULÓSICA DE CASCA DE MANDIOCA (BLCM)

Marcio Augusto Ribeiro Sanches
Tiago Carregari Polachini
Juan A. Cárcel
Antonio Mulet
Javier Telis-Romero

DOI 10.22533/at.ed.53920200318

CAPÍTULO 19 196

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE BIOMASSA LIGNOCELULÓSICA DE BAGAÇO DE MANDIOCA E DE CASCA DE MANDIOCA: INFLUÊNCIA DA DISTRIBUIÇÃO DO TAMANHO DE PARTÍCULA

Tiago Carregari Polachini
Maria Júlia Neves Martins
Antonio Mulet
Javier Telis-Romero
Juan A. Cárcel

DOI 10.22533/at.ed.53920200319

CAPÍTULO 20 209

ANÁLISE DA VARIAÇÃO DA GRANULOMETRIA DA LAMA VERMELHA NAS PROPRIEDADES DOS COMPÓSITOS

Eryck Eduardo Simplicio dos Santos
Victor Hugo Mafra Monfredo Ferreira
Brenda Thayssa Figueira Daniel
Bruno Henrique Alves Mendes
Deibson Silva da Costa

DOI 10.22533/at.ed.53920200320

SOBRE A ORGANIZADORA..... 217

ÍNDICE REMISSIVO 218

RESINA BENZOXAZINA: OBTENÇÃO E POTENCIAL DE APLICAÇÃO NO SETOR AEROESPACIAL

Data de submissão: 05/02/2020

Data de aceite: 11/03/2020

Edson Cocchieri Botelho

Universidade Estadual Paulista – Júlio de Mesquita Filho, Departamento de Materiais e Tecnologia

Guaratinguetá – São Paulo

<https://orcid.org/0000-0001-8338-4879>

Cirlene Fourquet Bandeira

Universidade Estadual Paulista – Júlio de Mesquita Filho, Departamento de Materiais e Tecnologia

Guaratinguetá – São Paulo

<http://lattes.cnpq.br/0337596657877962>

Centro Universitário de Volta Redonda, Departamento de Engenharia Ambiental

Volta Redonda – Rio de Janeiro

<http://lattes.cnpq.br/0337596657877962>

Aline Cristina Pereira Trofino

Universidade Estadual Paulista – Júlio de Mesquita Filho, Departamento de Materiais e Tecnologia

Guaratinguetá – São Paulo

<http://lattes.cnpq.br/1226546668500566>

Sérgio Roberto Montoro

Centro Universitário de Volta Redonda, Departamento de Engenharia Ambiental

Volta Redonda – Rio de Janeiro

<http://lattes.cnpq.br/4765633201004287>

Michelle Leali Costa

Universidade Estadual Paulista – Júlio de Mesquita Filho, Departamento de Materiais e Tecnologia

Guaratinguetá – São Paulo

<https://orcid.org/0000-0001-9492-8544>

RESUMO: As polibenzoxazinas constituem uma nova classe de resinas fenólicas termorrígidas que surgiram nas últimas décadas, superando as propriedades das tradicionais resinas epóxi e fenólicas aplicadas na indústria aeroespacial. Estas vem sendo consideradas como uma excelente alternativa para aplicações que requerem altas temperaturas, combinando um número singular de elevadas propriedades, tais como excelentes propriedades físicas e mecânicas a altas temperaturas, em meios úmidos, baixa flamabilidade, elevada temperatura de transição vítrea, baixa contração na cura, além de serem armazenadas a temperatura ambiente e não produzirem subprodutos tóxicos durante sua cura. Assim, o presente artigo, objetiva, após discorrer sobre as definições que concernem esta classe de resina, apresentar uma revisão da literatura sobre a obtenção, propriedades e aplicações na área aeroespacial das resinas polibenzoxazinas, relacionando-as com o método de produção empregado, morfologia final e propriedades decorrentes da formação

de seus compósitos.

PALAVRAS-CHAVE: Benzoxazina, termofixos, propriedades superiores.

BENZOXAZINE RESIN: OBTAINING AND POTENTIAL OF APPLICATION IN THE AEROSPACE AREA

ABSTRACT: The polibenzoxazines constitute a new class of phenolic thermosetting resins that have emerged in recent decades, exceeding the traditional properties of epoxy and phenolic resins applied in the aerospace industry. They have been considered as an excellent alternative for applications that requires high temperatures, combining a singular number of high properties such as excellent physical and mechanical properties at high temperatures, in wet environment, low flammability, high glass transition temperature, low shrinkage in cure, and stored at room temperature do not produce toxic sub products during cure. Thus, this article aims, after discoursing about the definitions that concern to this class of resin, to present a review of the literature on the acquisition, properties and applications of aerospace resins polibenzoxazines, relating them to the used production method, final morphology and properties resulting of the composites formation.

KEYWORDS: Benzoxazines, thermoset matrices, superior properties.

1 | INTRODUÇÃO

Desde a sua introdução, no início do século XX, as resinas fenólicas desempenham um importante papel em uma vasta área de aplicações, abrangendo desde materiais de consumo convencionais e artefatos de construção civil até componentes para indústria aeroespacial de alta tecnologia (PILATO; MICHNO, 1994; REGHUNADHAN NAIR, 2004; COSTA, 2018).

Este mérito é devido ao fato de que essas resinas apresentam diversas características desejáveis, podendo-se destacar principalmente: elevada resistência química; boas propriedades elétricas e mecânicas. Além disso, estas resinas apresentam elevada resistência a altas temperaturas, podendo serem utilizadas a estas temperaturas por um longo período sem que ocorra sua decomposição (HAIK, 1995; REGHUNADHAN NAIR, 2004).

A resina fenólica tornou-se uma matriz adequada para ser utilizada na produção de laminados termorrígidos aplicados, principalmente, em interiores de aeronaves, principalmente em aplicações as quais há a necessidade de se utilizar um material com elevada resistência ao calor. Associado a esta característica, esta matriz termorrígida também vem se destacando quanto à sua aplicação em aeronaves, por ser um material que apresenta como características: autoextinguibilidade em relação ao fogo; baixas emissões de calor e fumaça durante sua queima e resistência à temperatura. Por este motivo, estruturas internas de aeronaves, tais como teto, painéis laterais, poltronas e

divisórias, vêm sendo atualmente revestidas pela resina fenólica (HAIK, 1995).

Entretanto, essa classe de resinas apresenta limitações, tais como: fragilidade e liberação de subprodutos (água e amônia) durante a sua polimerização, requer catalisadores de elevada toxicidade e possui curto tempo de prateleira; devendo-se, no caso de sua utilização na formulação de pré-impregnados, ser armazenada sob refrigeração de aproximadamente -18°C para desacelerar o processo de cura. Mesmo assim, esta resina apresenta um período de validade não superior a 6 meses (GHOSH; KISKAN; YAGCI, 2007; OLIVEIRA, 2018; PEREIRA, 2011).

As polibenzoxazinas constituem uma nova classe de resinas fenólicas termorrígidas, que surgiram nas últimas décadas, superando as propriedades das tradicionais resinas epóxi e fenólicas aplicadas na indústria aeroespacial. As polibenzoxazinas associam as propriedades térmicas e de retardante de chama das fenólicas e as propriedades mecânicas da epóxi. Desta forma, geram materiais poliméricos e compósitos de elevado desempenho, com alta resistência a temperatura, estabilidade dimensional, boas propriedades elétricas, elevada temperatura de transição vítrea, baixa absorção de umidade, além de não necessitarem de catalisadores e não gerarem subprodutos durante sua cura, podendo ser armazenadas em condições ambientes (AGAG; TAKEICHI, 2006; CHERNYKH; LIU; ISHIDA, 2006; ISHIDA; ALLEN, 1996; NAKAMURA; ISHIDA, 2009).

Dentro deste contexto, as resinas polibenzoxazinas são excelentes candidatas a substituírem as atuais matrizes termorrígidas utilizadas na obtenção de compósitos de elevado desempenho, tanto reforçados com fibras de carbono quanto com estruturas nanométricas. Pouco material, na língua portuguesa, encontra-se disponível sobre as resinas benzoxazinas, suas propriedades e seu potencial de aplicação. Assim, o presente trabalho tem como objetivo apresentar um breve resumo sobre a química das resinas benzoxazinas, sua obtenção, principais propriedades físico-químicas e possibilidades de aplicação.

2 | SÍNTESE E CURA

As resinas benzoxazinas foram sintetizadas pela primeira vez em 1944 por Holly e Cope. Entre 1950 e 1960, Burke e seus colaboradores sintetizaram vários tipos de resinas benzoxazinas e naftoxazinas com fins medicinais, destinadas ao combate de tumores (ISHIDA; AGAG, 2011).

A síntese desta resina pode ser realizada por meio da mistura de formaldeído, derivado fenólico e uma amina primária (Figura 1) (PEREIRA, 2011; SHEN, 1995; WANG; ISHIDA, 2002). As matérias-primas utilizadas neste caso geralmente são de baixo custo e encontram-se comercialmente disponíveis, o que permite uma grande variedade de produtos e flexibilidade na aplicação final (BANDEIRA, 2015; CHERNYKH; AGAG; ISHIDA, 2009; CHERNYKH, LIU; ISHIDA, 2006).

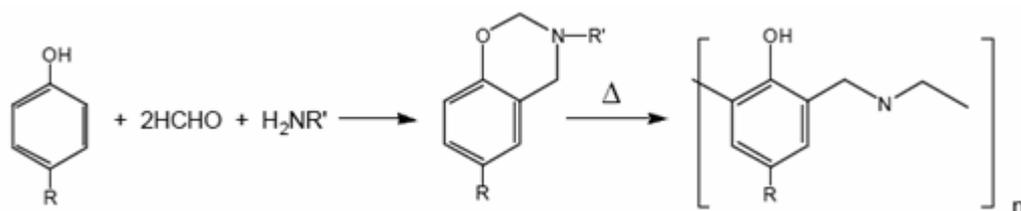


Figura 1. Mecanismo simplificado da síntese da resina benzoxazina (PEREIRA, 2011).

Como pode ser observado a partir da Figura 1, os anéis oxazinas combinados com anéis aromáticos agem como grupos funcionais reativos para a síntese das resinas benzoxazinas. O processo de cura do monômero ocorre com o auxílio de calor ou de um catalisador apropriado, sendo que neste processo ocorre a abertura do anel de oxazina, por polimerização catiônica, por meio de um cátion imínio (imina protonada) e um intermediário poliéter que rapidamente sofre rearranjo da cadeia principal, resultando no polímero final tipo fenólico: a benzoxazina (Figura 2) (PEREIRA, 2011). Diversas patentes descrevem a síntese da benzoxazina pura bem como da benzoxazina tenacificada ou produzida na forma de blends poliméricas (USA Patent 2008/0302471A1) (TSUEI, 2008).

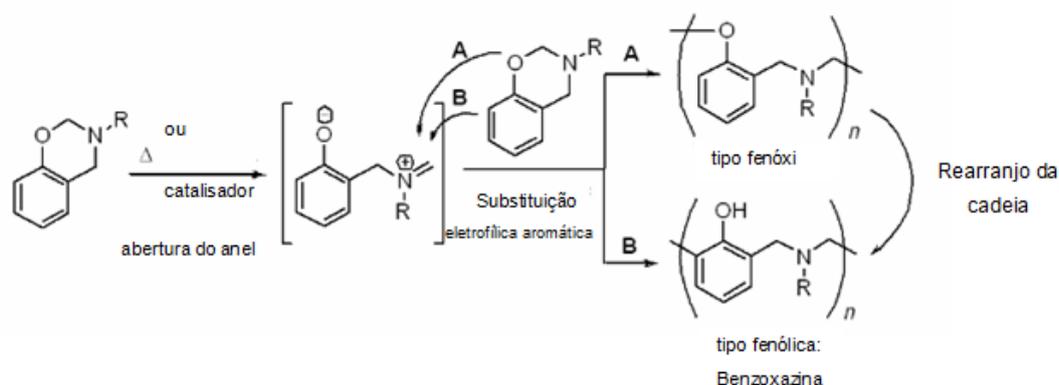


Figura 2. Mecanismo simplificado da cura da resina benzoxazina (PEREIRA).

Riess e seus colaboradores (1985) observaram que a reação de polimerização ocorre preferencialmente na região *orto* do que nas posições *meta* e *para* do fenol. No entanto, a partir destes trabalhos foi demonstrado que a reação na posição *para* é possível, desde que exista uma maior energia de ativação e uma menor taxa de reação nesta posição quando comparado à posição *orto*. Outros pesquisadores também indicaram que a posição *meta* pode ser reativa quando esta é submetida a elevadas temperaturas e/ou longo tempo de polimerização (ALLEN; ISHIDA, 2009; RIESS et al., 1985).

A grande variedade de possibilidade de radicais na resina benzoxazina, representados na reação por R, permite obter resinas com os mais diferentes tipos de comportamentos térmico e mecânico. Deve-se ressaltar que uma das grandes

vantagens da utilização da resina benzoxazina em relação à resina fenólica é que estas não liberam subprodutos na reação de polimerização, como pode ser observado na Figura 2, sendo que a sua cura ocorre a partir da abertura do anel, enquanto que a resina fenólica ocorre por uma reação de condensação (AGAG; TAKEICHI, 2006; ISHIDA; RODRIGUEZ, 1995; SHEN, 1995).

Assim, da mesma forma como ocorre nas resinas fenólicas convencionais, uma formulação de resina benzoxazina pode ser facilmente curada em autoclaves convencionais disponíveis na indústria aeroespacial (temperatura final de cura 180°C), necessitando apenas, em alguns casos, de uma pós-cura (no máximo de 220°C, sem pressão) (LI; LEHMANN; WONG, 1995).

Ishida e Rodriguez (1995) estudaram a cinética de cura da resina benzoxazina por DSC e relataram um mecanismo de cura autocatalítico, sendo válido para os estágios iniciais de sua cura, antes do controle da difusão. Os autores encontraram uma energia de ativação entre 102 e 116 kJ.mol⁻¹, com uma ordem global de reação de aproximadamente 2. Algumas evidências de experimentos isotérmicos e dinâmicos sugeriram a ocorrência de outros rearranjos estruturais na resina a temperaturas elevadas, provavelmente acima de 180°C, onde há as maiores taxas de reação (ISHIDA; RODRIGUEZ, 1995).

Em 2001, Shi e seus colaboradores sintetizaram um compósito nanoestruturado de benzoxazina/montemorilonita (MMT) e estudaram a cinética de cura por métodos isotérmicos. Os resultados evidenciaram um modelo autocatalítico, especialmente quando a temperatura de cura encontra-se entre 170 e 180°C, o que não é observado na resina benzoxazina pura. A razão pela qual o modelo autocatalítico melhor se ajustou na descrição da cinética de cura da benzoxazina/MMT pode estar relacionada com o fato do MMT agir como catalisador da reação de cura, reduzindo, assim, a barreira da energia de ativação da reação de cura (ISHIDA; AGAG, 2011).

Em 2010, Jubsilp e outros, estudaram a cinética de cura do copolímero de benzoxazina e da resina epóxi por métodos dinâmicos por DSC. Os parâmetros cinéticos e os modelos de cinética da cura foram examinados pelo método isoconversional de Flynn Wall-Ozawa e Friedman. Os copolímeros produzidos mostraram duas reações dominantes na cura. A primeira reação, em temperatura mais baixa, foi atribuída à reação entre os monômeros de benzoxazina, e a segunda corresponde à formação de uma eterificação entre o grupo hidroxila da polibenzoxazina e do grupo epóxi. Segundo os autores, o modelo cinético autocatalítico é o que melhor descreveu a reação de cura deste copolímero (JUBSILP, 2010; PEREIRA, 2011).

Yu e outros (2002) estudaram a cinética de cura da resina benzoxazina por meio de ensaio de torção (*Torsional Braid Analysis*, TBA), um método que permite a obtenção da avaliação do comportamento reológico, sendo capaz de medir a resposta dinâmico-mecânica dos termorrígidos durante a cura ou mesmo dos materiais curados. A partir deste trabalho, os autores concluíram que a reação de cura da resina benzoxazina ocorre entre 148 e 237°C e que com o aumento da temperatura, o sistema de cura

atinge a região de amolecimento, de gelificação e da temperatura de transição vítrea. Os autores também observaram que na temperatura de cura de 210°C ocorrem duas transições vítreas (Tg) secundárias além da transição primária (YU, 2002).

A natureza autocatalítica da resina benzoxazina relatada por todos os autores anteriormente apresentados (BANDEIRA, 2015; COSTA, 2018; PEREIRA, 2011;) pode ser explicada pela geração de grupos fenólicos livres, no início da reação de polimerização quando há abertura do anel benzoxazina, o que acelera o processo de cura (ISHIDA; RODRIGUEZ, 1995).

3 | PROPRIEDADES

Cada vez mais, polímeros resistentes a elevadas temperaturas vêm sendo desenvolvidos com o propósito de serem utilizados em diversas aplicações, tais como isolantes em componentes micro-eletrônicos e estruturas internas aeroespaciais. Dentre os diversos exemplos de polímeros termorrígidos resistentes a altas temperaturas que vem sendo comercializados podem ser citadas as resinas epóxi, fenólicas, bismaleimidadas e poliimidadas (AGAG; TAKEICHI, 2006; NAKAMURA; ISHIDA, 2009; PEREIRA, 2011; SHEN, 1995).

As resinas benzoxazinas apresentam propriedades físico-químicas e mecânicas similares a de outros polímeros de alto desempenho, conforme pode ser observado na Tabela 1 (LI; LEHMANN; WONG, 2020; PEREIRA, 2011; SHEN, 1995), com as vantagens anteriormente citadas. Além disso, estudos mostram que a resina benzoxazina quando comparada a outros polímeros tradicionais de alto desempenho apresenta menor índice de inflamabilidade, propriedade esta, muito atrativa para indústria aeroespacial (ISHIDA; RODRIGUEZ, 1995; TAKEICHI; AGAG, 2006).

| Propriedades da resina pura | Benzoxazina | Epóxi (Estado da arte) |
|---|-------------|------------------------|
| Densidade (g.m ⁻³) | 1,09 a 1,21 | 1,26 |
| Contração volumétrica (%) | -1,8 a 1,0 | 5 |
| Absorção de umidade ¹⁾ (peso %) | 1 a 2 | 4 |
| Tg @ G' Onset, Quente/Úmido (°C) | 160 a 267 | 140 |
| Resistência à compressão (MPa) | 214 a 234 | 221 |
| Módulo de compressão (GPa) | 4,1 a 4,7 | 3,5 |
| G _{1C} Tenacidade à fratura (modo 1) (J/m ²) | 160 a 500 | 350 |

1) Condicionado úmido: 3 dias de imersão - água em ebulição.

Tabela 1. Propriedades físicas e mecânicas da resina benzoxazina pura em comparação com a resina epóxi (LI; LEHMANN; WONG, 2020).

A Tabela 2 compara as propriedades dos laminados obtidos a partir da resina benzoxazina com o estado da arte da resina epóxi, ambos preparados via método

RTM (*Resin Transfer Molding*). A partir destes dados pode ser observado que quando comparados os valores de resistência ao cisalhamento interlaminar (ILSS) de ambas as resinas, os valores observados são praticamente os mesmos, entretanto, em situações onde temperaturas elevadas e resistência a absorção de água são requeridas, pode ser observado a superioridade das resinas benzoxazinas, sendo evidenciado aumentos de até 10% nos valores de resistência ao cisalhamento interlaminar. Um comportamento similar ocorre quando se compara os valores de temperatura de transição vítrea e resistência a compressão após impacto (CAI) dentre ambos os sistemas de resina, sendo observado, nestes casos, aumentos de 15% e 12%, respectivamente (LI; LEHMANN; WONG, 2020).

As propriedades do prepreg unidirecional de benzoxazina/fibra de carbono (FC) e do prepreg que utiliza benzoxazina/tecido de fibra de carbono são mostradas nas Tabelas 3 e 4 respectivamente. A coluna denominada requisitos representa as exigências primárias para aplicação de prepregs em estruturas aeroespaciais. Estas formulções, em particular, cumpriram todas as exigências para utilização em estruturas aeroespaciais, exceto as do teste CAI (Compression After Impact) (LI; LEHMANN; WONG, 2020).

| Propriedades | Condicionado, Condições de Teste | Epóxi (Estado da arte) | Benzoxazina |
|-----------------------|--|---------------------------|-------------|
| Tenacificante | | Termoplástico | Benzoxazina |
| | MEK ²⁾ /RT/1h, RT ³⁾ | 60 | 60 |
| | Seco, RT | 60 | 60 |
| | Seco, 120 °C | 28 | 60 |
| ILSS (MPa) | Água 100 °C/2h, 70 °C | 60 | 68 |
| | 70°C /85% R. H. ⁴⁾ , 70 °C | 60 | 67 |
| | Seco | 160 | 190 |
| Tg onset E' (°C) | 70°C /85% R. H. | 140 | 170 |
| Resistência CAI (MPa) | Seco, RT | 200 | 227 |

²⁾ MEK – Metil Etil Cetona; ³⁾ Temperatura ambiente (RT) em torno de 25°C; ⁴⁾ R. H. -Humidade Relativa

Tabela 2. Propriedades mecânicas dos laminados preparados via método RTM. (LI; LEHMANN; WONG, 2020).

No entanto, três grandes problemas podem resultar em limitações para a utilização das resinas benzoxazinas; sendo estes:

- Os monômeros gerados são geralmente na forma de pó, o que dificulta seu processamento e sua transformação em filmes finos;
- Os polímeros são frágeis, devido à sua baixa massa molecular;
- A temperatura necessária para sua cura é elevada (tipicamente próxima a

200°C atingindo, em alguns casos, a 220°C) (KISKAN; GHOSH; YAGCI, 2010; TAKEICHI; AGAG, 2006).

| Propriedades | Condições de Teste | Requisitos | Benzoxazina |
|--------------------------------|--------------------|------------|-------------|
| ILSS (MPa) | MEK/RT/1h, RT | -- | 102 |
| | Seco, RT | 100 | 99 |
| | Seco, 120 °C | 63 | 68 |
| Tg onset E' (°C) | Seco | 150 | 198 |
| | 70°C /85% R. H. | 120 | 169 |
| Resistência à compressão (MPa) | Seco, RT | 1200 | 1373 |
| Módulo de compressão (GPa) | Seco, RT | 125 | 167 |
| CAI (MPa) | 25J, Seco, RT | 160 | 183 |

Tabela 3. Propriedades mecânicas do laminado fabricado a partir do prepreg unidirecional de benzoxazina (LI; LEHMANN; WONG, 2020).

| Propriedades | Condições de Teste | Requisitos | Benzoxazina |
|--------------------------------|--------------------|------------|-------------|
| Tg onset E' (°C) | Seco | -- | 194 |
| | 70°C /85% R. H. | -- | 172 |
| Resistência à compressão (MPa) | Seco, RT | 607 | 738 |
| Módulo de compressão (GPa) | Seco, RT | 48 | 62 |
| CAI (MPa) | 25J, Seco, RT | 241 | 221 |

Tabela 4. Propriedades mecânicas do laminado fabricado a partir do prepreg de benzoxazina/tecido de fibra de carbono (LI; LEHMANN; WONG, 2020).

4 | PROCESSABILIDADE

Várias estratégias vêm sendo desenvolvidas nestes últimos anos com o intuito de facilitar a processabilidade e elevar as propriedades mecânicas destas resinas, podendo-se citar a incorporação de cargas na matriz benzoxazina para a fabricação de compósitos e/ou a fabricação de blendas poliméricas (KISKAN; AYDOGAN; YAGCI, 2006; KISKAN; GHOSH; YAGCI, 2010).

Chen e seus colaboradores (2006) prepararam compósitos nanoestruturados de benzoxazina/NTC (nanotubos de carbono) com sucesso. Em seus trabalhos estes autores observaram que com a adição de nanotubo de carbono houve a redução da temperatura de cura e um expressivo aumento no módulo de armazenamento e na temperatura de transição vítrea (CHEN; XU; YU, 2006). Neste estudo, o compósito nanoestruturado obtido a partir da concentração de 1,5% (m/m) de nanotubo de carbono foi a que apresentou maiores valores de temperatura de transição vítrea, sendo esta em torno de 195°C.

Ishida e Allen (1996) produziram copolímeros baseados em resinas epóxi e

benzoxazina. Os autores, por meio de análises de DMA (análise dinâmico-mecânica) e de resistência mecânica evidenciaram grandes melhorias nas propriedades mecânicas e térmicas destes materiais (ISHIDA; ALLEN, 1996; PEREIRA, 2011; BANDEIRA, 2015).

5 | APLICAÇÕES

Apesar de terem sido descobertas a mais de 60 anos, as resinas benzoxazinas encontraram, até a década passada pouca aplicação quando comparadas com as resinas fenólicas e epóxi. Somente recentemente as resinas benzoxazinas despertaram o interesse da indústria aeroespacial, devido às suas propriedades serem semelhantes e em alguns casos superiores as tradicionais resinas epóxi e fenólica. Desta forma, atualmente há vários trabalhos disponíveis em literatura (ISHIDA; ALLEN, 1996; ISHIDA; RODRIGUEZ, 1995) estimam que o grande potencial de aplicação destinado a esta classe de resina deverá ocorrer na área aeroespacial devido à sua estocagem em temperatura ambiente e a sua baixa inflamabilidade e na área de isolantes eletrônicos devido à sua baixa contração na cura (> 30%) e a sua pouca absorção de umidade (> 1,5%) (LI; LEHMANN; WONG, 2020).

6 | PRODUTOS, FABRICANTES E NOMES COMERCIAIS

Atualmente, o principal fornecedor comercial da resina benzoxazina é a Henkel Corporation, onde esta resina vem sendo comercializada sob o nome comercial de Epsilon, sendo disponível na forma de diversos processamentos, dos quais os principais são: infusão; VARTM (Epsilon 99100 RTM com agente tenacificante Epsilon 99900), pré-impregnado e adesivo (LI; LEHMANN; WONG, 2020).

Além desta, existem outros fornecedores tais como a Haihang Industry Co. e a Shanghai Zhaoyu Chemical Material Co., ambas localizadas na China.

7 | CONCLUSÕES

A química das formulações e sua adequada manipulação são ferramentas muito valiosas na busca de novos produtos para a engenharia de materiais. As resinas benzoxazinas são um exemplo disso. Os estudos a respeito desta classe de polímeros vêm sendo motivados principalmente com o objetivo de tentar superar as deficiências das propriedades das resinas epóxi e fenólicas.

As resinas benzoxazinas constituem uma classe de resinas relativamente antigas dentro do grupo das fenólicas, porém, estas vêm sendo pouco exploradas. Apesar das primeiras resinas benzoxazinas terem gerado materiais poliméricos muito frágeis, os

processos atuais que são realizados com a adição de agentes tenacificantes e/ou com a produção de blendas poliméricas, possuem a maioria de suas propriedades semelhantes às das resinas epóxi e fenólicas, superando-as em alguns casos, no que se refere a sua armazenagem em temperatura ambiente e por não produzirem subprodutos de reação de cura.

As resinas benzoxazinas estão disponíveis no mercado tanto na forma de sistemas de resina pura como combinadas com diversos tipos de reforços, tais como fibra de carbono e fibra de vidro. Desta forma, estas vem sendo consideradas na substituição de resinas epóxi e fenólicas para a produção e utilização, como compósitos avançados, em aplicações aeroespaciais.

REFERÊNCIAS

- AGAG, T.; TAKEICHI, T. High-molecular-weight AB-Type benzoxazine as new precursor for high-performance thermosets. **Journal of Polymer Science**, New York, v.45, p. 1878-1888, 2006.
- ALLEN, D. J.; ISHIDA, H. Effect of phenol substitution on the network structure and properties of linear aliphatic diamine-based benzoxazines. **Polymer**, Amsterdam, Elsevier, v.50, p. 613-626, 2009.
- BANDEIRA, C. F. **Obtenção e Caracterização de Compósitos de benzoxazina/fibra de carbono**. 2015. 206 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica na área de Materiais) - Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.
- Chen, Q.; Xu, R. Yu, D. Multiwalled carbon nanotube/polybenzoxazine ... characterization and properties, **Polymer**, v.47 p.7711–7719, 2006.
- CHERNYKH, A.; AGAG, T; ISHIDA, H. Synthesis of linear polymer containing benzoxazine moieties in the chain with high molecular design versatility via click reaction. **Polymer**, Amsterdam, Elsevier, v.50, p. 382-390, 2009.
- CHERNYKH, A.; LIU, J.; ISHIDA, H. Synthesis and properties of a new crosslinkage polymer containing benzoxazine moiety in the main chain. **Polymer**, Amsterdam, Elsevier, v.47, p.7664-7669, 2006.
- COSTA, A.C.A. **Obtenção e Caracterização de Compósitos de Resina benzoxazina Reforçada com a Biomassa da Casca de Noz Macadâmia**. 2018. 83 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) – Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, 2018.
- GHOSH, N.N; KISKAN, B; YAGCI.Y. Polybenzoxazines: new high performance thermosetting resins: synthesis and properties. **Progress in Polymer Science**, Amsterdam: Elsevier Science Ltd, v.32. p.1344-1391, 2007.
- HAIK, C. C. **Influência do ciclo de cura da resina fenólica nos testes de inflamabilidade, densidade e emissão de calor**. 1995. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1995.
- ISHIDA, H.; AGAG, T. **Handbook of benzoxazine resins**, em: Overview and Historical Background of Polybenzoxazine Research, cap.1, Hatsuo Ishida & Tarek Agag (ed.), Elsevier B. V., Amsterdam (2011).
- ISHIDA, H.; ALLEN, D.J. Mechanical characterization of copolymers based on benzoxazine and epoxy. **Polymer**, Amsterdam, Elsevier, v.37, p. 4487-4495, 1996.

ISHIDA, H'; RODRIGUEZ, Y. Curing kinetics of a new benzoxazine-based phenolic resin by differential scanning calorimetry. **Polymer**, v.36, p.3151- 3158. 1995.

ISHIDA, H.; RODRIGUEZ, Y. Catalyzing the curing reaction of a new benzoxazine based phenolic resin. **Journal Appl Polymer Science**, v.58, p.1751-60 1995.

JUBSILP, C.; PUNSON, K.; TAKEICHI, T.; RIMDUSIT, S. Curing kinetics of Benzoxazine-epoxy copolymer investigated by non-isothermal differential scanning calorimetry. **Polymer Degradation and Stability**, v.95 p.918- 924, 2010.

KISKAN, B.; AYDOGAN, B.; YAGCI, Y. Synthesis, characterization, and thermally activated curing of oligosiloxanes containing benzoxazine moieties in the main chain. **Journal of Polymer Science**, New York, v.47, p. 804-811, 2009.

KISKAN, B.; GHOSH, N, G.; YAGCI, Y. Polybenzoxazine-based composite as highperformance materials. **Polymer Int.** Society of Chemical Industry, v.60, p 167-177, 2010.

LI, W.H.; LEHMANN, S.L.; WONG, R.S. Advanced Composite Structures Using New Resin Technology Offer Weight and Cost Savings”, Henkel Corporation: Product Data, Disponível em: http://www.henkelepsilonresin.com/assets/downloads/Epsilon%202005%20White%20Paper%20Resins%20for%20Advanced_Composite_Structures.pdf. Acesso em: Fev/2020.

LI, W.H.; LEHMANN, S.L.; WONG, R.S. Benzoxazine 99110 – Infusion Resin, Henkel Corporation: Product Data, Disponível em: <http://www.henkelepsilonresin.com/pdf/Henkel%20BZ%2099110%20SI.ppt.pdf>. Acesso em: Fev/2020.

NAKAMURA, M.; ISHIDA, H. Synthesis and properties of a new crosslinkage telechelics with benzoxazine moiety at the chain end. **Polymer**, Amsterdam, Elsevier, v.50, p. 2688- 2695, 2009.

OLIVEIRA, L. F. **Desenvolvimento de compósitos de fibra de carbono/resina benzoxazina para aplicações aeroespaciais**. 2018. 201 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica na área de Materiais) - Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2018.

PEREIRA, A. C. **Estudo da cinética de cura e das propriedades térmicas da resina benzoxazina e de seus compósitos nanoestruturados**. 2011. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica na área de Materiais) – Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

PILATO, L.A.; MICHNO, M.J. Advanced Composite Materials. Berlin, German. Springer Verlag. 1994.19p.

REGHUNADHAN, N, C. P. Advances in addition-cure phenolic resins. **Progress in Polymer Science**, V.29, p 401-498, 2004.

RIESS, G; SCHWOB, J. M.; GUTH, G.; ROCHE, M.; LAUDE, B. Ring opening polymerization of benzoxazines - a new route to phenolic resins. In: CULBERTSON, B.M.; McGrath, J.E. **Advances in polymer synthesis**, New York: Plenum Press, 1985. v.31, cap.2, p. 27-49.

SHEN, S. B. **Development and characterization of high-performance polybenzoxazines and related composites**. 1995. 38p. Argument (PhD Thesis) - Case Western Reserve University, Ohio, 1995.

TAKEICHI, T.; AGAG, T. High performance polybenzoxazines as novel thermosets. **High Performance Polymers**, v.18, p. 777-797, 2006.

TSUEI, D. - Comprising benzoxazine and epoxy resin - USA Patent 2008/0302471A1, USA (2008).

WANG, J. Y.; ISHIDA, H. Development of low-viscosity benzoxazine resins and their polymers. **Journal of Applied Polymer Science**, Bognor Regis, v.86, p. 2953-2966, 2002.

YU, D.S.; CHEN, H.; SHI, Z. Xu, R, Curing kinetics of benzoxazine resin by torsional braid analysis, **Polymer**, v.43 p.3163–3168, 2002.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Acidez 36, 39, 40, 41, 128
Adsorção de níquel 107, 117
Análises de difração de raios X 17, 22
Ativação térmica da casca 123

B

Biomassa 10, 33, 34, 100, 129, 172, 173, 174, 175, 176, 178, 180, 181, 182, 184, 185, 186, 187, 189, 190, 192, 194, 196, 198, 199, 200, 201, 205, 206

C

Calor isostérico de sorção 131, 132, 139, 140, 141
Calor latente de vaporização 132, 136
Caracterização físico-química 38, 43, 141
Casca de Buriti 123, 124, 129
Catalisadores baseados em óxido de ferro 153, 156, 159, 160, 161
Cinética de secagem 54, 56, 60, 61, 64, 65, 150
Composição química 14, 16, 29, 33, 47, 49, 50, 196, 200, 205, 206
Compósitos 2, 3, 8, 10, 11, 23, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 205, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216
Compósitos poliméricos 164, 170, 210

D

Decantador horizontal 90, 91, 95
Densidade 6, 10, 36, 37, 39, 40, 59, 62, 82, 90, 95, 97, 145, 172, 175, 196, 198
Determinação dos carboidratos 202

E

Energia livre de Gibbs 27, 31, 33, 132, 135
Entropia diferencial 133, 139, 140
Equação de Gibbs- Helmholtz 135
Esferas porosas 107, 110, 111, 119
Espectrofotômetro 112, 127, 156, 202
Estudo físico-químico 36

F

Forças de atração intermolecular 136

G

Granulometria 164, 179, 190, 200, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215

I

Indústria aeroespacial 1, 2, 3, 5, 6, 9

Isotermas de sorção 131, 133, 134, 137, 138, 139

L

Lama vermelha 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 22, 23, 209, 210, 212, 213, 214, 215, 216

Licores 36, 37, 38, 40, 41, 42, 43, 44

Licores de cupuaçu 36, 37, 38, 43

Lignocelulósica 172, 173, 174, 175, 176, 178, 180, 181, 182, 184, 185, 187, 189, 190, 192, 194, 196, 198, 199, 200, 206

Liofilizador 143, 144, 146

Lipase extracelular 99

M

Microscopia eletrônica de varredura 13, 15, 17, 22

N

Nanopartículas de ferro 81

O

Óleo essencial 54, 55, 56, 59, 62

P

Partículas com memória acoplada 66

pH 25, 26, 28, 30, 33, 36, 37, 38, 40, 41, 102, 109, 112, 113, 119, 120, 123, 124, 126, 127, 128, 129, 156, 162, 202, 203

Polpa de Oiti 148

Propriedades dos catalisadores 153, 156

Propriedades dos compósitos 209, 215

Propriedades termodinâmicas 131, 133, 135, 136, 139

Q

Quimiometria 37

Quitosana na adsorção de níquel 107

R

Refractance Window 143, 144, 145, 149, 151

Resíduos de ferro 164

Resina benzoxazina 1, 4, 5, 6, 9, 10, 11

Resinas fenólicas 1, 2, 3, 5, 9

T

Tamanho de partículas 175, 198, 200

Teor de lignina insolúvel 201

Tipo de dopante 153, 160

Tratamento térmico 13, 16, 17, 21, 22

Tratamento térmico-hidrometalúrgico 13, 16, 22

U

Utilização de mesocarpo de coco verde 24

V

Viscosidade 36, 37, 39, 40, 41, 95, 97, 205

 **Atena**
Editora

2 0 2 0