

# 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](http://www.atenaeditora.com.br)  
[contato@atenaeditora.com.br](mailto: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

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
RESINA BENZOXAZINA: OBTENÇÃO E POTENCIAL DE APLICAÇÃO NO SETOR AEROESPACIAL	
Cirlene Fourquet Bandeira	
Aline Cristina Pereira Trofino	
Sérgio Roberto Montoro	
Michelle Leali Costa	
Edson Cocchieri Botelho	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5392020031</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>13</b>
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	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5392020032</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>24</b>
ESTUDOS CINÉTICO E TERMODINÂMICO DA UTILIZAÇÃO DE MESOCARPO DE COCO VERDE NA REMOÇÃO DE ÍONS FLUORETO EM SOLUÇÃO	
César Augusto Canciam	
Nehemias Curvelo Pereira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5392020033</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>36</b>
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	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5392020034</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>45</b>
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	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5392020035</b>	

**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**

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

Data de aceite: 11/03/2020

**Flávia Cristina Cardoso Dória**  
**Elaine Cristina Nogueira Lopes de Lima**

### 1 | INTRODUÇÃO

A água - substância mais importante para o consumo humano - é necessária para atividades de subsistência e continuação da vida, por isso faz-se necessário que a mesma seja de boa qualidade e que esteja disponível para o consumo dos seres vivos. Entretanto, isto está tornando-se cada vez mais difícil, em virtude da alta taxa de poluição causada por atividades industriais têxteis de couro, papéis, plásticos; agrícolas e domésticas etc<sup>1,2</sup>.

Com a finalidade de evitar a poluição dos corpos d'água é essencial tratar os efluentes despejados através da remoção dos poluentes existentes antes destes serem lançados. Para isso, há diversos métodos, tais como: a coagulação/floculação<sup>3</sup>, adsorção<sup>4</sup>, diálise<sup>5</sup>, osmose<sup>6</sup>, separação por membrana<sup>7</sup>, degradação fotocatalítica e métodos biológicos<sup>8</sup>, sendo que o processo de adsorção é considerado o mais apropriado para remover tanto poluentes inorgânicos quanto orgânicos. Neste sentido, existem muitas pesquisas

que são desenvolvidas no intuito de buscar adsorventes apropriados e eficientes no processo de adsorção, mais expressivamente no caso de poluição por metais pesados.

Desta maneira, há um crescente interesse na utilização de polímeros naturais, uma vez que, além de apresentarem vantagens na sua composição, os mesmos são amplamente encontrados na natureza. Como exemplo, pode-se destacar os polímeros biodegradáveis que são obtidos a partir de fontes naturais, sejam elas de origem animal ou vegetal, tais como: colágeno, celulose, quitina, quitosana, amido<sup>9,10</sup>, entre outros. Sendo a quitina, quitosana e seus derivados de extrema importância na investigação como adsorventes para a remoção de íons metálicos de água e efluentes.

#### 1.1 Quitosana

Para entender a quitosana, antes será necessário descrever sobre o material que o dá origem, a quitina. A quitina é o segundo polissacarídeo natural presente na Terra, perdendo para a celulose. Está presente no exoesqueleto de crustáceos, nas paredes celulares de alguns fungos e nas cutículas de alguns insetos.<sup>11</sup>

Polímero de cadeia longa, a quitina possui a seguinte estrutura, (2-acetamido-2-deoxi-D-

glicopirranose e 2-amino-2-deoxi-D-5-glicopirranose), unidas por ligações glicosídicas  $\beta(1 \rightarrow 4)$ . A quitina possui imunogenicidade extremamente baixa, e apesar da presença de nitrogênio, é um material altamente insolúvel, assemelhando-se a celulose, na sua solubilidade e na baixa reatividade química.<sup>12</sup>

Mais importante do que a quitina, é o seu derivado N-desacetilado, a quitosana. O grau de N-desacetilação é o que define a quitosana da quitina, onde na quitina há a predominância em sua estrutura da unidade 2-acetamido-2-deoxi-D-glicopirranose, e na quitosana possui como unidade predominante o 2-amino-2-deoxi-D-glicopirranose. Diferentemente da quitina, a quitosana é capaz de solubilizar-se em ácidos diluídos como ácido acético, ácido fórmico, entre outros. A Figura 1 mostra a comparação das estruturas moleculares da quitina, quitosana e da celulose, onde os grupos hidroxila (-OH) estão dispostos na estrutura geral do carboidrato para a celulose, grupos acetamida (NHCOCH<sub>3</sub>) para a quitina e grupos amino (-NH<sub>2</sub>) para a quitosana.<sup>13</sup>

As propriedades da quitosana dependem dos métodos utilizados para síntese e da matéria prima utilizada. Ao exemplo do grau de desacetilação, propriedade no qual determina a quantidade de grupos amino na cadeia polimérica, sendo que somente é considerado quitosana, quando tiver uma extensão acima de 60% de desacetilação.<sup>14</sup>

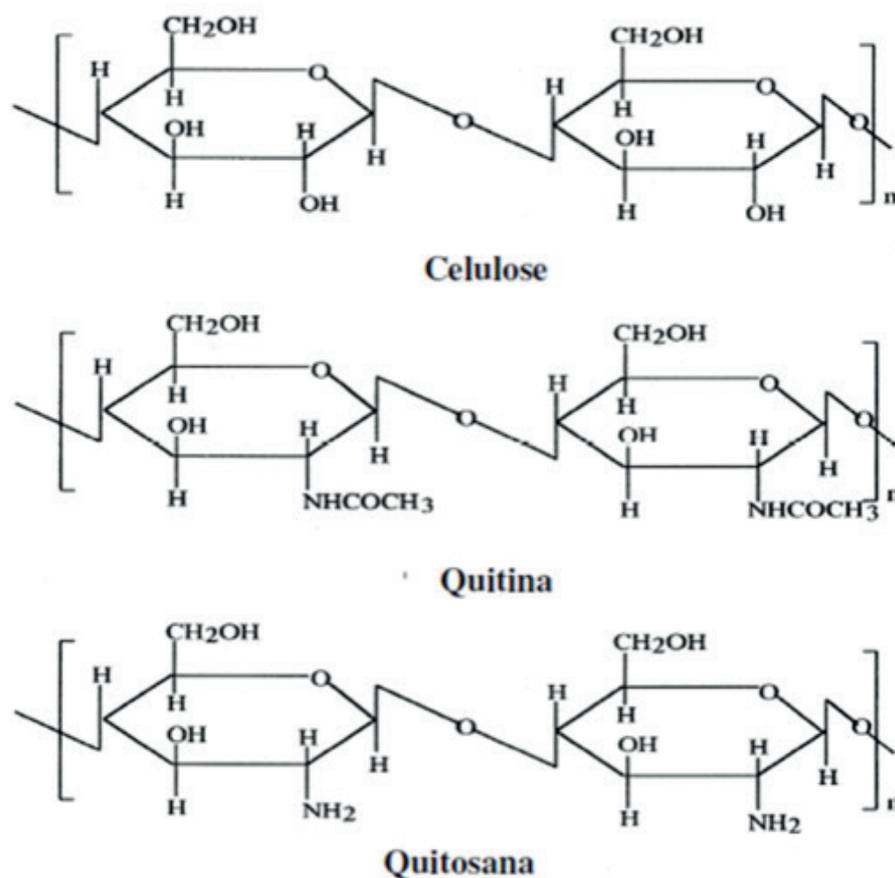


Figura 1: Estruturas da celulose, quitina e quitosana.

Devido aos grupos amino alifáticos, a quitosana sofre típicas reações de aminas, N-actilação e reação de Schiff são as mais relevantes. Além do grupo amino, a

quitosana possui as hidroxilas como grupos reativos secundários. Considerada uma base de Lewis, tem a propriedade de quelar muitos íons metálicos de transição.<sup>11-15</sup> A quitosana na forma de pó pode ser utilizada nos processos de adsorção de íons metálicos, porém a sua modificação física para a forma esférica provoca uma melhora na área superficial, aumentando o acesso aos sítios de adsorção (grupos amino) que não estariam expostos, assim a velocidade e capacidade de adsorção seriam beneficiadas.<sup>14</sup> Modificações químicas com determinados agentes reticulantes podem melhorar algumas desvantagens, como a sensibilidade da quitosana de se dissolver em soluções de pH baixos, e também modificar algumas propriedades mecânicas.<sup>16</sup>

## 1.2 Adsorção

Adsorção é a acumulação de uma substância em uma interface. O material concentrado pode ser chamado de adsorbato e a fase que adsorve pode ser chamada de adsorvente. Os sólidos apresentam a propriedade de reter moléculas em sua superfície, e esta propriedade pode se acentuar se o sólido for de um material poroso.

O tamanho dos poros determina a acessibilidade das moléculas de adsorbato para a superfície interna de adsorção, sendo uma importante propriedade para caracterizar seu poder de adsorção. Existem dois tipos principais de adsorção: a adsorção física, onde o adsorbato encontra-se ligado por forças de Van der Waals e a adsorção química, onde as moléculas do adsorbato unem-se à superfície do adsorvente formando ligações químicas (especialmente covalentes)<sup>17</sup>. Na pesquisa em andamento, o material adsorvente são esferas de quitosana modificadas quimicamente, e o adsorbato, solução aquosa contendo diferentes concentrações de níquel II.

Segundo C. Zihong e colaboradores, a adsorção é um processo de tratamento físico-químico eficaz na remoção de íons de metais pesados a partir de águas residuais. O processamento de adsorventes de baixo custo é requerido, sendo que adsorventes preparados a partir do biopolímero quitosana atraem atenção nos campos biomédico ou bioquímico para a separação e purificação; e na área ambiental para a remoção de íons de metais pesados, proteínas e corantes<sup>18</sup>.

Sendo assim, a quitosana tornou-se um dos materiais adsorventes alternativos por apresentar baixo custo e ser o segundo polissacarídeo natural mais abundante na Terra<sup>15</sup>.

Explicando o poder de adsorção da quitosana, o pesquisador Eric Guibal, em suas pesquisas, afirmou que: “Cátions metálicos podem ser adsorvidos através de quelação sobre os grupos amino da quitosana em soluções próximas a neutras. No caso de ânions metálicos, o produto adsorve por atração eletrostática sobre grupos amino protonados em soluções ácidas”<sup>17</sup>.

A quitosana reage com substâncias carregadas negativamente como ácidos graxos, polissacarídeos, proteínas, sais minerais e vitaminas, além de adsorver metais

pesados [Cd(II), Cu (II), Cr (III), Pb (II), Zn (II) Ni (II), Hg (II), U (VI) e V (IV)] a partir de resíduos industriais, devido a presença de grupamentos aminos livres <sup>17,19-21</sup>. O entrecruzamento da quitosana com solução de tripolifosfato produz esferas mais rígidas, assim afirma Chiou (2003, p. 1096) em seu trabalho<sup>22</sup>. Feng-Chin Wue colaboradores afirmou que a comparação entre as capacidades de adsorção de metais pesados em esferas de quitosana modificadas é bastante difícil a partir dos resultados da literatura, devido às características complicadas da quitosana e ambientes de solução<sup>20</sup>.

Adriany G. N. Amorim e colaboradores, em suas pesquisas, afirmaram que, o metal pesado, níquel, pode ser separado por tal material, confirmando experimentalmente o poder de quelação da quitosana<sup>23</sup>:

Vijaya, et al. (2008) estudaram a remoção de níquel a partir de soluções aquosas por meio da adsorção, utilizando os seguintes adsorventes: alginato de cálcio (CA), quitosana revestida com alginato de cálcio (CCCA) e quitosana sílica (CCS), obtendo uma capacidade máxima de adsorção dos biossorventes de 310,4; 222,2 e 254,3 mg g<sup>-1</sup> para CA, CCCA e CCS respectivamente<sup>24</sup>.

W. S. Wan Ngah afirmou em seu artigo de revisão, que a adsorção utilizando compostos de quitosana tornou-se uma alternativa promissora para substituir adsorventes convencionais na remoção de corantes e íons de metais pesados. E que, embora a quitosana possa dissolver-se em meios ácidos, o uso de agentes entre cruzantes podem melhorar as propriedades de dissolução da quitosana<sup>25</sup>.

Eric Guibal afirma que a quitosana pode ser usada não somente para a descontaminação de efluentes, mas também para recuperação de metais valiosos e para a formação de novos materiais ou processos que envolvem quitosana carregada com metais.<sup>17</sup>

Kumar confirma a importância da quitosana, onde ele diz que: “A quitosana tornou-se de grande interesse não apenas como um recurso pouco utilizado, mas também como um novo material funcional de alto potencial em vários campos, e os progressos químicos da quitina / quitosana são bastante notáveis”.<sup>12</sup>

## 2 | OBJETIVOS

- Sintetizar as esferas porosas de quitosana utilizando Tripolifosfato de Sódio;
- Modificar quimicamente as esferas porosas de quitosana com Dicloreto orgânico e Amina;
- Caracterizar os materiais obtidos;
- Aplicar as esferas porosas de quitosana na adsorção de Ni (II) em solução aquosa;
- Determinar os dados cinéticos da interação sólido/solução.

## 3 | METODOLOGIA

### 3.1 Preparação das esferas de quitosana

A preparação das esferas porosas de quitosana se constitui em quatro partes principais: dissolução da quitosana em ácido, preparação da base (reticulante), gotejamento e lavagem/secagem. Para a dissolução da quitosana, foi necessária a preparação da solução de ácido acético  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ , assim, diluiu-se  $0,6 \text{ mL}$  de ácido acético  $17,45 \text{ mol L}^{-1}$  em um balão e  $100 \text{ mL}$ , pesou-se por volta de  $1,8 \text{ g}$  de quitosana e em seguida dissolveu-se manualmente a quitosana em pó na solução ácida, colocando-se posteriormente no agitador magnético com aquecimento médio ( $50 \text{ }^\circ\text{C}$ ) até dissolver por completo, adquirindo um caráter viscoso e coloração amarela transparente.

Para preparar a solução básica de tripolifosfato  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ , pesou-se em média  $36,8 \text{ g}$  de tripolifosfato, dissolvendo-se em um béquer e transferindo-se para um balão de  $1 \text{ L}$ , completando com água até atingir o menisco e homogeneizou-se em seguida. Na etapa seguinte, a solução de quitosana foi gotejada, com o auxílio de uma bureta, apresentando uma ponteira para micropipeta de  $5 \text{ ml}$  preso na ponta, na solução de tripolifosfato de sódio com agitação magnética, formando assim esferas de tamanho desejados. Por último, as esferas formadas foram lavadas com água destilada até o meio tornar-se neutro, sendo em seguida secas à temperatura ambiente.

### 3.2 Modificação química da quitosana com dicloreto de isoftaloíla

Colocou-se aproximadamente  $6 \text{ g}$  das esferas de quitosana pura para reagir com  $10 \text{ g}$  de dicloreto de isoftaloíla num balão volumétrico de três bocas, usando  $200 \text{ ml}$  de xileno como solvente. A reação ocorreu durante  $6 \text{ horas}$ , sob agitação constante. A reação ocorreu a uma temperatura em torno de  $110^\circ\text{C}$ , calor fornecido por um agitador magnético com aquecimento, onde o fluxo de calor foi transmitido primeiramente para uma cápsula de porcelana coberta com areia, com o princípio de homogeneizar a transmissão de calor, para em seguida aquecer o balão que estava em contato com a areia aquecida na cápsula.

Seis horas após a reação desligou-se os aparelhos, esperando assim o esfriamento para a retirada da quitosana modificada. Após retirar a quitosana modificada, lavou-os com etanol P. A. e em seguida foram postos para secar a temperatura ambiente. Separou-se uma pequena quantidade da quitosana modificada com dicloreto de isoftaloíla para serem feitas as caracterizações e o restante foi posto para reagir com a etilenodiamina.

### 3.3 Modificação química da quitosana com etilenodiamina

O processo de modificação com etilenodiamina assemelha-se ao anterior, diferenciando somente nos reagentes. Neste caso, foi utilizada aproximadamente  $5,5 \text{ g}$

da quitosana já modificada com o dicloreto de isoftaloíla para 8,0 mL de etilenodiamina. Todo o processo de reação e lavagem/secagem ocorreu da mesma forma.

### 3.4 Caracterização dos materiais

#### 3.4.1 Espectroscopia de absorção na região do infravermelho

Os materiais obtidos foram caracterizados por espectroscopia absorção na região do infravermelho, onde os espectros foram obtidos usando pastilhas de KBr com 1 % de amostra, tendo resolução de  $4\text{ cm}^{-1}$ , com 32 acumulações, em um espectrofotômetro Varian 640-IR.

Inicialmente, foi realizado o preparo das amostras, com a ajuda de um almofariz, trituraram-se os 3 tipos de quitosana produzidos, separadamente.

Foram dados os seguintes símbolos às esferas de quitosana obtidas: esferas de quitosana não modificadas (Q), esferas de quitosana modificadas com dicloreto de isoftaloíla (QD) e esferas de QD modificadas posteriormente com etilenodiamina (QE).

Em seguida, homogeneizou-se o pó de cada amostra de quitosana com KBr em pó para a formação das pastilhas, colocando-os no aparelho para serem feitas as leituras dos espectros para cada comprimento de onda emitido na faixa de  $4000\text{ cm}^{-1}$ –  $350\text{ cm}^{-1}$ .

#### 3.4.2 Termogravimetria

Aproximadamente 5 mg de um dado material foram pesados em um porta amostra de alumina e colocadas em um aparelho TGA/DTA, da TA Instruments, modelo SDT 2960. As análises foram realizadas com taxa de aquecimento de  $10\text{ °C min}^{-1}$ , da temperatura ambiente até 900 K, sob vazão de  $100\text{ mL min}^{-1}$  de  $\text{N}_2$ .

### 3.5 Preparação das soluções e determinação dos metais

Para o ensaio de efeito da isoterma de concentração, foi necessário preparar uma solução estoque de Ni(II)  $0,18\text{ mol L}^{-1}$ , pesando 2,14 g de Ni(II) diluindo em água destilada, e a partir desta preparou-se soluções com diferentes concentrações variando entre  $(7,0 \times 10^{-4}$  a  $7,0 \times 10^{-3})\text{ mol L}^{-1}$ , todas preparadas em solução tampão com valor de pH 6 (biftalato de potássio/NaOH  $0,1\text{ mol L}^{-1}$ ). A determinação da concentração do metal, Ni(II), foi realizada por espectroscopia de absorção atômica.

Para o estudo do efeito de pH do Ni(II) com comprimento de onda no UV/Vis de 510,5 nm, tomou-se como referência o estudo de pH realizado pelo graduando Bernardo Vasconcelos Rocha em seu TCC (2017), onde o mesmo preparou soluções estoques do metal Cu(II)  $0,1\text{ mol L}^{-1}$ , com comprimento de onda no UV/Vis de 510 nm. Estas foram preparadas em soluções tampões com valores de pH 1, 2, 3, 4, 5 e 6. Onde as soluções de metal com valores de pH 1, 2 e 3 foram preparadas com tampão ácido clorídrico/NaOH  $0,1\text{ mol L}^{-1}$  e as com as com valores de pH 4, 5 e 6

foram preparadas com tampão biftalato de potássio/NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup>. Determinando a concentração do metal, Cu(II), por espectroscopia molecular, utilizando o método de complexação com o 4,2-piridilazo resorcinol (PAR)<sup>30</sup>.

### 3.5.1 Efeito de Concentração

Segundo Oliveira (2011), as isotermas de concentração informam como o número de mols fixos variam em função da concentração da solução do sorvato em temperatura constante. Baseando-se na saturação da matriz sorvente pelo sorvato<sup>31</sup>.

Existem tipos comuns de isotermas, entre elas os modelos das equações de Langmuir, Freundlich e Redlich-Peterson. Entretanto os modelos que descrevem adsorção de metais no solo são os propostos por Langmuir e Freundlich, sendo necessário ajustar os dados experimentais aos modelos de sorção. Como observado nas Equações 1 e 2. A partir dos coeficientes angular e linear dos gráficos  $C_e$  versus  $C_e/Q_e$  e  $\log C_e$  versus  $\log Q_e$  obtêm-se os valores da capacidade máxima de sorção e da constante de equilíbrio na formação de uma monocamada para o processo sólido-líquido<sup>32</sup>.

**Equação 1:** Ajuste de sorção de Langmuir na sua forma linearizada.

$$\frac{C_e}{Q_e} = \frac{1}{Q_0 K_L} + \frac{1}{Q_0} \cdot C_e$$

**Equação 2:** Ajuste de sorção de Freundlich em equilíbrio de superfícies heterogêneas (amorfas).

$$\log Q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \cdot \log C_e$$

Em que:

$Q_e$  – massa de metal sorvido por grama de adsorvente (mg.g<sup>-1</sup>);

$C_e$  – concentração de equilíbrio no tempo (mg.L<sup>-1</sup>);

$Q_0$  – capacidade máxima de adsorção (mg.g<sup>-1</sup>);

$K_L$  – constante relacionada à energia de ligação do metal no adsorvente (mg.L<sup>-1</sup>);

$K_f$  – constante de Freundlich (mg.g<sup>-1</sup>);

$n$  – parâmetro de afinidade da quitosana pelo soluto (adimensional).

Experimentalmente transferiu-se 10 mL da solução tampão de Ni(II) com pH 6 (7,0 x 10<sup>-4</sup> a 7,0 x 10<sup>-3</sup>) mol L<sup>-1</sup>, para um frasco de vidro âmbar, em seguida adicionou-se 0,1 g de quitosana, agitando-o pelo tempo necessário até ocorrer a saturação dos

sítios básicos das matrizes sorventes pela coordenação do cátion Ni(II), determinado experimentalmente<sup>30</sup> pelo estudo cinético em 4 h. Os experimentos foram realizados para as quitosanas entrecruzadas com tripolifosfato de sódio.

## 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Uma proposta das reações de modificação das esferas de quitosana com dicloreto de isoftaloíla seguida da reação com etilenodiamina, utilizada com o objetivo de aumentar os sítios ativos na estrutura das esferas e assim aumentar a adsorção de íons metálicos em solução aquosa, é esquematizada na Figura 2.

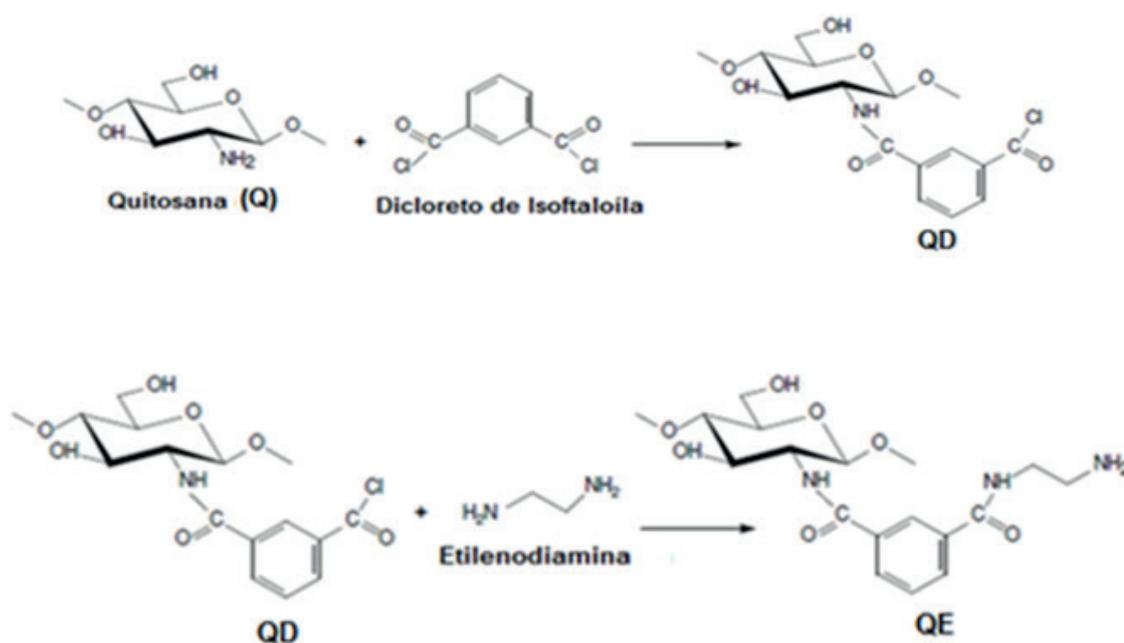


Figura 2: Reação de dicloreto de isoftaloíla com quitosana, seguido da imobilização de etilenodiamina.

### 4.1 Espectroscopia na Região do Infravermelho

Devido à facilidade de acesso, a espectroscopia de absorção na região do infravermelho é uma das técnicas mais empregadas para a caracterização do biopolímero quitosana e seus derivados e tem por finalidade identificar as principais bandas vibracionais dos grupos funcionais ligados, além de ser também, uma das técnicas mais utilizadas para determinação do grau de desacetilação da quitosana.<sup>26</sup>

Os espectros de absorção no infravermelho das esferas de quitosana não modificada (Q) e modificadas quimicamente (QD e QE) são apresentados nas Figuras 3 e 4.

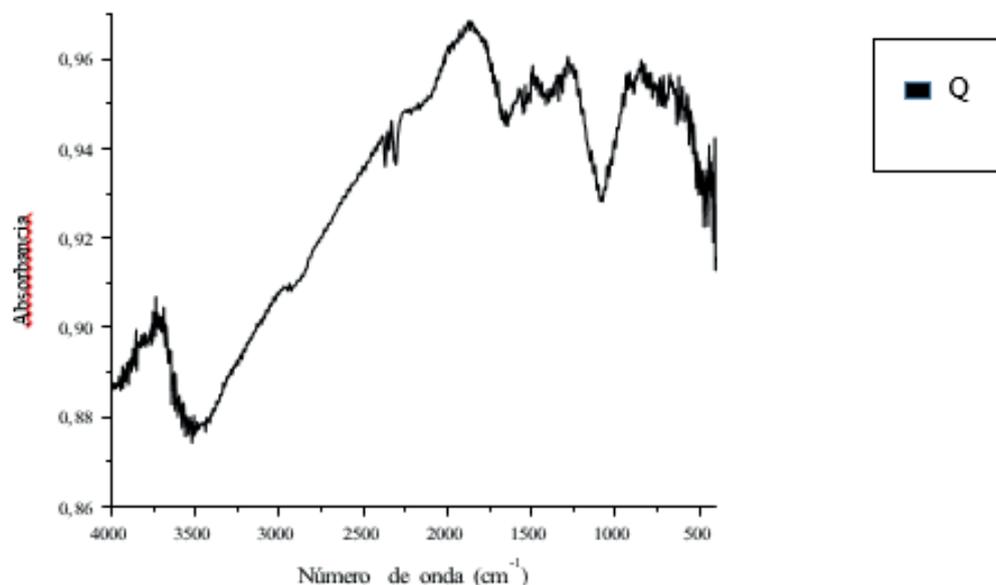


Figura 3: Espectros de absorção para as esferas de quitosana (Q).

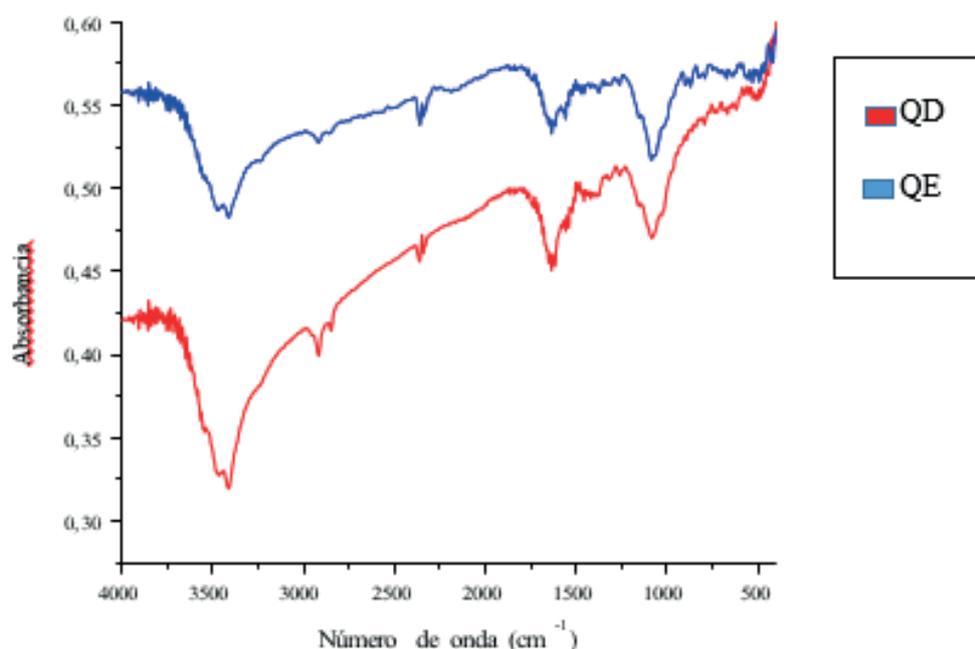


Figura 4: Espectro de absorção para as esferas modificadas (QD e QE).

É possível observar que a banda forte e larga, na região por volta de 3500  $\text{cm}^{-1}$  corresponde à hidroxila associada, isto é, que efetua ligação de hidrogênio. O pico intenso e estreito presentes entre 1600  $\text{cm}^{-1}$  e 1700  $\text{cm}^{-1}$  são característicos da carbonila (C=O), pois a quitosana não apresenta total desacetilação. A banda larga situada entre 3500  $\text{cm}^{-1}$  pode corresponder também ao estiramento das ligações N-H (unidades acetiladas) da quitosana. As bandas médias localizadas entre 1590  $\text{cm}^{-1}$  e 1550  $\text{cm}^{-1}$  correspondem à deformação angular simétrica do  $\text{NH}_2$  no plano. As demais bandas presentes no espectro são características destes biopolímeros, sendo referência assim para o reconhecimento do composto quitosana.<sup>26</sup>

Percebe-se que os espectros das esferas de quitosana modificadas pouco

diferenciam-se em relação ao das esferas de quitosana não modificada, diferenciando-se nas bandas em torno de  $1590\text{ cm}^{-1}$  e  $1550\text{ cm}^{-1}$  que atribuem-se à deformação de grupos amino ( $-\text{NH}_2$ ), característica da quitosana, indicando o envolvimento dos grupos amino nas reações de modificação.

#### 4.1.2 Termogravimetria (TG)

As curvas termogravimétricas, geralmente são obtidas com a finalidade de avaliar a perda de massa do material, bem como dos grupos orgânicos ligados através das reações de modificação, a partir do processo de aquecimento.<sup>27</sup>

As curvas termogravimétricas da quitosana não modificada (Q), da quitosana modificada com dicloreto de isoftaloíla (QD) e da quitosana modificada com dicloreto de isoftaloíla e, posteriormente, etilenodiamina (QE) estão presentes na figura 5.

Observa-se nas curvas termogravimétricas que os derivados da quitosana (Q, QD e QE) apresentam degradação térmica semelhante. Os resultados obtidos mostram perda de massa em duas etapas. Inicialmente, da temperatura ambiente até cerca de  $200\text{ }^\circ\text{C}$ , a perda de massa refere-se à perda de água adsorvida e estrutural contida nos materiais, a segunda etapa se inicia cerca de  $200\text{ }^\circ\text{C}$  até  $500\text{ }^\circ\text{C}$ , a perda de massa decorre-se à despolimerização e desacetilação dos produtos, resumindo-se através da degradação térmica, vaporização e eliminação dos produtos.<sup>28,29</sup>

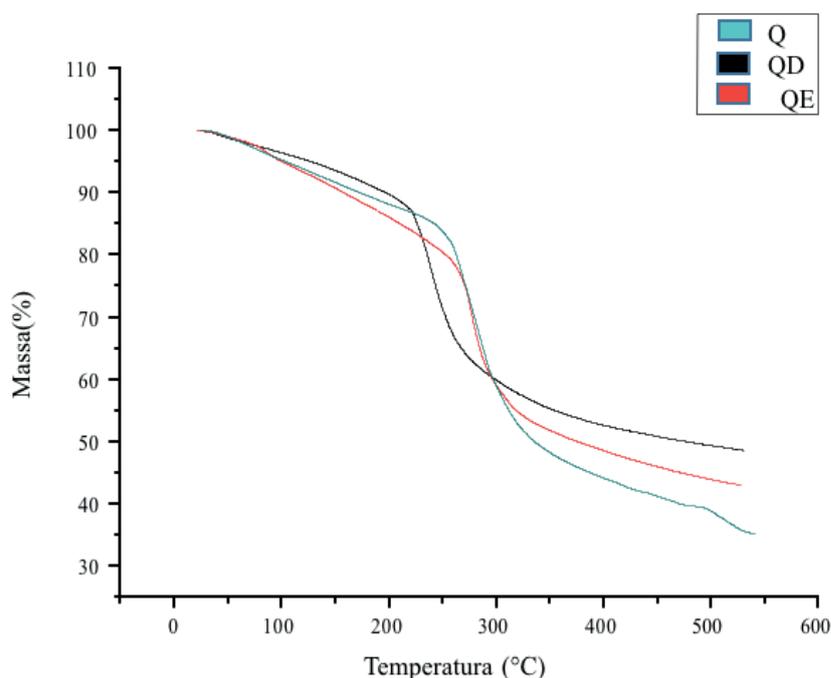


Figura 5: Curvas TG para os biopolímeros Q, QD e QE.

Na Tabela 1 encontram-se as faixas de temperaturas e suas respectivas perdas de massa analisadas no TGA.

Material	$\Delta T$ (°C)	Perda de massa (%)
Q	25 – 283	32,01
	283 – 541	33,08
QD	25 – 240	22,70
	240 – 532	28,83
QE	22 – 278	29,83
	278 – 529	26,90

Tabela 1: Dados de intervalos de temperatura ( $\Delta T$ ) e porcentagem de perda de massa (Pm) de decomposição dos biopolímeros Q, QD e QE.

Através dos dados apresentados na Tabela 1, percebe-se que as perdas de massa para as diferentes quitosanas são semelhantes para suas respectivas faixas de temperaturas.

#### 4.1.3 Isotermas de Concentração

A análise de adsorção de íons Ni(II) baseiam-se nas isotermas de adsorção, utilizando como modelo as equações propostas de Langmuir e Freundlich para tratamento de dados, fazendo um ajuste de sorção de Langmuir na sua forma linearizada (Equação 1) e ajuste de sorção de Freundlich em equilíbrio de superfícies heterogêneas (Equação 2). Os dados obtidos podem ser observados na Tabela 2 e 3. As análises foram realizadas por espectrofotometria de absorção atômica.

	Modelo	Equação	R <sup>2</sup>
Q1	Langmuir	$Q_E = \frac{0,2045 \cdot C_{EQ}}{1 + 0,0279 \cdot C_{EQ}}$	0,91
	Freundlich	$Q_E = 1,3488 \cdot C_{EQ}^{0,2801}$	0,99

Tabela 2: Equações para determinação das isotermas linearizadas de Langmuir e Freundlich e a regressão.

	Langmuir		Freundlich	
	Q0 (mg.g <sup>-1</sup> )	KL (L.mg <sup>-1</sup> )	Kf (mg.g <sup>-1</sup> )	1/n
Q1	7,3285	0,0279	1,3488	0,2801

Tabela 3: Parâmetros das isotermas de adsorção de Langmuir e Freundlich.

Seguindo os conceitos de coeficiente de correlação satisfatório, onde R<sup>2</sup> = 1, o coeficiente do modelo de Freundlich é o mais satisfatório com R<sup>2</sup> = 0,99. Descrevendo mais adequadamente o processo de adsorção de níquel nas esferas de quitosana entrecruzadas. Tal justificativa se aplica à isoterma de Freundlich descrever o equilíbrio em superfícies heterogêneas e por esta razão, não assumir uma capacidade de adsorção em monocamada como a isoterma de Langmuir; assim mostrando-se frequentemente superior ao modelo de Langmuir para adsorção de cátions e ânions.

Na Tabela 3, observam-se os parâmetros das isotermas de adsorção para os dois modelos, e através da isoterma de Langmuir pode-se determinar a quantidade máxima de níquel adsorvida na esfera de quitosana entrecruzada (7,33 mg de níquel por grama de quitosana). Ainda seguindo a isoterma de Langmuir pode-se calcular um parâmetro de equilíbrio ( $R_L$ ),  $R_L = 0,83$ , considerado favorável a adsorção, pois encontra-se entre (0 a 1)<sup>22</sup>. A equação deste parâmetro é descrita na Equação 3:

**Equação 3:** Cálculo do parâmetro de equilíbrio  $R_L$

$$R_L = \frac{1}{1 + K_L \cdot C_0}$$

Em que:

$R_L$  o parâmetro de equilíbrio;

$K_{La}$  constante de Langmuir ( $L \cdot mg^{-1}$ );

$C_0$  a concentração inicial mais alta do metal ( $mg \cdot L^{-1}$ ).

Ainda na Tabela 3, a isoterma de Freundlich fornece um parâmetro muito importante, o valor de  $n$  (valores de  $n$  entre 1 e 10, a adsorção é considerável favorável)<sup>22</sup>. Neste caso encontra-se  $n = 3,5702$ ; o que confirma a favorabilidade da adsorção já pré-determinada pelo parâmetro  $R_L$ .

Através do tratamento de dados foi possível determinar as modelagens dos dados experimentais com base nas isotermas de Langmuir e Freundlich para o estudo do efeito de concentração do íon de níquel com a esfera de quitosana entrecruzada (Figura 7).

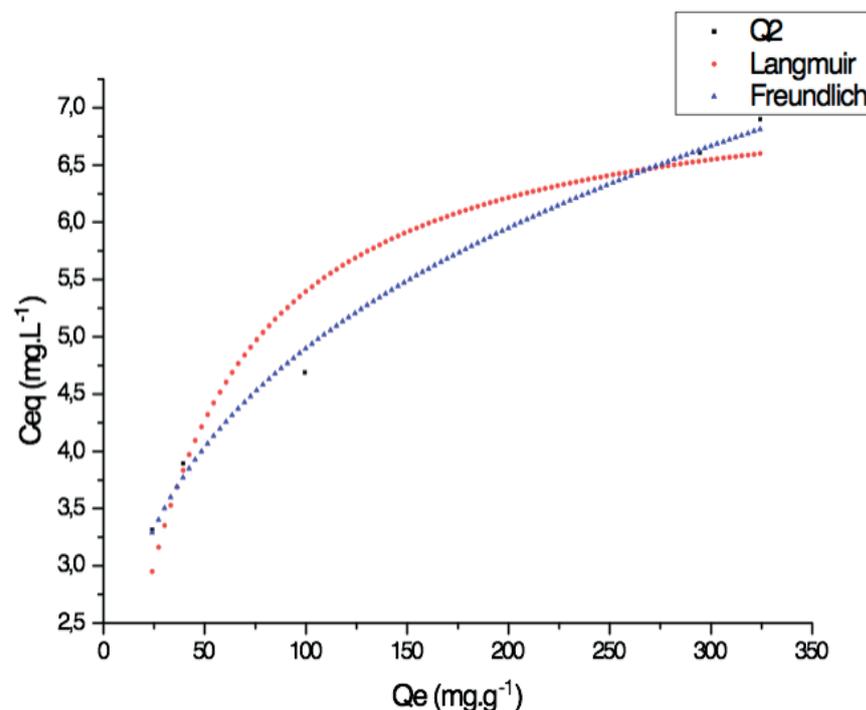


Figura 6: Isoterma de concentração estimada pelos modelos de Langmuir e Freundlich

Observa-se que o comportamento dos dados experimentais, com relação à adsorção de Ni(II) em quitosana entrecruzada, pode ser descrito por ambos os modelos, confirmando os resultados registrados na Tabela 2.

## 5 | CONCLUSÃO

As esferas porosas de quitosana entrecruzadas com tripolifosfato de sódio (Q1) e modificadas quimicamente com dicloreto de isoftaloíla (QD) e etilenodiamina (QE), com o material intermediário, usadas com o objetivo de aumentar os sítios ativos na superfície de contato esférico, foram sintetizadas e caracterizadas, através das técnicas de espectroscopia de absorção na região do infravermelho e termogravimetria. Evidenciando possíveis modificações químicas na estrutura da quitosana, comparações da estabilidade térmica dos materiais sintetizados e possíveis mudanças na superfície de cada biopolímero.

Através do espectro de absorção do infravermelho observou-se a diferenciação dos espectros das esferas de quitosana modificada em relação ao das esferas de quitosana não modificada, principalmente no que se refere às mudanças apresentadas nas bandas em torno de  $1590\text{ cm}^{-1}$  e  $1550\text{ cm}^{-1}$ , e aos deslocamentos, atribuídas à deformação de grupos amino ( $-\text{NH}_2$ ), característica da quitosana, o que leva a indicar o envolvimento dos grupos amino nas reações de modificação. Auxiliando na determinação do grau de desacetilação da quitosana.

A partir das curvas termogravimétricas verificou-se que mesmo após as modificações as esferas QD e QE apresentam estabilidade térmica próxima à estabilidade observada nas esferas de quitosana entrecruzada com tripolifosfato de sódio (Q1). Onde as perdas de massa para as diferentes quitosanas são semelhantes para suas respectivas faixas de temperaturas, observando uma média de perda de massa (%) para Q1 (32,55); QD (25,77); QE (28,36).

No estudo de caracterização das esferas de quitosana e adsorção de metais pesados foi necessário estudar o pH ótimo na sorção do Ni(II), as isotermas de tempo e concentração. Para o estudo de pH e cinética, tomou-se os dados experimentais da pesquisa realizada anteriormente, onde fez-se a determinação do pH ótimo na sorção do cobre em solução aquosa em diferentes valores de pH, com a quitosana entrecruzada e as modificadas quimicamente e utilizando-as para o níquel. Verificando que as isotermas obtidas são muito semelhantes e se interceptam no pH 6, tomando-o como o pH ótimo. Outro aspecto interessante que a quitosana entrecruzada com as soluções metálicas de pH 1 e 2 dissolvem-se, enquanto que as modificadas quimicamente não ocorrem dissolução. No que diz a respeito ao estudo cinético, observou-se um equilíbrio da reação no tempo de 4 h para o metal níquel.

Para o estudo da isoterma de concentração, na análise de adsorção de íons Ni(II)

em esferas de quitosana entrecruzada, adotou-se os modelos propostos por Langmuir e Freundlich para os tratamentos de dados e avaliar suas condições adsorptivas. Após os tratamentos de dados notou-se que o coeficiente do modelo de Freundlich é o mais satisfatório  $R^2 = 0,99$ . Por não assumir uma capacidade de adsorção em monocamada como a isoterma de Langmuir. Através dos parâmetros das isotermas de adsorção para os dois modelos determinou-se a quantidade máxima de níquel adsorvida na esfera de quitosana  $Q_0$  no modelo de Langmuir (7,33 mg de níquel por grama de quitosana). Determinando ainda as condições de adsorção pelo parâmetro de equilíbrio  $RL = 0,83$ , considerado favorável e consolidando tal aspecto pelo parâmetro  $n$  da isoterma de Freundlich,  $n = 3,5702$  (valores de  $n$  entre 1 e 10, a adsorção é considerável favorável).

Portanto, o comportamento dos dados experimentais em relação à adsorção de Ni(II) em esferas de quitosana entrecruzada mostrou-se satisfatório em ambos os modelos (Langmuir e Freundlich), entretanto o modelo de Freundlich tem uma melhor adequação devido a interação de equilíbrio em superfície heterogêneas.

## 6 | PERSPECTIVAS

Em trabalhos futuros serão realizadas análises para a quitosana modificada quimicamente, podendo desta forma comparar a eficiência entre elas, uma vez que observou-se no estudo de efeito do pH, que a quitosana pura, nos pH 1 e 2, dissolve-se em solução, enquanto que a quimicamente modificada não se altera no meio, sugerindo assim, que a modificação química realizada na superfície da quitosana favorece a resistência da mesma frente à meios fortemente ácidos.

## 7 | OUTRAS ATIVIDADES

Atividade de Extensão IV SEMAC - Minicurso PIBIC 2017, com carga horária de 8 horas, coordenada pela Prof<sup>a</sup>. Raquel Simões Mendes Netto, promovida pela Coordenação de Pesquisa, na função de participante, com frequência 100%.

Atividade de Extensão IV SEMAC – Minicurso PIBIC 2017/2018.1, T1 – Redação científica e plágio acadêmico, com carga horária de 4 horas, coordenada pela Prof<sup>a</sup>. Raquel Simões Mendes Netto, promovida pela Coordenação de Pesquisa, na função de participante, com frequência 100%.

## REFERÊNCIAS

1. P. Kumar, B. Prasad, I.M. Mishra, S. Chand, J. Hazard. Mater. 151, 2008, 770.
2. D. Pokhrel, T. Viraraghavan, Sci. Total Environ. 333, 2004, 37.
3. S. Haydar, J. A. Aziz, J. Hazard. Mater. 168, 2009, 1035.

4. L. Deng, Y. Su, H. Su, X. Wang, X. Zhu, J. Hazard. Mater. 143, 2007, 220
5. J. F. van Staden, Anal. Chim. Acta, 261, 1992, 453.
6. S. K. Nataraj, K. M. Hosamani, T. M. Aminabhavi, Water Res. 40, 2006, 2349.
7. K. Lee, B. Kang, J. Lee, Desalination, 191, 2006, 169.
8. A. Jossetal, Water Res. 40, 2006, 1686.
9. F. Wu, R. Tseng, R. Juang, J. Hazard. Mater. B81, 2001, 167.
10. H. Sashiwa, S. Aiba, Prog. Polym. Sci. 29, 2004, 887.
11. E. Guibal. Progress in Polymer Science. 30; 2005; 71-109.
12. M. N. V.R.Kumar. Reactive & Functional Polymers.46; 2000; 1–27.
13. P. K. Dutta, J. Dutta, V. S. Tripathi. Journal of Scientific & Industrial Research.63; 2004; 20-31.
14. F. S. Dias, D. C. Queiroz, R. F. Nascimento, M. B. Lima. Quimica Nova. 31; 2008; 160-163.
15. V. V. C. Azevedo, S. A. Chaves, D. C. Bezerra, et. al. Revista Eletrônica de Materiais e Processos, 23; 2007; 27-34.
16. W. S. W. Ngah, L. C. Teong, M. A. K. M. Hanafiah. Carbohydrate Polymers. 83; 2011; 1446-1456.
17. E. Guibal. Separation and Purification Technology. 38; 2004; 43–74.
18. C. Zihong, X. Liu, M. Han, W. Ma. Journal of Hazard Materials. 182; 2010; 408-415.
19. R. Bassi, S. O. Parsher. Separation Science and Technology. 35; 2000; 547-560.
20. F. Wu, R. Tseng, R. Juan. Journal of Environmental Management. 91; 2010; 798-806.
21. M. Y. Lee, K. J. Hong, T. Kajichi, J. I. W. Yang. International Journal of Biological Macromolecules. 36; 2005; 152-158.
22. M. S. Chiou, H. Y Li. Chemosphere. 50; 2003; 1095–1105.
23. A. G. N. Amorim, et al. Adsorção e pré-concentração de Cu(II) e Ni(II) de Soluções aquosas com esferas de quitosana moldadas com cobre. Revista Iberoamericana de Polímeros, 8(2), 77-88, 2007.
24. VIJAYA, Y., POPURI, R. S. , BODDU M. V. , KRISHNAIAH A. Modified chitosan and calcium alginate biopolymer sorbents for removal of nickel (II) through adsorption. Carbohydrate Polymers, v.72, p.261–271, 2008.
25. W.S. W. Ngah, L. C. Teong, M. A. K. M. Hanafiah. Carbohydrate Polymers. 83; 2011; 1446–1456.
26. Brugnerotto, J.; Lizardi, J.; Goycoolea, F. M.; Argüelles-Monal, W.; Desbrières, J.; Rinaudo, M.; Polymer. 42; 2001; 3569.

27. Privalov, P. I.; Tiktopulo, E. I. *Biopolymers*, 1970, 9, 127.
28. Cárdenas, T. G.; Ernal, A. L.; Tagle, D. L. H.; *Thermochim. Acta* 1992, 195.
29. Nieto, J. M.; Peniche, A. C. C.; *Thermochim. Acta* 1991, 176, 63.
30. Rocha, B. L. V. Síntese e Modificação Química de Esferas de Quitosana para Aplicação em Estudos de Adsorção de Íons Metálicos Ni(II) e Cu(II). Universidade Federal de Sergipe – UFS: 2017.
31. Oliveira, M. O. Biopolímero quitosana, modificado quimicamente ou reticulado com metais, em forma de pó ou esfera, aplicado no estudo termoquímico da interação com cobre e aminas alifáticas. Tese de Doutorado, Instituto de Química da UNICAMP, Campins: 2011.
32. Gonçalves et al; Adequação dos modelos de Langmuir e Freundlich na adsorção de cobre em solo argiloso do sul do Brasil. *HOLOS*, Ano 29, vol. 4. 2013.

## 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**