

# Princípios de Química

Carmen Lúcia Voigt  
(Organizadora)



**Atena**  
Editora  
Ano 2019

**Carmen Lúcia Voigt**  
(Organizadora)

# **Princípios de Química**

Atena Editora  
2019

2019 by Atena Editora  
Copyright © Atena Editora  
Copyright do Texto © 2019 Os Autores  
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora  
Editora Executiva: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira  
Diagramação: Geraldo Alves  
Edição de Arte: Lorena Prestes  
Revisão: Os Autores

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

### **Conselho Editorial**

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

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

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

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

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

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

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

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

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

### **Conselho Técnico Científico**

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

| <b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)<br/>(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b> |   |
|---|---|
| P957  | Princípios de química [recurso eletrônico] / Organizadora Carmen Lúcia Voigt. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019.<br><br>Formato: PDF<br>Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader<br>Modo de acesso: World Wide Web<br>Inclui bibliografia<br>ISBN 978-85-7247-422-1<br>DOI 10.22533/at.ed.221192406<br><br>1. Química – Estudo e ensino. I. Voigt, Carmen Lúcia.<br><br>CDD 540.7 |
| <b>Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422</b>   |   |

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

## APRESENTAÇÃO

Química é a ciência que estuda a estrutura das substâncias, a composição e as propriedades das diferentes matérias, suas transformações e variações de energia. A Química conquistou um lugar central e essencial em todos os assuntos do conhecimento humano, estando interligada com outras ciências como a Biologia, Ciências Ambientais, Física, Medicina e Ciências da Saúde.

Pesquisas na área da Química continuam evoluindo cada dia, sendo benéficas devido maior conscientização de como usar os conhecimentos químicos em prol da qualidade de vida e do desenvolvimento da sociedade; prezando pelo meio ambiente, surgindo assim processos e novas tecnologias com menor agressão e impacto.

Muitas são as fontes degradadoras da natureza, porém os resíduos químicos são considerados os mais agressivos. Ao longo dos anos inúmeros tipos de contaminantes foram lançados no meio ambiente, causando contaminação e poluição em diversos tipos de compartimentos ambientais como solos, rios e mares. O avanço e crescimento industrial no mundo é uma das principais causas da poluição excessiva e liberação de resíduos químicos.

Devido estudos na área da Química é possível realizar remoção de poluentes por diversos processos e o desenvolvimento de técnicas e materiais é abordado neste volume, que trata de processos como adsorção para retirada de contaminantes da natureza. Além destes processos, este volume também trata de novos materiais para aplicação em substituição aos polímeros convencionais, como os biopolímeros, produzidos a partir de matérias-primas de fontes renováveis, ou seja, possuem um ciclo de vida mais curto comparado com fontes fósseis como o petróleo o qual leva milhares de anos para se formar.

Fatores ambientais e sócio-econômicos estão relacionados ao crescente interesse por novas estratégias que buscam alternativas aos produtos e processos convencionais. Neste enfoque, os trabalhos selecionados para este volume oportunizam reflexão e conhecimento na área da Química, abrangendo aspectos favoráveis para ciência, tecnologia, sociedade e meio ambiente.

Boa leitura.

Carmen Lúcia Voigt

## SUMÁRIO

### CAPÍTULO 1 ..... 1

PRODUÇÃO DE BIOPOLÍMEROS PELAS BACTÉRIAS GLUCONACETOBACTER HANSENI E KOMAGATAEIBACTER RHATICUS EM MEIOS CONTENDO HIDROLISADO DE ARROZ E MILHO

*Karina Carvalho de Souza*

*Gabriela Rodrigues dos Santos*

*Grazielly Maria Didier de Vasconcelos*

*Paulo Henrique Marrocos de Oliveira*

*Yêda Medeiros Bastos de Almeida*

*Felipe Cunha da Silva Trindade*

*Glória Maria Vinhas*

**DOI 10.22533/at.ed.2211924061**

### CAPÍTULO 2 ..... 7

CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE ÓRTESE SUROPODÁLICA DE MEMBRO INFERIOR PRODUZIDO COM POLICLORETO DE VINILA (PVC)

*Heloisa Barbara Rozario Azevedo*

*Fabiane De Oliveira Santana*

*Paula Hortência Santos Magalhães*

*Maria Karoline Silva Souza*

*Caio Cezar Neves Kunrath*

*Menilde Araújo Silva Bião*

*Franco Dani Rico Amado*

*Bruno Souza Fernandes*

**DOI 10.22533/at.ed.2211924062**

### CAPÍTULO 3 ..... 12

OBTENÇÃO DE REVESTIMENTOS DE DCPD COM INCORPORAÇÃO DO COPOLÍMERO F-127 PELO MÉTODO DE DEPOSIÇÃO ELETROQUÍMICA

*Pablo Eduardo Costa dos Santos*

*Cristiane Xavier Resende*

*Zaine Teixeira Camargo*

**DOI 10.22533/at.ed.2211924063**

### CAPÍTULO 4 ..... 19

CARBOXIMETILCELULOSE-G-OLIGO(ÓXIDO DE ETILENO-CO-ÓXIDO DE PROPILENO): EFEITO DA PORCENTAGEM DE ENXERTIA NAS PROPRIEDADES EM MEIO AQUOSO SALINO

*Nívia do Nascimento Marques*

*Rosângela de Carvalho Balaban*

*Sami Halila*

*Redouane Borsali*

**DOI 10.22533/at.ed.2211924064**

### CAPÍTULO 5 ..... 32

PROPRIEDADES MECÂNICAS, TERMOMECÂNICAS, REOMETRIA DE TORQUE E MORFOLOGIA DE BLENDS PS/PP/PP RECICLADO COMPATIBILIZADAS COM O COPOLÍMERO SEBS

*Carlos Bruno Barreto Luna*

*Eduardo da Silva Barbosa Ferreira*

*Danilo Diniz Siqueira  
Edcleide Maria Araújo  
Elieber Barros Bezerra*

**DOI 10.22533/at.ed.2211924065**

**CAPÍTULO 6 ..... 50**

**SÍNTESE E COMPORTAMENTO REOLÓGICO DE HPAM TERMORRESPONSIVA**

*Bruna Luiza Batista de Lima  
Nívia do Nascimento Marques  
Marcos Antonio Villetti  
Rosângela de Carvalho Balaban*

**DOI 10.22533/at.ed.2211924066**

**CAPÍTULO 7 ..... 58**

**FILME DE POLICAPROLACTONA REFORÇADOS POR MICROFIBRILAS DE CELULOSE DE AÇAÍ (*Euterpe oleracea Mart.*)**

*Rachel Margalho Barreira Valentim  
Izael Pinho dos Santos  
Victor Soares Pereira  
Carmen Gilda Barroso Tavares Dias  
Marcos Allan Leite dos Reis*

**DOI 10.22533/at.ed.2211924067**

**CAPÍTULO 8 ..... 64**

**AVALIAÇÃO DA BIODEGRADABILIDADE DE FILMES DE AMIDO REFORÇADOS COM NANOCRISTAIS DE CELULOSE DA FIBRA DE COCO VERDE**

*Ingrid Lessa Leal  
Yasmin Carolino da Silva Rosa  
Josiane Dantas Viana Barbosa  
Janice Izabel Druzian  
Bruna Aparecida Souza Machado*

**DOI 10.22533/at.ed.2211924068**

**CAPÍTULO 9 ..... 74**

**CARACTERIZAÇÃO DE NANOCRISTAIS DE CELULOSE DE RESÍDUOS DA AGROINDÚSTRIA E APLICAÇÃO EM FILMES DE AMIDO E QUITOSANA**

*Marina R. d Andrade  
Taynã Isis de S. Santana  
Bruna A. S. Machado*

**DOI 10.22533/at.ed.2211924069**

**CAPÍTULO 10 ..... 79**

**EFFECT OF BIOSURFACTANTS IN PATHOGENIC BACTERIA ADHESION ON THE SURFACE OF FLEXIBLE FILMS**

*Michel Zampieri Fidelis  
Heitor Suyama  
Eduardo Abreu  
Denise Milleo Almeida  
Giane Gonçalves Lenzi*

**DOI 10.22533/at.ed.22119240610**

|   |            |
|---|------------|
| <b>CAPÍTULO 11</b> .....  | <b>93</b>  |
| UTILIZAÇÃO DO BAGAÇO DE MALTE NA ADSORÇÃO DE GASOLINA PRESENTE EM CORPOS AQUATICOS: ESTUDO EM LEITO DIFERENCIAL |            |
| <i>Fernanda Vieira Amorim</i>   |            |
| <i>Márcia Ramos Luiz</i>  |            |
| <i>Ewellyn Silva Souza</i>  |            |
| <b>DOI 10.22533/at.ed.22119240611</b>   |            |
| <b>CAPÍTULO 12</b> .....  | <b>105</b> |
| ESTUDO DA ADSORÇÃO DE COBRE EM LODO RECUPERADO DA CLARIFICAÇÃO DE ÁGUA DE AÇUDE POR ELETROCOAGULAÇÃO/FLOTAÇÃO   |            |
| <i>Fábio Erlan Feitosa Maia</i>   |            |
| <i>Ronaldo Ferreira do Nascimento</i>   |            |
| <i>Eliezer Fares Abdala Neto</i>  |            |
| <i>Jefferson Pereira Ribeiro</i>  |            |
| <i>Ari Clecius Alves de Lima</i>  |            |
| <b>DOI 10.22533/at.ed.22119240612</b>   |            |
| <b>CAPÍTULO 13</b> .....  | <b>117</b> |
| ADSORÇÃO DE CO <sub>2</sub> EM MATERIAL MEOSPOROSO DO TIPO SBA-16 FUNCIONALIZADO                                |            |
| <i>Táisa Cristine de Moura Dantas</i>   |            |
| <i>Eloy Sanz-Pérez</i>  |            |
| <i>Raul Sanz</i>  |            |
| <i>Amaya Arencibia</i>  |            |
| <i>Guillermo Calleja</i>  |            |
| <i>Ana Paula de Melo Alves Guedes</i>   |            |
| <b>DOI 10.22533/at.ed.22119240613</b>   |            |
| <b>CAPÍTULO 14</b> .....  | <b>132</b> |
| CINÉTICA DE ADSORÇÃO DE FURFURAL PELO ADSORVENTE ARGILA BENTONITA   |            |
| <i>Riann Queiroz Nóbrega</i>  |            |
| <i>Ana Cláudia Rodrigues De Barros</i>  |            |
| <i>Lorena Lucena De Medeiros</i>  |            |
| <i>Flávio Luiz Honorato Da Silva</i>  |            |
| <i>Joelma Moraes Ferreira</i>   |            |
| <b>DOI 10.22533/at.ed.22119240614</b>   |            |
| <b>CAPÍTULO 15</b> .....  | <b>140</b> |
| AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE ADSORTIVA DE ARGILA ORGANOFÍLICA ATRAVÉS DE PLANEJAMENTO FATORIAL                       |            |
| <i>Paulo Henrique Almeida Da Hora</i>   |            |
| <i>Líszandra Fernanda Araújo Campos</i>   |            |
| <i>Antonio Cícero De Sousa</i>  |            |
| <i>Gesivaldo Jesus Alves De Figueiredo</i>  |            |
| <b>DOI 10.22533/at.ed.22119240615</b>   |            |

**CAPÍTULO 16 ..... 147**

CINÉTICA E MODELAGEM DA CAPTURA DE CO<sub>2</sub> POR MEIO DA REAÇÃO DE CARBONATAÇÃO DO ORTOSILICATO DE LÍTIO

*Suélen Maria de Amorim*  
*Michele Di Domenico*  
*Tirzhá Lins Porto Dantas*  
*Humberto Jorge José*  
*Regina de Fatima Peralta Muniz Moreira*

**DOI 10.22533/at.ed.22119240616**

**CAPÍTULO 17 ..... 157**

MODIFICAÇÃO TÉRMICA DA ARGILA BRASGEL VISANDO SUA UTILIZAÇÃO NA REMOÇÃO DE NÍQUEL EM SISTEMA DE BANHO FINITO

*Joseane Damasceno Mota*  
*Rochelia Silva Souza Cunha*  
*Patrícia Noemia Mota De Vasconcelos*  
*Meiry Glaucia Freire Rodrigues*

**DOI 10.22533/at.ed.22119240617**

**CAPÍTULO 18 ..... 166**

REMOÇÃO DO CORANTE DIRECT BLACK 22 ATRAVÉS DE ADSORÇÃO

*Déborah Fernanda Mamedes da Silva*  
*Deivid Sousa de Figueiroa*

**DOI 10.22533/at.ed.22119240618**

**CAPÍTULO 19 ..... 177**

INFLUÊNCIA DA PRESENÇA DE SAIS NA ADSORÇÃO DO CORANTE VERMELHO PROCION UTILIZANDO ALUMINA ATIVADA

*Nathália Favarin da Silva*  
*Enrique Chaves Peres*  
*Guilherme Luiz Dotto*

**DOI 10.22533/at.ed.22119240619**

**CAPÍTULO 20 ..... 186**

ADSORÇÃO DE ÍNDIGO CARMINE UTILIZANDO MICROESFERAS DE ALGINATO (AL) E QUITOSANA (QT) PURAS E DOPADAS COM NÍQUEL E FERRO.

*Ana Clara Correia Queiroz da Silva*  
*Francisco Mateus Gomes do Nascimento*  
*Francisco Renan Lima Amorim*  
*Guilherme Augusto Magalhães Júnior*  
*Cícero Pessoa de Moura*  
*Rafael Ribeiro Portela*  
*Mayara Sousa de Oliveira*

**DOI 10.22533/at.ed.22119240620**

**CAPÍTULO 21 ..... 195**

SÍNTESE E APLICAÇÃO DE PENEIRA MOLECULAR ORGANOFÍLICA NA REMOÇÃO DE ÍONS CR(III)

*Paulo Henrique Almeida da Hora*  
*Lizandra Fernanda Araújo Campos*  
*Antonio Cícero de Sousa*

**CAPÍTULO 22 ..... 202**

BIOSSORÇÃO DE ÍONS CR(VI) EM SOLUÇÃO AQUOSA EMPREGANDO CASCA DE BANANA NANICA

*Giovani Santana Silva*

*Ângelo Capri Neto*

*Maria da Rosa Capri*

DOI 10.22533/at.ed.22119240622

**CAPÍTULO 23 ..... 215**

REMOÇÃO DE CROMO HEXAVALENTE PRESENTE EM SOLUÇÕES SINTÉTICAS DILUÍDAS EMPREGANDO CARVÃO ATIVADO COMERCIAL E CARVÃO VEGETAL PRODUZIDO A PARTIR DA CASCA DE ARROZ

*Lúcia Allebrandt da Silva Ries*

*Joyce Helena da Silveira*

DOI 10.22533/at.ed.22119240623

**CAPÍTULO 24 ..... 227**

MANAGEMENT AND CLASSIFICATION OF PHYSICO-CHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL PARAMETERS OF GROUNDWATER

*Sharise Beatriz Roberto*

*Jomar Berton Junior*

*Rúbia Michele Suzuki*

*Elton Guntendorfer Bonafé*

*Makoto Matsushita*

*Edmilson Antonio Canesin*

DOI 10.22533/at.ed.22119240624

**CAPÍTULO 25 ..... 242**

HIDRÓXIDOS DUPLOS LAMINARES PARA REMOÇÃO DE POLUENTES AQUOSOS

*María Magdalena Costanzo*

*Rocio Belén Garate*

*Nora Alejandra Comelli*

*Nora Andrea Merino*

DOI 10.22533/at.ed.22119240625

**CAPÍTULO 26 ..... 253**

EFEITO DO MÉTODO DE SÍNTESE NAS PROPRIEDADES DO ÓXIDO DE CÉRIO, DESTINADO A FOTOCATÁLISE

*Kimberly Paim Abeta*

*Marie Lídio dos Santos Galvão Ribeiro*

*Larissa Soares Lima*

*Leila Maria Aguilera Campos*

*Sirlene Barbosa Lima*

*Maria Luiza Andrade da Silva*

DOI 10.22533/at.ed.22119240626

|  |            |
|--|------------|
| <b>CAPÍTULO 27</b> .....   | <b>267</b> |
| PRINCÍPIOS BÁSICOS DA ESTIMATIVA DE INCERTEZA APLICADOS À MEDIÇÃO DE GRANDEZAS QUÍMICAS                            |            |
| <i>Cassiano Lino dos Santos Costa</i>  |            |
| <b>DOI 10.22533/at.ed.22119240627</b>  |            |
| <b>CAPÍTULO 28</b> .....   | <b>282</b> |
| O USO DE REDES SOCIAIS E TECNOLOGIA MÓVEL COMO FERRAMENTA DE AUXÍLIO POR PROFESSORES DA EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA (EAD) |            |
| <i>Eziel Cardoso da Silva</i>  |            |
| <i>Antonio Zilverlan Geermano Matos</i>  |            |
| <i>Marco Aurélio da Silva Coutinho</i>   |            |
| <i>Antônio Araújo Rodrigues</i>  |            |
| <i>Francisco Dhiêgo Silveira Figueirêdo</i>  |            |
| <i>Davi da Silva</i>   |            |
| <i>Dihêgo Henrique Lima Damacena</i>   |            |
| <i>Francisco Maycon Soares</i>   |            |
| <i>Juciane Maria de Sousa dos Santos</i>   |            |
| <i>Jose Adriano Cavalcante Alencar</i>   |            |
| <i>Enivaldo Pereira dos Santos</i>   |            |
| <i>Julianna de Sousa Santos</i>  |            |
| <b>DOI 10.22533/at.ed.22119240628</b>  |            |
| <b>SOBRE A ORGANIZADORA</b> .....  | <b>292</b> |

## ADSORÇÃO DE ÍNDIGO CARMINE UTILIZANDO MICROESFERAS DE ALGINATO (AL) E QUITOSANA (QT) PURAS E DOPADAS COM NIQUEL E FERRO.

### **Ana Clara Correia Queiroz da Silva**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará *campus* Quixadá – Ce.

### **Francisco Mateus Gomes do Nascimento**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará *campus* Quixadá – Ce.

### **Francisco Renan Lima Amorim**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará *campus* Quixadá – Ce.

### **Guilherme Augusto Magalhães Júnior**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará *campus* Quixadá – Ce.

### **Cícero Pessoa de Moura**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará *campus* Quixadá – Ce.

### **Rafael Ribeiro Portela**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará *campus* Quixadá – Ce.

### **Mayara Sousa de Oliveira**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará *campus* Quixadá – Ce.

**RESUMO:** O descarte de efluentes industriais têxteis na natureza sem o devido tratamento pode causar poluição ambiental e danos a fauna e flora, devido ao seu caráter tóxico, cancerígeno e recalcitrante. Desta forma, este trabalho tem como objetivos utilizar adsorventes naturais, obtidos a partir dos biopolímeros alginato e quitosana e dopá-los com metais, níquel e ferro, e avaliar o equilíbrio e a cinética de adsorção,

em batelada, do corante índigo carmine. Os adsorventes foram caracterizados via análise granulométrica e cinética de intumescimento. Os dados experimentais obtidos nos testes de equilíbrio foram ajustados segundo os modelos de Langmuir e Freundlich, e os da cinética de adsorção de acordo com Lagergren de pseudo primeira e segunda ordens. Os resultados obtidos nos testes de adsorção seguiram a mesma ordem das cinéticas de intumescimento, onde a ordem de remoção foi  $AlQt/Fe > AlQt/Ni > AlQt$ .

**PALAVRA-CHAVE:** Adsorção. Polímeros. Corante. Equilíbrio de adsorção. Cinética de adsorção.

**ABSTRACT:** The disposal of industrial effluents to nature without proper treatment can cause environmental pollution and damage to fauna and flora due to its toxic, carcinogenic and recalcitrant character. Taking that into consideration, works of research such as the use of natural adsorbents from alginate and chitosan biopolymers and doping them with metals, nickel and iron, and evaluate the equilibrium and batch adsorption kinetics of indigo carmine dye. The synthesized microspheres were characterized by granulometric analysis and kinetics of swelling. The experimental data obtained in the equilibrium tests were adjusted according to the Langmuir and Freundlich models, and the

kinetics of adsorption according to Lagergren of pseudo first and second order. The results obtained in the adsorption tests followed the same order of swelling kinetics. The removal order for  $AIQt /Fe > AIQt/Ni > AIQt$ .

**KEYWORDS:** Adsorption. Polymers. Dye. Adsorption Equilibrium. Adsorption Kinetic.

## 1 | INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos a degradação e poluição do meio ambiente têm se intensificado e é um problema enfrentado mundialmente (FERNANDES, 2005), aliado a contaminação de águas naturais que tem sido um dos grandes problemas atuais do setor industrial.

A falta de tratamento adequado de efluentes por parte das indústrias, principalmente a indústria têxtil, que é a principal produtora de efluentes coloridos, podem contaminar corpos d'água e trazer diversos problemas, devido ao seu caráter recalcitrante (NEVES, 2016).

O problema observado para o tratamento desses efluentes é que eles possuem concentrações visíveis de corante e devido a sua estrutura aromática complexa, não são facilmente biodegradáveis. Quando esses efluentes são descartados sem um prévio tratamento em rios e lagos, impedem a penetração de luz, impedindo a realização da fotossíntese, além de causar mortandade dos peixes por serem tóxicos, ocasionando desequilíbrio ecológico. (BAZZO, 2015).

Devido a esses problemas, o interesse por tratamentos alternativos tem aumentado. Neste contexto, surge a adsorção, que é um eficiente método de remoção de corantes presentes em efluentes e também é utilizado para controlar a demanda bioquímica de oxigênio. Além disto, a utilização de adsorventes de baixo custo e a possibilidade de recuperação do adsorvente e adsorbato favorecem economicamente sua aplicação na indústria. (KANT, 2012).

Na literatura, encontram-se muitas pesquisas relacionadas a diversos tipos de materiais adsorventes como carvões ativados e materiais não convencionais, como os resíduos naturais celulósicos, principalmente bagaços em pó e carvões vegetais de coco (AKIRA *et al.*, 2002). Além desses, outros materiais vêm sendo utilizados como adsorventes que é o caso da quitosana.

A quitosana é um biopolímero, produzido a partir da desacetilização da quitina. Seus derivados têm sido utilizados para remoção de íons metálicos (WANG e YU, 2010) e de corantes (NGAH *et al.*, 2010). O alginato é um copolímero linear constituído de ácidos  $\alpha$ -L-gulurônicos e  $\beta$ -D-manurônicos com ligações 1-4. O material varia extensamente em termos de sua proporção entre os resíduos manurônicos (M) e gulurônicos (G), bem como em sua estrutura sequencial e grau de polimerização.

Deste modo, este trabalho tem por objetivo estudar o equilíbrio e a cinética de adsorção do corante índigo carmine (I.C.) em meio aquoso, utilizando adsorventes a

base de alginato (Al) e quitosana (Qt) puros e dopados com metais.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Síntese e caracterização dos adsorventes:

As microesferas de alginato e quitosana (Al/Qt) foram preparadas pelo método de gotejamento via complexação polieletrólítica. Inicialmente preparou-se uma solução de Qt 1% em ácido acético 2%, permanecendo sob agitação magnética por 24 h. Depois misturou-se essa solução com cloreto de cálcio ( $\text{CaCl}_2$ ) 1%, resultando em uma solução de Qt 0,5%. Em seguida gotejou-se uma solução de Al 1% na razão m/m de Al/Qt 1:1, utilizando uma seringa comum acoplada a uma agulha de 21 mm de comprimento e 0,8 mm de diâmetro, na solução de QT 0,5 %. As microesferas formadas foram deixadas na solução por 24 horas, posteriormente secas a 60 °C durante 2 horas. Para a incorporação dos metais ferro e níquel nos adsorventes, seguiu-se o mesmo procedimento acima, porém na solução de quitosana foi adicionada 0,01g de nitrato de Fe(III) para microesferas dopadas com ferro e nitrato de Ni(II) para microesferas dopadas com níquel.

As microesferas sintetizadas foram caracterizadas por microscopia óptica, análise granulométrica e por cinética de intumescimento. A análise granulométrica foi realizada com o auxílio de um paquímetro, onde mediu-se o tamanho das microesferas ( $n=20$ ). A cinética de intumescimento relaciona a quantidade de água absorvida pelo complexo em um determinado tempo. A quantidade de água absorvida foi calculada pela subtração entre a massa no tempo final e o inicial, obtendo assim a massa de água absorvida no ensaio.

### 2.2 Estudo do equilíbrio de adsorção:

Os testes de equilíbrio foram realizados sob agitação constante de 150 rpm, em erlenmeyers de 125 mL, à temperatura ambiente (27 °C), durante 120 minutos. Utilizou-se um volume reacional de 25 mL de soluções aquosas do corante Índigo Carmine, nas concentrações de 5, 10, 25, 40, 50, 75 e 90  $\text{mg.L}^{-1}$ . A massa de adsorvente utilizada foi de 75 mg, obtendo-se uma dosagem de 3  $\text{g.L}^{-1}$ . Após o tempo reacional, alíquotas foram retiradas e analisadas em espectrofotômetro UV-Vis Thermo Evolution 300, no comprimento de onda de máxima absorção do corante (610 nm). Os dados experimentais foram ajustados segundo os modelos matemáticos de Langmuir (equação 1) e Freundlich (equação 2).

$$q_e = \frac{q_{\text{máx}} K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (1)$$

$$q_e = K_f \cdot C_e^{1/n} \quad (2)$$

Onde:  $q_e$  é a capacidade adsorviva no equilíbrio ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ),  $q_{\text{max}}$  é a capacidade adsorviva máxima ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ),  $C_e$  é a concentração de corante no equilíbrio ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ),  $K_L$  é a constante de Langmuir ( $\text{L}\cdot\text{mg}^{-1}$ ),  $K_F$  ( $\text{L}\cdot\text{mg}^{-1}$ ) e  $n$  são constantes relacionadas ao processo adsorvivo, onde esta, relaciona-se a heterogeneidade do adsorvente.

### 2.3 Cinética de adsorção:

Para os experimentos de cinética de adsorção adotou-se as mesmas condições de temperatura, agitação e volume reacional utilizadas nos testes de equilíbrio. Utilizaram-se massas 25, 50 e 75 mg de cada adsorvente em um volume reacional de 25 mL de solução aquosas de corante com concentração de  $10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , obtendo uma dosagem de 1, 2 e  $3 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ . Foram retiradas alíquotas em intervalos de tempos pré-determinados, e foram analisadas em espectrofotômetro UV-Vis Thermo Evolution 300, no comprimento de onda de máxima absorção do corante (610 nm). Os dados experimentais foram ajustados aos modelos de Langergren de Pseudo 1ª Ordem (equação 3) e 2ª Ordem (equação 4).

$$q_t = q_e(1 - e^{-k_1 t}) \quad (3)$$

$$t = \frac{1}{\frac{k_2 q_e^2}{q_e} + \frac{t}{q_e}} \quad (4)$$

Onde  $q_e$  é a capacidade adsorvida de corante no equilíbrio ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ),  $q_t$  é a quantidade adsorvida em um determinado tempo  $t$ ,  $k_1$  ( $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ ) e  $k_2$  ( $\text{L}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) são as constantes de velocidade de pseudo primeira e segunda ordem.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Síntese e caracterização dos adsorventes:

A Figura 1 apresenta as micrografias obtidas a partir de microscópio óptico das microesferas sintetizadas.



Figura 1. Micrografia óptica das microesferas (a) puras, (b) dopadas com níquel e (c) dopadas com ferro.

Fonte: Próprio autor, 2017.

Com o auxílio de um paquímetro, mediu-se o tamanho das microesferas, os resultados são mostrados na tabela 1:

| Adsorventes | Tamanho          | Desvio                 |
|-------------|------------------|------------------------|
|             | Médio            | Padrão                 |
| Al/Qt       | 28 $\mu\text{m}$ | $\pm 7,98 \mu\text{m}$ |
| Al/QtNi     | 28 $\mu\text{m}$ | $\pm 6,32 \mu\text{m}$ |
| Al/QtFe     | 29 $\mu\text{m}$ | $\pm 9,94 \mu\text{m}$ |

Tabela 1. Análise granulométrica dos adsorventes.

Fonte: Próprio autor, 2017.

Destaca-se que os adsorventes foram sintetizados pelo mesmo método utilizando agulhas do mesmo diâmetro para gotejamento, e por isso seus tamanhos não variaram consideravelmente, conforme mostra a tabela 1.

A Figura 2 apresenta o intumescimento das microesferas realizado em água destilada por uma hora:

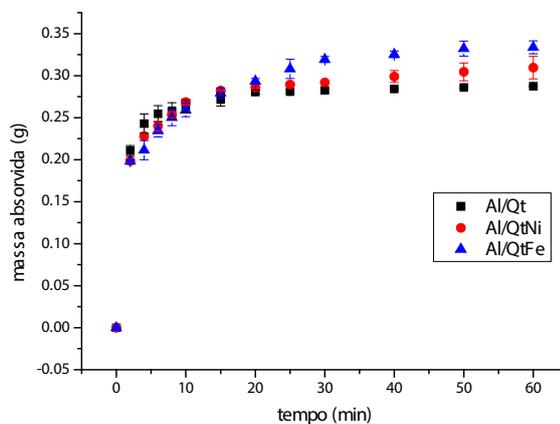


Figura 2. Cinética de intumescimento dos adsorventes.

Fonte: Próprio autor, 2017.

Pode-se observar na Figura 2 que a partir de 30 minutos de ensaio a quantidade de água absorvida não aumenta significativamente, semelhantes ao trabalho de MAGALHÃES Jr (2012) onde as microesferas de quitosana e goma do chichá alcançaram o equilíbrio em aproximadamente 40 minutos de ensaio. O intumescimento foi maior para as microesferas de Al/QtFe que absorveram aproximadamente 0,33g de água por 100 mg de microesferas, seguido pelas microesferas contendo Níquel (0,3g) e por último as microesferas puras (0,28g).

### 3.2 Equilíbrio de adsorção:

A Figura 3 apresenta a modelagem dos dados obtidos experimentalmente de acordo com os modelos matemáticos de Langmuir e Freundlich.

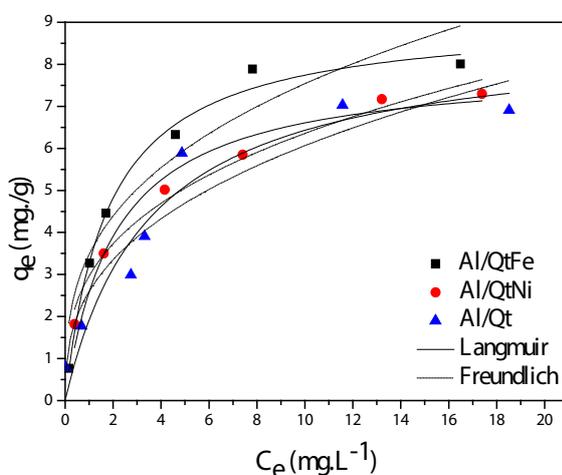


Figura 3. Isoterma de adsorção segundo os modelos de Langmuir e Freundlich.

Fonte: Próprio autor, 2017.

A Tabela 2 apresenta os parâmetros obtidos para as modelagens das isotermas de adsorção.

| Adsorvente | Langmuir                                |   |                | Freundlich                              |      | R <sup>2</sup> |
|------------|---|---|----------------|---|------|----------------|
|            | K <sub>L</sub><br>(mg.L <sup>-1</sup> ) | q <sub>max</sub><br>(mg.g <sup>-1</sup> ) | R <sup>2</sup> | K <sub>F</sub><br>(mg.g <sup>-1</sup> ) | N    |                |
| Al/Qt      | 2,54                                    | 3,42                                      | 0,923          | 2,59                                    | 2,71 | 0,894          |
| Al/QtNi    | 1,08                                    | 7,34                                      | 0,966          | 2,96                                    | 3,02 | 0,96           |
| Al/QtFe    | 0,78                                    | 11,55                                     | 0,989          | 3,48                                    | 2,97 | 0,897          |

Tabela 2. Parâmetros dos modelos de Langmuir e Freundlich ajustados aos dados experimentais.

Fonte: Próprio autor, 2017.

Os resultados mostram que o modelo de Langmuir foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais, obtendo valores de R<sup>2</sup> mais próximos de 1.

Destaca-se ainda que as microesferas dopadas com ferro obtiveram maior desempenho adsorptivo, com um  $q_{max}$  estimado por Langmuir de  $11,55 \text{ mg.g}^{-1}$ , seguido das microesferas de níquel com  $q_{max}$  de  $7,34 \text{ mg.g}^{-1}$  e por último as microesferas puras com  $q_{max}$  de  $3,42 \text{ mg.g}^{-1}$ . Analisando o  $K_F$ , constante de Freundlich que está relacionada a capacidade de adsorção, observa-se que este foi maior para as microesferas dopadas com metais mostrando que o processo adsorptivo foi mais intenso do que as microesferas puras.

Em relação a  $n$ , que expressa o grau de heterogeneidade do sistema adsorvente-adsorbato, os sistemas formados por Al/Qt dopados com metais apresentaram uma maior complexidade. Além disso, este parâmetro indica um sistema favorável de adsorção com valores de  $n$  ( $1 < n < 10$ ) e, portanto, os testes mostraram que as isotermas com microesferas dopadas com metais foram mais favoráveis que as microesferas puras.

### 3.3 Estudos do processo de adsorção:

Os valores experimentais da cinética de adsorção do corante índigo carmine em meio aquoso foram modelados de acordo com as equações de Lagergren de pseudo primeira e segunda ordem de acordo com a Figura 4 a seguir:

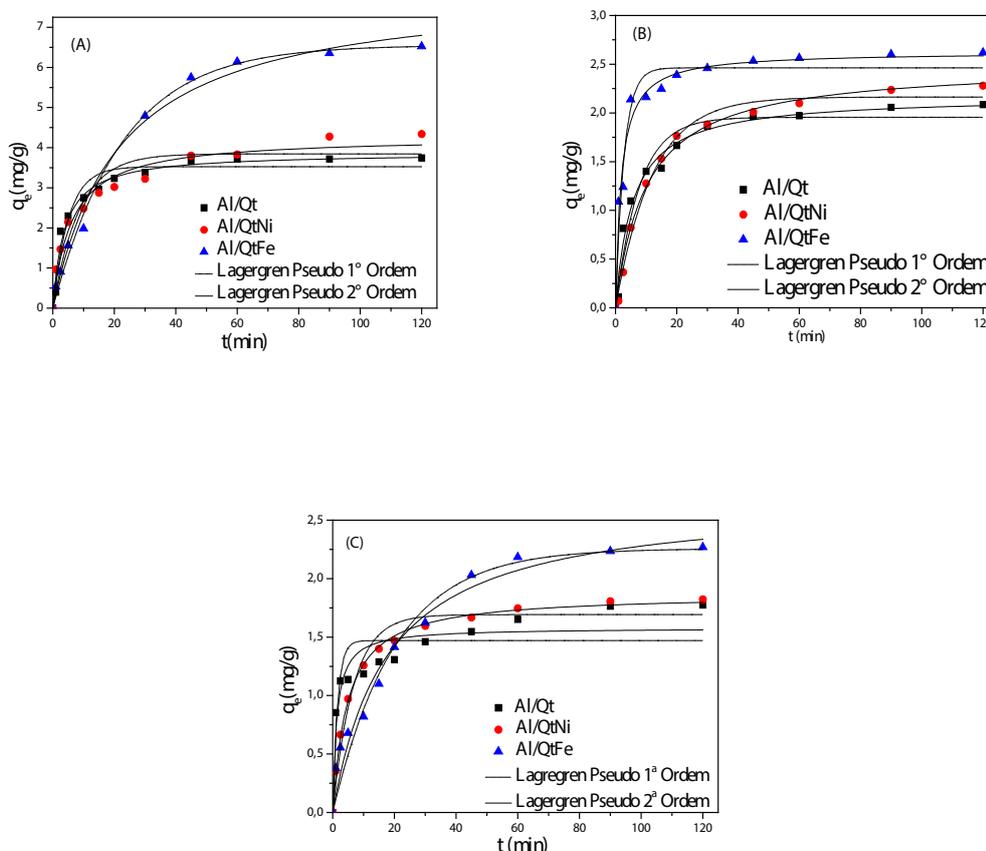


Figura 4. Cinética de adsorção segundo os modelos de pseudo primeira ordem, pseudo segunda ordem para o índigo carmine nas dosagens de: 1 g/L (A), 2 g/L (B), 3 g/L (C).

Fonte: Próprio autor, 2017.

A Tabela 3 apresenta os valores obtidos dos parâmetros cinéticos obtidos através dos modelos de Lagergren de pseudo 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> ordens:

| Ad-sor-vente | Dosa-gem (g.L <sup>-1</sup> ) | Remoção (%) | q <sub>e</sub> exp (mg.g <sup>-1</sup> ) | 1 <sup>a</sup> Ordem                  |                                      |                | 2 <sup>a</sup> Ordem                                    |                                      |                |
|--------------|-------------------------------|-------------|--|---------------------------------------|--------------------------------------|----------------|---|--------------------------------------|----------------|
|              |                               |             |  | k <sub>1</sub> (L.min <sup>-1</sup> ) | q <sub>e</sub> (mg.g <sup>-1</sup> ) | R <sup>2</sup> | k <sub>2</sub> (L.mg <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> ) | q <sub>e</sub> (mg.g <sup>-1</sup> ) | R <sup>2</sup> |
|              | 1                             | 58,66       | 3,74                                     | 0,0461                                | 3,52                                 | 0,952          | 0,0691  | 3,870                                | 0,978          |
| Al/Qt        | 2                             | 71,01       | 2,08                                     | 0,0300                                | 1,955                                | 0,957          | 0,0816  | 2,172                                | 0,981          |
|              | 3                             | 82,35       | 1,77                                     | 0,1490                                | 1,469                                | 0,805          | 0,4970  | 1,578                                | 0,892          |
|              | 1                             | 61,20       | 4,34                                     | 0,0274                                | 3,84                                 | 0,905          | 0,0387  | 4,270                                | 0,967          |
| Al/QtNi      | 2                             | 75,09       | 2,28                                     | 0,0194                                | 2,163                                | 0,990          | 0,0396  | 2,496                                | 0,992          |
|              | 3                             | 86,21       | 1,82                                     | 0,0355                                | 1,692                                | 0,969          | 0,1120  | 1,867                                | 0,998          |
|              | 1                             | 76,19       | 6,52                                     | 0,0103                                | 6,55                                 | 0,990          | 0,0057  | 8,020                                | 0,999          |
| Al/QtFe      | 2                             | 78,93       | 2,62                                     | 0,0843                                | 2,462                                | 0,949          | 0,0205  | 2,626                                | 0,975          |
|              | 3                             | 92,66       | 2,67                                     | 0,0116                                | 2,256                                | 0,965          | 0,0211  | 2,680                                | 0,973          |

Tabela 3. Parâmetros cinéticos obtidos a partir dos modelos de Lagergren de Pseudo 1<sup>o</sup> e 2<sup>o</sup> ordem.

Fonte: Próprio autor, 2017.

De acordo com a figura 4, observa-se no geral, que a partir de 45 min há uma tendência ao equilíbrio, onde a capacidade adsorptiva não aumenta expressivamente semelhante ao relatado por Toaldo (2015), quando utilizou microesferas de quitosana magnetizadas para remoção de corante. De acordo com os valores das constantes de velocidade para os processos, observa-se que as microesferas dopadas com metais possuem, em geral, velocidade mais lenta, porém possuem maiores valores de capacidade adsorptiva, mostrando que a presença de metal no adsorvente favoreceu o processo adsorptivo, e isso pode ser explicado de acordo com a cinética de intumescimento, onde as microesferas que mais intumesceram também tiveram a maior capacidade de adsorver o corante. Observa-se ainda, que para os testes cinéticos, o processo obteve melhores ajustes de correlação com modelo de Pseudo 2<sup>o</sup> Ordem.

Considerando as dosagens utilizadas, observa-se que a menor utilizada (1 g.L<sup>-1</sup>) alcançou valores mais altos de capacidade adsorptiva. As porcentagens de remoção foram maiores para as microesferas Al/QtFe, com remoção de 76,19%, 78,93% e 92,66%, nas dosagens 1, 2 e 3g.L<sup>-1</sup> respectivamente. Já as microesferas de Al/QtNi, obtiveram remoção de 61,2%, 75,09% e 86,21%, nas dosagens de 1, 2 e 3g.L<sup>-1</sup> respectivamente. E por fim as microesferas de Al/Qt, com remoção de 58,66%, 71,01% e 82,35%, nas dosagens 1, 2 e 3g.L<sup>-1</sup> respectivamente.

## 4 | CONCLUSÕES

Observou-se que a rota de síntese utilizada para a produção das microesferas, permitiu obter materiais de tamanhos idênticos e com capacidades similares de absorção de água, destacando a ordem obtida  $Al/QtFe > Al/QtNi > Al/Qt$ . Esta ordem foi a mesma obtida para os testes de equilíbrio e de cinética de adsorção.

Os dados experimentais obtidos nos testes de equilíbrio de adsorção foram mais promissores para a microesfera contendo Fe, com maior capacidade máxima de adsorção.

Destaca-se, ainda que os adsorventes foram eficientes na remoção do corante índigo em meio aquoso, alcançando remoção variando de aproximadamente 59 a 93%, mostrando que as microesferas dopadas com metais obtiveram porcentagens maiores de remoção.

## REFERÊNCIAS

AKIRA, T.; FRANCES, Y.; RALPH, Y. *Ind. Eng. Chem*, v. 41, p. 2487-2496, 2002.

BAZZO, A. **Aplicação e caracterização do caroço de abacate (*Persea americana mil*) como adsorvente na remoção do corante violeta cristal**. 2015. p. 71. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

FERNANDES, R. **Adsorventes alternativos para remoção fenol em solução aquosa**. 2005. p. 78. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

KANT, R. *Journal of Water Resource and Protection*, v. 4, p. 93–98, 2012.

MAGALHÃES Jr, G. A. **Síntese de microesferas e nanopartículas de quitosana e goma do chichá (*Sterculia striata*) como matriz para liberação controlada de fármaco para o tratamento da malária**. 2012. p. 149. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

NEVES, C. V. **Avaliação da influência do eletrólito NaCl e surfactante profiber na adsorção do corante reativo azul 5G pelas escamas de peixe**. 2016. p. 105. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Paraná, 2016.

NGAH, W.S.W.; ARIFF, N.F.M.; HANAFIAH, M.A.K.M. *Clean-Soil Air Water*, v. 38, p. 394-400, 2010.

TOALDO, L. T. **Microesferas magnéticas de quitosana para remoção do corante violeta de metila 2B em meio aquoso**. 2015. p. 71. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2015.

WANG, S.; YU, D.M. *J. Appl. Polym. Sci.*, v. 118, p. 733–739. 2010.

## **SOBRE A ORGANIZADORA**

**Carmen Lúcia Voigt:** Doutora em Química na área de Química Analítica e Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Especialista em Química para a Educação Básica pela Universidade Estadual de Londrina. Graduada em Licenciatura em Química pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Experiência há mais de 10 anos na área de Educação com ênfase em avaliação de matérias-primas, técnicas analíticas, ensino de ciências e química e gestão ambiental. Das diferentes atividades desenvolvidas destaca-se uma atuação por resultado, como: supervisora de laboratórios na indústria de alimentos; professora de ensino médio; professora de ensino superior atuando em várias graduações; professora de pós-graduação *lato sensu*; palestrante; pesquisadora; avaliadora de artigos e projetos; revisora de revistas científicas; membro de bancas examinadoras de trabalhos de conclusão de cursos de graduação. Autora de artigos científicos. Atuou em laboratório multiusuário com utilização de técnicas avançadas de caracterização e identificação de amostras para pesquisa e pós-graduação em instituição estadual.

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-422-1

