

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 Polsaque Young Blood – UniSecal
 Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
 Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
 Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

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

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

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: World Wide Web.

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-86002-53-9

DOI 10.22533/at.ed.539202003

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

CDD 660.76

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

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

APRESENTAÇÃO

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

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

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

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

Jéssica Verger Nardeli

SUMÁRIO

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

CAPÍTULO 6 54

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

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

DOI 10.22533/at.ed.5392020036

CAPÍTULO 7 66

OSCILAÇÕES AMORTECIDAS EM SISTEMAS DE PARTÍCULAS COM MEMÓRIA ACOPLADA

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

DOI 10.22533/at.ed.5392020037

CAPÍTULO 8 79

NANOPARTÍCULAS DE FE E PY COMO CATALISADORES DA LIQUEFAÇÃO DO CARVÃO

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

DOI 10.22533/at.ed.5392020038

CAPÍTULO 9 90

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

Alex Vazzoler

DOI 10.22533/at.ed.5392020039

CAPÍTULO 10 99

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

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

DOI 10.22533/at.ed.53920200310

CAPÍTULO 11 107

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

Flávia Cristina Cardoso Dória
Elaine Cristina Nogueira Lopes de Lima

DOI 10.22533/at.ed.53920200311

CAPÍTULO 12 123

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

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

DOI 10.22533/at.ed.53920200312

CAPÍTULO 13 131

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

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

DOI 10.22533/at.ed.53920200313

CAPÍTULO 14 143

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

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

DOI 10.22533/at.ed.53920200314

CAPÍTULO 15 153

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

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

DOI 10.22533/at.ed.53920200315

CAPÍTULO 16 164

RESÍDUOS DE FERRO E ALUMÍNIO EM COMPÓSITOS POLIMÉRICOS

Gabriel da Cruz Oliveira
Lucas Rezende Almeida

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

DOI 10.22533/at.ed.53920200316

CAPÍTULO 17 172

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

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

DOI 10.22533/at.ed.53920200317

CAPÍTULO 18 184

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

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

DOI 10.22533/at.ed.53920200318

CAPÍTULO 19 196

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

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

DOI 10.22533/at.ed.53920200319

CAPÍTULO 20 209

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

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

DOI 10.22533/at.ed.53920200320

SOBRE A ORGANIZADORA..... 217

ÍNDICE REMISSIVO 218

ESTUDOS CINÉTICO E TERMODINÂMICO DA UTILIZAÇÃO DE MESOCARPO DE COCO VERDE NA REMOÇÃO DE ÍONS FLUORETO EM SOLUÇÃO

Data de aceite: 11/03/2020

César Augusto Canciam

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
UTFPR, Departamento Acadêmico de Engenharia
Química – Câmpus Ponta Grossa
e-mail: canciam@utfpr.edu.br

Nehemias Curvelo Pereira

Universidade Estadual de Maringá, Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Química

RESUMO: A casca de coco verde tem sido estudada como adsorvente de cátions. Poucos estudos foram dedicados aos ânions usando este tipo de biossorvente. Dessa forma, esse trabalho desenvolveu um biossorvente para remover íons fluoreto em solução aquosa a partir de mesocarpo de coco verde e estudar a cinética e a termodinâmica de adsorção. A eficiência de remoção variou de $(90,725 \pm 0,017) \%$ (a 25°C) e $(97,425 \pm 0,016) \%$ (a 45°C). Os experimentos cinéticos revelaram que a sorção de íons fluoreto atingiu o equilíbrio em 300 min nas temperaturas de 25, 35 e 45°C . Os parâmetros termodinâmicos determinaram que a adsorção foi um processo espontâneo e endotérmico, sendo classificada como uma adsorção química.

PALAVRAS-CHAVE: Mesocarpo. Coco verde. Adsorção. Íons fluoreto.

KINETIC AND THERMODYNAMIC STUDIES OF THE USE OF MESOCARP OF GREEN COCONUT FOR REMOVAL OF FLUORIDE IONS IN AQUEOUS SOLUTION

ABSTRACT: Green coconut shell has been studied as a cations adsorbent. Few studies have been devoted to anions using this type of biosorbent. Thus, this work developed a biosorbent to remove fluoride ions in aqueous solution from mesocarp of green coconut and to study the kinetics and thermodynamics adsorption. Removal efficiency ranged from $(90.725 \pm 0.017) \%$ (at 25°C) to $(97.425 \pm 0.016) \%$ (at 45°C). Kinetic experiments revealed that fluoride ion sorption reached equilibrium within 300 min at temperatures of 25, 35 and 45°C . The thermodynamic parameters determined that the adsorption was a spontaneous and endothermic process, being classified as a chemical adsorption.

KEYWORDS: Mesocarp. Green coconut. Adsorption. Fluoride ions.

INTRODUÇÃO

A casca de coco verde é um resíduo proveniente do consumo e da industrialização da água do coco. É um resíduo que apresenta potencial de uso, porém com poucas ações de reutilização implementadas no Brasil. A maior

parte da casca de coco verde produzida é depositada em lixões e aterros sanitários, implicando em um problema ambiental, uma vez que é um resíduo de difícil e longa degradação (cerca de 8 anos) e que ocupa um volume significativo (Carrijo *et al.*, 2002; Bitencourt e Pedrotti, 2008).

O mesocarpo corresponde à camada intermediária, entre o epicarpo (parte externa) e o endocarpo (parte mais interna), sendo considerada a parte mais desenvolvida e volumosa do fruto imaturo. Epicarpo, mesocarpo e endocarpo compõem de 80 a 85 % da massa do fruto (Carrijo *et al.*, 2002; Martins *et al.*, 2006).

A concentração aceitável de íons fluoreto em água potável estabelecida pela Organização Mundial de Saúde é de 1,50 mg L⁻¹. Alguns países adotam outros limites. Por exemplo, na África do Sul, o limite aceitável é 0,75 mg L⁻¹. Brasil segue o que foi recomendado pela Organização Mundial de Saúde (Brasil, 2011; Murutu *et al.*, 2012).

Em pequenas concentrações, os íons fluoreto ajudam a prevenir a cárie dentária e melhoram a calcificação do esmalte dentário. No entanto, em altas concentrações, esses íons podem interferir no funcionamento dos rins, tireóide, paratireóide, fígado, testículos e neurônios (Chinoy e Narayana, 1994; Shanthakumari *et al.*, 2004; Flora *et al.*, 2009; Murutu *et al.*, 2012).

Em adultos, concentrações de íons fluoreto maiores que 1,50 mg L⁻¹ podem levar à fluorose dentária. Enquanto que, em concentrações acima de 3,0 mg L⁻¹, podem causar a fluorose esquelética. Estima-se que 26 milhões de pessoas na China sofram de fluorose dentária e que 1 milhão de pessoas sofram de fluorose esquelética, devido ao consumo de água contaminada com altos níveis de íons fluoreto (Srikanth *et al.*, 2002; Fewtrell *et al.*, 2006; Dar *et al.*, 2011; Odiyo e Makungo, 2012).

Coagulação e precipitação química, processos empregando membrana (diálise, nanofiltração e osmose reversa), tratamento eletrolítico (eletrodiálise e eletrocoagulação), troca iônica e adsorção são processos empregados na desfluoretação da água. O processo de adsorção oferece maior acessibilidade, baixo custo e, design e operação simples, em relação aos demais. Como desvantagens, na adsorção é necessário o ajuste de pH e ocorre a interferência de outros íons dissolvidos (Murutu *et al.*, 2012; Habuda- Stanić *et al.*, 2014).

Para tanto, o objetivo deste trabalho foi estudar a cinética e a termodinâmica de adsorção de íons fluoreto empregando mesocarpo de coco verde. Os estudos foram realizados em duplicata e em batelada, nas temperaturas de 25, 35 e 45 °C.

MATERIAL E MÉTODOS

Material

As amostras de coco verde (da variedade anão) utilizadas neste trabalho vieram da disposição desse material após o consumo de água de coco e foram fornecidas por uma empresa localizada em Maringá, Paraná.

O coco verde foi descascado manualmente com o auxílio de uma faca especial, produzindo fatias de epicarpo e fatias de mesocarpo. As fatias de epicarpo foram separadas das fatias de mesocarpo e empregadas em outro trabalho. As fatias de mesocarpo apresentaram espessuras, de aproximadamente, 5 mm, e foram secas a 70 °C em secador convectivo de fluxo de ar ascendente. O tempo de secagem em equilíbrio foi determinado experimentalmente e apresentou valor de 140 min. Após a secagem, o material foi triturado e classificado por tamanho, empregando peneiras laboratoriais. As frações utilizadas apresentaram diâmetro médio de 0,75 mm.

Métodos

Os experimentos cinéticos de adsorção foram realizados nas temperaturas de 25, 35 e 45 °C, em batelada e em duplicata, empregando uma incubadora resfriada com agitação (Tecnal, modelo TE-421). Em cada experimento, foram utilizados 0,50 g de biossorvente em uma série de frascos contendo 30 mL de uma solução aquosa de fluoreto de sódio, com concentração inicial de 4,0 mg L⁻¹ de íons fluoreto. Os frascos foram agitados mecanicamente a 150 rpm, em tempos predeterminados (5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 120, 180, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390 e 420 minutos). O pH da solução foi 8,0.

Na determinação da concentração de íons fluoreto, foi empregado o método colorimétrico SPADNS (Clesceri et al., 1999).

A eficiência de remoção dos íons fluoreto foi calculada pela Equação 1.

$$R(\%) = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \cdot 100 \quad (1)$$

A capacidade de adsorção em função do tempo pode ser expressa pela Equação 2 (Suzuki, 1990).

$$q(t) = \frac{[C_0 - C(t)] \cdot V}{m} \quad (2)$$

Na modelagem matemática dos dados experimentais de cinética de adsorção, foram considerados os modelos cinéticos de pseudoprimeira e pseudossegunda ordens, o modelo cinético de Elovich e o modelo de difusão intrapartículas. As Equações 3, 4, 5 e 6 correspondem a esses modelos nas suas formas não lineares (Ho *et al.*, 2000; Ho, 2004; Qiu *et al.*, 2009).

Modelo de pseudoprimeira ordem

$$q(t) = q_e \cdot [1 - e^{(-k_1 \cdot t)}] \quad (3)$$

Modelo de pseudossegunda ordem

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

Modelo cinético de Elovich

$$q(t) = \frac{1}{\beta} \cdot \ln(\alpha \cdot \beta \cdot t) \quad (5)$$

Modelo de difusão intrapartícula

$$q(t) = (k_{dif} \cdot \sqrt{t}) + C_d \quad (6)$$

Seleção do modelo cinético de melhor ajuste

Na seleção do modelo cinético de melhor ajuste aos dados experimentais, foi aplicado o critério de Akaike para pequenas amostras. Nessa seleção, foi considerado como modelo de melhor ajuste ao que apresentar o menor valor desse critério. O critério de Akaike para pequenas amostras é determinado pela Equação 7 (Hurvich e Tsai, 1989).

$$AIC_c = \left[n_e \cdot \ln \left(\frac{SQE}{n_e} \right) \right] + (2 \cdot n_p) + \left[\frac{(2 \cdot n_p) \cdot (n_p + 1)}{n_e - n_p - 1} \right] \quad (7)$$

Análise termodinâmica da adsorção

Os parâmetros termodinâmicos da adsorção foram calculados a partir da constante de equilíbrio k_d , obtida pelo gráfico do logaritmo neperiano da razão $\frac{q_e}{C_e}$ em função de C_e , extrapolando C_e para zero (Biggar e Cheung, 1973).

As Equações 8 e 9 expressam a variação da energia livre de Gibbs, a variação da entalpia e a variação da entropia em função da constante de equilíbrio K_d .

$$\Delta G = -R \cdot T \cdot \ln k_d \quad (8)$$

$$\ln k_d = \left(\frac{\Delta S}{R} \right) - \left(\frac{\Delta H}{R} \right) \cdot \frac{1}{T} \quad (9)$$

Plotando o gráfico de $\ln K_d$ em função de $\frac{1}{T}$, o coeficiente angular da reta obtida é numericamente igual a $-\left(\frac{\Delta H}{R}\right)$ e o coeficiente linear é numericamente igual a $\left(\frac{\Delta S}{R}\right)$ (Biggar e Cheung, 1973).

O efeito da temperatura sobre a adsorção dos íons fluoreto pelo mesocarpo de coco verde foi estudado por meio de uma equação do tipo Arrhenius. A forma linearizada dessa equação é expressa na Equação 10 (Ruthven, 1984).

$$\ln k_{cin} = \ln A - \left(\frac{E_a}{R} \right) \cdot \frac{1}{T} \quad (10)$$

A energia de ativação (E_a) é um parâmetro associado com a natureza e intensidade das interações entre o adsorvente e o adsorvato e, geralmente é empregado para distinguir os tipos de adsorção. A adsorção é classificada como física, se o valor determinado da energia de ativação estiver entre 5 e 40 kJ mol⁻¹. Valores determinados da energia de ativação entre 40 e 800 kJ mol⁻¹ classificam a adsorção como química (Ruthven, 1984).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A eficiência de remoção dos íons fluoreto por mesocarpo de coco verde foi de (90,725 ± 0,017) % (a 25 °C), (94,375 ± 0,035) % (a 35 °C) e (97,425 ± 0,016) % (a 45 °C).

A Tabela 1 relaciona algumas cascas empregadas como biossorventes de íons fluoreto, o pH da solução tratada e a eficiência de remoção determinada.

Biossorvente	pH	R (%)	Referência
Casca de arroz	2,0	83%	Vardhan e Kartikeyan , (2011)
Casca de café	6,0	38%	Harikumar et al., (2012)
Pó de casca de abacaxi	6,0	86%	Rao e Metre, (2014)
Pó de casca de laranja	6,0	79%	Rao e Metre, (2014)

Tabela 1: Algumas cascas e suas eficiências de remoção de íons fluoreto

Assim como o mesocarpo de coco verde, as cascas indicadas na Tabela 1 são consideradas como materiais lignocelulósicos, ou seja, que apresentam, em sua composição: celulose, lignina e hemiceluloses.

A casca de arroz, por exemplo, é composta de 44 % de celulose, 18% de lignina

e 22 % de hemiceluloses (Fernandes *et al.*, 2015).

A casca de café é composta basicamente de: celulose (23 %), lignina (13 %) e hemiceluloses (15 %) (Souza *et al.*, 2001).

A casca de abacaxi apresenta, aproximadamente, 3 % de celulose, 2 % de lignina e 5 % de hemiceluloses (Silva *et al.*, 2010).

A casca de laranja é composta, aproximadamente, de 9% de celulose, 4% de lignina e 10 % de hemiceluloses (Cypriano *et al.*, 2017).

Na literatura pesquisada, não foi encontrada a composição do mesocarpo de coco verde, em termos de celulose, lignina e hemiceluloses.

Corradini *et al.* (2009) determinaram a composição química das fibras de coco verde de cinco cultivares da variedade coco anão, em termos de lignina e celulose. Os teores variaram de (37,2±0,8) % a (43,9±0,7) % para a lignina, enquanto que para a celulose, de (31,5±0,1) % a (37,4±0,5) %.

Uma análise dos espectros vibracionais do mesocarpo de coco verde (antes e depois da adsorção de íons fluoreto) identificou bandas de adsorção em 1520, 1615, 2930 e 3353 cm^{-1} (Canciam, 2017).

As bandas de absorção em 1520 e 1615 cm^{-1} foram atribuídas, respectivamente, ao dobramento fora do plano do grupo C–H e ao estiramento do grupo C=C. A banda de absorção em 2930 cm^{-1} foi atribuída ao estiramento do grupo C–H. Enquanto, que a banda de absorção em 3353 cm^{-1} foi atribuída ao grupo C=C do anel aromático (PAVIA *et al.*, 2012).

O grupo C–O é encontrado nas estruturas de celulose, lignina e hemiceluloses. O grupo C–H é encontrado nas estruturas de celulose e lignina. Enquanto, que os grupos C=C e C=C do anel aromático são encontrados na estrutura da lignina (Fengel e Wegener, 1989; Streit *et al.*, 2005).

A cinética de adsorção revela a influência do tempo de contato entre as espécies a serem adsorvidas e o adsorvente e a quantidade de espécies adsorvidas (Dąbrowski, 2001).

Empregando o mesocarpo de coco verde como biossorvente, a adsorção de íons fluoreto atingiu o equilíbrio em 300 min. As concentrações finais de íons fluoreto foram equivalentes a (0,371 ± 0,017) mg L^{-1} (a 25 °C), (0,225 ± 0,035) mg L^{-1} (a 35 °C) e (0,103 ± 0,016) mg L^{-1} (a 45 °C). A Figura 1 mostra a concentração de íons fluoreto em função do tempo.

Na Tabela 2, estão relacionados os valores determinados do critério de Akaike para pequenas amostras.

Pode-se observar na Tabela 2, que de acordo com o critério de Akaike para pequenas amostras, o modelo cinético de pseudoprimeira ordem foi o modelo que melhor ajustou aos dados experimentais a 25 °C. Enquanto que, o modelo de pseudossegunda ordem foi o modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais a 35 e 45 °C.

Na literatura pesquisada, não foram encontrados trabalhos de adsorção de íons

fluoreto empregando casca de coco verde.

Lima *et al.* (2012) determinaram a cinética de adsorção dos íons fosfato, sulfato e nitrato empregando pó de casca de coco verde tratada com carbonato de cálcio, hidróxido de sódio e reagente Quat 188. Os experimentos de cinética de adsorção foram realizados a 25 °C, em pH 7 e sob agitação, por um tempo total de 24 h. Os modelos cinéticos linearizados de pseudoprimeira ordem, de pseudossegunda ordem e de difusão intrapartícula foram ajustados aos dados experimentais de cinética de adsorção desses íons. Nestas condições, o modelo linearizado de pseudossegunda ordem foi selecionado como o modelo de melhor ajuste aos dados experimentais.

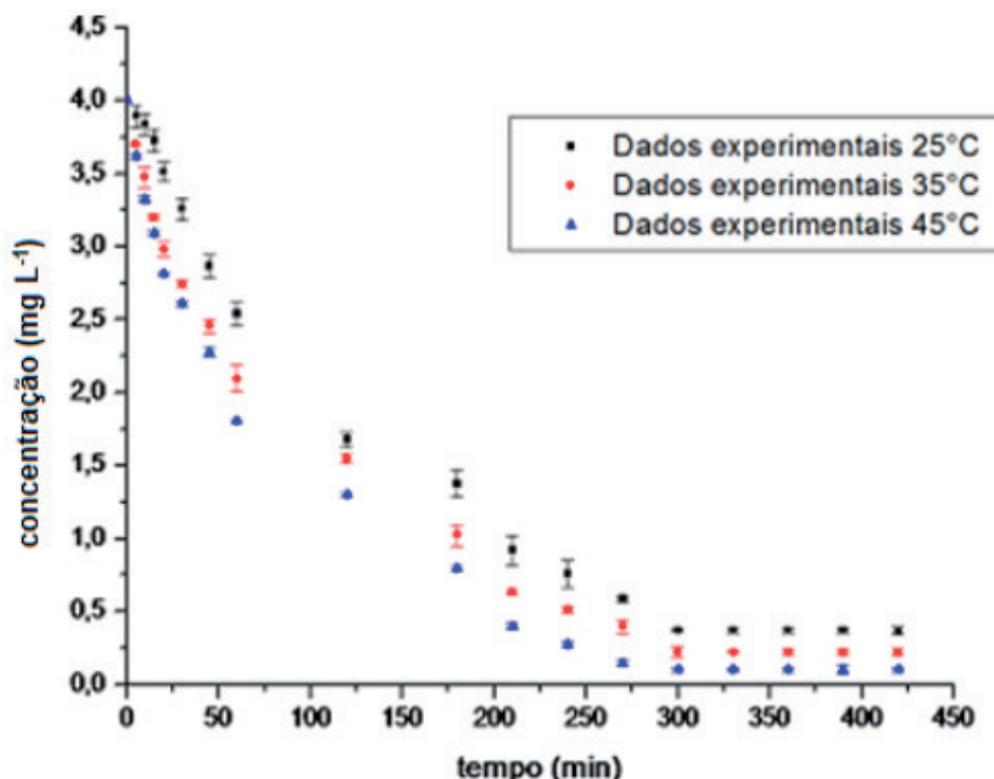


Figura 1: Concentração de íons fluoreto em função do tempo

Modelo cinético	AIC_c		
	25 °C	35 °C	45 °C
Pseudoprimeira ordem	-171,370	-153,734	-151,520
Pseudossegunda ordem	-164,264	-167,088	-165,153
Elovich	-135,057	-147,336	-149,562
Difusão intrapartícula	-143,419	-142,875	-135,825

Tabela 2: Valores do critério de Akaike determinados para os modelos cinéticos estudados

Geralmente, o modelo cinético de pseudossegunda ordem está associado quando a taxa direta do processo de adsorção/dessorção controla a cinética total de sorção. Dessa forma, esse modelo assume que a adsorção pode ser química e que a adsorção pode ser a etapa controladora da velocidade no processo de adsorção (Ho *et al.*, 2000; Dąbrowski, 2001).

A Tabela 3 indica os valores das constantes relacionadas com o modelo cinético

de pseudoprimeira ordem nos experimentos a 25 °C e com o modelo cinético de pseudossegunda ordem nos experimentos a 35 e 45 °C.

Os valores determinados do coeficiente de determinação foram de 0,995 (nos experimentos a 25 °C), 0,993 (nos experimentos a 35 °C) e 0,992 (nos experimentos a 45 °C).

Constantes			
	25 °C	35 °C	45 °C
k_f (min ⁻¹)	0,007	---	---
k^2 (g mg ⁻¹ min ⁻¹)	---	0,041	0,051
q_e (mg g ⁻¹)	0,236	0,231	0,280

Tabela 3: Valores das constantes dos modelos cinéticos de melhor ajuste aos dados experimentais

Os valores dos parâmetros termodinâmicos de adsorção estão relacionados na Tabela 4.

	Δ (kJ mol ⁻¹)	ΔH (kJ mol ⁻¹)	ΔS (kJ mol ⁻¹ K ⁻¹)
Temperatura (°C)		13,849	0,049
25	-0,780		
35	-1,098		
45	-1,766		

Tabela 4: Valores dos parâmetros termodinâmicos de adsorção

Valores da variação da energia livre de Gibbs negativos indicam que o processo adsorvivo foi espontâneo, ou seja, termodinamicamente favorável. Uma diminuição dos valores da variação da energia livre de Gibbs com o aumento da temperatura demonstra um aumento na viabilidade de adsorção em maiores temperaturas (Erdem *et al.*, 2004).

Valores da variação de entalpia positivos indicam que o processo de adsorção foi endotérmico. Na adsorção, os processos endotérmicos podem estar associados à barreira energética necessária para a formação do complexo adsorvente-adsorvato ativado, ou seja, foi necessário fornecer energia para superar a barreira energética (Dąbrowski, 2001).

Na Tabela 4, os valores da variação da entropia foram positivos. Valores positivos da variação da entropia indicam que ocorreu um aumento da desordem do sistema na interface sólido-fluido durante a adsorção (Dąbrowski, 2001).

Os parâmetros da equação do tipo Arrhenius estão relacionados na Tabela 5. A equação do tipo Arrhenius obtida apresentou um coeficiente de determinação equivalente a 0,849.

$\ln k_{cin}$	A (g mg ⁻¹ min ⁻¹)	E_a (kJ mol ⁻¹)
---------------	---	-------------------------------

Temperatura (°C)		4,156.10 ¹¹	77,967
25	-4,934		
35	-3,199		
45	-2,972		

Tabela 5: Valores dos parâmetros da equação do tipo Arrhenius

Na Tabela 5, pode-se observar que a energia de ativação apresentou um valor entre 40 e 800 kJ mol⁻¹. Dessa forma, a adsorção pode ser classificada como uma adsorção química.

A adsorção química é considerada específica, formando uma única camada (monocamada) na superfície do adsorvente. Geralmente, a adsorção química é precedida por uma adsorção física. A adsorção química é dependente da ativação, podendo ser lenta e irreversível (Ruthven, 1984).

Na literatura pesquisada, não foram encontrados trabalhos relacionados à termodinâmica de adsorção de íons fluoreto empregando casca de coco verde.

CONCLUSÕES

O uso de biossorventes produzidos a partir de resíduos, como o mesocarpo de coco verde, além de ser uma alternativa viável e sustentável na remoção de íons fluoreto em corpos hídricos, pode promover a expansão das fronteiras econômicas e sociais.

A eficiência de remoção variou de (90,725 ± 0,017) % (a 25 °C) e (97,425 ± 0,016) % (a 45 °C). Os parâmetros termodinâmicos de adsorção classificam a adsorção de íons fluoreto por mesocarpo de coco verde como um processo espontâneo e endotérmico, sendo a adsorção classificada como uma adsorção química.

NOMENCLATURA

- A: Fator de frequência (unidade de acordo com o modelo selecionado);
- AIC_c: Critério de Akaike para pequenas amostras (adimensional);
- C_d: Constante associada com a resistência à difusão (mg g⁻¹);
- C_e: Concentração no equilíbrio de íons fluoreto (mg L⁻¹);
- C_o: Concentração inicial de íons fluoreto (mg L⁻¹);
- C(t): Concentração de íons fluoreto na solução no tempo predeterminado (mg L⁻¹);

- E_a: Energia de ativação (kJ mol⁻¹);
- k_{cin}: Constante do modelo cinético de melhor ajuste (unidade de acordo com o modelo selecionado);
- k_d: Constante de equilíbrio no processo adsortivo (L g⁻¹);
- k_{dif}: Coeficiente de difusão intrapartícula (mg g⁻¹ min^{-0,5});
- k₁: Constante de pseudoprimera ordem (min⁻¹);

k_2 :	Constante de pseudosegunda ordem ($\text{g mg}^{-1} \text{ min}^{-1}$);
m :	Massa de biossorvente empregada (g);
n_e :	Número de dados experimentais (adimensional);
n_p :	Número de parâmetros do modelo analisado (adimensional);
pH	Potencial hidrogeniônico (adimensional);
q_e :	Quantidade de íons fluoreto adsorvida no equilíbrio por unidade de massa de biossorvente (mg g^{-1});
$q(t)$:	Capacidade de adsorção em função do tempo (mg g^{-1});
R :	Constante universal dos gases perfeitos ($\text{kJ mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$);
$R(\%)$:	Eficiência de remoção (%);
SQE:	Soma dos quadrados dos erros (adimensional);
$\frac{1}{T}$:	Inverso da temperatura absoluta (K^{-1});
t :	Tempo (min);
V :	Volume da solução tratada (L);
α :	Velocidade inicial de adsorção ($\text{mg g}^{-1} \text{ min}^{-1}$);
β :	Parâmetro do modelo cinético de Elovich (g mg^{-1});
ΔG :	Varição da energia livre de Gibbs (kJ mol^{-1});
ΔH :	Varição da entalpia (kJ mol^{-1});
ΔS :	Varição da entropia ($\text{kJ mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$).

REFERÊNCIAS

BIGGAR, J. W.; CHEUNG, M. W. (1973), "Adsorption of picloram (4-amino-3, 5, 6- trichloropicolinic acid) on Panoche, Ephrata and Palouse soils: a thermodynamic approach to the adsorption mechanism", *Soil Science Society of America Journal*, Vol 37, p.863-868.

BITENCOURT, D. V.; PEDROTTI, A. (2008), "Usos da casca de coco: estudo das viabilidades de implantação de usina de beneficiamento de fibra de coco em Sergipe", *Revista da Fapese*, Vol 4, p.113-122.

BRASIL (2011), Portaria nº 2.914, Diário Oficial da União, Brasília.

CANCIAM, C. A. (2017), Utilização do Epicarpo e do Mesocarpo de Coco Verde e da Casca de Banana na Bioadsorção de Íons Fluoreto. PPGEQ/UEM – Maringá – PR, 218 p. (tese de doutorado).

CARRIJO, O. A.; LIZ, R. S.; MAKISHIMA, N. (2002), "Fibra da casca do coco verde como substrato agrícola", *Horticultura Brasileira*, Vol 20, p.533-535.

CHINOY, N. J.; NARAYANA, M. V. (1994), "In vitro fluoride toxicity in human spermatozoa", *Reproductive Toxicology*, Vol 8, p.155-159.

CORRADINI, E.; ROSA, M. F.; MACEDO, B. P.; PALADIN, P. D.; MATTOSO, L. H. C. (2009), "Composição química, propriedades mecânicas e térmicas da fibra de frutos de cultivares de coco verde", *Revista Brasileira de Fruticultura*, Vol 31, p.837–846.

CLESCERI, L. S.; GREENBERG, A. E.; EATON, A. D. (1999), *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, American Public Health Association, Washington.

CYPRIANO, D. Z.; SILVA, L. L.; MARIÑO, M. A.; RASIC, L. (2017), "A biomassa da laranja e seus subprodutos", *Revista Virtual de Química*, Vol 9, p.176-191.

DĄBROWSKI, A. (2001), "Adsorption-from theory to practice", *Advances in Colloid and Interface Science*, Vol 93, p.135-224.

DAR, M. A.; SANKAR, K.; DAR, I. A. (2011), "Fluorine contamination in groundwater: a major challenge", *Environmental Monitoring and Assessment*, Vol 173, p.955-968.

ERDEM, M.; ALTUNDOĞAN, H. S.; TÜMEN, F. (2004), "Removal of hexavalent chromium by using heatactivated bauxite", *Minerals Engineering*, Vol 17, p.1045-1052.

FENGEL, D.; WEGENER, G. (1989), *Wood: Chemistry, Ultrastructure and Reactions*, Walter de Gruyter & Co., Berlin.

FERNANDES, I. J.; SANTOS, E. C. A.; OLIVEIRA, R.; REIS, J. M.; CALHEIRO, D.; MORAES, C. A. M.; MODOLO, R. C. E. (2015), "Caracterização do Resíduo Industrial Casca de Arroz com Vistas a sua Utilização como Biomassa", *Anais do 6º Fórum Internacional de Resíduos Sólidos*, p.1-9, São José dos Campos –SP.

FEWTRELL, L.; SMITH, S.; KAY, D.; BARTRAM, J. (2006), "An attempt to estimate the global burden of disease due to fluoride in drinking water", *Journal of Water and Health*, Vol 4, p.533-542.

FLORA, S. J. S.; MITTAL, M.; MISHRA, D. (2009), "Co-exposure to arsenic and fluoride on oxidative stress, glutathione linked enzymes, biogenic amines and DNA damage in mouse brain", *Journal of the Neurological Sciences*, Vol 285, p.198-205.

HABUDA-STANIĆ, M.; RAVANČIĆ, M. E.; FLANAGAN, A. (2014), "A review on adsorption of fluoride from aqueous solution", *Materials*, Vol 7, p.6314-6366.

HARIKUMAR, P. S. P.; JASEELA, C.; MEGHA, T. (2012), "Defluoridation of water using biosorbents", *Natural Science*, Vol 4, p.245-251.

HO, I. S.; NG, J. C. Y.; MCKAY, G. (2000), "Kinetics of pollutant sorption by biosorbents: review", *Separation and Purification Methods*, Vol 29, p.189-232.

HO, Y. S. (2004), "Citation review of Lagergren kinetic rate equation on adsorption reactions", *Scientometrics*, Vol 59, p.171-177.

HURVICH, A. M.; TSAI, C. L. (1989), "Regression and time series model selection in small samples", *Biometrika*, Vol 76, p.297-307.

LIMA, A. C. A.; NASCIMENTO, R. F.; SOUSA, F. F.; M. FILHO, J.; OLIVEIRA, A. C. (2012), "Modified coconut shell fibers: a green and economical sorbent for the removal of anions from aqueous solutions", *Chemical Engineering Journal*, Vol 185-186, p.274-284.

MARTINS, A. P.; SILVA, P. L. R.; WATANABE, T.; BORELLI, C.; MARCIANO, J. P. P.; SANCHES, R. A. (2006), "O problema do pós-consumo do coco no Brasil: alternativas e sustentabilidade", *Sustentabilidade em debate*, Vol 7, p.44-57.

MURUTU, C.; ONYANGO, M. S.; OCHIENG, A.; OTIENO, F. A. O. (2012), "Fluoride removal performance of phosphoric acid treated lime: breakthrough analysis and point-of-use system performance", *Water S.A.*, Vol 38, p.279-286.

ODIYO, J. O.; MAKUNGO, R. (2012), "Fluoride concentrations in groundwater and impact on human health in Siloam Village, Limpopo Province, South Africa", *Water S.A.*, Vol 38, p.731-736.

PAVIA, D. L.; LAMPMAN, G. M.; KRIZ, G. S.; VYVYAN, J. R. (2012), *Introdução à Espectroscopia*,

Cengage Learning, São Paulo.

QIU, H.; LV, L.; PAN, B. C.; ZHANG, Q. J.; ZHANG, W. M.; ZHANG, Q. X. (2009), "Critical review in adsorption kinetic models", *Journal of Zhejiang University Science A*, Vol 10, p.716-724.

RAO, K.; METRE, M. (2014), "Effective low cost adsorbents for removal of fluoride from water: a review", *International Journal of Science and Research*, Vol 3, p.120-124.

RUTHVEN, D. M. (1984), *Principles of Adsorption and Adsorption Process*, John Wiley & Sons, New York.

SHANTHAKUMARI, D.; SRINIVASALU, S.; SUBRAMANIAN, S. (2004), "Effect of fluoride intoxication on lipidperoxidation and antioxidante status in experimental rats", *Toxicology*, Vol 204, p.219-228.

SILVA, J. S.; LOPES, A. S. C.; DAMASCENO, T. S.; BARROS, H. C.; MELO, S. S. (2010), "Reutilização de Resíduos com Ênfase na Casca e Cilindro Central do Abacaxi", *Anais do 50º CBQ 2010 – Congresso Brasileiro de Química, Cuiabá – MT*.

SOUZA, A. L.; GARCIA, R.; PEREIRA, O. G.; CECON, P. R.; VALADARES FILHO, S. C.; PAULINO, M. F. (2001), "Composição químico-bromatológica da casca de café tratada com amônia anidra e sulfeto de sódio", *Revista Brasileira de Zootecnia*, Vol 30, p.983-991.

SRIKANTH, R.; VISWANATHAM, K. S.; KAHSAI, F.; FISAHATSION, A.; ASMELLASH, M. (2002), "Fluoride in groundwater in selected villages in Eritrea (north east Africa)", *Environmental Monitoring and Assessment*, Vol 75, p.169-177.

STREIT, N. M.; CANTERLE, L. P.; CANTO, M. W.; HECKTHEUER, L. H. H. (2005), "As clorofilas-revisão bibliográfica", *Ciência Rural*, Vol 35, p.748-755.

SUZUKI, M. (1990), *Adsorption Engineering*, Elsevier Science Publishers, Amsterdam.

VARDHAN, C. M. V.; KARTHIKEYAN, J. (2011), "Removal of Fluoride from Water Using Low-cost Materials", *Anais do XV International Water Technology Conference 2011*, p.1-14, Alexandria –EGY.

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