

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 de 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

Prof^a Dr^a Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
 Prof^a Dr^a Andrezza Miguel da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
 Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
 Prof^a Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
 Prof^a 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
 Prof^a 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
 Prof^a Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
 Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
 Prof^a Dr^a 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
 Prof^a Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
 Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
 Prof^a 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
 Prof^a Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Prof^a Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
 Prof^a Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
 Prof^a Dr^a 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
 Prof^a 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
 Prof^a Ma. Renata Luciane Posaque Young Blood – UniSecal
 Prof^a 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 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	
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

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

Data de submissão: 03/12/2019

Data de aceite: 11/03/2020

Tiago Carregari Polachini

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas (IBILCE), Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos

São José do Rio Preto – São Paulo – Brasil

Grupo de Análisis y Simulación de Procesos Agroalimentarios (ASPA), Universitat Politècnica de València, Departamento de Tecnología de Alimentos

Valência – Espanha

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5012-6416>

Maria Júlia Neves Martins

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas (IBILCE), Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos

São José do Rio Preto – São Paulo – Brasil

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5936-734X>

Antonio Mulet

Grupo de Análisis y Simulación de Procesos Agroalimentarios (ASPA), Universitat Politècnica de València, Departamento de Tecnología de Alimentos

Valência – Espanha

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6748-2663>

Javier Telis-Romero

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Instituto de Biociências, Letras

e Ciências Exatas (IBILCE), Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos

São José do Rio Preto – São Paulo – Brasil

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2555-2410>

Juan A. Cárcel

Grupo de Análisis y Simulación de Procesos Agroalimentarios (ASPA), Universitat Politècnica de València, Departamento de Tecnología de Alimentos

Valência – Espanha

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3796-6146>

RESUMO: O grande desafio para a produção de etanol de segunda geração está em produzir, eficientemente, um hidrolisado rico em açúcares que possa ser fermentado para produção de etanol. De maneira geral, o tamanho, a densidade e a forma das partículas têm relevância para o estudo das operações unitárias que envolvem partículas e fluidos bem como na eficiência de hidrólise. Na maioria de projeto de equipamentos são consideradas misturas de partículas de diversos tamanhos, possuindo uma distribuição de tamanho. Sendo assim, este trabalho teve como objetivo avaliar a influência do tamanho de partícula na etapa de pré-tratamento de resíduos de mandioca (bagaço e cascas) como material potencial para conversão. Foram avaliados os conteúdos de celulose, grupos acetil, hemicelulose, lignina total, cinzas e extrativos. Tais análises

foram correlacionadas com o tamanho das partículas, previamente determinado pela modelagem matemática aos dados de retenção em séries de peneiras Tyler. As amostras de bagaço de mandioca com o maior diâmetro médio obtiveram os maiores teores de hemicelulose e menores teores de lignina. As amostras de cascas de mandioca de tamanho intermediário apresentaram conteúdo de celulose ligeiramente maior. Entretanto, as melhores condições de hidrólise destes resíduos de mandioca devem ser avaliadas especificamente para cada processo empregado.

PALAVRAS-CHAVE: bagaço de mandioca, casca de mandioca, lignocelulose, açúcares fermentescíveis, cromatografia.

CHEMICAL COMPOSITION OF LIGNOCELLULOSIC BIOMASS OF CASSAVA BAGASSE AND CASSAVA PEELS: INFLUENCE OF THE PARTICLE SIZE DISTRIBUTION

ABSTRACT: The main challenge attributed to the production of second generation ethanol is to efficiently produce a sugar-rich hydrolyzed that can be fermented into ethanol production. In general, particle size, density and shape need to be studied for unit operations purposes involving particles and fluids as well as for evaluating hydrolysis efficiency. In most of equipment design, particles are presented as a particle size distribution function. Thus, this study aimed at evaluating the influence of particle size on the pretreatment of cassava residues (bagasse and peel) as a potential material for conversion. The contents of cellulose, acetyl groups, hemicellulose, total lignin, ashes and extractives were evaluated. These analyzes were correlated with particle size, previously determined by the mathematical modeling to retention data in series of Tyler sieves. Cassava bagasse with the largest average diameter resulted higher hemicellulose contents and lower lignin. Cassava peel samples of intermediate size presented slightly higher cellulose content. However, the best hydrolysis conditions of these cassava residues should be evaluated specifically for each process employed.

KEYWORDS: cassava bagasse, cassava peel, lignocelulose, fermentable sugars, chromatography.

1 | INTRODUÇÃO

Atualmente há uma crescente procura pela utilização de resíduos agroindustriais, como por exemplo: bagaço de cana de açúcar, farelo de mandioca, polpa de laranja, etc. Diversos processos são desenvolvidos para utilização desses materiais transformando-os em compostos químicos e produtos com alto valor agregado como etanol, enzimas, ácidos orgânicos, aminoácidos, etc. A utilização de resíduos agroindustriais em bioprocessos é uma racional alternativa para produção de substratos, e uma ajuda para solucionar o problema ambiental (PANDEY et al., 2000).

O aproveitamento dos resíduos gerados pelas fecularias de mandioca, por exemplo, torna o processo de produção de fécula mais eficiente (LEONEL *et al.*, 2000).

Entre esses resíduos, estão o bagaço de mandioca (obtido após extração do amido) e as casca de mandioca (obtidas após preparação do material para extração). Embora o etanol seja majoritariamente produzido a partir de cana de açúcar e o milho, o uso de resíduos agroindustriais provenientes do processamento da mandioca é visto como uma alternativa a esta situação. (PRIMO-YÚFERA *et al.*, 1995; POLACHINI *et al.*, 2016; POLACHINI *et al.*, 2019).

A obtenção de etanol a partir da biomassa lignocelulósica consiste na hidrólise dos polissacarídeos com posterior fermentação dos açúcares fermentescível a etanol. Porém, a estrutura recalcitrante formada pelos três principais componentes da biomassa (celulose, hemicelulose e lignina) dificulta sua conversão (DIAS *et al.*, 2013). Devido a essa complexidade na sua estrutura, pré-tratamentos são estudados para melhorar a acessibilidade aos polissacarídeos pelas enzimas e/ou microrganismos (MENOR; RAO, 2012). Além disso, o pré-tratamento permite aplicar condições mais brandas de sacarificação e a consequente formação de produtos de degradação dos açúcares, como furfural e 5-hidroximetilfurfural (HARRISON *et al.*, 2013).

Os tipos de pré-tratamentos físicos são geralmente classificados em dois grandes grupos: físicos, como diferentes formas de moagem, e químicos, como o emprego de ácidos e bases. A redução do tamanho de partícula da biomassa, especificamente, é um processo que necessita de uma grande quantidade de energia, tornando-o bastante custoso (WU *et al.* 1990; LIU *et al.*, 2013). Em materiais como os resíduos de mandioca, que apresentam outras frações (amido) além da lignocelulose, um dado tamanho de partícula pode predizer um resíduo com composições distintas que necessita de um pré-tratamento específico. Por isso, é válido avaliar a correlação entre os parâmetros.

De maneira geral, o tamanho, a densidade e a forma das partículas tem relevância para o estudo das operações unitárias que envolvem partículas e fluidos, além da própria acessibilidade do material. No dimensionamento de equipamentos, é comum supor que, para um dado material, suas partículas possuam a mesma densidade e forma. É uma hipótese de trabalho com amplo respaldo experimental e que simplifica enormemente a análise dos problemas (PEÇANHA, 2014).

Diferentes técnicas podem ser utilizadas para se determinar a distribuição do tamanho de partícula, incluindo análise de peneira, sedimentação, microscopia, contador Coulter, difração a laser e espectroscopia de refletância no infravermelho próximo (HARELAND, 1994). Entretanto, a análise por meio de peneiras é exata e mais acessível a todos os tipos de laboratórios.

Por isso, o objetivo deste trabalho foi identificar as funções de distribuição de tamanho de partícula e caracterizar a distribuição de tamanho de partículas de farelo de mandioca.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Biomassa lignocelulósica

As raízes de mandioca foram adquiridas no CEASA – São José do Rio Preto, para serem levadas ao laboratório de Medidas Físicas da Universidade Estadual Paulista – UNESP, campus de São José do Rio Preto. As raízes foram devidamente lavadas em água corrente até a remoção dos resíduos do solo e, em seguida, higienizadas com hipoclorito de sódio (250 ppm) por 10 min e secas à temperatura ambiente.

2.2 Procedimentos experimentais

A preparação do material buscou-se a obtenção do bagaço de mandioca (BM) e das cascas de mandioca (CM). Neste procedimento, as cascas foram retiradas manualmente da polpas (raízes sem casca). Para realizar o processo de trituração, foi utilizado o Liquidificador profissional alta performance marca Philips Walita R12137/81 800W. As raízes e as cascas foram misturados individualmente com água destilada em uma proporção de 2 L para cada kg de raiz ou de casca, resultando em uma pasta. Essa pasta foi armazenada a 4°C por 24 horas (LEITE et al., 2017). Durante este período, o amido e as fibras decantaram em duas fases, sendo separadas por filtragem. O bagaço de mandioca (BM) e as cascas de mandioca (CM) foram secas a 40 °C e, posteriormente, trituradas em moinho de facas modelo MA380 (Marconi, Piracicaba, Brasil) até obter três diferentes granulometrias: $\leq 0,417$; $\leq 0,833$ e $\leq 2,0$ mm. Misturas foram realizadas para se obter amostras com diferente distribuição de tamanho de partícula (entre 1651 a 175,26 μm), originando os bagaços de mandioca integrais BMI-A, BMI-B, BM-C e as cascas de mandioca integrais CMI-A, CMI-B e CMI-C. As amostras foram embaladas e armazenadas à temperatura ambiente (28 ± 2 °C).

Para a análise de distribuição de tamanho de BMI e CMI, foram utilizadas 12 peneiras, divididas em 2 baterias de 6 cada uma. Sua relação encontra-se na Tabela 1. Optou-se por uma série de peneiras devido à grande dispersão de tamanho das partículas e com o objetivo de ter um resultado melhor de distribuição de tamanho e de diâmetro médio.

1a bateria		2a bateria	
Tyler (mesh)	Abertura μm	Tyler (mesh)	Abertura μm
14	1168,40	35	416,56
16	990,60	42	350,52
20	833,12	48	294,64
24	701,04	60	246,38
28	589,28	65	208,28
32	495,30	80	175,26
Fundo	0	Fundo	0

Aproximadamente 100 g de bagaço ou casca de mandioca foram colocados na parte superior da série de peneiras e estas foram presas em um agitador eletromagnético sendo agitadas durante 15 min. Após este período, as peneiras foram pesadas para determinar a massa retida em cada uma delas.

O modelo de distribuição do tamanho de partículas de Rosin-Rammler-Bennet, representado pela Equação (1) (ALLEN, 1981), foi ajustado aos dados experimentais.

$$Y = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x}{X_R}\right)^n\right] \quad (1)$$

onde Y é a fração mássica do material mais fino do que a abertura da peneira, g.g-1 total; x é a abertura da peneira de ordem n, em m; X_R é o parâmetro que representa o tamanho médio das partículas, em m, e n é o parâmetro adimensional que representa a dispersão.

2.3 Determinação da composição química das biomassas

O teor de umidade da biomassa lignocelulósica de bagaço de mandioca integral (BMI) e das cascas de mandioca integral (CMI) foi analisado gravimetricamente por secagem da amostra a 105 °C até peso constante (AOAC, 2005). As amostras previamente moídas numa granulometria de (< 0,5 mm) idêntico ao material de menor granulometria.

A determinação dos extrativos foram determinados de acordo com Sluiter *et al.*, (2005), pelo método de soxhlet (AOAC, 2005). Essa determinação possui a finalidade de extrair e quantificar os extrativos a fim de remover esse material das biomassas antes das demais quantificações (lignina e carboidratos) para não haver interferência nas outras determinações.

O resíduo da análise de umidade das amostras de BMI e CMI (M1) (3,00 g) foram colocados em cartuchos de papel de filtro para o processo de extração. Foram adicionados 190 mL de álcool etílico aos cartuchos com as amostras, e o conjunto foi colocado em tubos de extração do soxhlet. A extração se deu até que o solvente em torno do cartucho de extração ficasse incolor. Após a extração os cartuchos foram lavados com água destilada para remoção do álcool etílico, sendo posteriormente transferidos para cadinhos com placa filtrante devidamente tarados (M2) e filtradas a vácuo.

Posteriormente, as amostras foram colocadas na estufa a 105°C para secagem até peso constante. As amostras foram pesadas em balança analítica (M3). A Equação (2) apresenta o cálculo para determinação do teor de extrativos.

$$\% \text{ Extrativos} = \left(\frac{M_1 - (M_2 - M_3)}{M_1} \right) \times 100 \quad (2)$$

onde M_1 é a massa da BMI e CMI descontando o teor de umidade, em g, M_2 é a massa do cadinho, em g e M_3 é a massa do cadinho somado da massa do BMI ou CMI livre de extrativos, em g.

A determinação do teor de cinzas foi realizada de acordo com (AOAC, 2005). A finalidade é quantificar o material inorgânico presente na biomassa. O conteúdo de carboidratos foi determinado de acordo com Sluiter *et al.*, (2018). O conteúdo de lignina, grupos acetil e furfural e 5-hidroximetilfurfural foram determinados de acordo com Hyman *et al.*, (2007). Para estas análises, é necessário utilizar as amostras de BMI ou CMI livres de extrativos.

Na hidrólise com H_2SO_4 72% (m/m), o BMI ou CMI livre de extrativos foi previamente moído até obter o aspecto de pó. Foram pesadas 0,3 g de cada amostra (M_1) em tubos de ensaio, sendo adicionados 3 mL de H_2SO_4 72% (m/m) em cada tubo, e colocados em banho termostático a 30°C por 1 h. Os tubos foram homogeneizados a cada 10 minutos com auxílio de um bastão de vidro, com o intuito de garantir um processo de hidrólise homogênea.

O conteúdo dos tubos foi transferido quantitativamente para frascos tipo Schott de 250 mL e adicionados 84 mL de água destilada, obtendo uma concentração ácida do meio para 4%. Os frascos foram levados à autoclave a 121°C e 1,1 bar por 1 hora para a total hidrólise dos oligômeros formados.

Para determinação de Lignina Klason (insolúvel), primeiramente, os filtros de papel foram secos em estufa a 105°C, pesados em balança analítica, tendo suas massas M_2 . Os hidrolisados foram filtrados com o auxílio dos filtros para as análises posteriores de lignina solúvel, carboidratos, conteúdo de grupos acetil, furfural e 5-hidroximetilfurfural. Os sólidos foram neutralizados e levados à estufa a 105°C para secagem até peso constante com massa M_3 .

Uma fração desse material insolúvel é constituída de cinzas. Assim, para que não haja uma superestimação dos dados de lignina insolúvel, foi realizada a análise do teor de cinzas, segundo a metodologia descrita anteriormente.

O cálculo do teor de lignina insolúvel na BMI e no CMI é mostrado na Equação (2).

$$\text{lignina insolúvel (\%)} = \left(\frac{(M_3 - M_2) - m_{\text{cinzas}}}{M_1} \right) \times \left(1 - \left[\frac{\% \text{ extrativos}}{100} \right] \right) \times 100 \quad (2)$$

onde C_1 é a massa do BMI ou CMI utilizado na hidrólise, em g; M_2 é a massa do

papel de filtro tarado, em g; M3 é a massa do papel filtro + lignina insolúvel seca, em g.

A quantidade de lignina solúvel foi determinada em espectrofotômetro. Aproximadamente 1 mL de hidrolisado foi transferido para balões volumétricos de 25 mL, adicionados de 0,5 mL de solução de NaOH 6,5 N para atingir pH 12, completando o volume do balão com água destilada. A leitura foi realizada em 280 nm. O branco foi preparado partindo de uma solução de ácido sulfúrico 4% (m/m), tendo o pH ajustado com NaOH 6,5 N até pH 12. O cálculo da concentração da lignina solúvel é mostrado pelas Equações (3) e (4).

$$C_{\text{lignina solúvel}} = 4,187 \times 10^{-2} (A_T - A_{pd}) - 3,279 \times 10^{-4} \quad (3)$$

$$A_{pd} = c_1 \epsilon_1 + c_2 \epsilon_2 \quad (4)$$

Onde $C_{\text{lignina solúvel}}$ é a concentração de lignina solúvel, em g/L; A_T é a absorbância da solução de lignina junto com os produtos de degradação, em 280 nm; A_{pd} é a absorbância, a 280 nm, dos produtos de decomposição dos açúcares (furfural e HMF), calculado através da Equação (4), cujas concentrações c_1 e c_2 serão determinadas previamente por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) e ϵ_1 e ϵ_2 são as absorvidades de furfural e HMF (146,85 e 114,00 L g⁻¹ cm⁻¹), determinadas experimentalmente (HYMAN et al., 2007).

A Equação (5) apresenta, então, o cálculo para lignina solúvel:

$$\%_{\text{lignina solúvel}} = \left(\frac{C_{\text{lignina solúvel}} \cdot V_{\text{filtrado}} \cdot FD}{M_1} \right) \times \left(1 - \left[\frac{\% \text{ extrativos}}{100} \right] \right) \times 100 \quad (5)$$

onde $C_{\text{lignina solúvel}}$ é a concentração da lignina solúvel, em g/L; V_{filtrado} é o volume do hidrolisado filtrado, 0,087 L; FD o fator de diluição do hidrolisado; M_1 a massa do BMI ou CMI utilizado na hidrólise, em g.

O teor de lignina total foi determinado através da soma da lignina solúvel mais a lignina insolúvel.

Na determinação dos carboidratos e produtos de decomposição, a quantificação dos açúcares celobiose, glicose, xilose, arabinose; do ácido acético e dos produtos de decomposição furfural e 5-hidroximetilfurfural; presentes no hidrolisado ácido foram analisados por cromatografia líquida de alta eficiência. Para isso, foram construídas curvas analíticas utilizando soluções de concentrações conhecidas para cada um

dos componentes: arabinose, celobiose, xilose, glicose, ácido acético, furfural, 5-hidroximetilfurfural.

Os hidrolisados foram filtrados utilizando filtros de membrana de éster de celulose com poros de 0,22 µm (Milipore, Merck), para posterior análise. Na análise dos carboidratos, as soluções padrão (arabinose, celobiose, xilose e glicose) e as amostras foram injetadas no cromatógrafo acoplado a uma coluna ácida Biorad Aminex HPX-87H equipada com uma pré-coluna. Solução filtradas e degaseificadas de ácido sulfúrico 0,01N foi utilizada como fase móvel, a um pH de 2,6, preparada com água ultra-pura (Milli-Q).

As condições de análise no cromatógrafo foram: volume de injeção igual a 15 µL; taxa de fluxo de 0,6 mL/min; temperatura da coluna a 35°C; temperatura do detector a 30°C; detector índice de refração (RID); tempo de análise de 18 minutos. As concentrações de cada componente foram determinadas através das áreas dos cromatogramas e das curvas analíticas.

O cálculo do teor de carboidratos para o bagaço integral é mostrado na Equação (6).

$$\%_{\text{celulose ou hemiceluloses}} = \left(\frac{C_{CLAE} \cdot FC \cdot V_{\text{filtrado}}}{M_1} \right) \times \left[1 - \left(\frac{\% \text{ extrativos}}{100} \right) \right] \times 100 \quad (6)$$

onde C_{CLAE} é a concentração do açúcar quantificado por CLAE, em g/L; FC é fator de correção para calcular a concentração polimérica dos açúcares dada a concentração monomérica dos açúcares (celobiose: 0,95; glicose: 0,9; xilose: 0,88 e arabinose: 0,88); V_{filtrado} é volume do hidrolisado filtrado, 0,087 L; M_1 : massa do BM ou CMI utilizado na hidrólise, em g.

As massas de celobiose e glicose foram convertidas em celulose, utilizando os fatores de conversão de 0,95 e 0,90, respectivamente. As, as massas de xilose e arabinose foram convertidas em hemiceluloses, empregando o fator de conversão de 0,88. Os fatores são calculados baseados na adição de água nos polissacarídeos durante a hidrólise ácida (KAAR *et al.*, 1991).

Para a análise de grupos acetil, o ácido acético foi quantificado através do mesmo equipamento e condições. As áreas obtidas pelo cromatograma correspondentes ao ácido acético foram utilizadas para calcular a concentração dos grupos acetil, sendo utilizado um fator de conversão de 0,72 para transformar o teor de ácido acético em acetato (KAAR *et al.*, 1991). O cálculo do teor de acetato para a BMI e CMI é mostrado na Equação (7).

$$\% \text{ acetato} = \left(\frac{C_{ACLAE} \cdot FC \cdot V_{\text{filtrado}}}{M_1} \right) \times \left[1 - \left(\frac{\% \text{ extrativos}}{100} \right) \right] \times 100 \quad (7)$$

onde $C_{A\text{CLAE}}$ é a concentração do açúcar quantificado por CLAE, em g/L; FC é o fator de conversão do ácido acético em acetato, 0,72; V_{filtrado} é o volume do hidrolisado filtrado, 0,087 L; M_1 a massa de BMI ou CMI utilizado na hidrólise, em g.

Para análise de furfural e 5-hidroximetilfurfural foi utilizada a coluna Nova-Pak C18 (Waters Co., Milford, MA). Como fase móvel, foi utilizada uma solução de acetonitrila/água (1:8 com 1% de ácido acético), previamente filtrada e degaseificada. As áreas dos picos correspondentes ao furfural e 5-hidroximetilfurfural foram utilizadas para calcular suas concentrações na amostra. Os fatores de conversão utilizados para o furfural e o 5-hidroximetilfurfural foram 1,37 e 1,29, respectivamente.

As condições de análise no cromatógrafo foram: volume de injeção igual a 15 μL ; taxa de fluxo de 0,8 mL/min; temperatura da coluna a 30 °C; comprimento de onda de 280 nm, temperatura do detector a 25 °C; detector ultravioleta (UV-VIS), tempo de análise de 8 minutos.

Os cálculos dos teores de hemiceluloses proveniente da quantificação do furfural, para a BLBMI ou BLCMI é mostrado pela Equação (8).

$$\%_{\text{hemiceluloses furfural}} = \left(\frac{C_{F\text{CLAE}} \cdot FC \cdot V_{\text{filtrado}}}{M_1} \right) \times \left[1 - \left(\frac{\% \text{ extrativos}}{100} \right) \right] \times 100 \quad (8)$$

onde $C_{F\text{CLAE}}$ é a concentração de furfural quantificado por CLAE, em g/L; FC é o fator de conversão do furfural, 1,37; V_{filtrado} é o volume do hidrolisado filtrado, 0,087 L; M_1 : massa da BMI ou CMI utilizado na hidrólise, em g.

O cálculo do teor celulose proveniente da quantificação do 5-hidroximetilfurfural, para a BMI ou CMI é mostrado pela Equação (9).

$$\%_{\text{celulose hidroximetilfurfural}} = \left(\frac{C_{H\text{CLAE}} \cdot FC \cdot V_{\text{filtrado}}}{M_1} \right) \times \left[1 - \left(\frac{\% \text{ extrativos}}{100} \right) \right] \times 100 \quad (9)$$

onde $C_{H\text{CLAE}}$ é a concentração do 5-hidroximetilfurfural quantificado por CLAE, em g/L; FC é o fator de conversão do 5-hidroximetilfurfural, 1,29; V_{filtrado} é o volume do hidrolisado filtrado, 0,087 L; M_1 : massa de MI ou CMI utilizado na hidrólise, em g.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após o ajuste do modelo de Rosin-Rammler-Bennet aos dados de retenção em cada peneira, foi possível calcular o diâmetro médio (XR) de partícula para as diferentes amostras (Tabela 2). Menores valores de n estão associados a uma distribuição mais dispersa, enquanto que valores mais elevados de n implicam em uma estrutura

cada vez mais uniforme (BEKE, 1964). Desta forma, pode-se dizer que existe maior variabilidade no tamanhos das partículas nas amostras com maior diâmetro médio do que nas amostras com diâmetro menor.

Amostras	Parâmetros		R ²
	X _R (μm)	n (adimensional)	
BMI-A	509,1	2,119	0,999
BMI-B	1068,7	2,415	0,999
BMI-C	1213,9	3,068	0,999
CMI-A	1105,9	2,095	0,998
CMI-B	1367,1	3,546	0,993
CMI-C	1375,6	4,334	0,995

Tabela 2: Parâmetros calculados para a função Rosin-Rammler-Bennet.

A composição química das amostras estão apresentadas na Tabela 3, para o bagaço de mandioca, e na Tabela 4, para as cascas de mandioca. Por estes resultados, pode-se afirmar que mais de 60% (celulose+hemicelulose) dos dois tipos de biomassa podem ser convertidos em açúcares fermentescíveis para produção de bioetanol.

De acordo com os resultados, observou-se que o bagaço de mandioca integral com maior diâmetro médio (BMI-C; X_R = 1213,9 μm) resultou em maiores valores de hemicelulose frente às demais amostras e menor teor de lignina total, sem diferenças significativas no teor de celulose. Considerando que altas quantidades de lignina na biomassa prejudicam a acessibilidade do material aos agentes químicos e enzimáticos, pode-se dizer que as amostras de bagaço de mandioca não necessitam ser submetidos a processos de moagem muito severos. Além disso, a distribuição de tamanho de partícula e composição destes resíduos afeta as propriedades de biofilmes adicionados de tais compósitos (VERSINO; GARCIA, 2019). Pelo contrário, na medida em que se diminui o tamanho de partícula, o conteúdo de hemicelulose diminui e de lignina aumenta. Porém, deve-se avaliar se a economia no processo de moagem é supera uma eventual perda de eficiência do processo de conversão e maior gasto de bombeamento e mistura das suspensões com viscosidade aumentada ao se utilizar partículas de biomassa maiores (POLACHINI et al., 2019).

Com relação às amostras de cascas de mandioca integral, a biomassa com diâmetro médio intermediário (CMI-B X_R = 1367,1 μm) apresentou teores de lignina significativamente menores que as outras amostras. Dessa forma, um grau de moagem intermediário pode resultar em um material mais acessível com maior eficiência de conversão quando comparados aos outros. Por outro lado, não houve diferenças significativas para os outros componentes.

É válido ressaltar as amostras de cascas de mandioca apresentaram maiores conteúdos de celulose frente aos resultados para as amostras de bagaço de mandioca,

além de maior concentração de cinzas. Entretanto, as amostras de bagaço de mandioca apresentaram maior concentração de hemicelulose.

Componente	BMI-A % (base seca)	BMI-B	BMI-C
Celulose	35,98 ± 0,66 ^a	37,27 ± 0,98 ^a	37,35 ± 0,91 ^a
Grupos acetil	3,06 ± 0,27 ^a	2,96 ± 0,08 ^a	2,85 ± 0,09 ^a
Hemicelulose	26,67 ± 0,40 ^b	28,60 ± 0,59 ^a	29,13 ± 0,36 ^a
Lignina Total	26,20 ± 0,72 ^a	24,20 ± 0,87 ^b	23,56 ± 0,10 ^b
Cinzas	2,99 ± 0,13 ^a	2,89 ± 0,01 ^a	2,93 ± 0,09 ^a
Extrativos	4,98 ± 0,24 ^a	3,76 ± 0,31 ^a	3,82 ± 0,07 ^a
Balanço de massa	99,89	99,68	99,64

Tabela 3: Composição química dos bagaços de mandioca BMI-A (XR = 509,1 μm), BMI-B (XR = 1068,7 μm) e BMI-C (XR = 1213,9 μm).

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na mesma linha apresentam diferença significativa ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey a 95% de confiança.

Componente	CMI-A % (base seca)	CMI-B	CMI-C
Celulose	42,18 ± 0,98 ^a	43,99 ± 0,54 ^a	44,38 ± 2,18 ^a
Grupos acetil	1,71 ± 0,24 ^a	1,79 ± 0,32 ^a	1,76 ± 0,27 ^a
Hemicelulose	20,48 ± 0,37 ^a	21,09 ± 0,82 ^a	20,22 ± 1,21 ^a
Lignina Total	24,41 ± 1,30 ^a	21,86 ± 0,95 ^b	22,04 ± 1,56 ^a
Cinzas	5,13 ± 0,18 ^a	5,06 ± 0,28 ^a	4,84 ± 0,40 ^a
Extrativos	5,75 ± 0,05 ^a	5,56 ± 0,49 ^a	6,35 ± 1,04 ^a
Balanço de massa	99,68	99,35	99,59

Tabela 4. Composição química das cascas de mandioca CMI-A (XR = 1105,9 μm), CMI-B (XR = 1367,1 μm) e CMI-C (XR = 1375,6 μm).

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na mesma linha apresentam diferença significativa ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey a 95% de confiança.

4 | CONCLUSÕES

A biomassa lignocelulósica de bagaço de mandioca de maior diâmetro médio de partícula apresentaram maiores teores de hemicelulose com concentração reduzida de lignina, caracterizando uma condição mais apropriada para o preparo da matéria-prima para futuro processo de conversão.

Quanto a biomassa de cascas de mandioca, não houve diferenças significativas entre os componentes, exceto pelo conteúdo de lignina reduzida nas amostras de tamanho intermediário (CMI-B).

5 | AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP (Processo nº. 2017/06518-2) pelo auxílio financeiro prestado e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES (Código Financeiro 001; Processo nº 88887.468140/2019-00 e nº 88881.132626/2016-01).

REFERÊNCIAS

ALLEN, T. **Particle Size Measurement**. London: Chapman and Hall Ltd. p. 103-164, 1981.

AOAC. **Association of Official Analytical Chemistry** (18th ed.). Gaithersburg, 2005.

BEKE, B. **Principles of Comminution**. Budapest: Publishing House of the Hungarian Academy of Science. p. 27-62, 1964.

DIAS, M. O. S.; JUNQUEIRA T.; CAVALETT O.; PAVANELLO L. G.; CUNHA M. P.; JESUS C. D. F.; MACIEL-FILHO R.; BONOMI A. Biorefineries for the production of first and second generation ethanol and electricity from sugarcane. **Applied Energy**, v. 109, p. 72-79, 2013.

GOUVEIA, E. R., NASCIMENTO, R. T. D., SOUTO-MAIOR, A. M., & ROCHA, G. J. D. M. Validação de metodologia para a caracterização química do bagaço de cana-de-açúcar. **Química Nova**, v. 6, p. 1500-1504, 2009.

HARELAND, G. A. Evaluation of flour particle size distribution by laser diffraction, sieve analysis and near-infrared reflectance spectroscopy. **Journal of Cereal Science**, v. 20, p. 183-190, 1994.

HARRISON M. D.; ZHANG Z.; SHAND K.; O'HARA I. M.; DOHERTY W. O. S.; DALE J. L. Effect of pretreatment on saccharification of sugar cane bagasse by complex and simple enzyme mixtures. **Bioresource Technology**, v. 148, p. 105-113, 2013.

HYMAN, D. Determination of acid soluble lignin concentration curve by UV-Vis Spectroscopy. National Renewable Energy Laboratory (NREL), p. 1-13, 2007.

KAAR, W. E., COOL, L. G., MERRIMAN, M. M., & BRINK, D. L. The complete analysis of wood polysaccharides using HPLC. **Journal of Wood Chemistry and Technology**, v. 11, p. 447-463, 1991.

LEITE, A. L. M. P., ZANON, C. D., & MENEGALLI, F. C. Isolation and characterization of cellulose nanofibers from cassava root bagasse and peelings. **Carbohydrate Polymers**, Vol 157, p. 962-970, 2017.

LEONEL, M.; CEREDA, M. P. Avaliação da concentração de pectinase no processo de hidrólise-sacarificação do farelo de mandioca para obtenção de etanol. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 20, p. 220-227, 2000.

MENON, V.; RAO, M. Trends in bioconversion of lignocellulose: Biofuels, platform chemicals & biorefinery concept. **Process in Energy and Combustion Science**, v. 38, p. 522-550, 2012.

PEÇANHA, R. **Sistemas Particulados: Operações unitárias envolvendo partículas e fluidos**, v. 1, Elsevier Brasil, 2014.

POLACHINI, T. C., SATO, A. C. K., LOPES, R. L., TELIS-ROMERO, J. Density and rheology of acid suspensions of peanut waste in different conditions: An engineering basis for bioethanol production. **Powder Technology**, v. 294, p. 168-176, 2016.

POLACHINI, T. C., MULET, A., CÁRCEL, J. A., TELIS-ROMERO, J. Rheology of acid suspensions containing cassava bagasse: Effect of biomass loading, acid content and temperature. **Powder Technology**, v. 354, p. 271-280, 2019.

PRIMO-YÚFERA, E.; GIL-TORTOSA, C. I.; GARCÍA-BREIJO, F. J. Hydrolysis of corncob lignocellulosic residue from pentose preparation. **Bioresource Technology**, v. 52, p. 1-4, 1995.

SLUITER, A., RUIZ, R., SCARLATA, C., SLUITER, J., & TEMPLETON, D. (2005), "Determination of extractives in biomass". Laboratory Analytical Procedure (LAP), Vol. 1617.

SLUITER, A., HAMES, B., RUIZ, R., SCARLATA, C., SLUITER, J., TEMPLETON, D., & CROCKER, D. Determination of structural carbohydrates and lignin in biomass. **Laboratory Analytical Procedure**, v. 1617, p. 1-16, 2008.

VERSINO, F., GARCÍA, M. A. Particle Size Distribution Effect on Cassava Starch and Cassava Bagasse Biocomposites. **ACS Sustainable Chemistry and Engineering**, v. 7, p. 1052-1060, 2019.

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