

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

## APRESENTAÇÃO

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

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

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

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

Jéssica Verger Nardeli

## SUMÁRIO

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



**CAPÍTULO 6 ..... 54**

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

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

**DOI 10.22533/at.ed.5392020036**

**CAPÍTULO 7 ..... 66**

OSCILAÇÕES AMORTECIDAS EM SISTEMAS DE PARTÍCULAS COM MEMÓRIA ACOPLADA

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

**DOI 10.22533/at.ed.5392020037**

**CAPÍTULO 8 ..... 79**

NANOPARTÍCULAS DE FE E PY COMO CATALISADORES DA LIQUEFAÇÃO DO CARVÃO

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

**DOI 10.22533/at.ed.5392020038**

**CAPÍTULO 9 ..... 90**

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

Alex Vazzoler

**DOI 10.22533/at.ed.5392020039**

**CAPÍTULO 10 ..... 99**

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

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

**DOI 10.22533/at.ed.53920200310**

**CAPÍTULO 11 ..... 107**

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

Flávia Cristina Cardoso Dória  
Elaine Cristina Nogueira Lopes de Lima

**DOI 10.22533/at.ed.53920200311**

**CAPÍTULO 12 ..... 123**

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

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

**DOI 10.22533/at.ed.53920200312**

**CAPÍTULO 13 ..... 131**

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

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

**DOI 10.22533/at.ed.53920200313**

**CAPÍTULO 14 ..... 143**

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

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

**DOI 10.22533/at.ed.53920200314**

**CAPÍTULO 15 ..... 153**

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

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

**DOI 10.22533/at.ed.53920200315**

**CAPÍTULO 16 ..... 164**

RESÍDUOS DE FERRO E ALUMÍNIO EM COMPÓSITOS POLIMÉRICOS

Gabriel da Cruz Oliveira  
Lucas Rezende Almeida

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

**DOI 10.22533/at.ed.53920200316**

**CAPÍTULO 17 ..... 172**

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

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

**DOI 10.22533/at.ed.53920200317**

**CAPÍTULO 18 ..... 184**

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

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

**DOI 10.22533/at.ed.53920200318**

**CAPÍTULO 19 ..... 196**

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

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

**DOI 10.22533/at.ed.53920200319**

**CAPÍTULO 20 ..... 209**

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

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

**DOI 10.22533/at.ed.53920200320**

**SOBRE A ORGANIZADORA..... 217**

**ÍNDICE REMISSIVO ..... 218**



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

Data de aceite: 11/03/2020

### Larissa Soares Lima

Universidade Federal da Bahia, UFBA  
Salvador - Bahia

### Mariana Santos Rodrigues

Universidade Federal da Bahia, UFBA  
Salvador - Bahia

### Rodrigo Ribeiro de Souza

Universidade Salvador, UNIFACS  
Salvador - Bahia

### Maurício de Almeida Pereira

Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia Baiano  
Catu - Bahia

### Maria Luiza Andrade da Silva

Universidade Federal da Bahia, UFBA  
Salvador - Bahia

**RESUMO:** Os óxidos de ferro são amplamente utilizados como catalisadores na reação de WGRS (*water gas reaction shift*). No entanto, esses materiais podem sinterizar e desativar durante o processo, fazendo-se necessário melhorar as suas propriedades texturais. É conhecido que a adição de dopante e o uso de diferentes métodos de síntese podem influenciar nas características texturais do sólido. Dessa forma, nesse trabalho foram sintetizados catalisadores baseados em óxido

de ferro dopados com magnésio ou manganês, utilizando o método de co-precipitação. Através da difração de raios X observou-se a presença das fases cristalinas do óxido de ferro com estrutura romboédrica da hematita e cúbica da magnetita, assim como as possíveis fases cúbica do óxido de magnésio, ferrita de magnésio, óxido de manganês ou trióxido de dimanganês. Através dos espectros de infravermelho foram evidenciadas as bandas de absorção características das ferritas e dos demais compostos presentes na amostra. A adição do magnésio e do manganês proporcionou o aumento da área da superficial específica dos sólidos, destacando-se a razão 2:1, evidenciando que a presença desses dopantes foi benéfica para a propriedade textural dos mesmos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Catálise, Óxido de Ferro, Óxido de Magnésio, Óxido de Manganês, Hidrogênio.

**ABSTRACT:** Iron oxides are widely used as a catalyst in the WGRS (*water gas reaction shift*) reaction. However, these materials may sinter and deactivate during the process, making it necessary to improve their textural properties. It is known that the addition of the dopant and the use of different synthesis methods may influence the textural characteristics of the solid. Thus, in this work were synthesized catalysts

based on magnesium or manganese doped iron oxide, using the co-precipitation method. X-ray diffraction showed the presence of crystalline phases of iron oxide with rhombohedral structure of hematite and cubic magnetite, as well as the possible cubic phases of magnesium oxide, magnesium ferrite, manganese oxide or dimanganese trioxide. The infrared spectra showed the characteristic absorption bands of ferrite and other compounds present in the sample. The addition of magnesium and manganese increased the specific surface area of the solids, highlighting the 2:1 ratio, showing that the presence of these dopants was beneficial to their textural property.

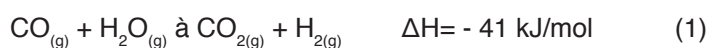
**KEYWORDS:** Catalysis, Iron oxide, Magnesium Oxide, Manganese Oxide, Hydrogen.

## 1 | INTRODUÇÃO

No momento atual, há uma grande necessidade em reduzir as emissões de dióxido de carbono, liberados em maior parte através do uso de combustíveis fósseis, os quais são responsáveis pelas alterações climáticas e contribuem com o aquecimento global. Como solução, propõe-se a utilização de combustíveis alternativos que sejam tecnicamente e economicamente viáveis, aceitáveis de acordo com as normas ambientais e com alta disponibilidade (ADHIKARI; FERNANDO; HARYANTO, 2007). Dessa forma, o hidrogênio compreende um combustível alternativo atraente, uma vez que possui alto teor energético (122 kJ/g) e contribui para o desenvolvimento sustentável, uma vez que quando combinado com o oxigênio (O<sub>2</sub>) em uma célula combustível, a energia química presente na ligação H-H é liberada, produzindo apenas água (CHRISTOFORIDIS; FORNASIERO, 2017).

Além de poder ser utilizado como combustível, o hidrogênio é uma matéria prima importante para a indústria petroquímica, empregado em diversos processos como produção de amônia e outros fertilizantes nitrogenados, nas reações de hidrogenação, hidrodessulfurização, síntese de metanol, etanol, éter dimetilico (DME) e em menor escala no refino de metais, como o níquel, tungstênio, molibdênio, cobre, zinco, urânio e chumbo (SHARMA; GHOSHAL, 2015).

As principais fontes de produção de hidrogênio são a reforma a vapor do gás natural, a oxidação parcial do petróleo e a gaseificação a vapor do carvão (JHA et al., 2015). Mais de 95 % do suprimento mundial de hidrogênio é produzido através da reforma de combustíveis fósseis seguidos pela reação de deslocamento de monóxido de carbono com o vapor d'água (*Water Gas Shift Reaction - WGSR*), apresentada na Equação 1 (Damma; Smirniotis, 2018; FUENTES et al., 2014).



A *WGRS* é uma reação química exotérmica reversível, acompanhada de um catalisador, em que o monóxido de carbono reage com vapor d'água produzindo

dióxido de carbono e gás hidrogênio, sendo favorecida pelo excesso de vapor (Damma; Smirniotis, 2018; FUENTES et al., 2014; TAO et al., 2007). O processo é operado sobre pressões de 1 a 6MPa sob altas temperaturas, a fim de superar a cinética lenta da reação, embora a reação seja moderadamente exotérmica. Dessa forma, uma temperatura mais baixa irá favorecer o equilíbrio na direção da produção de hidrogênio (CUI et al., 2019).

Os reatores utilizados para a *WGRS* são normalmente adiabáticos, com a temperatura aumentando ao longo do leito do catalisador, visto que a reação é exotérmica. Se não for necessário obter um hidrogênio de alta pureza, os reatores utilizados são de estágio único, e de dois estágios, caso seja necessário obter hidrogênio de alta pureza (CHRISTOFORIDIS; FORNASIERO, 2017).

Considerando aspectos termodinâmicos e cinéticos, e para se obter conversões viáveis do ponto de vista econômico, a *WGRS* é conduzida industrialmente em dois estágios conhecidos como *HTS* (*high temperature shift*) e *LTS* (*low temperature shift*). O primeiro estágio opera com temperaturas entre 320 - 450 °C, enquanto o segundo é conduzido entre 190 - 250 °C. No primeiro estágio o catalisador mais usado industrialmente é à base de óxido de ferro dopado com cromo e no segundo estágio o catalisador mais usado industrialmente é a base de alumina dopada com zinco e cobre (Damma; Smirniotis, 2018; JHA et al., 2015; BALAT, 2008).

Os catalisadores à base de ferro utilizados para a etapa de *HTS* foram uns dos primeiros catalisadores heterogêneos aplicados nesta reação, visto que podem suportar quantidades de enxofre e são bastantes resistentes à sinterização e a vários venenos, quando comparados com outros sistemas (FUENTES et al., 2014; TAO et al., 2007; YANG, 2004). Esses materiais são comercializados na forma de hematita ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) e são reduzidos *in situ* para formar a magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), a fase ativa. Em plantas de reforma o próprio gás de processo, uma mistura de monóxido e dióxido de carbono, hidrogênio e metano, é usado na redução do catalisador. Essa redução é exotérmica e deve ser controlada, de modo a evitar danos ao catalisador e ao reator. Em processos industriais, a reação é controlada pela adição de excesso de vapor d'água, o que aumenta os custos de operação (Patra; Sheth, 2019; FUENTES et al., 2014).

Durante a etapa de *HTS* observa-se um declínio na atividade catalítica desses materiais, ao longo da sua vida útil, que pode ser atribuído à diminuição da área superficial específica. Além disso, a elevada toxicidade de espécies contendo cromo, como o  $\text{Cr}6+$ , aliado as restrições ambientais impostas por alguns países ao descarte desses compostos, tem incentivado novas pesquisas em sistemas isentos desse metal (GRADISHER; DUTCHER; FAN, 2015; LIU et al., 2002).

Dessa forma, existe uma demanda pelo desenvolvimento de novos catalisadores não tóxicos e ambientalmente amigáveis, que apresentem área superficial específica elevada, que sejam estáveis e que possam operar sob baixos conteúdos de vapor d'água, o que tem motivado o desenvolvimento de muitos trabalhos (Damma; Smirniotis,



2018; FUENTES et al., 2014; LIU et al., 2002; ARAUJO; RANGEL, 2000).

O efeito de diferentes dopantes sobre as propriedades texturais e sobre o desempenho de catalisadores baseados em óxidos de ferro tem sido estudado por diversos pesquisadores. Apesar de diversos sistemas terem sido ativos na reação de *HTS*, os catalisadores a base de óxido de ferro e cromo ainda são largamente utilizados industrialmente, devido às propriedades catalíticas e ao custo relativamente baixo desse sistema (Patra; Sheth, 2019; Damma; Smirniotis, 2018; FONSECA; ALBUQUERQUE; SOUZA, 2007; ARAUJO; RANGEL, 2000).

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a presença e o teor do magnésio ou manganês, nas propriedades dos catalisadores baseados em óxido de ferro, que podem ser utilizados na reação de deslocamento de monóxido de carbono com vapor d'água.

## 2 | METODOLOGIA

### 2.1 SÍNTESE DOS MATERIAIS

Os catalisadores baseados em óxidos de ferro foram sintetizados pelo método de co-precipitação, variando-se o teor do dopante, magnésio ou manganês, mantendo as razões ferro/dopante 2, 5, 10, 20, totalizando 9 amostras (incluindo o óxido de ferro puro).

No processo de síntese por co-precipitação os sais precursores (nitratos de ferro e magnésio) foram adicionados lentamente a um béquer sob agitação constante, junto com o agente precipitante (hidróxido de sódio), mantendo o pH em 9. Após a precipitação, os sólidos foram deixados em maturação por 30 min, posteriormente lavados com água deionizada, secos na estufa à 120 °C por 12h e calcinados por 4h à 500 °C, obtendo-se assim os respectivos óxidos. O procedimento de síntese foi aplicado igualmente para os catalisadores baseados em óxido de ferro dopados com manganês, mudando apenas o sal precursor. As amostras sintetizadas foram nomeadas da seguinte forma: Fe, Fe/Mg 2, Fe/Mg 5, Fe/Mg 10, Fe/Mg 20, Fe/Mn 2, Fe/Mn 5, Fe/Mn 10, Fe/Mn 20, de acordo com o tipo e teor do dopante.

### 2.2 CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS

As amostras sintetizadas foram caracterizadas por espectroscopia do infravermelho com transformada de Fourier utilizando-se espectrofotômetro da Perkin Elmer 100 FT-IR, modelo spectrum 100S, operando na região de 4000 a 450  $\text{cm}^{-1}$ , com resolução de 4  $\text{cm}^{-1}$  e 32 acumulações por espectro. A espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) é um procedimento fundamentado na análise das alterações do modo vibracional das moléculas ao absorverem radiação eletromagnética, aumentando tais vibrações. Esta técnica permite identificar os átomos e/ou grupos funcionais presentes na superfície do catalisador a partir dos

valores de absorção de cada elemento, os quais apresentam valores específicos (NIEMANTSVERDIET, 2007).

Os difratogramas de raios X foram obtidos empregando-se um difratômetro Shimadzu, modelo XD3A, usando radiação de CuK- $\alpha$ , gerada a 30 kV e 20 mA e filtro de níquel. A amostra, em forma de pó, foi colocada numa lâmina de vidro e, em seguida exposta à radiação, sobre o goniômetro, com varredura de 20° a 80° a uma velocidade de 2 graus/minuto. Os resultados foram comparados com trabalhos anteriores e com a base de dados do *JCPDS – International Center of Diffraction. Data*.

As áreas superficiais específicas (Sg) dos catalisadores foram calculadas a partir do método matemático Brunauer, Emmett e Teller (B.E.T.), utilizando-se um equipamento da Micromeritics modelo ASAP 2020, por adsorção de nitrogênio. Esta técnica reproduz a adsorção física de moléculas de gás sobre uma superfície sólida, dessa forma a área de um catalisador usando um gás inerte (nitrogênio) é quantificada, com sua unidade dada em m<sup>2</sup>/g (FOGLER, 2013).

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os grupos funcionais presentes nas amostras foram identificados pela espectroscopia na região do infravermelho por transformada de Fourier (FTIR). Os espectros das amostras de óxido de ferro sem dopante calcinado e não calcinado, estão apresentados na Figura 1.

Na Figura 1, pode-se observar, nos espectros de ambas as amostras, a presença das bandas características do óxido de ferro (500 cm<sup>-1</sup>). Também foram encontradas bandas referentes aos íons hidroxila provenientes da água (3400cm<sup>-1</sup>), e do agente precipitante (1602 cm<sup>-1</sup>), assim como dos íons nitratos (1385 cm<sup>-1</sup>). No entanto, essas bandas foram menos evidentes na amostra calcinada, demonstrando que o processo de calcinação foi eficiente para a remoção de parte desses íons (GONÇALVES; OLIVEIRA; GUERREIRO, 2008). O efeito da calcinação também foi evidenciado para as outras amostras sintetizadas, independente do tipo e teor do dopante.

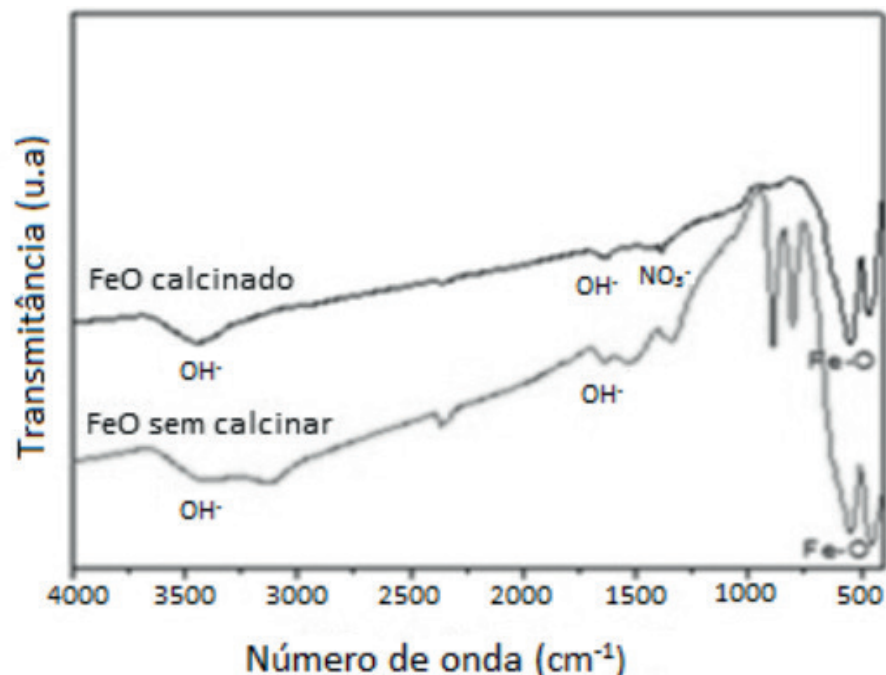


Figura 1. Curvas de FTIR do óxido de ferro sem dopante calcinado e sem calcinar.

A Figura 2 apresenta os espectros das amostras Fe/Mn 5, Fe/Mg 5, Fe/Mn 20 e Fe/Mg 20, após a calcinação. Foi possível observar, em todos os espectros, a presença da banda característica do óxido de ferro, na faixa de 400-800  $\text{cm}^{-1}$ . Foram identificadas as bandas referentes à presença de água (3600-3000  $\text{cm}^{-1}$ ) e do agente precipitante (1602  $\text{cm}^{-1}$ ) (MORALES et al., 1998) Além disso, foi possível identificar também a presença de bandas correspondentes aos íons nitratos (1385  $\text{cm}^{-1}$ ), justificada pela utilização do nitrato de ferro, magnésio e manganês, na etapa de síntese (FERNANDES; KAWACHI, 2010). Pode-se observar que o perfil dos espectros para cada conjunto de amostra foi similar entre si, independente do teor de manganês ou magnésio no sólido. Os mesmos grupos funcionais presentes na amostra de óxido de ferro sem dopante (Figura 1) foram evidenciados nas amostras do óxido de ferro dopado (GONÇALVES; OLIVEIRA; GUERREIRO, 2008 ; SUAVE; LEME; MOREIRA, 2015).

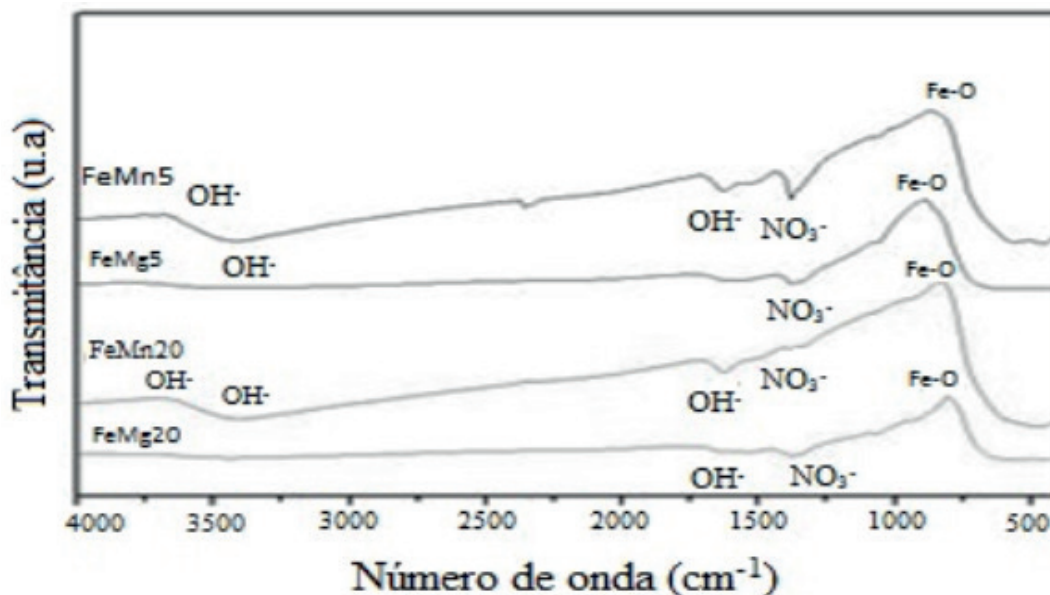


Figura 2. Curvas de FTIR dos catalisadores baseados em óxido de ferro dopados com diferentes razões molares de manganês (Fe/Mn 5; Fe/Mn 20) e de magnésio (Fe/Mg 5; Fe/Mg 20).

Os difratogramas de raios X dos catalisadores baseados em óxido de ferro dopados com magnésio e manganês são apresentados nas Figuras 3 e 4, respectivamente. Através da análise qualitativa da Figura 3, pode-se observar no difratograma da amostra de ferro sem dopante (Fe) a presença de picos referentes à fase hematita ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ), com estrutura do tipo romboédrica ( $24,1^\circ$ ,  $33,1^\circ$ ,  $35,5^\circ$ ,  $40,9^\circ$ ,  $49,5^\circ$ ,  $54,1^\circ$ ,  $57,5^\circ$ ,  $64,0^\circ$ ,  $71,9^\circ$ ), e à fase magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), com estrutura cúbica ( $29,9^\circ$ ,  $43,2^\circ$ ,  $62,5^\circ$ ), de acordo com as fichas ICSD (015840) e ICSD (050567), respectivamente. Além disso, os picos referentes às fases hematita e magnetita do óxido de ferro também foram identificadas nos difratogramas das amostras dopadas com magnésio. A magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) e a maghemita ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) possuem estruturas cristalográficas semelhantes, do tipo espinélio, não sendo possível então diferenciá-las pelos difratogramas. No entanto, a  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  é um sólido de cor marrom e a  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  apresenta uma coloração preta. Dessa forma, a partir da cor das amostras obtidas, conclui-se que a espécie predominante na amostra Fe/Mg 5:1 pode ser a maghemita e nas demais magnetita (SUAVE; LEME; MOREIRA, 2015; YAMAURA et al., 2004; HEITMANN et al., 2014).

Ademais, nas amostras de óxido de ferro dopadas com magnésio, foram identificadas fases referentes ao óxido de magnésio, com estrutura cúbica cristalina ( $62,8^\circ$  e  $43,1^\circ$ ) e à ferrita de magnésio com estrutura cúbica cristalina ( $30,2^\circ$ ;  $35,5^\circ$ ;  $43,1^\circ$ ;  $57,3^\circ$ ;  $62,8^\circ$ ), conforme as fichas ICSD (064930) e ICSD (076176), respectivamente.

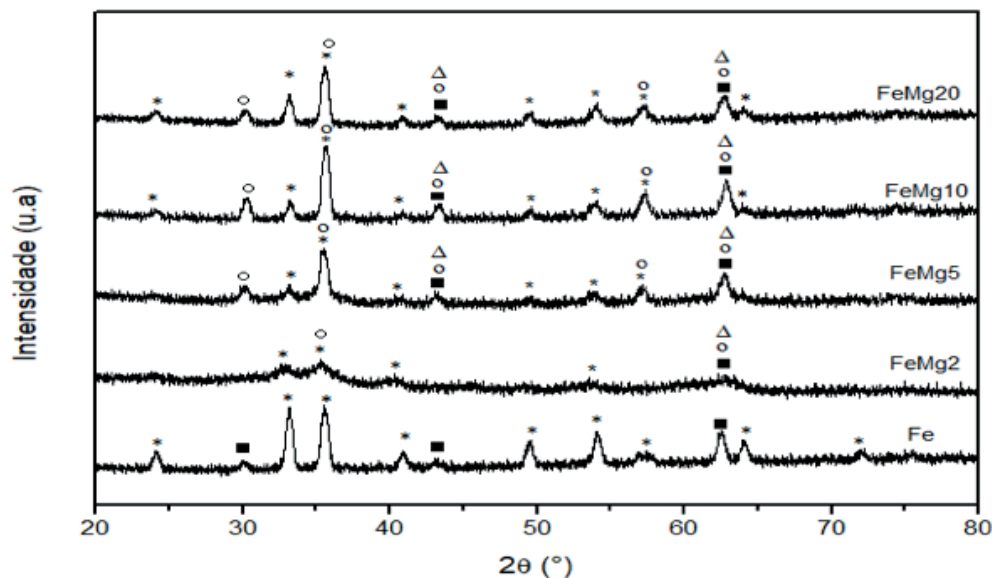


Figura 3. Difratomogramas de raios X do óxido de ferro (Fe) e dos catalisadores baseados em óxido de ferro dopados com magnésio, em diferentes razões molares. (\*) fase hematita com estrutura romboédrica; (■) fase magnetita com estrutura cúbica; (Δ) óxido de magnésio com estrutura cúbica; (○) ferrita de magnésio com estrutura cúbica.

A partir dos difratogramas de raios X dos catalisadores de óxido de ferro dopados com manganês, apresentados na Figura 4, foram identificadas nas amostras Fe/Mn 10 e Fe/Mn 20, as fases hematita ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ), com estrutura do tipo romboédrica ( $49,0^\circ$ ;  $53,7^\circ$ ;  $57,2^\circ$ ;  $63,4^\circ$ ;  $71,3^\circ$ ), magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), com estrutura cúbica ( $62,0^\circ$ ), óxido de manganês com estrutura cúbica ( $35,2^\circ$ ;  $40,2^\circ$ ;  $69,0^\circ$ ) e o trióxido de dimanganês com estrutura cúbica ( $23,5^\circ$ ;  $32,7^\circ$ ;  $74,9^\circ$ ), de acordo com as fichas ICSD (015840), ICSD (050567), ICSD (018006) e ICSD (009090), respectivamente. Por outro lado, foi possível perceber que as amostras com maiores teores de manganês (Fe/Mn 2 e Fe/Mn 5) apresentaram características amorfas, indicando que houve uma redução na cristalinidade dos sólidos com o aumento do teor de manganês ou uma diminuição no tamanho de partícula.

Analisando os espectros das Figuras 3 e 4, pode-se concluir que fases cristalinas do óxido de ferro não sofreram alterações, independente do tipo de dopante utilizado.

Os valores de área superficial específica do óxido de ferro dopado estão apresentadas na Tabela 1. A amostra do óxido de ferro sem dopante apresentou um valor de área de  $16 \text{ m}^2/\text{g}$ . Pode-se constatar que a adição do magnésio e manganês levou a um aumento nesse valor, independente do teor do dopante. Em todos os casos, a presença do manganês favoreceu a elevação da área superficial específica, em comparação com as amostras contendo magnésio, com exceção da combinação Fe/dopante 10. A amostra Fe/Mn 2 apresentou maior valor de área superficial específica, indicando que a presença desse dopante, nesta proporção, é benéfica na propriedade textural desses sólidos.



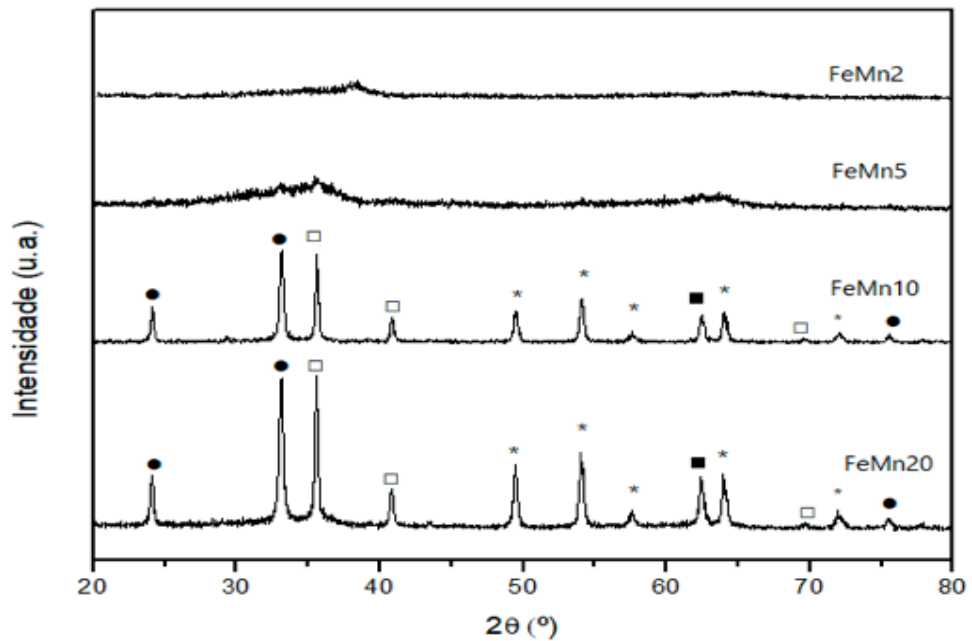


Figura 4. Difratogramas de raios X dos catalisadores baseados em óxido de ferro dopados com manganês em diferentes razões molares (\*): fase hematita; (□): fase magnetita; (◻): óxido de manganês com estrutura cúbica; (●): trióxido de dimanganês com estrutura cúbica.

Amostras (Fe/Mg)	Sg (m <sup>2</sup> /g)	Amostras (Fe/Mn)	Sg (m <sup>2</sup> /g)
Fe/Mg 2	82	Fe/Mn 2	155
Fe/Mg 5	64	Fe/Mn 5	121
Fe/Mg 10	47	Fe/Mn 10	18
Fe/Mg 20	35	Fe/Mn 20	80

Tabela 1. Valores de áreas superficiais específicas dos catalisadores baseados em óxido de ferro dopados com magnésio e manganês em diferentes razões molares.

#### 4 | CONCLUSÕES

A partir dos procedimentos experimentais realizados foi possível notar que a adição do magnésio e manganês no óxido de ferro ocasionou algumas modificações nas propriedades do óxido. Os espectros do FTIR apresentaram resultados similares, independente do dopante utilizado. Nos difratogramas de raios X dos catalisadores baseados em óxido de ferro dopados com magnésio, observou-se uma maior variedade de estruturas cristalinas. Por outro lado, catalisadores dopados com manganês (Amostras Fe/Mn 2 e Fe/Mn5) apresentaram estruturas amorfas, indicando que um menor teor do óxido de manganês contribui para formação de estruturas cristalinas. No entanto, a dopagem do óxido de ferro com manganês levou a um aumento da área superficial específica do sólido, em comparação aos catalisadores dopados com magnésio. Dessa forma, pode-se concluir que a presença do magnésio e manganês é benéfica para a propriedade textural do óxido de ferro, conduzindo a formação de sólidos com elevada área superficial específica, com relação ao óxido puro.

## REFERÊNCIAS

- ADHIKARI, S.; FERNANDO, S.; HARYANTO, A. **Production of hydrogen by steam reforming of glycerin over alumina-supported metal catalysts**. *Catalysis Today*, [s.l.], v. 129, n. 3-4, p.355-364, 15 dez. 2007. Elsevier BV.
- ALBERS, A. P. F.; MELCHIADES, F. G.; MACHADO R.; BALDO, J. B.; BOSCHI, A. O. **Um método simples de caracterização de argilominerais por difração de raios X**. *Cerâmica*, [s.i.], v. 48, n. 305, p.34-37, mar. 2002.
- ARAUJO, G. C.; RANGEL, M. C. **An environmental friendly catalyst for the high temperature shift reaction**. *Studies In Surface Science And Catalysis*, [s.l.], p.1601-1606, 2000. Elsevier.
- BALAT, M. **Potential importance of hydrogen as a future solution to environmental and transportation problems**. *International Journal of Hydrogen Energy*, [s.l.], v. 33, n. 15, p.4013-4029, ago. 2008. Elsevier BV.
- CHRISTOFORIDIS, K. C.; FORNASIERO, P. **Photocatalytic Hydrogen Production: A Rift into the Future Energy Supply**. *Chemcatchem*, [s.l.], v. 9, n. 9, p.1523-1544, 27 mar. 2017. Wiley.
- CUI, X.; SU, H.; CHEN, R.; YU, L.; DONG, J.; MA, C.; WANG, S.; LI J.; YANG, F.; XIAO, J.; ZHANG, M.; MA, D.; DENG, D.; ZHANG, D. H.; TIAN Z.; BAO, X. **Room-temperature electrochemical water-gas shift reaction for high purity hydrogen production**. *Nature Communications*, [s.l.], v. 10, n. 1, p.1-8, 8 jan. 2019. Springer Nature.
- DAMMA, D.; SMIRNIOTIS, P. G. **Recent advances in iron-based high-temperature water-gas shift catalysis for hydrogen production**. *Current Opinion in Chemical Engineering*, v. 21, p.103-110, sep. 2018. Elsevier BV.
- FERNANDES, M. T. C.; KAWACHI, E. Y. **Influência da quantidade de amônio na síntese de nanopartículas de óxido de ferro por microemulsão**. *Quimica Nova*, [s.i.], v. 33, n. 6, p.1242-1246, 3 maio 2010.
- FONSECA, J. S. L.; ALBUQUERQUE, R. V. T.; SOUZA, M. O. G. **Catalytic properties of iron oxides impregnated with copper acetate**. *Reaction Kinetics And Catalysis Letters*, [s.l.], v. 91, n. 1, p.127-130, jun. 2007. Springer Nature.
- FUENTES, E. M.; CADETE S. A.; FRANCISCO J.; PRAKASH, S.; FARO JR, A. C.; FREITAS, S. T.; ASSAF, J. M.; RANGEL, M. C. **The effect of metal content on nickel-based catalysts obtained from hydrotalcites for WGS in one step**. *International Journal Of Hydrogen Energy*, [s.l.], v. 39, n. 2, p.815-828, jan. 2014. Elsevier BV.
- GONÇALVES, M.; OLIVEIRA, L. C. A.; GUERREIRO, M. C. **Nióbia magnética como adsorvente de contaminantes orgânicos em meio aquoso: efeito da temperatura e do pH**. *Quimica Nova*, [s.i.], v. 31, n. 3, p.518-522, 08 nov. 2008.
- GRADISHER, L.; DUTCHER, B.; FAN, M.; **Catalytic hydrogen production from fossil fuels via the water gas shift reaction**. *Applied Energy*, [s.l.], v. 139, p.335-349, fev. 2015. Elsevier BV.
- HEITMANN, A. P.; SILVA, G. C.; PAIVA, P. R. P.; FERREIRA, A. M. **Síntese e caracterização de compósito magnético nanoestruturado contendo óxido de manganês para remoção de íons Cd(II) do meio aquoso**. *Cerâmica*, [s.i.], v. 60, p.429-435, 2014.
- JHA, Ajay.; JEONG, D. W.; SHIM, J. O.; JANG, W. J.; LEE, Y. L.; RODE, C. V.; ROH, H. S. **Hydrogen production by the water-gas shift reaction using CuNi/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalyst**. *Catalysis Science & Technology*, [s.l.], v. 5, n. 5, p.2752-2760, 2015. Royal Society of Chemistry (RSC).
- LIU, Y.; HAYOKAWA, T.; SUZUKI, K.; HAMAKAWA, S.; TSUNODA, T.; ISHII, T.; KUMAGAI, M. **Highly**

**active copper/ceria catalysts for steam reforming of methanol.** Applied Catalysis A: General, [s.l.], v. 223, n. 1-2, p.137-145, 10 jan. 2002. Elsevier BV.

MORALES, M. P.; MUNOZ-AGUADO, M. J.; GARCIA-PALACIOS, J. L.; LAZARO, F. J.; SERNA, C. J. **Coercivity enhancement in  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particles dispersed at low-volume fraction.** Journal Of Magnetism And Magnetic Materials, [s.l.], v. 183, n. 1-2, p.232-240, mar. 1998. Elsevier BV.

NIEMANTSVERDRIET, J. W. **Spectroscopy in Catalysis.** WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2007.

Patra, T. K.; Sheth, P. N. **Biomass gasification coupled with producer gas cleaning, bottling and HTS catalyst treatment for H<sub>2</sub>-rich gas production.** International Journal of Hydrogen Energy, v. 44, n. 23, p. 11602-11616, maio 2019. Elsevier BV.

SHARMA, S.; GHOSHAL, S. K. **Hydrogen the future transportation fuel: From production to applications.** Renewable And Sustainable Energy Reviews, [s.l.], v. 43, p.1151-1158, mar. 2015. Elsevier BV.

SILVA, C. L. S.; MARCHETTI, S. G.; JUNIOR, A. C. F.; SILVA, T. F. S.; ASSAF, J. M.; RANGEL, M. C. **Effect of gadolinium on the catalytic properties of iron oxides for WGS.** Catalysis Today, [s.l.], v. 213, p.127-134, set. 2013. Elsevier BV.

SOUZA, M. O. G.; QUADRO, E. B.; RANGEL, M. C. **Propriedades Texturais e Catalíticas de Óxidos de Ferro contendo Cromo e Cobre.** Química Nova, [s.l.], v. 21, n. 4, p.428-433, 08 out. 1998.

SUAVE, J.; LEME, L. B.; MOREIRA, R. F. P. M. **Catalisadores de óxido de ferro dopados com metais de transição aplicados na ozonização catalítica do corante safira procion.** Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, [s.l.], p.1-8, fev. 2015. Editora Edgard Blücher.

TAO, Z.; YANG, Y.; DING, M.; LI, T.; XIANG, H.; LI, Y. **Effect of calcination behaviors on precipitated iron–manganese Fischer–Tropsch synthesis catalyst.** Catalysis Letters, [s.l.], v. 117, n. 3-4, p.130-135, 25 abr. 2007. Springer Nature.

YAMAURA, M.; CAMILO, R. L.; SAMPAIO, L. C.; MACEDO, M. A.; NAKAMURA, M.; TOMA, H. E. **Preparation and characterization of (3-aminopropyl)triethoxysilane-coated magnetite nanoparticles.** Journal of Magnetism And Magnetic Materials, [s.l.], v. 279, n. 2-3, p.210-217, ago. 2004. Elsevier BV.

YANG, Y. **Effect of potassium promoter on precipitated iron-manganese catalyst for Fischer-Tropsch synthesis.** Applied Catalysis A: General, [s.l.], v. 266, n. 2, p.181-194, jul. 2004. Elsevier BV.

## 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**