

Avanços das Pesquisas e Inovações na Engenharia Química

Jéssica Verger Nardeli
(Organizadora)

Avanços das Pesquisas e Inovações na Engenharia Química

Jéssica Verger Nardeli
(Organizadora)

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação: Karine de Lima

Edição de Arte: Lorena Prestes

Revisão: Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

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

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie di Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná

Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Fernando José Guedes da Silva Júnior – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão

Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
 Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
 Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
 Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
 Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
 Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
 Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
 Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
 Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
 Prof. Me. Douglas Santos Mezacas -Universidade Estadual de Goiás
 Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
 Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
 Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
 Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
 Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
 Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
 Prof. Me. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
 Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
 Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
 Profª Ma. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
 Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay
 Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
 Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
 Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
 Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
 Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
 Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual de Maringá
 Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
 Prof. Me. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
 Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
 Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
 Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
 Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

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

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

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: World Wide Web.

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-86002-53-9

DOI 10.22533/at.ed.539202003

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

CDD 660.76

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

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

APRESENTAÇÃO

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

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

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

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

Jéssica Verger Nardeli

SUMÁRIO

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

CAPÍTULO 6 54

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

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

DOI 10.22533/at.ed.5392020036

CAPÍTULO 7 66

OSCILAÇÕES AMORTECIDAS EM SISTEMAS DE PARTÍCULAS COM MEMÓRIA ACOPLADA

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

DOI 10.22533/at.ed.5392020037

CAPÍTULO 8 79

NANOPARTÍCULAS DE FE E PY COMO CATALISADORES DA LIQUEFAÇÃO DO CARVÃO

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

DOI 10.22533/at.ed.5392020038

CAPÍTULO 9 90

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

Alex Vazzoler

DOI 10.22533/at.ed.5392020039

CAPÍTULO 10 99

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

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

DOI 10.22533/at.ed.53920200310

CAPÍTULO 11 107

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

Flávia Cristina Cardoso Dória
Elaine Cristina Nogueira Lopes de Lima

DOI 10.22533/at.ed.53920200311

CAPÍTULO 12 123

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

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

DOI 10.22533/at.ed.53920200312

CAPÍTULO 13 131

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

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

DOI 10.22533/at.ed.53920200313

CAPÍTULO 14 143

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

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

DOI 10.22533/at.ed.53920200314

CAPÍTULO 15 153

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

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

DOI 10.22533/at.ed.53920200315

CAPÍTULO 16 164

RESÍDUOS DE FERRO E ALUMÍNIO EM COMPÓSITOS POLIMÉRICOS

Gabriel da Cruz Oliveira
Lucas Rezende Almeida

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

DOI 10.22533/at.ed.53920200316

CAPÍTULO 17 172

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

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

DOI 10.22533/at.ed.53920200317

CAPÍTULO 18 184

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

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

DOI 10.22533/at.ed.53920200318

CAPÍTULO 19 196

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

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

DOI 10.22533/at.ed.53920200319

CAPÍTULO 20 209

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

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

DOI 10.22533/at.ed.53920200320

SOBRE A ORGANIZADORA..... 217

ÍNDICE REMISSIVO 218

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 (O₂) 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 (Fe_3O_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 cm^{-1} , com resolução de 4 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- α , 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 m²/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⁻¹). Também foram encontradas bandas referentes aos íons hidroxila provenientes da água (3400cm⁻¹), e do agente precipitante (1602 cm⁻¹), assim como dos íons nitratos (1385 cm⁻¹). 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.

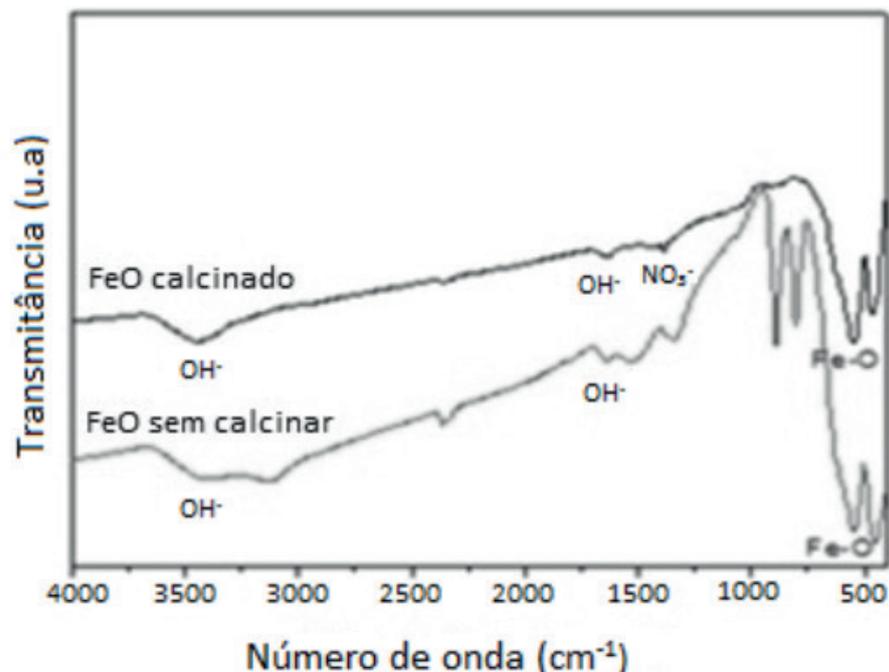


Figura 1. Curvas de FTIR do óxido de ferro sem dopante calcinado e sem calcinar.

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 cm^{-1} . Foram identificadas as bandas referentes à presença de água (3600-3000 cm^{-1}) e do agente precipitante (1602 cm^{-1}) (MORALES et al., 1998) Além disso, foi possível identificar também a presença de bandas correspondentes aos íons nitratos (1385 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).

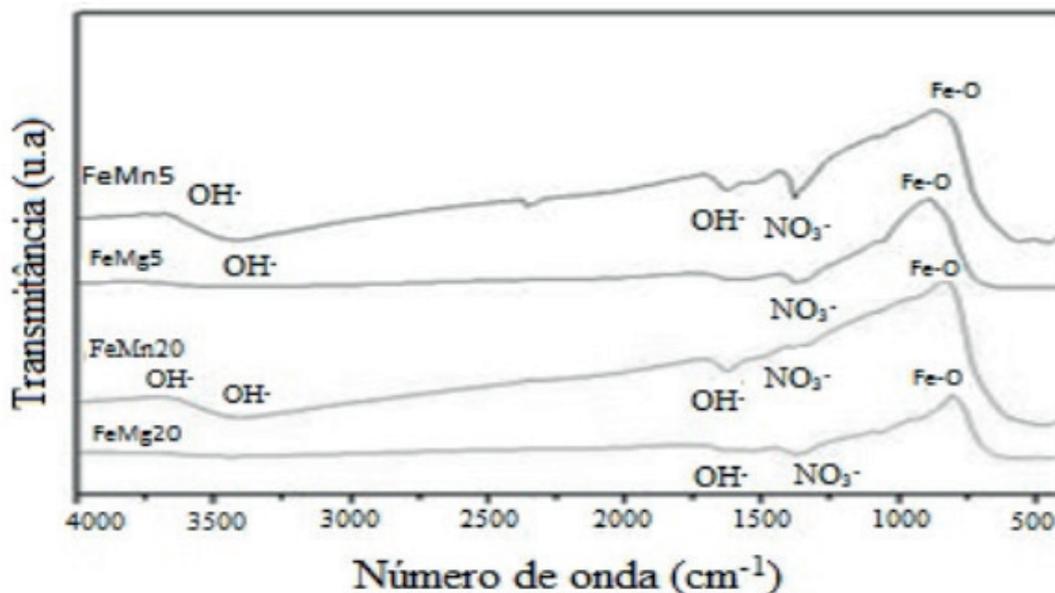


Figura 2. Curvas de FTIR dos catalisadores baseados em óxido de ferro dopados com diferentes razões molares de manganês (Fe/Mn 5; Fe/Mn 20) e de magnésio (Fe/Mg 5; Fe/Mg 20).

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 (Fe_3O_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 (Fe_3O_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 Fe_3O_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.

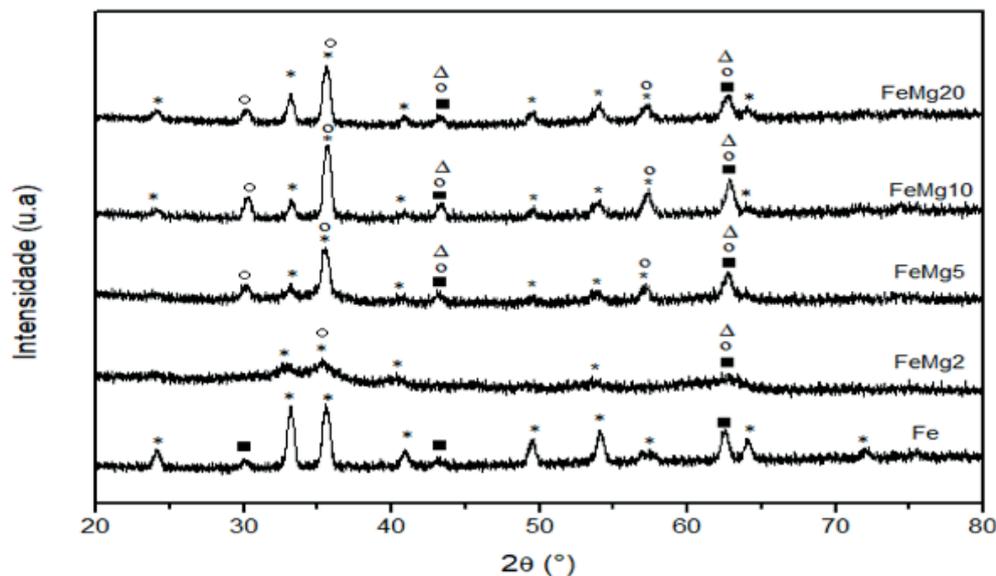


Figura 3. Difratomogramas de raios X do óxido de ferro (Fe) e dos catalisadores baseados em óxido de ferro dopados com magnésio, em diferentes razões molares. (*) fase hematita com estrutura romboédrica; (■) fase magnetita com estrutura cúbica; (Δ) óxido de magnésio com estrutura cúbica; (○) ferrita 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 (Fe_3O_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.

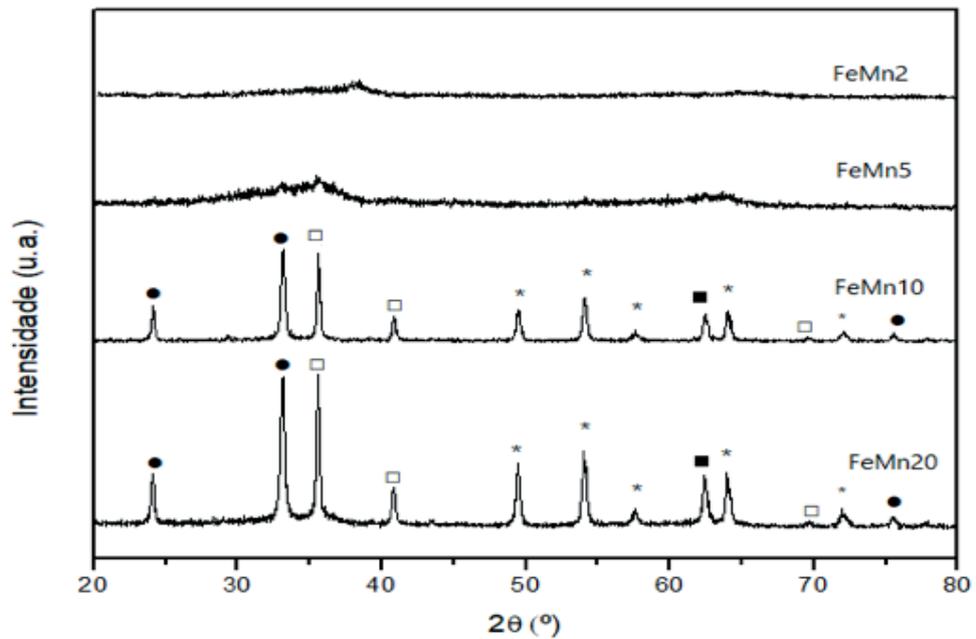


Figura 4. Difratogramas de raios X dos catalisadores baseados em óxido de ferro dopados com manganês em diferentes razões molares (*): fase hematita; (◻): fase magnetita; (◻): óxido de manganês com estrutura cúbica; (●): trióxido de dimanganês com estrutura cúbica.

Amostras (Fe/Mg)	Sg (m ² /g)	Amostras (Fe/Mn)	Sg (m ² /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/Fe₂O₃ 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 γ -Fe₂O₃ 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 H₂-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