



**FRANCIELE BRAGA MACHADO TULLIO  
LUCIO MAURO BRAGA MACHADO  
(ORGANIZADORES)**

**AMPLIAÇÃO E  
APROFUNDAMENTO  
DE CONHECIMENTOS NAS  
ÁREAS DAS ENGENHARIAS**



**FRANCIELE BRAGA MACHADO TULLIO  
LUCIO MAURO BRAGA MACHADO  
(ORGANIZADORES)**

**AMPLIAÇÃO E  
APROFUNDAMENTO  
DE CONHECIMENTOS NAS  
ÁREAS DAS ENGENHARIAS**

*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:** Natália Sandrini de Azevedo

**Edição de Arte:** Lorena Prestes

**Revisão:** Os Autores



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

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

### **Conselho Editorial**

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

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília

Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense

Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa

Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia

Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá

Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima

Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões

Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice

Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense

Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão

Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste

Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador

Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

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

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano

Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás

Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná

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

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

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

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

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

### **Conselho Técnico Científico**

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

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)**

A526 Ampliação e aprofundamento de conhecimentos nas áreas das engenharias [recurso eletrônico] / Organizadores Franciele Braga Machado Tullio, Lucio Mauro Braga Machado. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-86002-74-4

DOI 10.22533/at.ed.744200804

1. Engenharia – Pesquisa – Brasil. 2. Inovações tecnológicas. 3. Tecnologia. I. Tullio, Franciele Braga Machado. II. Machado, Lucio Mauro Braga.

CDD 620

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior | CRB6/2422**

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná - Brasil

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

## APRESENTAÇÃO

Em “Ampliação e Aprofundamento de Conhecimentos nas Áreas das Engenharias” vocês encontrarão dezenove capítulos que demonstram que as fronteiras nas engenharias continuam sendo ampliadas.

A engenharia aeroespacial brasileira vem realizando muitos estudos para a melhoria nos processos de construção de satélites e temos nesta obra quatro capítulos demonstrando isso.

Na engenharia elétrica e na computação temos quatro capítulos demonstrando empenho no aprofundamento de pesquisas envolvendo temas atuais.

A engenharia de materiais e a engenharia química trazem quatro capítulos com pesquisas na produção de novos materiais e produção de medicamentos.

Pesquisas na engenharia de produção temos três capítulos que demonstram o empenho na análise de qualidade da produção industrial.

Os demais capítulos apresentam boas pesquisas em engenharia civil, engenharia mecânica e engenharia agrícola.

Boa leitura!

Franciele Braga Machado Tullio

Lucio Mauro Braga Machado

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
AVALIAÇÃO DA PRONTIDÃO DA ORGANIZAÇÃO DE AIT DE SATÉLITES ARTIFICIAIS PARA O ATENDIMENTO DE REQUISITOS DE SEUS STAKEHOLDERS	
Isomar Lima da Silva Andreia Fátima Sorice Genaro José Wagner da Silva Elaine de Souza Ferreira de Paula Bruno da Silva Muro	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7442008041</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>13</b>
EMPREGO DOS PARÂMETROS DE LAMINAÇÃO PARA OTIMIZAÇÃO DE PAINÉIS REFORÇADOS EM COMPÓSITOS SUBMETIDOS A CARGAS COMPRESSIVAS	
Hélio de Assis Pegado Laura Tameirão Sampaio Rodrigues	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7442008042</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>30</b>
AN OVERVIEW OF THE BFO - BASIC FORMAL ONTOLOGY - AND ITS APPLICABILITY FOR SATELLITE SYSTEMS	
Adolfo Americano Brandão Geilson Loureiro	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7442008043</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>39</b>
COLETA DE REQUISITOS DO SUBSISTEMA BAZOOKA CANSAT UTILIZADO NO SEGUNDO CUBEDESIGN	
Daniel Alessander Nono Anderson Luis Barbosa Bruno Carneiro Junqueira André Ferreira Teixeira Aline Castilho Rodrigues	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7442008044</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>47</b>
CENTRAIS HIDROCINÉTICAS COMO MEIO PARA A REESTRUTURAÇÃO DEMOCRÁTICA DO SETOR ELÉTRICO	
Luiza Fortes Miranda Geraldo Lucio Tiago Filho	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7442008045</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>60</b>
DE KAOS PARA SYSML NA MODELAGEM DE SISTEMAS EMBARCADOS: UMA REVISÃO DA LITERATURA	
Timóteo Gomes da Silva Fernanda Maria Ribeiro de Alencar Aêda Monalizza Cunha de Sousa Brito	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7442008046</b>	

<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>68</b>
INTERNET OF THINGS NA ENGENHARIA BIOMÉDICA	
Tatiana Pereira Filgueiras	
Pedro Bertemes Filho	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7442008047</b>	
<b>CAPÍTULO 8</b> .....	<b>77</b>
AVALIAÇÃO DE TOPOLOGIAS DE FONTES DE CORRENTE EM BIOIMPEDÂNCIA ELÉTRICA	
David William Cordeiro Marcondes	
Pedro Bertemes Filho	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7442008048</b>	
<b>CAPÍTULO 9</b> .....	<b>97</b>
OBTENÇÃO DE BIODIESEL POR MEIO DA TRANSESTERIFICAÇÃO DO ÓLEO DE SOJA UTILIZANDO CATALISADOR DE KOH/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> EM DIFERENTES COMPOSIÇÕES	
Laís Wanderley Simões	
Normanda Lino de Freitas	
Joelda Dantas	
Elvia Leal	
Julyanne Rodrigues de Medeiros Pontes	
Pollyana Caetano Ribeiro Fernandes	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7442008049</b>	
<b>CAPÍTULO 10</b> .....	<b>113</b>
CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE FILMES HÍBRIDOS PRODUZIDOS POR AMIDO DE MILHO E QUITOSANA	
Francielle Cristine Pereira Gonçalves	
Kilton Renan Alves Pereira	
Rodrigo Dias Assis Saldanha	
Simone Cristina Freitas de Carvalho	
Vitor Rodrigo de Melo e Melo	
Kristy Emanuel Silva Fontes	
Richelly Nayhene de Lima	
Magda Jordana Fernandes	
Elano Costa Silva	
Thaynon Brendon Pinto Noronha	
Liliane Ferreira Araújo de Almada	
Paulo Henrique Araújo Peixôto	
<b>DOI 10.22533/at.ed.74420080410</b>	
<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>125</b>
SYNTHESIS AND STRUCTURAL CHARACTERIZATION OF SODIUM DODECYL SULFATE (DDS) MODIFIED LAYERED DOUBLE HYDROXIDE (HDL) AS MATRIX FOR DRUG RELEASE	
Amanda Damasceno Leão	
Mônica Felts de La Rocca	
José Lamartine Soares Sobrinho	
<b>DOI 10.22533/at.ed.74420080411</b>	
<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>134</b>
THIN PLATE SPLINE INTERPOLATION METHOD APPLICATION TO PREDICT THE SUNFLOWER OIL INCORPORATION IN POLY (ACRYLIC ACID)-STARCH FILMS	
Talita Goulart da Silva	
Débora Baptista Pereira	
Vinícius Guedes Gobbi	

Layla Ferraz Aquino  
Thassio Brandão Cubiça  
Matheus Santos Cunha  
Tiago dos Santos Mendonça  
Sandra Cristina Dantas  
Roberta Helena Mendonça

**DOI 10.22533/at.ed.74420080412**

**CAPÍTULO 13 ..... 152**

GESTÃO ESTRATÉGICA PARA O DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS NA EMPRESA DE MANUTENÇÃO JL AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

Francely Cativo Bentes  
David Barbosa de Alencar  
Marden Eufrasio dos santos

**DOI 10.22533/at.ed.74420080413**

**CAPÍTULO 14 ..... 162**

OTIMIZAÇÃO DOS INSPETORES ELETRÔNICOS NA PRODUÇÃO DE TAMPAS METÁLICAS NO POLO INDUSTRIAL DE MANAUS

Elisabete Albuquerque de Souza  
David Barbosa de Alencar  
Marden Eufrasio dos Santos

**DOI 10.22533/at.ed.74420080414**

**CAPÍTULO 15 ..... 174**

CONTROLE DE QUALIDADE DOS BLOCOS CERÂMICOS DE VEDAÇÃO DE SEIS E OITO FUROS DAS OLARIAS DO AMAPÁ

Daniel Santos Barbosa  
Adler Gabriel Alves Pereira  
Orivaldo de Azevedo Souza Junior  
Ruan Fabrício Gonçalves Moraes  
Paulo Victor Prazeres Sacramento

**DOI 10.22533/at.ed.74420080415**

**CAPÍTULO 16 ..... 190**

REAPROVEITAMENTO DE TOPSOIL COMO MEDIDA DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS

José Roberto Moreira Ribeiro Gonçalves  
Fabiano Battemarco da Silva Martins  
Ronaldo Machado Correia

**DOI 10.22533/at.ed.74420080416**

**CAPÍTULO 17 ..... 199**

AVALIAÇÃO DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS: COMPARAÇÃO ENTRE A NBR 9452/2019 E O MÉTODO ESLOVENO

Ana Carolina Virmond Portela Giovannetti

**DOI 10.22533/at.ed.74420080417**

**CAPÍTULO 18 ..... 208**

DIMENSIONAMENTO DA POTÊNCIA MÍNIMA EXIGIDA DO ACIONAMENTO PRINCIPAL DE TRANSPORTADORES DE CORREIA

José Joelson de Melo Santiago  
Carlos Cássio de Alcântara  
Daniel Nicolau Lima Alves

Jackson de Brito Simões

DOI 10.22533/at.ed.74420080418

**CAPÍTULO 19 ..... 220**

CONSTRUÇÃO, INSTRUMENTAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE UM TÚNEL DE VENTO DIDÁTICO DE CIRCUITO FECHADO

Lucas Ramos e Silva

Guilherme de Souza Papini

Rafael Alves Boutros

Romero Moreira Silva

Wender Gonçalves dos Santos

DOI 10.22533/at.ed.74420080419

**SOBRE OS ORGANIZADORES..... 236**

**ÍNDICE REMISSIVO ..... 237**

## OBTENÇÃO DE BIODIESEL POR MEIO DA TRANSESTERIFICAÇÃO DO ÓLEO DE SOJA UTILIZANDO CATALISADOR DE KOH/AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub> EM DIFERENTES COMPOSIÇÕES

Data de aceite: 27/03/2020

Data de Submissão: 03/01/2020

### **Laís Wanderley Simões**

Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP),  
Faculdade de Engenharia Química, Campinas –  
SP

<http://lattes.cnpq.br/5153878976525041>

### **Normanda Lino de Freitas**

Universidade Federal de Campina Grande  
(UFCG), Programa de Pós-Graduação em  
Ciência e Engenharia de Materiais (PPGCEMAT),  
Campina Grande – PB

<http://lattes.cnpq.br/0644427640208395>

### **Joelda Dantas**

Universidade Federal da Paraíba (UFPB),  
Programa de Pós-Graduação em Energias  
Renováveis (PPGER), Campina Grande – PB

<http://lattes.cnpq.br/0835933416564294>

### **Elvia Leal**

Universidade Federal de Campina Grande  
(UFCG), Programa de Pós-Graduação em  
Ciência e Engenharia de Materiais (PPGCEMAT),  
Campina Grande – PB

<http://lattes.cnpq.br/3139929105219822>

### **Julyanne Rodrigues de Medeiros Pontes**

Universidade Federal de Campina Grande  
(UFCG), Programa de Pós-Graduação em  
Ciência e Engenharia de Materiais (PPGCEMAT),  
Campina Grande – PB

<http://lattes.cnpq.br/9130580952795399>

### **Pollyana Caetano Ribeiro Fernandes**

Universidade Federal da Paraíba (UFPB),  
Programa de Pós-Graduação em Energias  
Renováveis (PPGER), Campina Grande – PB

<http://lattes.cnpq.br/8579267075943767>

**RESUMO:** Nos últimos anos, o interesse por combustíveis provenientes de fontes renováveis vem crescendo devido às crises energéticas mundiais e o superaquecimento global da Terra. Um destes é o biodiesel, o qual possui propriedades semelhantes ao diesel derivado do petróleo, além de ser menos agressivo ao meio ambiente, e por isso tem apresentado potencial promissor no mundo inteiro. Este combustível pode ser obtido a partir do óleo de soja através da reação de transesterificação, na qual o óleo reage com o etanol para produzir éster, via rota catalítica homogênea ou heterogênea. A rota comumente utilizada na indústria é a homogênea, mas ela dificulta a purificação do biodiesel. Com o objetivo de diminuir esse problema, esse estudo utiliza a rota catalítica heterogênea, a qual possui vantagens técnicas e ambientais. Nesse estudo, o catalisador trata-se de um metal, sob a forma de hidróxido, suportado em alumina. Como fase ativa, utilizou-se o hidróxido precursor do

ion de potássio (KOH), o qual foi adicionado em três diferentes concentrações (10%, 20% e 30%) através do método de impregnação via dispersão úmida. A cromatografia mostrou que a reação de transesterificação para todas as amostras impregnadas com KOH, ocorreu eficientemente, apresentando valores acima de 92%.

**PALAVRAS-CHAVE:** Alumina, Catalisadores Impregnados, Biodiesel.

## OBTAINING BIODIESEL THROUGH THE TRANSESTERIFICATION OF SOYBEAN OIL USING CATALYST KOH/AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub> IN DIFFERENT COMPOSITIONS

**ABSTRACT:** In recent years, interest in fuels from renewable sources is growing due to the global energy crisis and global overheating. One of these is the biodiesel, which has properties similar to diesel fuel derived from petroleum, but it is less aggressive to the environment, therefore showing a promising potential worldwide. This fuel can be obtained from soybean oil through transesterification reaction, in which the oil is reacted with ethanol to produce ester via homogeneous or heterogeneous catalytic route. The route commonly used in the industry is the homogeneous, but it complicates the purification of biodiesel. In order to mitigate this problem, we use the heterogeneous catalytic route, which has technical and environmental advantages. In this study, the catalyst is a metal, in the form of hydroxide, supported on alumina. Alumina stands out due to its excellent properties, such as activity, selectivity, stability, mechanical strength and thermal conductivity. As the active phase, it was used the precursor hydroxide of the potassium ion (KOH), which was added in three different concentrations (10%, 20% and 30%) by the impregnation method via wet dispersion. Chromatography showed that the transesterification reaction for all samples impregnated with KOH occurred efficiently, presenting values above 92%.

**KEYWORDS:** Alumina, Impregnated catalysts, Biodiesel.

### 1 | INTRODUÇÃO

A produção do biodiesel adquiriu papel crescente no Brasil principalmente a partir do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), já que este, desde 2005, vem ganhando a atenção de vários segmentos sociais, públicos e privados envolvidos com a busca de alternativas à matriz energética nacional, ou seja, o objetivo central desta é o desenvolvimento da indústria do biodiesel (Silva e Polli, 2019). Conforme analisa o (PNPB) o Brasil tem mostrado grande potencial na produção deste biocombustível, tanto pela sua área disponível, como também por seu clima tropical que favorece a para plantação de oleaginosas (Souza, 2019).

Aliteratura relata que o interesse por combustíveis oriundos de fontes renováveis tem crescido nos últimos anos, sobretudo em virtude da instabilidade político-econômica do mercado internacional de petróleo e devido às causas ambientais,

destacando-se a necessidade da diminuição dos níveis de emissões de gases poluentes provenientes da queima de combustíveis fósseis. Diante de tal situação, houve o incremento de novas tecnologias para produção de biocombustíveis que preenchessem as expectativas do mercado (Benatti *et al.*, 2019).

O biodiesel oriundo de óleos vegetais possui características que o assemelha ao diesel proveniente do petróleo, sendo assim, ele possui potencialidade para substituí-lo de forma parcial ou integral (Guldhe *et al.*, 2017). Devido a sua alta viscosidade, caráter poliinsaturado e sua baixa volatilidade, o óleo vegetal prejudicaria os motores de combustão interna caso fosse aplicado diretamente. Com o objetivo de evitar este problema, faz-se necessário a reação de transesterificação, na qual ocorre a transformação de triacilglicerídeos em moléculas menores de ésteres de ácidos graxos (biodiesel), na presença de um catalisador adequado (Ahmad *et al.*, 2012; Ambat *et al.*, 2018).

Para obtenção do biodiesel existem duas rotas catalíticas: a homogênea e a heterogênea. A rota homogênea tem uso mais comum em indústria e oferece uma ótima taxa de conversão. Porém, ela também apresenta dificuldades quanto às etapas de separação e purificação do biodiesel. A fim de evitar esse problema, esse estudo utiliza o sistema heterogêneo, que além de oferecer vantagens técnicas e ambientais, pode ser recuperado e reutilizado várias vezes, o que o torna economicamente viável (Varghese *et al.*, 2018; Mendonça *et al.*, 2019).

Tem-se a opção de utilizar, como catalisador heterogêneo, um metal como fase ativa suportado em alumina. Dentre os sistemas cerâmicos utilizados como suporte na indústria, a alumina tem um destaque especial em função das suas excelentes propriedades térmicas, químicas e físicas, tais como: atividade, seletividade, estabilidade, resistência mecânica e condutividade térmica (Taufiq-Yap *et al.*, 2011; Yusuff e Popoola, 2019). Além disso, seu método de síntese (método de reação por combustão) apresenta um baixo custo. Neste suporte, é inserida a fase ativa através do método de impregnação via dispersão úmida e trata-se do íon de potássio na forma de hidróxido.

Com isso, o objetivo do presente trabalho é realizar uma sucinta revisão da literatura a respeito da produção do biodiesel e do uso de catalisadores a base alumina; reproduzir uma metodologia de impregnação via dispersão úmida; caracterizar o suporte e os catalisadores produzidos; sintetizar o biodiesel e analisar sua taxa de conversão a fim de comprovar a eficiência do catalisador empregado.

## 2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Biodiesel: uma energia alternativa

O biodiesel é apontado como uma das soluções para o esgotamento de combustíveis fósseis e o superaquecimento global. Sabe-se que a matriz energética mundial está fundamentada nos combustíveis oriundos de fontes fósseis (do petróleo e seus derivados, do carvão mineral e do gás natural), o que vem a causar um choque da atual condição energética com os ambientalistas (Costa-Felix *et al.*, 2018). Isto torna imprescindível a busca por combustíveis oriundos de fontes renováveis. Dentre tais fontes temos o biodiesel derivado de óleos vegetais, o qual é menos agressivo ao meio ambiente, já que reduz qualitativa e quantitativamente os níveis de poluição ambiental; além de ter um baixo custo de produção (Hernández-Montelongo *et al.*, 2018).

As principais fontes para a produção de biodiesel são óleos vegetais, gorduras animais e óleos usados. O Brasil é um grande produtor de biocombustíveis, visto que apresenta uma diversidade de espécies agrícolas e grande extensão territorial destinada a plantações e criação de animais (Ramos *et al.*, 2017). As principais matérias-primas utilizadas no Brasil para produção de biodiesel são, o óleo de soja, algodão, canola, milho, dendê, gordura animal, algas e óleos residuais, por exemplo óleos residuais de fritura. Sendo o óleo de soja a matéria prima predominante pelo fato do Brasil ser o segundo maior produtor de soja do mundo (Zortea *et al.*, 2018).

O óleo de soja surgiu como um subproduto do processamento do farelo de soja, e tornou-se um dos líderes mundiais no mercado de óleos, possuindo excelentes propriedades. No entanto, foi constatado que a aplicação direta de óleos vegetais em motores de combustão interna é limitada por algumas propriedades físicas do mesmo, principalmente sua alta viscosidade, sua baixa volatilidade e seu caráter poli-insaturado, que ocasionam em alguns problemas nestes motores, bem como em uma combustão incompleta (Guldhe *et al.*, 2017). Por isso, com o objetivo de reduzir a viscosidade dos óleos vegetais, diferentes alternativas têm sido consideradas, tais como diluição, microemulsão com metanol ou etanol, craqueamento catalítico e reação de transesterificação com etanol ou metanol (Ahmad *et al.*, 2012). Entre essas alternativas, a transesterificação tem se apresentado como a melhor opção (Dantas *et al.*, 2018). Isso se deve ao fato de que a utilização de biodiesel, produto da transesterificação, como combustível alternativo ao diesel para motores de ignição por compressão tem apresentado potencial promissor no mundo inteiro (Benatti *et al.*, 2019)

A Medida Provisória nº 214, de 13 de setembro de 2004, define:

Sob o aspecto químico, o biodiesel como um produto composto de ácidos graxos de cadeias longas as quais encontram-se ligadas a um álcool, sendo definido como éster monoalquílico de ácidos graxos derivados de lipídeos de ocorrência natural.

Especialmente na reação de transesterificação, os óleos reagem com um álcool de cadeia curta como o metanol ou etanol, na presença de um catalisador que pode ser homogêneo (ácido ou básico), heterogêneo ou enzimático, para produzir os ésteres de alquila (ésteres de ácidos graxos) correspondentes (no caso do metanol, os ésteres metílicos) (Mendonça *et al.*, 2019).

A ação do catalisador consiste em diminuir a energia de ativação, possibilitando um novo caminho para a reação; o que determina o aumento da velocidade. Ao término do processo, o catalisador não passa por nenhuma modificação e não influencia na composição do produto final (Alcañiz-Monge *et al.*, 2018).

A reação empregada industrialmente utiliza comumente hidróxido de sódio ou potássio como catalisador. Estes catalisadores possuem custo relativamente baixo e fornecem alto nível de conversão em pouco tempo. Entretanto, a recuperação do catalisador é bastante difícil em virtude de sua solubilização no álcool, o que resulta na formação de emulsão, que consome parte do catalisador, diminui o rendimento em biodiesel, o que dificulta etapas de separação e purificação do biocombustível. Adicionalmente, a inabilidade para reciclagem e geração de grande quantidade de resíduo torna o uso de catalisadores tradicionais cada vez menos favoráveis (Adedoyin *et al.*, 2019).

Com o objetivo de minimizar, ou até mesmo eliminar, os problemas relacionados ao processo homogêneo convencional, têm sido realizados estudos utilizando o processo catalítico heterogêneo, o qual oferece vantagens técnicas e ambientais. Os sistemas heterogêneos não levam à corrosão e nem à formação de emulsões (sabões), tornando o processo de separação mais fácil, o que permite a reciclagem do catalisador sólido ao longo de sua vida útil e minimiza a geração de efluentes (Dantas *et al.*, 2018).

Recentemente, muitos trabalhos tem focado o uso de metais alcalinos e alcalinos terrosos, sob a forma de sais ou hidróxidos, suportados em diversos materiais, tais como  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (Sulaiman *et al.*, 2019),  $\text{ZnO}$  (Casiello *et al.*, 2019), zeólita (Prinsen *et al.*, 2018),  $\text{NaY}$  (Li *et al.*, 2019), etc., na obtenção de biodiesel pela reação de transesterificação. Dentre eles a alumina tem chamado bastante atenção devido as suas propriedades excelentes propriedades térmicas, químicas e físicas, tais como: atividade, seletividade, estabilidade, resistência mecânica e condutividade térmica (Taufiq-Yap *et al.*, 2011; Yusuff e Popoola, 2019).

## 2.2 Alumina como Suporte Catalítico

A alumina consiste em óxido de alumínio e ocorre na natureza como um mineral se cristaliza em estrutura hexagonal (corídon). É formado pela decomposição térmica dos precursores naturais ou sintéticos, geralmente acima de 1000°C. As aplicações mais comuns da alumina são como catalisadores, adsorventes e suportes de catalisador, devido à sua alta área específica (Da Costa Evangelista *et al.*, 2016).

Nas últimas décadas o interesse no desenvolvimento de nanopós ou materiais nanoestruturados tem despertado atenção de vários pesquisadores no estudo da preparação de vários sistemas cerâmicos por diferentes métodos de síntese química para uso em catálise (Bhanja e Bhaumik, 2019). A catálise é um processo que acontece na superfície e as altas áreas superficiais, produzidas por um conjunto de partículas nanométricas em relação ao seu volume, vêm a ser de crucial importância (Dantas *et al.*, 2018). Muitos métodos de síntese têm sido desenvolvidos no intuito de se produzir partículas nanométricas, com baixo grau de aglomeração e estreita faixa de distribuição de tamanho. Em processos catalíticos, a forma de obtenção deve ser capaz, também, de gerar uma porosidade nas matrizes hospedeiras que permita o acesso dos reagentes aos centros hospedeiros (Mapossa *et al.*, 2017).

Entre esses sistemas cerâmicos utilizados como catalisadores e suportes catalíticos em vários processos da indústria petroquímica, a alumina tem um destaque especial em função das suas excelentes propriedades térmicas, químicas e físicas, tais como: atividade, seletividade, estabilidade, resistência mecânica e condutividade térmica (Yusuff e Popoola, 2019). Devido a isto a atenção no estudo de nanopartículas de alumina cresceu nos últimos anos, pois esse material tem mostrado grande potencial para o uso de revestimento (Fernandez e Jodoin, 2019), abrasivos (Martinez *et al.*, 2019), suportes catalíticos (Kim *et al.*, 2019), entre outros. De fato, estas nanopartículas oferecem características inovadoras em comparação com a cerâmica de alumina convencional (não em escala nanométrica), devido suas propriedades especiais como: alta dureza, alta força mecânica, boa resistência a choques térmicos, transparência (Mahmoudian *et al.*, 2019).

Além disso, a alumina se apresenta como um suporte cerâmico catalítico economicamente viável, já que método de síntese (método de reação por combustão) oferece um baixo custo (Dantas *et al.*, 2018). Neste trabalho, a  $Al_2O_3$  atua como suporte da fase ativa: o metal alcalino K (potássio) sob a forma de hidróxido (KOH).

## 2.3 Catalisadores: Impregnação com KOH

O hidróxido de potássio e o de sódio são os mais ativos na transesterificação homogênea de óleo vegetal (Bani *et al.*, 2018). Portanto, é natural o uso de sais ou hidróxidos precursores de íons de potássio como fase ativa em catalisadores

heterogêneos, já que estes oferecem vantagens em relação aos homogêneos.

Os catalisadores sólidos consistem em uma fase ativa, que é responsável pela atividade catalítica, e uma fase inerte ao processo catalítico denominada de suporte, que é um material termicamente e quimicamente estável. A adição de íons ou óxidos de metais, aminas e complexos orgânicos no suporte pode ser dada por troca-iônica, co-precipitação, deposição-precipitação, impregnação úmida ou impregnação física (Almeida *et al.*, 2017). Neste trabalho, o catalisador é preparado a partir do método de impregnação via dispersão úmida, onde é estudada a concentração de KOH impregnado na  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

### 3 | METODOLOGIA

A metodologia empregada nesse trabalho foi dividida em dois tópicos principais: um deles descreve a síntese e caracterização dos catalisadores, enquanto o outro está relacionado à produção e à caracterização dos biodiesel.

#### 3.1 Síntese e caracterização dos catalisadores

A alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) utilizada como suporte foi obtida por meio da reação de combustão, tendo como reagentes o nitrato de alumínio nonohidratado ( $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ) e ureia ( $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ ), seguindo metodologia utilizada no projeto PIVIC 2010-2011 (Silva *et al.*, 2012).

Para a síntese dos catalisadores, foi empregado o processo de impregnação, o qual confere um maior poder catalítico aos catalisadores heterogêneos. Este fato é evidenciado quando se observa os elevados resultados de conversão obtidos nos sistemas catalíticos impregnados e utilizados no processo de transesterificação (Boz *et al.*, 2009).

O processo de impregnação utilizado foi por dispersão física via úmida (Xie *et al.*, 2006) no preparo do catalisador  $\text{KOH}/\text{Al}_2\text{O}_3$ . Para tanto a fonte precursora do potássio, foi o hidróxido de potássio (KOH). O potássio foi introduzido na alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) na concentração de 10, 20 e 30%, por dispersão a úmido, durante o tempo necessário ao preparo dos catalisadores.

A impregnação por via úmida consistiu no preparo de uma solução de hidróxido de potássio (KOH) de forma a gerar o catalisador. Para o cálculo da massa de potássio e, posteriormente, da massa do sal foram utilizadas as Equações 1 e 2, respectivamente. Uma vez determinada a massa de KOH esta foi dissolvida em água para a obtenção de uma solução, a qual foi misturada a alumina na proporção de 1:30. A mistura então foi agitada por 1 hora em temperatura ambiente, sendo, em seguida, a fase líquida evaporada em estufa com circulação de ar a  $70^\circ\text{C}$ . Evaporada a fase líquida, o material foi mantido por 3 horas a  $110^\circ\text{C}$ .

$$P = \frac{m_K}{m_K + m_{Al_2O_3}} \quad (1)$$

$$m_{sal} = \frac{m_K}{P_K} \quad (2)$$

Onde:  $m_K$  (g) é a massa do íon potássio,  $m_{Al_2O_3}$  (g) é a massa do suporte,  $P_K$  é o percentual do íon potássio no sal (decimal),  $P$  é o percentual do íon a ser impregnada (decimal) e  $m_{sal}$  é a massa do sal (g) precursor do potássio a ser pesada.

Preparado os catalisadores, estes foram calcinados a 500°C por 5 horas sob ar atmosférico, seguindo a sequência de aquecimento de 100°C/0,5h; 200°C/1h; 350°C/3h e 500°C/5h.

A Tabela 1 resume as técnicas de caracterização utilizadas para o suporte e os catalisadores e seus respectivos equipamentos.

Técnica	Equipamento
Difração de raios X (DRX)	XRD-6000, com fonte de radiação CuK $\alpha$ , Shimadzu
Espectroscopia por energia dispersiva de raios X (EDX)	EDX-720, Shimadzu.
Análise textural – Adsorção de nitrogênio	NOVA 3200e, Quantachrome.
Distribuição granulométrica	Mastersize 2000, Malvern.

Tabela 1 – Técnicas de caracterização e seus respectivos equipamentos.

### 3.2 Produção e caracterização dos biodieseis

Para avaliação da atividade catalítica, os catalisadores foram testados nas reações de transesterificação do óleo de soja vegetal refinado comercial (Marca ABC®) em presença de metanol como agentes de alcóolise. Inicialmente foram realizados testes catalíticos exploratórios em condições padronizadas (teste em branco), com a finalidade de verificar a transformação do óleo vegetal em biodiesel (ésteres metílicos).

A reação de transesterificação metílica do óleo de soja refinado em presença dos catalisadores em estudo, foi conduzida em reator de aço inox acoplado a uma chapa aquecedora, temperatura de 160°C, sob agitação constante de 1000 rpm, durante os tempos reacionais de 1h de 2h. Nestas reações típicas foram utilizadas as razões molares de óleo de soja/metanol 1:20, respectivamente, correspondendo a 10 g de óleo de soja, 7,41 g de metanol e 0,4 g de catalisador (4% em massa). O produto obtido na reação de transesterificação foi lavado com água destilada e centrifugado por 30 minutos numa rotação de 2500 rpm.

A caracterização das amostras foi feita por meio da técnica de cromatografia gasosa, para a determinação quantitativa da conversão do óleo em biodiesel. O

equipamento utilizado foi o VARIAN CP–GC equipado com um sistema de injeção capilar, volume de amostra de 1  $\mu\text{L}$ , utilizando uma coluna apolar VF-1ms (Factor Four) para determinação de teores de éster, monoacilglicerídeos, diacilglicerídeos e triacilglicerídeos.

#### 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 estão ilustrados os difratogramas de raios X do suporte  $\text{Al}_2\text{O}_3$  resultante da reação de combustão e dos catalisadores produzidos. Pode-se observar a presença da fase cristalina estável  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (ficha padrão JCPDS 89 – 7717). Observa-se também para os processos de impregnação utilizados, o aparecimento de uma nova fase interpretada como sendo  $\text{K}_2\text{O}$  (óxido de potássio) (ficha padrão JCPDS 26-1327). Comparados os difratogramas dos catalisadores impregnados  $\text{KOH}/\text{Al}_2\text{O}_3$  com o suporte  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , observa-se uma gradual diminuição da intensidade dos picos correspondentes à alumina.

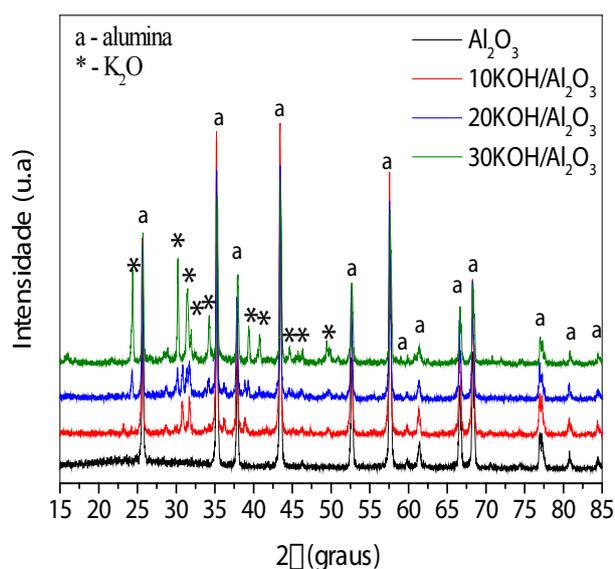


Figura 1 – Difratogramas de raios X do suporte catalítico e dos catalisadores.

De acordo com o aumento da concentração de hidróxido de potássio (KOH) de cada catalisador, também foi verificado um aumento proporcional da intensidade dos picos do óxido de potássio ( $\text{K}_2\text{O}$ ) dos mesmos.

Na Tabela 2 são apresentados os resultados da composição química para a alumina e os catalisadores impregnados.

Amostra	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)	*Impurezas (%)
Teórico	71,3	28,7	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	99,6	-	0,4
10KOH/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	92,1	7,7	0,2
20KOH/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	80,6	19,2	0,2
30KOH/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	71,2	28,1	0,7

Tabela 2 – Composição química do suporte e dos catalisadores.

\*Impurezas: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, Sm<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, NiO, ZnO, SO<sub>3</sub>, Co<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Por meio da comparação dos dados da Tabela 2, observaram-se quedas nas porcentagens de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> à medida que se aumentaram as concentrações de KOH, eventualmente provocadas pelo tratamento químico (impregnação) realizado na estrutura da amostra com o hidróxido de potássio.

Observou-se ainda que, as impregnações via dispersão úmida, adotadas neste trabalho, foram executadas com êxito, pois quando aumenta a porcentagem de KOH nas amostras, aumenta a porcentagem dos óxidos de potássio (K<sub>2</sub>O) e diminui a porcentagem do óxido de alumínio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) contido nas amostras experimentais, chegando próximas as porcentagens teóricas do óxido de metal (K<sub>2</sub>O) e do óxido de alumínio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), indicando que a reação manteve-se próxima a estequiometria prevista teoricamente para os óxidos.

Na Figura 2 encontram-se apresentadas as isotermas de adsorção/dessorção de N<sub>2</sub> como resultado da caracterização textural das seguintes amostras: o suporte (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) e os catalisadores impregnados via dispersão úmida (10KOH/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 20KOH/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e 30KOH/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

Todas as amostras apresentaram em seu perfil de adsorção/dessorção de N<sub>2</sub> o fenômeno de histerese. A histerese é um fenômeno que resulta da diferença entre o mecanismo de condensação e evaporação do gás adsorvido. Este processo ocorre em diferentes valores de pressão relativa e sua forma é determinada principalmente pela geometria dos poros (GREGG e SING, 1982). Segundo IUPAC (IUPAC, 1976), as amostras apresentam histerese do tipo H3, que é caracterizada pelos poros apresentarem formato de cunhas, cones e/ou placas paralelas.

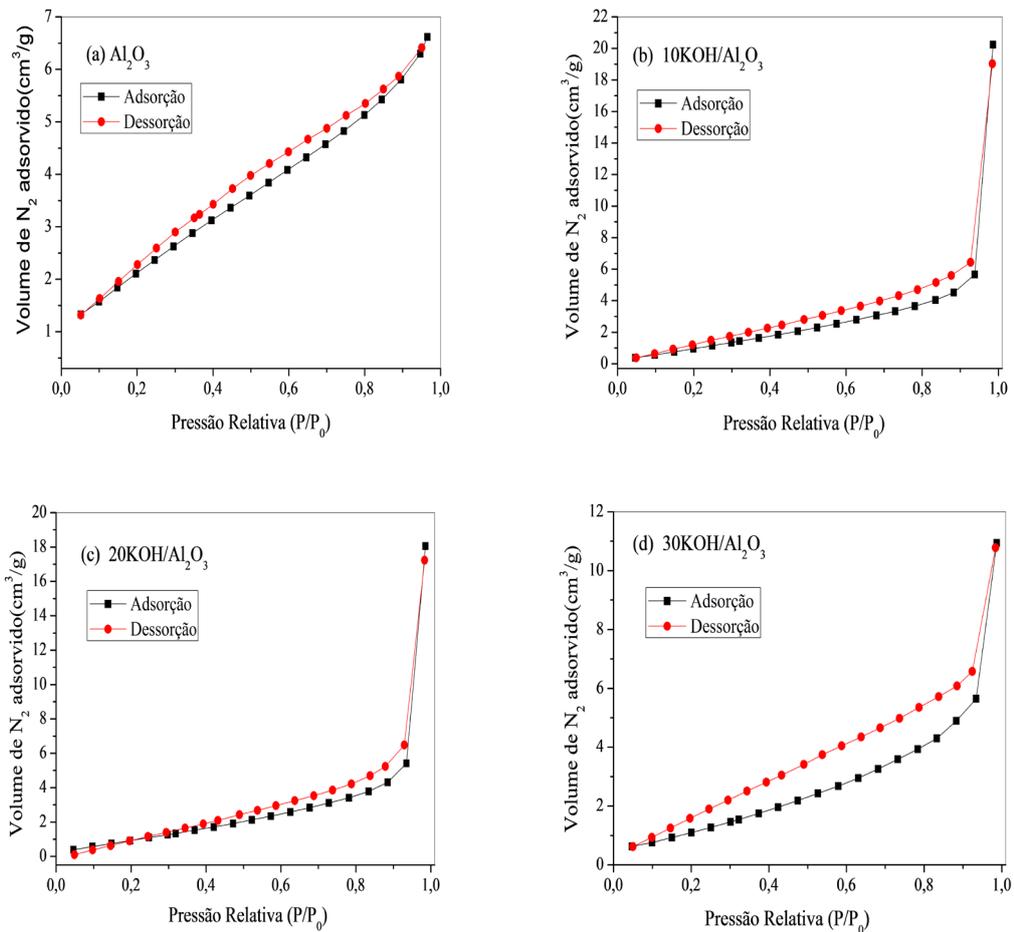


Figura 2 – Isothermas de adsorção/dessorção de nitrogênio do suporte e dos catalisadores.

A Tabela 3 apresenta os resultados de área superficial específica ( $S_{\text{BET}}$ ), diâmetro da partícula ( $D_{\text{BET}}$ ), volume de poro ( $V_p$ ) e diâmetro de poro ( $D_p$ ) para os catalisadores estudados.

Amostras	$S_{\text{BET}}$ ( $\text{m}^2/\text{g}$ )	$D_{\text{BET}}$ (nm)	$V_p$ ( $\text{cm}^3/\text{g}$ )	$D_p$ (nm)
$\text{Al}_2\text{O}_3$	5,07	297	0,009	3,41
10KOH/ $\text{Al}_2\text{O}_3$	5,27	286	0,029	3,70
20KOH/ $\text{Al}_2\text{O}_3$	4,77	316	0,027	3,70
30KOH/ $\text{Al}_2\text{O}_3$	4,91	307	0,015	3,32

Tabela 3 – Valores de área superficial específica ( $S_{\text{BET}}$ ), tamanho de partícula ( $D_{\text{BET}}$ ), volume de poro ( $V_p$ ) e diâmetro de poro ( $D_p$ ) das amostras de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  pura e impregnadas com o KOH.

\* $D_{\text{BET}}$  calculados a partir dos dados da área superficial. Densidade teórica =  $3,98 \text{ g}/\text{cm}^3$  (Lide, 1995).

Os dados apresentados na Tabela 3 mostram que a maior área superficial específica foi obtida pela amostra impregnada com 10% de hidróxido de potássio (10KOH/ $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), apresentando um aumento de 2,30% quando comparada à alumina pura ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Porém, observa-se que as amostras 20KOH/ $\text{Al}_2\text{O}_3$  e 30KOH/ $\text{Al}_2\text{O}_3$

apresentaram redução na sua área superficial de 3,45% e 1,84%, respectivamente, quando comparadas com o valor da área superficial da alumina pura.

Os resultados obtidos com a análise textural das amostras impregnadas indicam que a adição de um agente promotor ao suporte catalítico, através do processo de impregnação, pode causar diminuição ou aumento da área superficial, do tamanho de partícula, do volume de poro dependendo da concentração do hidróxido precursor do íon de potássio que foi utilizado na impregnação, como se pode observar na Tabela 3. Já quanto ao diâmetro de poro observou-se aumentos de 8,50% nas amostras impregnadas com 10% e 20% de KOH e diminuição de 2,64% na amostra impregnada com 30% de KOH em relação ao diâmetro da amostra pura ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ).

A partir do gráfico da Figura 2, observa-se que a histerese é do tipo H3, de acordo com a classificação da IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry*) (GREGG e SING, 1982). Nesse tipo de histerese, os poros apresentam formato de cunhas, cones e/ou placas paralelas. A histerese do tipo H3 é típica de materiais contendo poros entre 2 e 50 nm, denominados mesoporos.

Na Figura 3 estão apresentados os resultados dos diâmetros esféricos equivalentes em função do volume para o suporte ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) e os catalisadores impregnados via dispersão úmida (10KOH/ $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 20KOH/ $\text{Al}_2\text{O}_3$  e 30KOH/ $\text{Al}_2\text{O}_3$ ).

Por meio da Figura 3, observa-se que os catalisadores obtidos apresentam uma distribuição de tamanho de aglomerados estreita. Os catalisadores  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 10KOH/ $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 20KOH/ $\text{Al}_2\text{O}_3$  e 30KOH/ $\text{Al}_2\text{O}_3$  resultam em aglomerados com diâmetro medianos de 18,5, 16,0, 14,5 e 11,3 respectivamente.

Quando comparamos o tamanho mediano dos aglomerados dos catalisadores impregnados 10KOH/ $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 20KOH/ $\text{Al}_2\text{O}_3$  e 30KOH/ $\text{Al}_2\text{O}_3$  com o suporte  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , observa-se uma diminuição de 15,34%, 23,28% e 40,21%, respectivamente. Essa diminuição ocorreu devido à mistura feita na preparação dos mesmos e observa-se que o hidróxido de potássio (KOH) também funcionou como um agente que contribuiu para tal, pois verifica-se que o aumento da concentração de KOH torna essa diminuição mais acentuada.

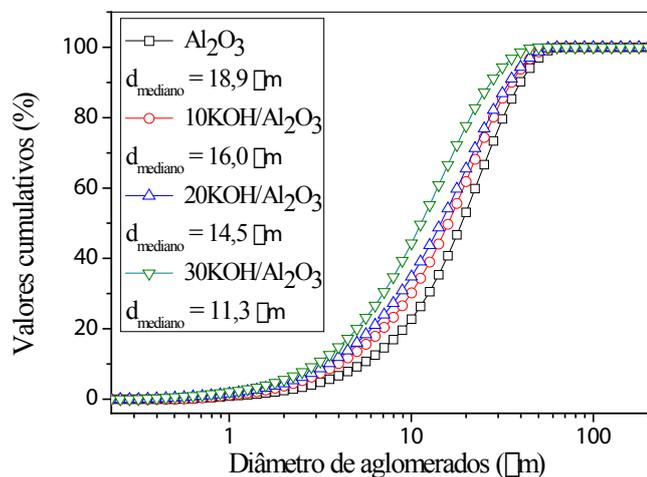


Figura 3 – Distribuição granulométrica dos catalisadores (a)  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , (b)  $\text{KOH}/\text{Al}_2\text{O}_3$ -30.

Na Tabela 4 estão apresentados os resultados obtidos para a análise cromatográfica das amostras de biodieseis produzidos, ou seja, a porcentagem de éster de cada amostra, com tempo de reação de 1 hora; enquanto na Tabela 5 estão os resultados para o tempo reacional de 2 horas.

Catalisador	Teor de éster (%)
$\text{Al}_2\text{O}_3$	19,40
10KOH/ $\text{Al}_2\text{O}_3$	98,07
20KOH/ $\text{Al}_2\text{O}_3$	95,70
30KOH/ $\text{Al}_2\text{O}_3$	97,49

Tabela 4 - Dados do teor de éster dos biodieseis obtidos com 1 hora de reação.

Catalisador	Teor de éster (%)
$\text{Al}_2\text{O}_3$	75,68
10KOH/ $\text{Al}_2\text{O}_3$	92,48
20KOH/ $\text{Al}_2\text{O}_3$	94,86
30KOH/ $\text{Al}_2\text{O}_3$	97,66

Tabela 5 - Dados do teor de éster dos biodieseis obtidos com 2 horas de reação.

A partir da Tabela 4 e 5 observa-se que a alumina não impregnada apresentou baixa atividade catalítica. No entanto, quando o composto de potássio foi impregnado sobre alumina e ativado a altas temperaturas, os catalisadores suportados mostraram excelentes atividades catalíticas, resultando em elevada conversão e produzindo biodieseis com teores de éster maiores que o limite mínimo de 96,5% estabelecido pela ANP (resolução nº 45/2014).

Sendo assim, pode-se observar que suportar o composto de potássio na alumina é uma alternativa promissora para melhorar a atividade catalítica da alumina e aumentar o rendimento em éster das reações de transesterificação. O mesmo foi

observado por Evangelista *et al.* (2016), Agarwal *et al.* (2012), Noiroj *et al.* (2009) e Xie *et al.* (2006).

O melhor resultado foi obtido pelo catalisador com menor quantidade de hidróxido de potássio e menor tempo de reação: 10KOH/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> em 1 hora. Assim, não foi possível comprovar qualquer relação entre o teor de éster final do biodiesel e a proporção de KOH do catalisador ou o tempo de reação empregado.

## 5 | CONCLUSÃO

- Diante do exposto, pode-se concluir que as impregnações foram feitas com sucesso, pois não alteraram significativamente a estrutura característica da alumina, porém houve uma diminuição dos aglomerados com a incorporação do potássio.

- Os catalisadores obtidos para todas as composições estudadas são constituídos de poros com diâmetro entre 2,5 e 100 nm, por isso, denominados mesoporos.

- As caracterizações do produto reacional atestaram a formação do biodiesel estando com o mínimo em ésteres exigidos para a qualidade estabelecida pela ANP, podendo classificar o biodiesel obtido com o catalisador impregnado por via úmida como o mais qualificado comparado ao obtido com o catalisador puro (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

## REFERÊNCIAS

ADEDOYIN, A. J.; ABIODUN, O. E.; FRANK, O. I. **Biodiesel Production from Palm Oil using Heterogeneous Base Catalyst.** IJSRSET, v. 6, n. 6, p. 80-90, 2019.

AGARWAL, M.; CHAUHANS, G.; CHAURASIA, S. P.; SINGH, K. **Study of catalytic behavior of KOH as homogeneous and heterogeneous catalyst for biodiesel production.** Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, v. 43, p. 89-94, 2012.

AHMAD, M.; KHAN, M. A.; ZAFAR, M.; SULTANA, S. **Practical handbook on biodiesel production and properties.** CRC Press, 2012. ISBN 0429086792.

ALCAÑIZ-MONGE, J.; EL BAKKALI, B.; TRAUTWEIN, G.; REINOSO, S. **Zirconia-supported tungstophosphoric heteropolyacid as heterogeneous acid catalyst for biodiesel production.** Applied Catalysis B: Environmental, v. 224, p. 194-203, 2018.

ALMEIDA, E.; ERHARDT, M.; ANDRADE, C. **Preliminary Analysis of Heterogeneous Superacid Catalysts in Biodiesel Production.** DEStech Transactions on Engineering and Technology Research, n. ecame, 2017.

AMBAT, I.; SRIVASTAVA, V.; SILLANPÄÄ, M. **Recent advancement in biodiesel production methodologies using various feedstock: A review.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 90, p. 356-369, 2018.

BANI, O.; ARYANI, N.; KABAN, G. S. **Preparation of activated carbon-based catalyst from candlenut shell impregnated with KOH for biodiesel production.** In: Key Engineering Materials, Trans Tech Publ, p.262-267, 2018.

- BENATTI, G. S. D. S.; BUAINAIN, A. M.; CAVALCANTE FILHO, P. G. **A cadeia produtiva agroindustrial do biodiesel no Brasil**. DRd - Desenvolvimento Regional em debate, v. 9, p. 772-799, 2019.
- BHANJA, P.; BHAUMIK, A. **Materials with Nanoscale Porosity: Energy and Environmental Applications**. The Chemical Record, v. 19, n. 2-3, p. 333-346, 2019.
- BOZ, N.; DEGIRMENBASI, N.; KALYON, D. M. **Conversion of biomass to fuel: Transesterification of vegetable oil to biodiesel using KF loaded nano- $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  as catalyst**. Applied Catalysis B: Environmental, v. 89, p. 590-560, 2009.
- CASIELLO, M.; CATUCCI, L.; FRACASSI, F.; FUSCO, C.; LAURENZA, A. G.; DI BITONTO, L.; PASTORE, C.; D'ACCOLTI, L.; NACCI, A. **ZnO/Ionic Liquid Catalyzed Biodiesel Production from Renewable and Waste Lipids as Feedstocks**. Catalysts, v. 9, n. 1, p. 71, 2019.
- COSTA-FELIX, R. P.; FIGUEIREDO, M. K.; ALVARENGA, A. V. **An ultrasonic method to appraise diesel and biodiesel blends**. Fuel, v. 227, p. 150-153, 2018.
- EVANGELISTA, J. P. da C.; GONDIM, A. D.; DI SOUZA, L.; ARAUJO, A. S. **Alumina-supported potassium compounds as heterogeneous catalysts for biodiesel production: a review**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 59, p. 887-894, 2016.
- DA SILVA, C. C.; POLLI, S. A. **O programa nacional de produção e uso do biodiesel-pnpb e a atuação da agricultura familiar**. Anais do Encontro Mãos de Vida, v. 5, n. 1, 2019.
- DANTAS, J.; LEAL, E.; CORNEJO, D.; KIMINAMI, R.; COSTA, A. **Biodiesel production evaluating the use and reuse of magnetic nanocatalysts NiO. 5ZnO. 5Fe2O4 synthesized in pilot-scale**. Arabian Journal of Chemistry, 2018.
- FERNANDEZ, R.; JODOIN, B. **Cold Spray Aluminum–Alumina Cermet Coatings: Effect of Alumina Morphology**. Journal of Thermal Spray Technology, v. 28, n. 4, p. 737-755, 2019.
- GULDHE, A.; SINGH, P.; ANSARI, F. A.; SINGH, B.; BUX, F. **Biodiesel synthesis from microalgal lipids using tungstated zirconia as a heterogeneous acid catalyst and its comparison with homogeneous acid and enzyme catalysts**. Fuel, v. 187, p. 180-188, 2017.
- HERNÁNDEZ-MONTELONGO, R.; GARCÍA-SANDOVAL, J. P.; GONZÁLEZ-ÁLVAREZ, A.; DOCHAIN, D.; AGUILAR-GARNICA, E. **Biodiesel production in a continuous packed bed reactor with recycle: A modeling approach for an esterification system**. Renewable energy, v. 116, p. 857-865, 2018.
- KIM, C.; KIM, S. H.; SUBRAMANIAN, G. O.; JANG, C.; PARK, K. M. **Integrity of Alumina Catalytic Support Prepared by Anodization in a High Temperature Steam Environment**. Metals and Materials International, v. 25, n. 2, p. 324-332, 2019.
- LI, Z.; DING, S.; CHEN, C.; QU, S.; DU, L.; LU, J.; DING, J. **Recyclable Li/NaY zeolite as a heterogeneous alkaline catalyst for biodiesel production: Process optimization and kinetics study**. Energy Conversion and Management, v. 192, p. 335-345, 2019.
- LIDE, D. R. C. **Handbook of Chemistry and Physics**. Edition 75 th, 1995.
- MAHMOUDIAN, M.; MARJANI, A. P.; HASANZADEH, R.; MORADIAN, M.; SHISHAVAN, S. M. **Optimization of mechanical properties of in situ polymerized poly (methyl methacrylate)/alumina nanoparticles nanocomposites using Taguchi approach**. Polymer Bulletin, p. 1-18, 2019.

- MARTINEZ, K. A.; STEWART, M. R.; DEAN, J.; REMSEN, E. E. **Small Molecule Adsorption on Colloidal Alumina and Zirconia Abrasives Used in Chemical-Mechanical Planarization (CMP) Slurries**. In: Meeting Abstracts, The Electrochemical Society, p.1033-1033, 2019.
- MENDONÇA, I. M.; PAES, O. A.; MAIA, P. J.; SOUZA, M. P.; ALMEIDA, R. A.; SILVA, C. C.; DUVOISIN JR, S.; DE FREITAS, F. A. **New heterogeneous catalyst for biodiesel production from waste tucumã peels (*Astrocaryum aculeatum* Meyer): Parameters optimization study**. Renewable energy, v. 130, p. 103-110, 2019.
- NOIROJ, K.; INTARAPONG, P.; LUENGNARUEMITCHAI, A.; JAI-IN, S. **A comparative study of KOH/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and KOH/NaY catalysts for biodiesel production via transesterification from palm oil**. Renewable Energy, v. 34, p. 1145-1150, 2009
- PRINSEN, P.; LUQUE, R.; GONZÁLEZ-ARELLANO, C. **Zeolite catalyzed palmitic acid esterification**. Microporous and Mesoporous Materials, v. 262, p. 133-139, 2018.
- RAMOS, L. P.; KOTHE, V.; CÉSAR-OLIVEIRA, M.; MUNIZ-WYPYCH, A.; NAKAGAKI, S.; KRIEGER, N.; WYPYCH, F.; CORDEIRO, C. **Biodiesel: Matérias-primas, tecnologias de produção e propriedades combustíveis**. Rev. Virtual Quim, v. 9, n. 1, p. 317-369, 2017.
- SOUZA, D. S. M. **Análise dos efeitos econômicos do biodiesel no desenvolvimento do nordeste brasileiro**. 2019. 29. (Doutorado). Professor do Programa de Pós-graduação em Economia da Universidade Federal do Pará (PPGE/UFPa), Faculdades Metropolitanas Unidas (FMU), Pará.
- SULAIMAN, N. F.; BAKAR, W. A. W. A.; TOEMEN, S.; KAMAL, N. M.; NADARAJAN, R. **In depth investigation of bi-functional, Cu/Zn/γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalyst in biodiesel production from low-grade cooking oil: Optimization using response surface methodology**. Renewable energy, v. 135, p. 408-416, 2019.
- TAUFIQ-YAP, Y. H.; ABDULLAH, N. F.; BASRI, M. **Biodiesel production via transesterification of palm oil using NaOH/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalysts**. Sains Malaysiana, v. 40, n. 6, p. 587-594, 2011.
- VARGHESE, R.; HENRY, J. P.; IRUDAYARAJ, J. **Ultrasonication-assisted transesterification for biodiesel production by using heterogeneous ZnO nanocatalyst**. Environmental Progress & Sustainable Energy, v. 37, n. 3, p. 1176-1182, 2018.
- XIE, W.; PENG, H.; CHEN, L. **Transesterification of soybean oil catalyzed potassium loaded on alumina as a solid-base catalyst**. Applied Catalysis, v. 300, p. 67-74, 2006.
- YUSUFF, A. S.; POPOOLA, L. T. **Optimization of biodiesel production from waste frying oil over alumina supported chicken eggshell catalyst using experimental design tool**. Acta Polytechnica, v. 59, n. 1, p. 88-97, 2019.
- ZORTEA, R. B.; MACIEL, V. G.; PASSUELLO, A. **Sustainability assessment of soybean production in Southern Brazil: A life cycle approach**. Sustainable Production and Consumption, v. 13, p. 102-112, 2018.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

AIT 1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 11

Alumina 97, 98, 99, 101, 102, 103, 105, 107, 108, 109, 110, 111, 112

Áreas Degradadas 190, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198

### B

Biocompatible Polymers 135

Biodegradáveis 114, 115

Biodiesel 97, 98, 99, 100, 101, 104, 110, 111, 112

### C

Camada fértil do solo 190, 194

CanSat 39, 40, 43, 44, 45

Catalisadores Impregnados 98, 105, 106, 108

Cerâmica 102, 174, 175, 176, 177, 178, 188, 189

Controle de qualidade 174, 177, 178, 184, 188

### D

Democracia energética 47, 51, 52

Desenvolvimento 15, 47, 52, 53, 54, 55, 56, 58, 60, 61, 63, 64, 67, 75, 98, 102, 111, 112, 114, 120, 122, 152, 164, 178, 190, 191, 192, 193, 194, 196, 197, 236

### E

Embalagens 114, 115, 122

Engenharia baseada em conhecimento 31

Engenharia Biomédica 68, 70, 72, 74

Engenharia de Sistema 39

Espectroscopia de bioimpedância elétrica 77, 78, 81, 83, 88, 93

Estradas 190, 200

### F

ferramentas da qualidade 152, 153, 156, 162

Filmes 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122

Flambagem 13, 15, 18, 20, 21, 24, 27, 28

Fonte de corrente Howland 77, 89

Fonte não linear 77

## G

Gestões estratégicas 152

## I

Inspetores Eletrônicos 162, 163, 168, 169, 171, 172, 173

## K

KAOS 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67

## M

Modeling 30, 32, 34, 35, 36, 37, 44, 60, 61, 64, 66, 67, 111, 135, 136, 139

## N

NASTRAN 13, 15, 16, 19, 20, 21, 22, 25, 26, 27, 28, 29

## O

Olaria 174, 175, 182, 183, 184, 185, 186, 187

Ontologia 30, 31

Otimização 13, 15, 16, 18, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 27, 28, 29, 91, 94, 162

## P

PDCA 153, 154, 155, 158, 159, 162, 163, 164, 166, 173

Planejamento 55, 67, 114, 116, 117, 118, 152, 153, 155, 158, 164, 177, 178

Polymeric Films 134, 135

Processos 1, 63, 69, 102, 105, 117, 120, 157, 158, 160, 162, 163, 164, 165, 173, 178, 190, 192, 193, 196, 209

Projeto 1, 13, 15, 16, 17, 18, 19, 25, 61, 62, 70, 71, 74, 103, 152, 156, 177, 191, 192, 207, 208, 209, 219, 235

Prontidão 1

## R

Reaproveitamento 190, 192, 194, 195, 196

Rede de Petri 60, 64

Requisitos 1, 39, 60, 61, 62, 63, 65, 67, 68, 70, 74, 75, 79, 90, 178, 179, 188, 189

Rodovias 190, 191, 194

## S

Saúde 53, 68, 70, 71, 74, 75

Sistemas Complexos 31, 38, 60, 62  
Sistemas de satélite 30, 31  
Sistemas Embarcados 60, 61, 63, 64, 65, 67  
Stakeholders 1, 2, 3, 4, 5, 8, 11, 12, 39, 40, 41, 43, 44, 45  
SysML 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67

## T

Tecnologia 37, 38, 47, 48, 49, 50, 56, 58, 68, 69, 74, 128, 134, 174, 175, 189, 190, 208, 236  
Tecnologia hidrocínética 47, 48, 49, 56  
Tissue engineering 135, 144, 145  
Topsoil 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198  
transição energética 47, 55, 58  
Transição energética 48  
Transport phenomena 134, 135

 **Atena**  
Editora

**2 0 2 0**