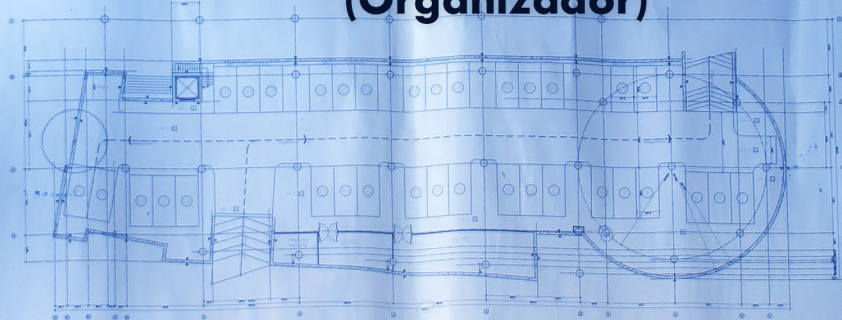


# Engenharias, Ciência e Tecnologia 2

**Luís Fernando Paulista Cotian  
(Organizador)**



**Luís Fernando Paulista Cotian**

(Organizador)

# **Engenharias, Ciência e Tecnologia**

## **2**

Atena Editora

2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Geraldo Alves e Lorena Prestes

Revisão: Os autores

#### Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

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

E57 Engenharias, ciência e tecnologia 2 [recurso eletrônico] / Organizador  
Luís Fernando Paulista Cotian. – Ponta Grossa (PR): Atena  
Editora, 2019. – (Engenharias, Ciência e Tecnologia; v. 2)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia.

ISBN 978-85-7247-085-8

DOI 10.22533/at.ed.858193101

1. Ciência. 2. Engenharia. 3. Inovações tecnológicas.  
4. Tecnologia. I. Cotian, Luís Fernando Paulista. II. Série.

CDD 658.5

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

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de  
responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

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.

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

## APRESENTAÇÃO

A obra “Engenharia, Ciência e Tecnologia” aborda uma série de livros de publicação da Atena Editora. O volume II apresenta, em seus 15 capítulos, conhecimentos relacionados a Gestão de Resíduos relacionadas à engenharia de produção nas áreas de Gestão de Recursos Naturais, Produção mais Limpa e Ecoeficiência e Gestão de Resíduos Industriais e Prevenção de Poluição.

As áreas temáticas de Gestão de Resíduos relacionadas tratam de temas relevantes para a prevenção de poluição. As análises e aplicações de novos estudos proporciona que estudantes utilizem conhecimentos tanto teóricos quanto tácitos na área acadêmica ou no desempenho da função em alguma empresa.

Para atender os requisitos do mercado as organizações precisam levar em consideração a área de sustentabilidade e desenvolvimento sustentável, sejam eles do mercado ou do próprio ambiente interno, tornando-a mais competitiva e seguindo a legislação vigente.

Aos autores dos capítulos, ficam registrados os agradecimentos do Organizador e da Atena Editora, pela dedicação e empenho sem limites que tornaram realidade esta obra, que retrata os recentes avanços científicos do tema.

Por fim, espero que esta obra venha a corroborar no desenvolvimento de novos conhecimentos de Gestão de Resíduos e auxilie os estudantes e pesquisadores na imersão em novas reflexões acerca dos tópicos relevantes na área de engenharia de produção.

Boa leitura!

Luís Fernando Paulista Cotian

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
AVALIAÇÃO DA ADSORÇÃO COM CARVÃO VEGETAL PARA A PURIFICAÇÃO DE BODIESEL OBTIDO A PARTIR DE ÓLEOS DE MILHO	
<i>Maria Carolina Sérgi Gomes</i>	
<i>Juliana Guerra Sgorlon</i>	
<i>Maraísa Lopes de Menezes</i>	
<i>Vassula Belinato Paiva</i>	
<i>Fernanda Nunes de Proença</i>	
<i>Mariane Borges Gheller</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8581931011</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>11</b>
AVALIAÇÃO DA GRANULOMETRIA DO BAGAÇO DE MALTE SOBRE A ADSORÇÃO DO CORANTE DE AZUL DE METILENO UTILIZANDO COLUNA DE LEITO FIXO	
<i>Jordana Benfíca Silva</i>	
<i>Heitor Otacílio Nogueira Altino</i>	
<i>Renata Nepomuceno da Cunha</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8581931012</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>18</b>
AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA CONCENTRAÇÃO DE PARTICULADO NA QUEDA DE PRESSÃO DE UM CICLONE LAPPLE	
<i>Rosilanny Soares Carvalho</i>	
<i>Daiane Ribeiro Dias</i>	
<i>João Carlos Gonçalves</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8581931013</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>30</b>
AVALIAÇÃO DO TRANSPORTE DE SEDIMENTOS: SEDIM 2.0	
<i>Roberta de Almeida Costa Campeão</i>	
<i>Mônica de Aquino Galeano Massera da Hora</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8581931014</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>38</b>
AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DO DESEMPENHO DE UM CICLONE ADAPTADO COM BOCAIS ATOMIZADORES DE ÁGUA PARA COLETAR MATERIAL PARTICULADO PROVENIENTE DA QUEIMA DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR	
<i>Ana Elisa Achilles</i>	
<i>Vádila Giovana Guerra Béttega</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8581931015</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>55</b>
DESEMPENHO DE FILTRO TIPO BOLSA PARA SEPARAÇÃO DE RESÍDUOS DE HERBICIDAS	
<i>Daniela Teixeira Chaves</i>	
<i>José Roberto Delalibera Finzer</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8581931016</b>	

**CAPÍTULO 7 ..... 71**

DISTRIBUIÇÃO DE CHUMBO TOTAL EM AMOSTRAS DE SEDIMENTOS E SUBSTÂNCIAS HÚMICAS EXTRAÍDAS DE SEDIMENTOS COLETADOS EM MANANCIAS COM DIFERENTES TIPOS DE ÁGUA DA BACIA AMAZÔNICA

*Tania Machado da Silva*  
*Bruno Cesar Prior Rocha*  
*Wilyane Silva Figueiredo*  
*Luiz Fabrício Zara*  
*Gustavo Rocha de Castro*  
*André Henrique Rosa*

**DOI 10.22533/at.ed.8581931017**

**CAPÍTULO 8 ..... 87**

ESTUDO DAS CONDIÇÕES PARA A SÍNTESE DE BIODIESEL A PARTIR DO ÓLEO DE ABACATE E PEROVSKITA RESIDUAL ( $Ca_2Fe_2O_5$ )

*Rondinele Aberto dos Reis Ferreira*  
*Juarez Hilleshein Júnior*  
*Priscila Pereira Silva*

**DOI 10.22533/at.ed.8581931018**

**CAPÍTULO 9 ..... 102**

ESTUDO DE CASO EM OBRA NA CIDADE DE MACEIÓ: PROPOSTA PARA MELHORIA NO DESTINO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL

*Kelliany Medeiros Costa*  
*José Leandro da Silva Duarte*  
*Carmem Lúcia de Paiva e Silva Zanta*

**DOI 10.22533/at.ed.8581931019**

**CAPÍTULO 10 ..... 112**

COMPARAÇÃO ENTRE MODELOS DE VELOCIDADE DE SEDIMENTAÇÃO APLICADOS EM EMULSÕES A/O MONODIPERSAS

*Lucas Henrique Pagoto Deoclecio*  
*Ana Paula Meneguelo*  
*Daniel Cunha Ribeiro*

**DOI 10.22533/at.ed.85819310110**

**CAPÍTULO 11 ..... 128**

POTÊNCIA NECESSÁRIA AO RALEAMENTO DA VEGETAÇÃO NO SEMIÁRIDO

*Márcio Waltzer Timm*  
*Antônio Lilles Tavares Machado*  
*Roberto Lilles Tavares Machado*  
*Rafael Gonçalves Tonucci*

**DOI 10.22533/at.ed.85819310111**

**CAPÍTULO 12 ..... 137**

SANEAMENTO: EVOLUÇÃO DAS OBRAS DE INFRAESTRUTURA E MELHORIA DA QUALIDADE DE VIDA DO BAIRRO PARAVIANA EM BOA VISTA/RR

*Francilene Cardoso Alves Fortes*  
*Emerson Lopes de Amorim*  
*Iury Costa Aragão*  
*Thiago Barreto Tavares*  
*Cleiton Leandro Santana*  
*Maikon Barros de Lima*

**DOI 10.22533/at.ed.85819310112**

<b>CAPÍTULO 13.....</b>	<b>152</b>
SANEAMENTO: IMPLICAÇÕES E EXECUÇÕES NAS OBRAS DE SANEAMENTO BÁSICO NO BAIRRO CINTURÃO VERDE NO MUNICÍPIO DE BOA VISTA/RR	
<i>Francilene Cardoso Alves Fortes</i>	
<i>Emerson Lopes de Amorim</i>	
<i>Simone Vieira Vaz</i>	
<i>Geislani da Luz Araujo</i>	
<i>Numeriano Dantas de Medeiros</i>	
<i>Fabio Rodrigues de Jesus</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.85819310113</b>	
<b>CAPÍTULO 14.....</b>	<b>166</b>
SINTONIA ÓTIMA DO CONTROLADOR PID APLICADO AO CONVERSOR CC-CC BUCK	
<i>Rhonei Patric dos Santos</i>	
<i>Lucas Sampaio Garcia</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.85819310114</b>	
<b>CAPÍTULO 15.....</b>	<b>178</b>
APROVEITAMENTO DO RESÍDUO DO CAROÇO DE AZEITONA PARA A PRODUÇÃO DE TIJOLO SOLO-CIMENTO	
<i>Luíza Silveira Cabral</i>	
<i>Manoela Silva Lima Mariotini Carotta</i>	
<i>Érica Vieira Barbosa</i>	
<i>Juliana Fusco Pachani dos Santos</i>	
<i>Ana Carla Pinheiro Lima</i>	
<i>Cristiane de Souza Siqueira Pereira</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.85819310115</b>	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR .....</b>	<b>189</b>

## ESTUDO DAS CONDIÇÕES PARA A SÍNTESE DE BIODIESEL A PARTIR DO ÓLEO DE ABACATE E PEROVSKITA RESIDUAL ( $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$ )

### Rondinele Aberto dos Reis Ferreira

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade  
de Engenharia Química  
Uberlândia – MG

### Juarez Hilleshein Júnior

Universidade Federal do Triângulo Mineiro,  
Departamento de Engenharia Química  
Uberaba - MG

### Priscila Pereira Silva

Universidade Federal do Triângulo Mineiro,  
Departamento de Engenharia Química  
Uberaba - MG

**RESUMO:** O biodiesel é um combustível produzido a partir de fontes renováveis, como óleos e gorduras, através da reação de transesterificação. Ele se apresenta como uma promissora e importante fonte de energia para o Brasil e, por isso, devem ser estudadas maneiras de produzi-lo com maior eficácia. O objetivo deste trabalho se alinha com esta proposta, visto que se realizou um planejamento experimental para o estudo das condições da reação de transesterificação do óleo de abacate, matéria-prima altamente disponível no país, em bateladas utilizando catalisador heterogêneo produzido a partir de resíduos. A equação do rendimento em função dos parâmetros apresentou um coeficiente de ajuste de 0,52 com 90% de confiança. O acréscimo de temperatura

aumentou a porcentagem de biodiesel formado enquanto que a melhor relação molar metanol/óleo foi de 8:1. São necessários mais estudos acerca das condições operacionais para a transesterificação do óleo de abacate. No entanto, os resultados deste estudo norteiam a continuidade dos trabalhos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Catálise heterogênea; planejamento; resíduos; transesterificação.

**ABSTRACT:** Biodiesel is a fuel produced from renewable sources, such as oils and fats, through the transesterification reaction. It presents itself as a promising and important source of energy for Brazil and, therefore, ways to produce it with greater efficiency should be studied. The objective of this work is lined up with this proposal, since an experimental design was carried out to study the reaction conditions of avocado oil batch transesterification, a highly available feedstock in the country, using a heterogeneous catalyst produced from residues. The equation of the yield, as a function of the parameters, presented an adjustment coefficient of 0.52 with a 90% confidence. An increase in temperature incremented the biodiesel formed percentage while the best methanol-oil molar ratio was 8:1. Further studies on the operational conditions for the avocado oil transesterification are necessary. However, the results of this study guide the continuity of the work.



**KEYWORDS:** Heterogeneous catalysis; planning; residues; transesterification.

## 1 | INTRODUÇÃO

### 1.1 Óleos vegetais

A utilização de óleos vegetais para diversos fins ocorre desde a antiguidade nas civilizações egípcia e greco-romanas, sendo que a extração ocorria de maneira arcaica e em pequenas quantidades, como uma atividade agrícola. Em meados do século XIX, com o advento da Revolução Industrial e, conseqüentemente, de novas tecnologias, o processo de extração de óleos passou a ser realizado por prensas hidráulicas, conferindo altos rendimentos ao processo. Neste mesmo período iniciou-se a extração com o uso de solventes, o que facilitou o processo, o tornou mais barato e elevou ainda mais a produtividade e pureza. As formas como esses componentes se apresentam podem variar entre sólidos e líquidos em temperatura ambiente e isso se deve à estrutura química do triacilglicerol. Sendo assim, são líquidos e considerados óleos os compostos que possuem até quatro insaturações entre carbonos, enquanto que as gorduras têm maior ponto de fusão e são sólidas por terem maior número de saturações em sua cadeia (Gauto & Rosa, 2011).

#### 1.1.1 Óleo de abacate

O abacate é um fruto que chegou ao Brasil no ano de 1809 e atualmente tem o cultivo com finalidade comercial em sete estados (Whiley et al., 2002). Os nutrientes presentes no abacate podem variar por vários aspectos, tais como: clima, estado de maturidade e cultivo. Desta forma, as quantidades de lipídios, em base úmida, presentes nos frutos atingem de 2,5% em espécies caribenhas até 25% nas espécies mexicanas, podendo ser ainda maiores. Em comparação, a azeitona, que dá origem ao azeite de oliva, apresenta quantidades de 14% em frutos colhidos ainda verdes e de 18 a 25% nos que atingiram o estado de maturação (Whiley et al., 2002).

Ferrari (2015) afirmou que “a extração do óleo de abacate a partir de frutos da variedade *Hass* utilizando o processo de obtenção de azeite de oliva adaptado é possível e ambos podem ser produzidos na mesma instalação industrial”, o que possibilita o fornecimento de mais produtos com necessidade de baixo investimento.

As aplicações mais comuns para o óleo de abacate são as indústrias cosmética e farmacêutica e pode ter uso culinário, quando refinado. Além de facilitar a penetração na pele e permitir a formação de emulsões finas, apresenta também uma elevada quantidade de matéria insaponificável em relação a outros óleos vegetais, os quais atuam em problemas dermatológicos (Tango e Turatti, 1991).

De acordo com Whiley et al. (2002), os quatro principais ácidos graxos presentes no óleo de abacate que compõe os lipídios totais são o oleico monoinsaturado (C18:1), palmítoleico (C16:1), linoleico poli-insaturado (C18:2) e palmítico saturado (C16).

## 1.2 Catalisadores heterogêneos

De acordo com Souza e Farias (2013), grande parte das reações químicas industriais faz uso de catalisadores heterogêneos, sejam em reações de fase líquida ou gasosa. Além disso, afirma que aqueles que possuem maiores superfícies de contato são capazes de reduzir consideravelmente a energia de ativação das reações químicas. Um diferencial dos catalisadores heterogêneos é a especificidade, ou seja, diferentes catalisadores podem formar diversos produtos mesmo que se utilizem os mesmos reagentes.

Os catalisadores heterogêneos podem ser divididos em ácidos e básicos, sendo que os últimos, como a ferrita de cálcio, atuam de duas formas na reação de transesterificação do biodiesel. Eles podem ser uma base de Brønsted, abstraindo um próton alcoólico, e também como base de Lewis, doando um par de elétrons para o álcool e formando espécies intermediárias, os alcóxidos. Além disso, são necessárias menores quantidades dos catalisadores básicos na reação de transesterificação se comparados aos catalisadores ácidos; no entanto, estes possuem a vantagem de serem utilizados também para reações de esterificação (Ramos et al., 2017).

A cinética das reações químicas heterogêneas também é influenciada pela presença de alguns sítios específicos, considerados preferenciais pelos reagentes devido à heterogeneidade da superfície da matriz porosa do catalisador. Esta teoria, denominada como a teoria dos sítios ativos, pode ser comprovada pelo envenenamento catalítico, que consiste na reação dos sítios ativos com um composto diferente dos reagentes, diminuindo a eficiência do processo reacional (Souza e Farias, 2013).

## 1.3 Ferrita de Cálcio - $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$

A ferrita de cálcio é uma perovskita, um tipo de material cerâmico, que pode ser encontrada na natureza como um mineral ortorrômbico raro conhecido como Srebrodolskita. A ferrita de cálcio sintetizada por reação sólida em duas diferentes temperaturas foi comprovada por difração de raios X como ortorrômbica e verificou-se que houve uma redução dos parâmetros de rede da estrutura cristalina de 1100 para 1300 °C. A estrutura cristalina da ferrita de cálcio consiste na intercalação entre sítios octaédricos contendo ferro com camadas de cálcio e ferro arranjados em tetraedro e novamente com cálcio (Berastegui et al., 1999). Kawashima et al. (2008) testaram a ferrita de cálcio e outros catalisadores sintetizados em laboratório para a produção de biodiesel usando óleo de colza e metanol em condições brandas de temperatura, obtendo rendimento de 92% em ésteres metílicos para o  $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$ .

## 1.4 Biodiesel

O biodiesel pode ser classificado como um combustível formado por uma mistura de ésteres de ácidos graxos majoritariamente obtido a partir da transesterificação catalítica de óleos vegetais a partir de hidróxidos alcalinos como catalisadores (Knothe

e Razon, 2017).

A rota química utilizada atualmente para a formação de biodiesel é a da catálise homogênea com hidróxidos. No entanto, etapas de purificação de ambos os produtos da reação são necessárias gerando águas residuais com sais e glicerina com até 80% de pureza. Gauto e Rosa (2011) apontam que o processo mais comum de produção do biodiesel no Brasil é via transesterificação metílica, utilizando uma fonte de triglicerídeos e um catalisador. E ainda, que “são usados como biocombustível e, para cada 100 m<sup>3</sup> de óleo vegetal processado por essa rota, são obtidos 10 m<sup>3</sup> de glicerol”. Além disso, consideram a rota etílica mais vantajosa no Brasil, devido à maior disponibilidade do etanol. No entanto, ainda não se separam bem os produtos e são necessárias melhorias no processo como um todo. Ramos et al. (2017) apontam que o metanol apresenta algumas vantagens em relação ao etanol na reação de transesterificação, pois apresenta menor custo, ponto de ebulição e não forma azeótropos com a água. Além do mais, o etanol gera nucleófilos com maior obstrução pelos ésteres no processo de catálise homogênea.

Tendo em vista a atual realidade brasileira de produção e consumo de biodiesel, o escopo deste trabalho é avaliar as condições reacionais da transesterificação do óleo de abacate, fruto típico de regiões tropicais e de alta disponibilidade, utilizando um catalisador sólido sintetizado a partir de materiais residuais.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Preparo dos catalisadores

Lavaram-se cascas de ovos recolhidas de uso doméstico em água a temperatura ambiente e levou-se o material à estufa para secagem a 70 °C. Em seguida, realizou-se a moagem com pistilo em um almofariz e separou-se o material em uma peneira de 250  $\mu\text{m}$  com o objetivo de aumentar a área de contato. Retornou-se o retido na peneira ao almofariz até que todo o pó de casca possuísse aproximadamente o mesmo tamanho de partícula. Calcinou-se o material em forno mufla configurada inicialmente a 200 °C por 15 minutos. Repetiu-se o procedimento para as temperaturas de 400 e 800 °C e, finalmente, manteve-se a 1050 °C por 4 horas para eliminar os resíduos proteicos e demais impurezas presentes no material e dar origem ao carbonato de cálcio.

O resíduo de ferro foi recolhido em uma serralheria na forma de agregados. Triturou-se o resíduo com pistilo em um almofariz até que atingisse 250  $\mu\text{m}$ . Realizou-se então a oxidação do pó de ferro em solução aquosa de ácido acético glacial 50% em volume (v/v). O ferro foi mantido na solução por um período de 24 horas com agitações intermitentes. Evaporou-se a solução em chapa aquecedora e capela e secou-se em estufa configurada a 200 °C.

Numa primeira etapa realizou-se a mistura física dos óxidos de ferro e carbonato de cálcio provenientes dos materiais residuais na forma sólida a uma razão molar de

1:2 em um almofariz com pistilo por 10 minutos. O processo de calcinação foi realizado em ar atmosférico, a uma taxa de aquecimento constante de 2 °C/min até atingir 900 °C, e com taxa de 10 °C/min até 1050 °C, temperatura em que permaneceu por 4 horas para a obtenção do  $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$  (Kawashima et al., 2008).

Sintetizou-se o mesmo catalisador a partir dos reagentes laboratoriais de alta pureza a fim de comparação dos resultados através de difração de raios X. Utilizou-se o óxido de ferro e o carbonato de cálcio nas mesmas proporções e juntamente à metodologia proposta por Kawashima et al. (2008).

## 2.2 Difração de Raios X

Os catalisadores foram caracterizados por técnica de DRX utilizando comprimento de onda ( $\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$ ) e um difratômetro Shimadzu XRD-6000 com radiação  $\text{CuK}\alpha$ . As varreduras foram realizadas em um intervalo  $2\theta$  de 5 a  $90^\circ$  com passo de  $0,02^\circ$  e velocidade de  $1,2^\circ/\text{min}$ . Para a geração dos gráficos de comparação e tratamento dos dados, utilizou-se o *OriginPro 8.5* e o banco de dados de cristais inorgânicos ICSD FIZ Karlsruhe, respectivamente.

## 2.3 Testes do óleo de abacate

Foram realizados testes em triplicata das propriedades físico-químicas do óleo de abacate comercial da marca Duom, extraído através de prensagem a frio, seguindo os procedimentos estabelecidos pelo Instituto Adolfo Lutz (2008). O teste de acidez indica o estado de conservação do óleo, visto que os processos de degradação dos glicerídeos alteram a concentração de hidrogênio pela presença de ácidos graxos livres. Pesou-se 2 g do óleo de abacate e após adicionados 25 mL de solução éter-álcool (2:1), realizou-se a titulação com hidróxido de sódio (NaOH) 0,1 M e fenolftaleína. O índice de acidez (IA) foi calculado por (1):

$$IA = \frac{(5,6 * V * f)}{m} \quad (1)$$

Sendo V o volume de NaOH em mL, f o fator de correção da solução de NaOH e m a massa de óleo em g.

O índice de peróxidos determina o estado de oxidação inicial do óleo. Estes compostos geralmente estão presentes no óleo devido aos processos de oxidação. Foram preparadas as soluções saturada de iodeto de potássio (KI), amido 1% (m/v) e ácido acético-clorofórmio (3:2). Pesou-se aproximadamente 5 g de óleo, acrescentou-se 30 mL da solução ácido-clorofórmio e 0,5 mL da solução KI e manteve-se por 60 segundos ao abrigo da luz. Foram adicionados 30 mL de água destilada e efetuou-se a titulação com tiosulfato de sódio (0,1 N) sob agitação constante. Ao perceber o desaparecimento do amarelo escuro, despejou-se 0,5 mL de amido 1% e continuou-se a titulação até a cor azul desaparecer. O mesmo procedimento foi realizado para um branco analítico sem a amostra de óleo. O índice de peróxidos (IP) foi calculado de

acordo com a equação (2):

$$IP = \frac{(A - B) * N * f * 1000}{m} \quad (2)$$

Onde A e B são os volumes, em mL, de tiosulfato gastos na titulação da amostra e do branco, respectivamente, N e f são a concentração e fator de correção da solução de tiosulfato e m a massa de óleo em g.

Determinou-se também a densidade do óleo por picnometria a 25 °C. Posteriormente, sabendo a composição dos ácidos graxos do óleo de abacate prensado a frio (tabela 1), determinado por Eyres et al. (2001), calculou-se a massa molar do óleo ( $MM_{\text{óleo}}$ ) seguindo a metodologia de Chaves (2008) de acordo com a equação 3:

$$MM_{\text{óleo}} = 38,04 + 3 \sum \frac{(\%AG * MM_{AG})}{\sum (\%AG)} \quad (3)$$

Onde %AG é a porcentagem do ácido graxo presente e  $MM_{AG}$  a massa molar do mesmo em g/mol. A porcentagem utilizada nos cálculos foi feita pela média entre as faixas e corrigida para um total de 100%.

Ácido Graxo	Estrutura Carbônica	% Ácido Graxo
Palmítico	16:0	12.5-14.0
Palmitoleico	16:1	4.0-5.0
Estearico	18:0	0.2-0.4
Oleico	18:1	70-74*
Elaídico	18:1	-
Linoleico	18:2	9.0-10.0
Alfa-linolênico	18:3	0.3-0.6
Eicosanoico	20:0	0,1
Gadoleico	20:1	0,1

Tabela 1. Composição em ácido graxo do óleo de abacate.

\* Porcentagem inclui o isômero em 5% (Elaídico).

## 2.4 Planejamento de experimentos

O planejamento de experimentos foi usado para otimizar as condições operacionais para o rendimento em porcentagem de ésteres na reação de transesterificação usando  $Ca_2Fe_2O_5$  como catalisador. Os experimentos foram conduzidos de acordo com um planejamento composto central com quatro pontos centrais, resultando em 18 experimentos, usando alfa de ortogonalidade ( $\alpha$ ) de 1,41421.

Os parâmetros do processo foram definidos como temperatura de reação (50 a 70 °C), tempo de reação (4 a 10 h) e relação molar metanol/óleo (2:1 a 14:1). A seleção dos níveis foi definida de acordo com a literatura e de acordo com as condições de trabalho nos laboratórios de pesquisa. O efeito de cada parâmetro e suas interações

no rendimento em porcentagem de ésteres foram estudados usando um planejamento composto central (PCC) acoplado com o método da superfície de resposta (MSR), desenvolvido pelo software *Statistica 7.0*. Os rendimentos em porcentagem de ésteres obtidos foram ajustados em um modelo quadrático usando análise de regressão a um nível de confiança de 90%.

### 2.4.1 Otimização

A técnica de análise canônica foi empregada para determinar as condições ideais da temperatura de reação ( $T_R$ ), tempo de reação ( $t_R$ ) e razão molar metanol/óleo de abacate (MO) para a reação de transesterificação em batelada. De acordo com Box e Tiao (1977), a função de resposta pode ser expressa em termos de novas variáveis  $w_1, w_2, \dots, w_k$ , cujos eixos correspondem aos eixos principais do sistema de contorno. Assim, a forma canônica consiste na função em termos dessas novas variáveis e é dada de acordo com a equação (4):

$$\hat{y} = \hat{y}_0 + \lambda_1 w_1^2 + \lambda_2 w_2^2 + \dots + \lambda_k w_k^2 \quad (4)$$

A natureza do ponto estacionário da superfície ( $x_0$ ) pode ser determinada pelo sinal e magnitude das raízes características ( $\lambda_i$ ). Se  $\lambda_i < 0$ , um movimento em qualquer direção a partir do ponto estacionário resulta em uma diminuição em  $y$ , o que significa que o ponto estacionário é um ponto de máximo. Em contraste, se  $\lambda_i > 0$ , o ponto estacionário é um ponto de mínimo. Se  $\lambda_s$  diferem em sinal, o ponto estacionário representa um ponto de sela (Box & Tiao, 1977). A análise canônica foi implementada utilizando o software *Maple 17*.

## 2.5 Síntese do biodiesel e quantificação do biodiesel

As corridas experimentais para a reação de transesterificação do óleo de abate foram realizadas em bateladas em um reator encamisado de 250 mL acoplado a um condensador de refluxo, devidamente isolado com plástico parafilme (Parafilm) para impedir o vazamento de metanol. Um banho termostático foi utilizado para manter a temperatura reacional constante. Após o término da reação, as amostras foram acondicionadas em um congelador para evitar os processos de degradação. Em seguida, realizaram-se os processos de separação das fases por centrifugação a 2000 rpm por 5 minutos. O biodiesel foi retirado e encaminhado para a estufa a 70 °C por 1 hora para evaporação do metanol residual. Determinou-se o rendimento em ésteres pela técnica de cromatografia gasosa em um cromatógrafo gasoso Shimadzu – GC2010 utilizando como padrão interno o heptadecanoato de metila, seguindo a metodologia de Rade et al. (2015).

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Difração de raios X – DRX

A figura 1 apresenta os dados da análise de difração de raios X para os catalisadores produzidos a partir dos reagentes laboratoriais, em vermelho (superior), e o catalisador produzido a partir de materiais residuais, em azul (inferior).

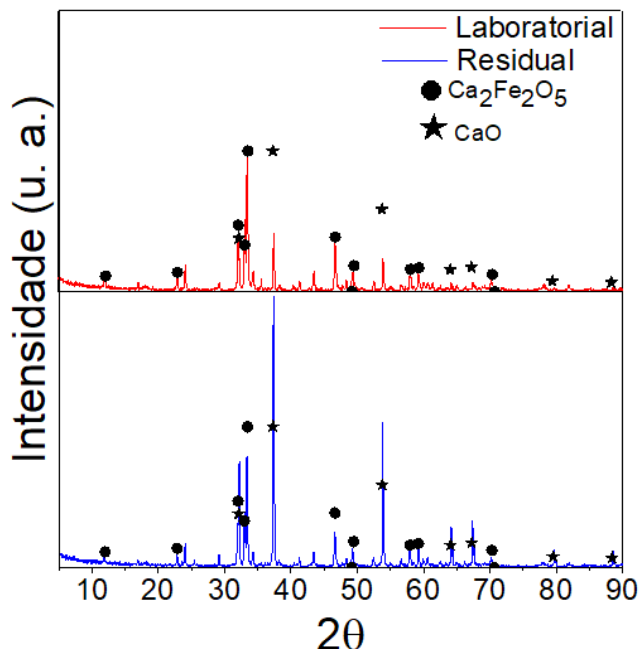


Figura 1. Difração de raios X dos catalisadores.

Observou-se pela comparação com os dados do CaO (ICSD 51409) e  $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$  (ICSD 5470) que as duas amostras apresentaram uma semelhança com os padrões nos picos localizados em  $2\theta$  iguais a  $22,78^\circ$ ;  $33,41^\circ$ ;  $46,5^\circ$ ;  $49,4^\circ$ ;  $58,04^\circ$  e  $59,3^\circ$  para o  $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$ , indicando que a reação em fase sólida pela calcinação gerou este produto. Já nos ângulos  $32,15^\circ$ ;  $37,19^\circ$ ;  $53,89^\circ$ ;  $64,28^\circ$  e  $67,16^\circ$  compatíveis com o CaO, comprovam que possivelmente nem todo o carbonato de cálcio foi consumido para gerar a estrutura final da ferrita de cálcio, originando o seu óxido pela decomposição química, e que possivelmente contribuiu positivamente para a atividade catalítica da perovskita residual  $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5/\text{CaO}$  obtida e representada em azul (inferior) na figura 1, já que, possivelmente, apresentou sítios básicos.

#### 3.2 Testes do óleo de abacate

O valor médio para o índice de acidez do óleo de abacate foi de aproximadamente 1,496 mg KOH/g de óleo, com desvio padrão de  $\pm 0,001$ , que está em conformidade com o valor máximo estipulado para óleos prensados a frio de 4,0 mg KOH/g de óleo (Codex, 2009). Além disso, o valor do desvio padrão para a execução dos testes foi muito baixo, indicando que os valores distanciaram pouco do valor médio. Com relação ao valor do índice de peróxidos, o valor médio foi de 12,014 meq/Kg, abaixo

do nível máximo estipulado de 15 meq/Kg (Codex, 2009). O desvio padrão de  $\pm 0,006$  para o teste de peróxidos também aponta que os valores se distanciaram pouco da média. Os valores de densidade do óleo apresentaram média de aproximadamente  $0,908 \text{ g/cm}^3$  (desvio padrão de  $\pm 0,0001$ ), condizentes com a densidade de óleos em geral, conforme aponta o trabalho de Fernandes et al. (2015). A massa molar média determinada para o óleo de abacate foi de  $870,77 \text{ g/mol}$  e foi necessária para calcular as massas de metanol em g para cada experimento. Não foram encontrados valores de referência na literatura para o óleo de abacate. No entanto, este valor aproximou-se da massa molar de outros óleos vegetais com composição em ácidos graxos similares.

### 3.3 Planejamento experimental – Análise global

Para a análise global foi efetuada uma regressão múltipla obtendo-se os parâmetros relacionados às variáveis isoladas, às interações e aos termos quadráticos. As variáveis independentes avaliadas foram adimensionalizadas, conforme mostra a tabela 2, a qual apresenta também as respectivas faixas experimentais das variáveis.

Variável	Faixa Experimental	Adimensionalização
Temperatura de reação ( $\delta_1$ )	50 a 70 °C	$X_1 = (\delta_1 - 60)/7$
Tempo de reação ( $\delta_2$ )	4 a 10 h	$X_2 = (\delta_2 - 7)/2$
Relação molar metanol/óleo ( $\delta_3$ )	2 a 14	$X_3 = (\delta_3 - 8)/4$

Tabela 2. Faixa experimental das variáveis analisadas.

A equação empírica obtida por regressão múltipla para representar o rendimento em porcentagem de ésteres em função das variáveis independentes analisadas pode ser visualizada na equação 5:

$$R(\%) = 42,54 + 4,86X_1 - 2,65X_1^2 + 2,8X_2 + 0,62X_2^2 + 0,73X_3 - 9,39X_3^2 - 2,32X_1X_2 - 1,85X_1X_3 + 0,05X_2X_3 \quad (5)$$

Onde R (%) é o rendimento em porcentagem de ésteres.

Para a resposta rendimento em ésteres foram significativas a variável isolada temperatura de reação ( $X_1$ ) e a variável quadrática relação metanol/óleo ( $X_3$ ), com contribuição negativa. Observou-se também que a equação 5 apresentou coeficiente de variação explicada ( $R^2$ ) de 0,52 para um nível de confiança de 90%. Possivelmente obteve-se esse valor devido a não repetibilidade das reações para confirmação dos valores encontrados. Contudo, a ocorrência de diversos problemas dificultou a realização das triplicatas, como quebra e falta de reatores, restrições na utilização dos laboratórios, utilização de reagentes caros (padrão heptadecanoato de metila – C17) e equipamentos de outra universidade, diminuindo assim, a quantidade de análises realizadas.



A figura 2 apresenta a superfície de resposta para o rendimento em porcentagem de ésteres em função das variáveis temperatura de reação ( $X_1$ ), tempo de reação ( $X_2$ ) e relação molar metanol/óleo de abacate ( $X_3$ ).

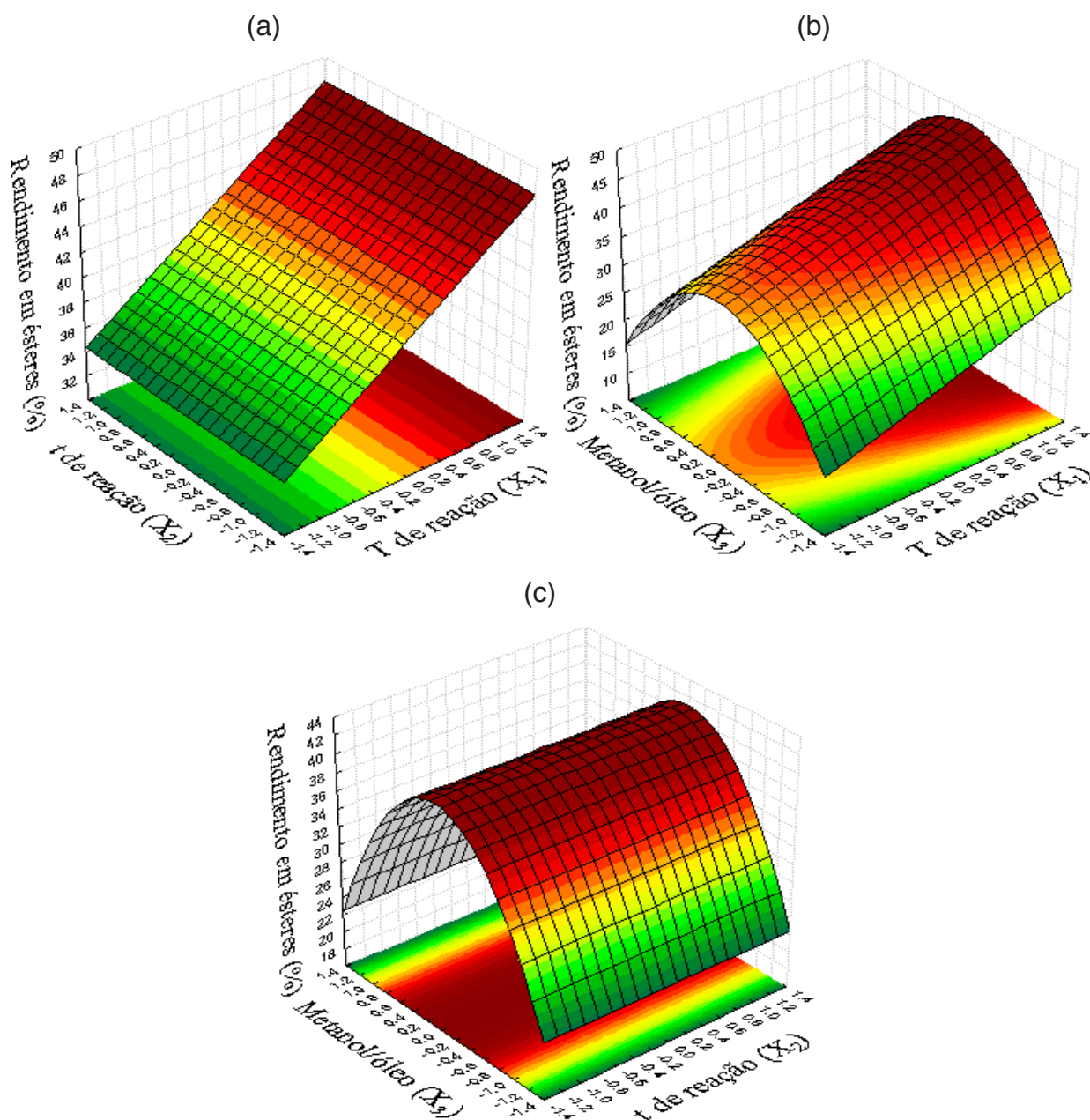


Figura 2. Superfícies de resposta para o rendimento em porcentagem de ésteres:  
(a) temperatura de reação ( $X_1$ ) e tempo de reação ( $X_2$ ), para relação molar metanol/óleo no nível central ( $X_3=0$ );  
(b) tempo de reação no nível central ( $X_1=0$ );  
(c) temperatura de reação no nível central ( $X_2=0$ ).

De acordo com a figura 2a observou-se que os maiores valores para o rendimento em porcentagem de ésteres foram alcançados quando houve acréscimos na temperatura de reação, com valor máximo de aproximadamente 48% e relação molar metanol/óleo no nível central (8:1). Observou-se também que, neste caso, o tempo de reação não influenciou significativamente na resposta. Este fato mostrou que o processo pode ser efetuado em menores tempos, com menor gasto energético e ganho econômico na reação de catálise heterogênea, de acordo com os limites

escolhidos e estudados nesta pesquisa.

Ao analisar a figura 2b foi possível observar também que o rendimento em porcentagem de ésteres aumentou conforme o aumento da temperatura e com o valor no nível central para a relação molar metanol/óleo (8) e para o tempo de reação (7 h), com valor aproximado de 48%, ainda com ganho e economia de tempo ao se comparar com uma reação de 10 h. Além disso, observou-se também outras duas regiões ao se analisar a variável relação molar metanol/óleo ( $X_3$ ), uma acima e outra abaixo do valor no nível central. Nestas duas regiões foi possível observar que o valor do rendimento em porcentagem de ésteres sofreu decréscimos, com valores aproximados de 30%. Com esta observação foi possível afirmar que há uma relação entre metanol/óleo que otimiza o processo (nível central), evitando perdas de reagentes desnecessariamente, objetivando a viabilização da conversão do óleo de abacate em biodiesel. Completando a análise das interações entre as variáveis estudadas, a figura 2c evidencia, assim como as figuras 2a e b, que as melhores condições para a relação molar metanol/óleo se encontra na faixa de valores descodificados de 7,2 a 8,8, contemplando também o valor no nível central e a temperatura de reação no nível central (60 °C), com o tempo de reação não interferindo significativamente na resposta rendimento em porcentagem de ésteres

Os testes de transesterificação com a ferrita de cálcio foram realizados por Hilleshein Jr. et al. (2017) via catálise heterogênea com óleo de soja para ambos os catalisadores laboratorial e residual e obtiveram-se rendimentos de 83,8 e 83,57%, respectivamente. Isso comprova que o catalisador residual apresentou alta atividade catalítica juntamente ao catalisador sintetizado com reagentes de elevada pureza. Wolf et al. (2017) elaboraram um planejamento  $2^3$  e utilizaram da rota metílica e catálise homogênea para a produção de biodiesel com óleo de soja residual variando a massa de catalisador, tempo e relação volumétrica metanol/óleo e obtiveram rendimentos mínimo e máximo de 55,84% e 97,53%, respectivamente.

### 3.3.1 Análise canônica para o rendimento em porcentagem de ésteres

Para o rendimento em porcentagem de ésteres, calculando as raízes características do modelo ajustado de segunda ordem apresentado na equação 5, tem-se  $\lambda = [-9,52; -2,90; 0,99]$ . Sendo assim, na forma canônica a superfície ajustada para o rendimento em porcentagem de ésteres pode ser colocada conforme a equação (6):

$$\hat{y} = \hat{y}_0 - 9,52w_1^2 - 2,90w_2^2 + 0,99w_3^2 \quad (6)$$

De acordo com os valores obtidos para as raízes características, observou-se que não existiu um ponto de mínimo ou de máximo, uma vez que as raízes apresentaram sinais diferentes, denominando-se um ponto de sela. Efetuando-se os cálculos para o

rendimento em porcentagem de ésteres, obteve-se o seguinte ponto estacionário ( $x_0$ ):

$$x_0 = \begin{bmatrix} 1,06 \\ -0,27 \\ -0,07 \end{bmatrix}$$

Analisando o ponto estacionário, observou-se que todos os valores das variáveis (temperatura de reação, tempo de reação e relação molar metanol/óleo) encontraram-se dentro da região experimental escolhida no planejamento (-1,41 a +1,41), obtendo um valor para rendimento em porcentagem de ésteres de 44,7%. Contudo, esta porcentagem é menor que a observado nas superfícies de resposta, devendo a otimização ser feita pela análise da superfície ajustada (equação 5 e figura 2).

### 3.3.2 Relação entre as variáveis $w_i$ e $x_i$ para o rendimento em porcentagem de ésteres

A superfície ajustada para o rendimento em porcentagem de ésteres, de acordo com forma canônica, pode ser escrita conforme a equação 6. De acordo com os resultados obtidos para as raízes características ( $\lambda_i$ ), observou-se que  $\lambda_1$  e  $\lambda_2$  foram negativas e  $\lambda_3$  foi positiva, caracterizando um ponto de sela e qualquer movimento na direção de  $w_3$  irá aumentar o valor da resposta rendimento em porcentagem de ésteres, objetivo desta análise. Isso foi possível relacionando as variáveis canônicas com as três variáveis independentes ( $X_1$ ,  $X_2$  e  $X_3$ ), de acordo com a equação 7:

$$w = M'(X - X_0) \quad (7)$$

Desenvolvendo-a, temos as seguintes equações de recorrência:

$$\begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0,1357x_1 + 0,0746 - 0,0131x_2 - 0,9907x_3 \\ -0,9411x_1 + 0,9211 - 0,3109x_2 + 0,1330x_3 \\ -0,3097x_1 + 0,5895 + 0,9504x_2 + 0,0299x_3 \end{bmatrix}$$

De acordo com as equações de recorrência, encontraram-se condições em  $X_1$ ,  $X_2$  e  $X_3$  que dão valor zero para  $w_1$  e  $w_2$  e vários valores para  $w_3$ . Os resultados codificados e decodificados para as variáveis  $X_1$ ,  $X_2$  e  $X_3$  são apresentados nas tabelas 3 e 4, respectivamente.

De acordo com a tabela 4 foi possível observar que para valores de  $w_3$  menores que -4 (em negrito), os valores para a variável decodificada  $t_R$  (tempo de reação) são negativos, ou seja, fisicamente impossíveis de serem aplicados. Pode ser observado também que para valores de  $w_3$  maiores que 7 obtêm-se rendimentos em porcentagens de ésteres acima de 100, ou seja, não aplicáveis.

$w_3$	-6	-5	<b>-4</b>	-3	-1	2	7	8	9
$X_1$	2,9	2,6	<b>1,99</b>	1,68	4,2	0,44	-1,11	-1,42	-1,72
$X_2$	-5,9	-5,0	<b>-3,12</b>	-2,17	-1,33	1,63	6,38	7,33	8,28
$X_3$	-0,25	-0,2	<b>-0,15</b>	-0,13	-0,09	-0,01	0,14	0,17	0,2

Tabela 3. Valores de  $w_3$  de acordo com os valores codificados de  $X_1$ ,  $X_2$  e  $X_3$ .

$w_3$	-6	-5	<b>-4</b>	-3	-1	2	7	8	9
$T_R$ (°C)	80,4	78,3	<b>76,1</b>	73,9	69,6	63,1	52,2	50,1	47,9
$t_R$ (h)	-4,9	-3	<b>-1,1</b>	0,7	4,5	10,3	19,7	21,7	23,6
$MO$	7	7,1	<b>7,2</b>	7,4	7,6	7,9	8,6	8,7	8,8
$R$ (%)	80,6	69,6	<b>60,7</b>	53,7	45,7	48,7	93,6	108,6	125,6

Tabela 4. Valores de  $w_3$  de acordo com os valores decodificados de  $X_1$ ,  $X_2$  e  $X_3$ .

Desta forma, levando em consideração a economia e viabilidade do processo, de acordo com a equação 5 obtida por regressão múltipla dos dados de rendimento  $R(\%)$  e a otimização realizada, observou-se que a melhor condição para a reação de transesterificação heterogênea, utilizando o catalisador tipo perovskita  $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$  foi a condição com valor de  $w_3$  igual a -3, com rendimento em porcentagem de ésteres de aproximadamente 53,7. Com esta análise observou-se também que um aumento na temperatura de aproximadamente 4 °C (73,9 °C) em comparação com o valor máximo utilizado no planejamento (70 °C) foi responsável pelo aumento de aproximadamente 13,8% no valor do rendimento em porcentagem de ésteres, levando em consideração os valores nos níveis centrais para tempo de reação (7 h) e relação molar metanol/óleo (8:1).

#### 4 | CONCLUSÃO

O catalisador proveniente de fontes residuais apresentou cristalinidade semelhante à estrutura da perovskita  $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$  produzida com reagentes de alta pureza. O tempo de reação e a proporção molar entre os reagentes pouco influenciaram no rendimento percentual de biodiesel e o melhor deles para as faixas estudadas foi de aproximadamente 48% para 7 horas de reação a 70 °C e relação metanol/óleo de 8:1. A otimização mostrou que a melhor condição para a realização da transesterificação esteve a aproximadamente 4 °C de diferença da máxima temperatura realizada nos experimentos com 7 h de reação e relação molar metanol/óleo 8:1, aumentando em quase 14% o rendimento de biodiesel formado (53,7%).

## REFERÊNCIAS

- BERASTEGUI P.; ERIKSSON, S.-G.; HULL, S. **A neutron diffraction study of the temperature dependence of  $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$** . *Materials Resources Bulletin*, v. 34, p. 303-314, 1999.
- BOX G.E., TIAO, G.C. **A canonical analysis of multiple time series**. *Biometrika*, v. 64, p. 355-365, 1977.
- CHAVES, A. T. C. A. **Otimização do processo de produção de biodiesel etílico do óleo de girassol (*heliannthus annus*) aplicando um delineamento composto central rotacional (DCCR)**. 2008. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.
- Codex Alimentarius. *Current official Standards - CODEX STAN (210)*. 2009. **Standard for Named Vegetable Oils**. Disponível: < [http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/it/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCODEX%2B210-1999%252FCXS\\_210e.pdf](http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/it/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCODEX%2B210-1999%252FCXS_210e.pdf) >. Acesso em: 4 jul. 2018.
- EYRES, L.; SHERPA, L.; HENDRIKS, G. **Avocado oil: A new edible oil from Australasia**. *Lipid Technology*, v. 13, p. 84-88, 2001.
- FERNANDES, A. M.; COSTA, A. A.; SILVA, C. C.; SILVEIRA, T. **Comparação das Propriedades Físico-Químicas do Óleo De Abacate Comestível com o Azeite De Oliva Extra Virgem**. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIAS DE ALIMENTOS, 2, 2015.
- FERRARI, R. A. **Caracterização físico-química do óleo de abacate extraído por centrifugação e dos subprodutos do processamento**. *Braz. J. Food Technol.*, v. 18, n. 1, p. 79-84, 2015.
- GAUTO, M. A.; ROSA, G. R. **Processos e Operações Unitárias da Indústria Química**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda, 2011.
- HILLESHEIN JR, J.; RADE, L. L.; FERREIRA, R.A.R.; LIMA, A. F.; SILVA, P. P.; **Síntese de Biodiesel via Catálise Heterogênea a partir de  $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$  produzido a partir de material residual e laboratorial**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 2017, São Carlos. *Anais...* São Carlos, 2017.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.
- KAWASHIMA, A.; MATSUBARA, K.; HONDA, K. **Development of heterogeneous base catalysts for biodiesel production**. *Journal of Bioresources Technology*, v. 99, p. 3439–3443, 2008.
- KNOTHE, G.; RAZON, L.F. **Biodiesel Fuels**. *Progress in Energy and Combustion Science*, v. 58, p. 36-59, 2017.
- RADE, L., L.; ARVELOS, S.; DE SOUZA, M. A; BARROZO, M. A. S.; ROMANIELO, L. L.; WATANABE, E. O; HORI, C. E. **Evaluation of the use of degummed soybean oil and supercritical ethanol for non-catalytic biodiesel production**. *J. Supercrit. Fluids*, v. 105, p. 21-28. 2015.
- RAMOS, L. P.; KOTHE, V.; CÉSAR-OLIVEIRA, M. A. F.; MUNIZ-WYPYCH, A. S.; NAKAGAKI, S.; KRIEGER, N.; WYPYCH, F.; CORDEIRO, C. S. **Biodiesel: Matérias-Primas, Tecnologias de Produção e Propriedades Combustíveis**. *Revista Virtual de Química*, v. 9, n. 1, p. 317-369, 2017.
- SOUZA, A. A.; FARIAS, R. F. **Cinética química: teoria e prática**. Campinas: Editora Átomo, 2013.

TANGO, J. S.; TURATTI, J. M. **Abacate:cultura, matéria-prima, processamento e aspectos econômicos**. Campinas: ITAL, 1991.

WHILEY, A. W.; SCHAFFER, B.; WOLSTENHOLME, B. N. **The Avocado: Botany, Production, and Uses**. Wallingford: CABI, 2002.

WOLF, M. R.; PERASSI, I. S. T.; ASSIS, N.; PEREIRA, F. A. V. **Avaliação de óleos de soja com diferentes origens na produção do Biodiesel via rota metálica**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 2017, São Carlos. Anais... São Carlos, 2017.

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-085-8

