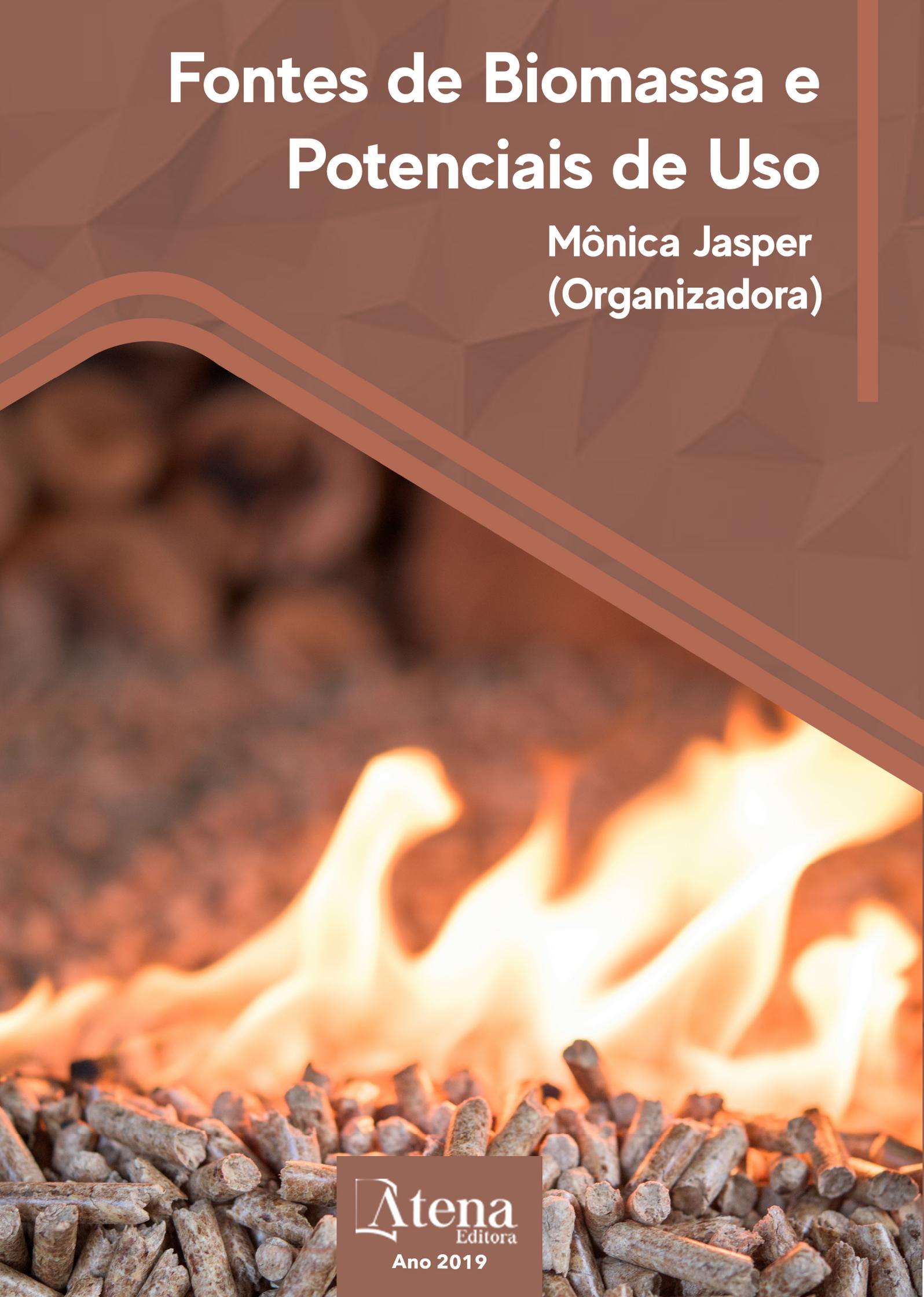


# Fontes de Biomassa e Potenciais de Uso

Mônica Jasper  
(Organizadora)



**Atena**  
Editora  
Ano 2019

Mônica Jasper  
(Organizadora)

# Fontes de Biomassa e Potenciais de Uso

Atena Editora  
2019

2019 by Atena Editora  
Copyright © Atena Editora  
Copyright do Texto © 2019 Os Autores  
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora  
Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira  
Diagramação: Rafael Sandrini Filho  
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  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Faria – 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 Internazionele 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. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

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

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
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. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

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

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 Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
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 Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
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  
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 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

| <b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)<br/>(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b> |  |
|---|--|
| F683  | Fontes de biomassa e potenciais de uso [recurso eletrônico] /<br>Organizadora Mônica Jasper. – Ponta Grossa, PR: Atena<br>Editora, 2019.<br><br>Formato: PDF<br>Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader.<br>Modo de acesso: World Wide Web.<br>Inclui bibliografia<br>ISBN 978-85-7247-629-4<br>DOI 10.22533/at.ed.294191609<br><br>1. Biocombustíveis. 2. Biomassa – Pesquisa – Brasil. I. Jasper,<br>Mônica.<br><br>CDD 333.9539 |
| <b>Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422</b>   |  |

Atena Editora  
Ponta Grossa – Paraná - Brasil  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
contato@atenaeditora.com.br

## APRESENTAÇÃO

Estamos apresentando “Fonte de Biomassa e Potenciais de Uso”. São dezesseis capítulos que abordam trabalhos, pesquisas e revisões de forma ampla acerca deste conhecimento. A obra reúne trabalhos de diferentes regiões do país, analisando a área da Produção de biomassa sob diferentes abordagens. É necessário conhecer esses temas sob diversas visões de pesquisadores, a fim de aprimorar conhecimentos, relações interespecíficas e desenvolver estratégias para a utilização das fontes de biomassa. O esforço contínuo de pesquisadores e instituições de pesquisa tem permitido grandes avanços nessa área. Assim, apresentamos neste trabalho uma importante compilação de esforços de pesquisadores, acadêmicos, professores e também da Atena Editora para produzir e disponibilizar conhecimento neste vasto contexto.

Mônica Jasper

## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>CAPÍTULO 1</b> .....  | <b>1</b>  |
| CONVERSÃO DOS ÁCIDOS GRAXOS LIVRES DE ÓLEO DE GIRASSOL EM BIODIESEL UTILIZANDO CATALISADORES ÁCIDOS  |           |
| Paulo Roberto de Oliveira<br>Patrick Rodrigues Batista<br>Marjorie Emanoeli Lopes Vieira<br>Palimécio Gimenes Guerrero Júnior  |           |
| <b>DOI 10.22533/at.ed.2941916091</b>   |           |
| <b>CAPÍTULO 2</b> .....  | <b>12</b> |
| EFEITO DA APLICAÇÃO DE EXTRATO DE ALECRIM ( <i>ROSMARINUS OFFICINALIS L.</i> ) SOBRE A OXIDAÇÃO DO BIODIESEL DE SOJA DURANTE O ARMAZENAMENTO   |           |
| Noellen Caroline Cavalcanti de Araujo<br>Silmara Bispo dos Santos<br>Henrique de Matos Teixeira  |           |
| <b>DOI 10.22533/at.ed.2941916092</b>   |           |
| <b>CAPÍTULO 3</b> .....  | <b>19</b> |
| EFFECT OF THERMOCHEMICAL PRETREATMENT AS A STRATEGY TO ENHANCE BIODEGRADABILITY OF LIGNOCELLULOSIC BIOMASS   |           |
| Thiago Edwiges<br>Jhenifer Aline Bastos<br>João Henrique Lima Alino<br>Laércio Mantovani Frare   |           |
| <b>DOI 10.22533/at.ed.2941916093</b>   |           |
| <b>CAPÍTULO 4</b> .....  | <b>24</b> |
| ESTIMATIVA DO ESTOQUE DE CARBONO EM FLORESTA SEMIDECIDUAL: UMA COMPARAÇÃO ENTRE REGRESSÃO E REDES NEURAIS ARTIFICIAIS  |           |
| Marcela de Castro Nunes Santos Terra<br>Daniel Dantas<br>Luiz Otávio Rodrigues Pinto<br>Natalino Calegario<br>Sabrina Mandarano Maciel   |           |
| <b>DOI 10.22533/at.ed.2941916094</b>   |           |
| <b>CAPÍTULO 5</b> .....  | <b>36</b> |
| EXTRAÇÃO DE LIPÍDEOS DA MICROALGA <i>Nannochloropsis oculata</i> CULTIVADA COM VARIAÇÃO DE NITRATO DE SÓDIO NO MEIO DE CULTURA   |           |
| José William Alves da Silva<br>Susana Felix Moura dos Santos<br>Illana Beatriz Rocha de Oliveira<br>Ana Claudia Teixeira Silva<br>Glacio Souza Araujo<br>Emanuel Soares dos Santos<br>Renato Teixeira Moreira<br>Dilliani Naiane Mascena Lopes |           |
| <b>DOI 10.22533/at.ed.2941916095</b>   |           |

**CAPÍTULO 6 ..... 41**

GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DE RESÍDUOS DA PRODUÇÃO DE PROTEÍNA ANIMAL NA ZONA DA MATA E CAMPO DAS VERTENTES DE MINAS GERAIS

Michael de Oliveira Resende  
Giovana Franco Valadão  
Elias Gabriel Magalhães Silva  
Helen Ribeiro Rodrigues  
Márcio do Carmo Barbosa Poncilio Rodrigues  
Augusto Cesar Laviola de Oliveira

**DOI 10.22533/at.ed.2941916096**

**CAPÍTULO 7 ..... 50**

POLPA CELULÓSICA COMO ALTERNATIVA PARA PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEL VIA HIDRÓLISE ENZIMÁTICA

Dile Pontarolo Stremel  
Alexandre Vidal Bento  
Mayara Elita Braz Carneiro  
Roberto Pontarolo

**DOI 10.22533/at.ed.2941916097**

**CAPÍTULO 8 ..... 59**

PRODUÇÃO DE CÉLULA SOLAR COM CORANTE DA *Beta vulgaris*

Julianno Pizzano Ayoub  
Gideã Taques Tractz  
Marcel Ricardo Nogueira de Oliveira  
Cynthia Beatriz Furstenberger  
Everson do Prado Banczek  
Paulo Rogerio Pinto Rodrigues

**DOI 10.22533/at.ed.2941916098**

**CAPÍTULO 9 ..... 67**

PRODUÇÃO DE ETANOL DE BATATA REFUGO VIA PROCESSO FERMENTATIVO: UMA PROPOSTA PARA A DESTINAÇÃO ADEQUADA DE RESÍDUOS ORGÂNICOS DE AMILÁCEAS

Taís Adeil Muller  
Wilma Aparecida Spinosa  
Juliano Tadeu Vilela Resende  
Leonel Vinicius Constantino  
Edson Perez Guerra  
Leonardo de Lima Wrobel  
Wallace Lima Paulo  
Ana Elisa Barbosa Siqueira  
Claudia Jeorgete dos Santos Burko

**DOI 10.22533/at.ed.2941916099**

**CAPÍTULO 10 ..... 74**

QUALIDADE DO CARVÃO DE *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus tereticornis* PLANTADOS EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS

Matheus Redel Finger  
Rosimeire Cavalcante dos Santos  
Elias Costa de Souza  
Gabriel Raamon Santana Nunes  
Izabelle Rodrigues Ferreira Gomes  
Renato Vinicius Oliveira Castro  
Stephanie Hellen Barbosa Gomes  
Cynthia Patricia de Sousa Santos

Sarah Esther de Lima Costa  
Gualter Guenter Costa da Silva  
DOI 10.22533/at.ed.29419160910

**CAPÍTULO 11 ..... 81**

RENDIMENTO GRAVIMÉTRICO EM CARVÃO DE *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus tereticornis* SOB DIFERENTES ESPAÇAMENTOS

Matheus Redel Finger  
Rosimeire Cavalcante dos Santos  
Elias Costa de Souza  
Gabriel Raamon Santana Nunes  
Izabelle Rodrigues Ferreira Gomes  
Renato Vinícius Oliveira Castro  
Stephanie Hellen Barbosa Gomes  
Cynthia Patricia de Sousa Santos  
Sarah Esther de Lima Costa  
Gualter Guenter Costa da Silva

DOI 10.22533/at.ed.29419160911

**CAPÍTULO 12 ..... 87**

UMA PROPOSTA PARA O APROVEITAMENTO DA *ACROCOMIA ACULEATA* COMO FONTE DE ENERGIA LIMPA

Cássio Furtado Lima  
Fernanda de Oliveira Araujo  
Leonne Bruno Domingues Alves  
Angleson Figueira Marinho  
Érica Bandeira Maués de Azevedo  
Michel Keisuke Sato  
Victor da Cruz Peres  
Juliana Souza da Silva  
Luiz Fernando Reinoso  
Edinelson Luis de Sousa Junior  
Maykon Sullivan de Jesus da Costa  
Francisco Robson Alves da Silva

DOI 10.22533/at.ed.29419160912

**CAPÍTULO 13 ..... 103**

VARIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DO ESTOQUE DE CARBONO EM FRAGMENTOS DE CERRADO EM MINAS GERAIS

Natielle Gomes Cordeiro  
Kelly Marianne Guimarães Pereira  
Luiz Otávio Rodrigues Pinto  
Marcela de Castro Nunes Santos Terra  
José Márcio de Mello

DOI 10.22533/at.ed.29419160913

**CAPÍTULO 14 ..... 117**

BIODIGESTOR CONTROLADO POR INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Marcos Baroncini Proença  
Simone Ribeiro Morrone  
Dimas Agostinho da Silva  
Herdney Souza dos Santos  
Leila Fabiola Ferreira  
Luiz Roberto Baracho Rocha  
Cristoffer Lincon

Abel José Vilseke

DOI 10.22533/at.ed.29419160914

**CAPÍTULO 15 ..... 121**

PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF ADSORBENT OBTAINED FROM AGROINDUSTRIAL WASTE BIOMASS

Arthur Hoffmann dos Santos

Diana Fernanda Caicedo

Joana de Souza Mücke

Aline Krum Ferreira

Luiz Antonio Mazzini Fontoura

Samuel José Santos

Irineu Antonio Schadach de Brum

DOI 10.22533/at.ed.29419160915

**CAPÍTULO 16 ..... 125**

BIODIESEL PRODUCTION FROM WASTE COOKING OIL WITH CHARCOAL PYROLIGNEOUS LIQUOR

Marcos Baroncini Proença

Simone Ribeiro Morrone

Dimas Agostinho da Silva

DOI 10.22533/at.ed.29419160916

**SOBRE A ORGANIZADORA..... 131**

**ÍNDICE REMISSIVO ..... 132**

## CONVERSÃO DOS ÁCIDOS GRAXOS LIVRES DE ÓLEO DE GIRASSOL EM BIODIESEL UTILIZANDO CATALISADORES ÁCIDOS

### **Paulo Roberto de Oliveira**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,  
Campus Curitiba, Departamento Acadêmico de  
Química e Biologia, Rua Deputado Heitor de  
Alencar Furtado, 5000, CEP 81280-340, Curitiba-  
PR

### **Patrick Rodrigues Batista**

Departamento de Química Fundamental, Instituto  
de Química, Universidade de São Paulo, Av. Prof.  
Lineu Prestes, 748, CEP: 05508-000, São Paulo,  
SP

### **Marjorie Emanoeli Lopes Vieira**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,  
Campus Curitiba, Departamento Acadêmico de  
Química e Biologia, Rua Deputado Heitor de  
Alencar Furtado, 5000, CEP 81280-340, Curitiba-  
PR

### **Palimécio Gimenes Guerrero Júnior**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,  
Campus Curitiba, Departamento Acadêmico de  
Química e Biologia, Rua Deputado Heitor de  
Alencar Furtado, 5000, CEP 81280-340, Curitiba-  
PR

**RESUMO:** O biodiesel pode ser preparado a partir da transesterificação de triglicerídeos ou pela esterificação dos ácidos graxos livres (AGL). A transesterificação com triglicerídeos tem um custo maior porque é utilizado um óleo vegetal de alta qualidade, com baixo teor de AGL. A esterificação utilizando matérias-primas

mais baratas, como óleo bruto com alto teor de AGL ou somente os AGL, pode gerar biodiesel com menor custo. Este trabalho consistiu em converter os AGL do óleo de girassol semi refinado em biodiesel através de reações de esterificação utilizando metanol e diferentes catalisadores ácidos. Todos os catalisadores apresentaram boas taxas de conversão. Dentre os catalisadores o ácido p-toluenossulfônico (APTS) mostrou o melhor resultado e foi muito mais eficiente na conversão dos AGL em biodiesel, precisando de apenas 2 h de reação para produzir biodiesel com 96,2% de rendimento. Os resultados obtidos durante o processo de conversão de AGL de óleo de girassol semi refinado em biodiesel mostraram que é possível recuperar os AGL contidos na fase glicerina, gerada durante a produção do biodiesel em escala industrial. Estes resultados mostraram também que é possível aumentar os lucros das indústrias produtoras de biodiesel purificando o coproduto glicerina, retirando os AGL por separação de fase e convertendo estes AGL em biodiesel. Este processo aumentará o valor comercial dos AGL que atualmente são considerados como impurezas da glicerina.

**PALAVRAS-CHAVE:** Esterificação; Ácidos Graxos Livres; Biodiesel; Óleo de Girassol.

# CONVERSION OF FREE FATTY ACIDS OF SUNFLOWER OIL IN BIODIESEL USING ACID CATALYSTS

**ABSTRACT:** Biodiesel can be prepared by transesterification of triglycerides or esterification of free fatty acids (FFA). Transesterification with triglycerides leads a higher cost due the utilization of a high-quality vegetable oil with a low FFA. Esterification using cheaper raw materials, such as vegetable oil crude with high FFA or only FFA, can generate biodiesel at lower cost. This work consisted in converting the AGL of semi-refined sunflower oil into biodiesel through esterification reactions using methanol and different acid catalysts. All catalysts had good conversion rates. Among the catalysts the p-toluenesulfonic acid (PTSA) showed the best result and higher efficiency in the conversion of the AGL to biodiesel, requiring only 2 h of reactional time to produce biodiesel with 96.2% yield. The results obtained during the process of conversion of AGL from semi-refined sunflower oil to biodiesel showed that it is possible to recover the AGL contained in the glycerin phase generated during the production of biodiesel on an industrial scale. These results also showed that it is possible to increase the profits of the biodiesel producing industries by purifying the glycerin co-product, removing the FFAs by phase separation and converting these FFAs into biodiesel. This process will increase the commercial value of the AGLs that are currently considered as glycerin impurities.

**KEYWORDS:** Esterification; Free Fatty Acids; Biodiesel; Sunflower Oil.

## 1 | INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas vem crescendo a busca por combustíveis alternativos, em especial os de fontes renováveis. O biodiesel é o que mais vem se destacando por ser um combustível mais adequado, do ponto de vista ambiental, por ser renovável e menos poluente (CAMACHO *et al.*, 2005).

A produção de biodiesel no Brasil ganhou força com a criação do Programa Brasileiro de Produção e Uso de Biodiesel, em 2004 e pela Lei 11.097, de 13/05/2005, que estabeleceu a implantação de 2% em volume de biodiesel ao óleo diesel em qualquer parte do território nacional a partir de 2008. Em março de 2018 o diesel comercializado no país já contava com 10% de biodiesel no seu volume total (AGENCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS, 2019).

O biodiesel pode ser preparado a partir da transesterificação de triglicerídeos ou pela esterificação de ácidos graxos livres (AGL). A transesterificação é uma reação química entre os triglicerídeos, álcool e um catalisador que transforma o óleo vegetal em um produto compatível quimicamente com o óleo diesel, permitindo a substituição parcial do último sem necessidade de mudanças na estrutura dos motores (CONCEIÇÃO *et al.*, 2005).

Os catalisadores mais utilizados nas reações de transesterificação de óleos

vegetais com baixa acidez são os hidróxidos e metóxidos de sódio e potássio. Para óleos vegetais que apresentam um alto índice de AGL, ou seja, óleos mais ácidos, a transesterificação utilizando catalisadores ácidos tais como ácido sulfúrico e ácido clorídrico são mais empregadas. Os catalisadores básicos não podem ser usados nestes casos porque reagem com os AGL gerando sabões, através da reação de saponificação (MEHER *et al.*, 2006).

A comercialização do biodiesel é de custo mais elevado do que a do diesel derivado do petróleo. O alto custo deve-se ao fato de sua produção utilizar principalmente óleo de alta qualidade, com baixo teor de AGL. Uma maneira de reduzir esse custo seria a utilização de matérias-primas mais baratas, como borra ácida ou óleo bruto com alto teor de AGL visto que os catalisadores ácidos não são fortemente afetados. Nestes casos os catalisadores ácidos podem agir tanto nas reações de esterificação dos AGL presentes nos óleos ácidos quanto na transesterificação dos triglicerídeos destes óleos (CHONGHONG; TONGURAY; CHETPATTANANONDT, 2009, p. 1059) (LOTERO *et al.*, 2005).

A reação de esterificação consiste basicamente na reação de um ácido com um álcool na presença de um catalisador ácido. Alguns ésteres alquílicos e o biodiesel podem ser produzidos através da reação de AGL presentes em gorduras animais, óleos vegetais e rejeitos dos óleos de fritura, com álcoois de cadeia curta, como o metanol ou etanol, utilizando catalisadores ácidos (HOYDONCKX *et al.*, 2004) (MARCHETTI *et al.*, 2007).

A esterificação dos AGL apresenta-se como uma solução viável, para a produção de biodiesel, porque reduz o custo de produção já que será utilizado matérias primas ácidas, com menor valor de mercado (MARCHETTI *et al.*, 2007).

Nas reações de esterificação são empregados catalisadores ácidos homogêneos e heterogêneos. No entanto as reações utilizando catalisadores homogêneos, apesar de apresentarem bons resultados, são reações muito lentas. A separação e reutilização do catalisador também é muito difícil. A desidratação dos álcoois e a corrosão dos equipamentos são outras desvantagens na utilização de catalisadores homogêneos, principalmente os minerais (CORMA; GARCIA, 2006, p. 4307).

Por isso muitos estudos estão sendo realizados para encontrar catalisadores heterogêneos viáveis, e com boa eficiência, para a esterificação de óleos com altos teores de AGL para a produção de biodiesel (MARCHETTI *et al.*, 2007). Catalisadores que forneçam uma boa conversão dos AGL em biodiesel, que sejam mais fáceis de separar do meio reacional, que possam ser reutilizados, que não sejam tão corrosivos e que eliminem a etapa de neutralização do meio ácido que ocorre quando se utiliza catalisadores ácidos homogêneos (FERREIRA *et al.*, 2007).

Dentro dos vários trabalhos publicados na literatura estão o de GUAN *et al.* (2009, p. 81) que obtiveram rendimento de 97% através da esterificação do óleo de milho utilizando o ácido p-toluenossulfônico (APTS) com proporção de 4% em peso em relação à massa de óleo, numa reação de 2 horas a 80 °C. WANG *et al.* (2007, p. 184)

mostraram que o sulfato férrico tem atividade elevada para catalisar a esterificação de AGL com metanol. O rendimento foi de 97% quando 2% em peso de sulfato férrico foram adicionados ao sistema de reação contendo metanol e óleo de cozinha para uma relação molar 10:1, a 95 °C durante 4 h. BOELY *et al.* (2012, p. 12) testaram um novo catalisador heterogêneo ácido para a produção de biodiesel, sob a forma de grânulos de alginato-férrico que forneceu um rendimento de 98% de éster metílico a partir da esterificação do ácido láurico com temperatura de 60 °C, razão molar metanol/ácido láurico de 15:1 durante 3 h.

## 2 | OBJETIVO

O objetivo do trabalho consistiu em converter os AGL do óleo semi refinado de girassol em biodiesel através de reações de esterificação com diferentes catalisadores ácidos homogêneos e heterogêneos.

## 3 | METODOLOGIA

Os AGL utilizados neste trabalho foram obtidos após o processo de hidrólise ácida da glicerina gerada na produção de biodiesel de óleo semi refinado de girassol por processo em batelada (VIESSER, 2010). Durante o processo de hidrólise ácida da glicerina bruta ocorreu a formação de três fases. A fase superior correspondeu aos AGL do óleo semi refinado de girassol. Estes AGL foram utilizados nas etapas que serão discutidas a seguir. As outras duas fases que foram produzidas no trabalho de VIESSER (2011) foram a glicerina pré-purificada (fase do meio) e o fosfato de sódio (fase inferior).

### 3.1 Pré-purificação dos AGL.

Para realizar a reação de esterificação, foi necessário realizar um prévio tratamento dos AGL do óleo de girassol semi refinado, a fim de retirar os resíduos de glicerina, fosfato de sódio e de água.

Portanto, alíquotas de 200 mL de AGL foram lavadas com cinco porções de 50mL de salmoura a quente (80 °C) através de um funil de separação de 500 mL. Posteriormente os AGL foram secos em estufa a 110 °C por 24 h.

A caracterização dos AGL foi feita através de análises de índice de acidez (AOCS Cd 3d-63), índice de iodo (AOCS Cd 1-25), índice de saponificação (AOCS Cd 3-25) e teor de umidade (AOCS Da 2a-48). Estas análises foram feitas com base nas normas da American Oil Chemists' Society (AOCS).

Para determinar o teor de glicerol nas amostras de AGL utilizou-se um método espectroscópico no comprimento de onda de 410 nm na região do ultravioleta visível (UV/VIS). Foi necessária realizar a reação dos resíduos de glicerina presente nos AGL

com periodato de sódio ( $\text{NaIO}_4$ ) e acetilacetona em tubo de ensaio para a obtenção do 3,5-diacetil-1,4-dihidrolutidina de cor verde (BONDIOLI; BELLA, 2005, p. 153).

### 3.2 Reação de esterificação.

10 g de AGL foram adicionados juntamente com os catalisadores em diferentes relações molares de metanol/AGL em um balão de fundo redondo de 50 mL. O balão foi conectado a um condensador de bolas e foi mantido sobre agitação constante e aquecido em um banho de silicone. O biodiesel obtido foi purificado em um funil de separação usando lavagens com água destilada, solução de bicarbonato de sódio 0,01 mol/L e solução de salmoura. Posteriormente o biodiesel foi seco com  $\text{MgSO}_4$  e filtrado à vácuo. O rendimento foi obtido através da acidez de 1 g do biodiesel, utilizando a equação (1) onde,  $A_i$  é a acidez dos AGL e  $A_f$  é a acidez do biodiesel (FARAG, EL-MAGHRABY, TAHA, 2011, p. 507).

$$\% \text{ conversão} = (A_i - A_f / A_i) \times 100 \quad (1)$$

## 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Análises físico-química dos AGL.

Os resultados das análises Físico-Química dos AGL do óleo de girassol semi refinado estão apresentados na Tabela 1.

Como o teor de glicerol nos AGL foi de 19,6% constatou-se a necessidade de realizar uma purificação prévia destes AGL para realizar as outras análises Físico-Químicas e para realizar, na próxima etapa, as reações de esterificação. Portanto após as lavagens dos AGL com salmoura a quente e posterior secagem em estufa por 24 horas a 110 °C obteve-se um teor de glicerol menor do que 1% indicando que o processo de lavagem com salmoura a quente foi eficiente. O teor de umidade de 1,1% após o tratamento prévio dos AGL também foi satisfatório para a realização da próxima etapa.

O índice de acidez dos AGL foi de 43,7 mg KOH/g, um valor alto para óleo de girassol mais dentro do esperado para os AGL deste óleo. O índice de iodo foi de 87,8 g  $\text{I}_2$ /100g e apresentou valor um pouco abaixo do óleo de girassol (118-145 g  $\text{I}_2$ /100g). O índice de saponificação foi de 190,5 mg KOH/g, dentro do esperado para óleo de girassol que apresenta valores entre 188 e 194 KOH/g (ÓLEO DE GIRASSOL, FICHA TÉCNICA, 2019).

| Análises                                  | Resultados                          |
|---|-------------------------------------|
| Teor de glicerina (%)                     | 19,6 <sup>a</sup> (<1) <sup>b</sup> |
| Teor de Umidade (% $\text{H}_2\text{O}$ ) | 1,1 <sup>b</sup>                    |

|   |                    |
|---|--------------------|
| Índice de Acidez (mg KOH/g)             | 43,7 <sup>b</sup>  |
| Índice de Iodo (g I <sub>2</sub> /100g) | 87,8 <sup>b</sup>  |
| Índice de Saponificação (mg KOH/g)      | 190,5 <sup>b</sup> |

Tabela 1. Análises Físico-Químicas dos AGL de óleo de girassol semi refinado.

<sup>a</sup> Antes do tratamento prévio dos AGL. <sup>b</sup> Após o tratamento prévio dos AGL.

#### 4.2 Esterificação catalisada com ácido sulfúrico concentrado.

Através dos resultados apresentados na Tabela 2 pode-se observar que foram realizados 15 experimentos variando a relação molar metanol/AGL, tempo e quantidade de catalisador. Todos os experimentos que utilizaram 4% de catalisador apresentaram rendimentos superiores a 91,0%. Dos experimentos que utilizaram 1% de catalisador, o melhor resultado foi para o experimento 10 que apresentou 96,0% de rendimento. Com a redução da temperatura de 110 para 80 °C observou-se uma pequena redução no rendimento de 96,0 para 93,0% (experimento 11), indicando a necessidade de manter a temperatura em 110 °C. O aumento da quantidade de metanol de 9:1 para 20:1 não melhorou o rendimento da reação (Experimento 15). Pode-se observar, através dos experimentos 3, 6 e 14, que o aumento do tempo de reação para 12 h reduz os rendimentos. Nestes casos provavelmente o equilíbrio químico passou a deslocar-se no sentido dos reagentes, hidrolisando o biodiesel. Apesar do aumento do percentual de catalisador de 1 para 4% em alguns experimentos, nenhum deles apresentaram rendimentos maiores do que 96,0% obtidos no experimento 11 utilizando 1% de catalisador.

| Experimento | Relação molar metanol/AGL | Temperatura (°C) | Tempo de reação (h) | Catalisador (%) | Conversão (%) |
|-------------|---------------------------|------------------|---------------------|-----------------|---------------|
| 1           | 3:1                       | 110              | 4                   | 1               | 83,6          |
| 2           | 3:1                       | 110              | 8                   | 1               | 86,5          |
| 3           | 3:1                       | 110              | 12                  | 1               | 81,5          |
| 4           | 6:1                       | 110              | 4                   | 1               | 87,2          |
| 5           | 6:1                       | 110              | 8                   | 1               | 89,9          |
| 6           | 6:1                       | 110              | 12                  | 1               | 82,6          |
| 7           | 6:1                       | 110              | 8                   | 4               | 91,0          |
| 8           | 6:1                       | 110              | 4                   | 4               | 94,4          |
| 9           | 9:1                       | 110              | 4                   | 1               | 88,6          |
| 10          | 9:1                       | 110              | 8                   | 1               | 96,0          |
| 11          | 9:1                       | 80               | 8                   | 1               | 93,5          |
| 12          | 9:1                       | 110              | 4                   | 4               | 93,7          |
| 13          | 9:1                       | 110              | 8                   | 4               | 94,0          |
| 14          | 9:1                       | 110              | 12                  | 1               | 85,3          |
| 15          | 20:1                      | 110              | 8                   | 1               | 95,6          |

Tabela 2. Esterificação dos AGL utilizando ácido sulfúrico concentrado como catalisador.

### 4.3 Esterificação catalisada com APTS.

Os resultados apresentados na Tabela 3 mostram que foram realizados 12 experimentos variando a relação molar metanol/AGL, tempo e quantidade de catalisador. Nos experimentos usando 1% de catalisador os rendimentos foram muito baixos, mesmo com o aumento da razão molar metanol/AGL e do tempo de reação. Utilizando 4% de catalisador todos os rendimentos foram superiores a 92,0%, indicando a dependência de uma quantidade significativa do catalisador para que a reação ocorra. O melhor resultado foi para o experimento 9 onde obteve-se o rendimento de 95,0% com 2 h de reação, 80 °C e 4% de catalisador. O aumento da temperatura de 80 para 100 °C não melhorou o rendimento (experimento 10). O aumento do tempo reacional (experimento 11) e a redução na relação molar metanol/AGL (experimentos 1 e 4) também não forneceram melhores resultados. Estes últimos resultados indicaram que aumentar o tempo reacional, diminuir o rendimento e que as relações molares 3:1 e 6:1 não são o suficiente para a conversão acima de 95,0% dos AGL em biodiesel.

| Experimento | Relação molar metanol/AGL | Temperatura (°C) | Tempo de reação (h) | Catalisador (%) | Conversão (%) |
|-------------|---------------------------|------------------|---------------------|-----------------|---------------|
| 1           | 3:1                       | 80               | 2                   | 4               | 92,0          |
| 2           | 3:1                       | 80               | 2                   | 1               | < 1           |
| 3           | 3:1                       | 80               | 4                   | 1               | < 1           |
| 4           | 6:1                       | 80               | 2                   | 4               | 92,2          |
| 5           | 6:1                       | 80               | 2                   | 1               | < 1           |
| 6           | 6:1                       | 80               | 4                   | 1               | < 1           |
| 7           | 9:1                       | 80               | 2                   | 1               | < 1           |
| 8           | 9:1                       | 80               | 4                   | 1               | < 1           |
| 9           | 9:1                       | 80               | 2                   | 4               | 95,0          |
| 10          | 9:1                       | 100              | 2                   | 4               | 94,0          |
| 11          | 9:1                       | 80               | 4                   | 4               | 92,6          |
| 12          | 20:1                      | 80               | 2                   | 4               | 96,2          |

Tabela 3. Esterificação dos AGL utilizando APTS como catalisador.

O experimento 12 mostra que se houver um aumento ainda maior na relação metanol/AGL de 9:1 para 20:1 o rendimento aumenta de 95,0 para 96,2%. Neste caso deve-se avaliar a relação custo benefício do rendimento com o gasto de metanol para se definir o melhor experimento para ser aplicado em escalas maiores.

### 4.4 Esterificação catalisada com sulfato férrico.

Foram realizados 9 experimentos com o sulfato férrico (Tabela 4). O melhor rendimento usando uma relação 9:1 foi de 91,4% em um tempo reacional de 4 h com 4% de catalisador à 80 °C (experimento 5). O aumento da temperatura de 80 para 100 °C (experimento 6) e o aumento do tempo reacional de 4 para 8h (experimento 7)

provocaram uma redução nos rendimentos. Quando a relação molar foi alterada de 9:1 para 20:1 de metanol/AGL, a taxa de conversão aumentou de 91,4 para 95,0% (experimento 8). Pode-se observar que o uso de uma maior quantidade de metanol melhora o rendimento reacional (Experimentos 8 e 9), mas os resultados usando sulfato férrico são melhores a 80 °C.

| Experimento | Relação molar metanol/AGL | Temperatura (°C) | Tempo de reação (h) | Catalisador (%) | Conversão (%) |
|-------------|---------------------------|------------------|---------------------|-----------------|---------------|
| 1           | 6:1                       | 80               | 4                   | 4               | 89,3          |
| 2           | 9:1                       | 80               | 2                   | 1               | 40,5          |
| 3           | 9:1                       | 80               | 4                   | 1               | 62,3          |
| 4           | 9:1                       | 80               | 2                   | 4               | 76,9          |
| 5           | 9:1                       | 80               | 4                   | 4               | 91,4          |
| 6           | 9:1                       | 100              | 4                   | 4               | 90,4          |
| 7           | 9:1                       | 80               | 8                   | 4               | 89,9          |
| 8           | 20:1                      | 80               | 4                   | 4               | 95,0          |
| 9           | 20:1                      | 100              | 4                   | 4               | 94,0          |

Tabela 4. Esterificação dos AGL utilizando sulfato férrico como catalisador.

#### 4.5 Esterificação catalisada com alginato férrico.

Com o alginato férrico foram realizados 5 experimentos (Tabela 5). O melhor rendimento com uma relação molar 9:1 de metanol/AGL foi de 91,2% (experimento 3). Pode-se observar que tempos de 2 e 4 h não apresentam bons resultados na relação molar 9:1 (experimentos 1 e 2).

| Experimento | Relação molar metanol/AGL | Temperatura (°C) | Tempo de reação (h) | Catalisador (%) <sup>a</sup> | Conversão (%) |
|-------------|---------------------------|------------------|---------------------|------------------------------|---------------|
| 1           | 9:1                       | 60               | 2                   | 4                            | 43,7          |
| 2           | 9:1                       | 60               | 4                   | 4                            | 89,5          |
| 3           | 9:1                       | 60               | 8                   | 4                            | 91,2          |
| 4           | 15:1                      | 60               | 4                   | 4                            | 93,1          |
| 5           | 20:1                      | 60               | 4                   | 4                            | 94,2          |

Tabela 5. Esterificação dos AGL utilizando alginato férrico como catalisador.

<sup>a</sup>4% de ferro em 22,8% de alginato férrico.

O aumento da relação molar de 9:1 para 20:1 aumenta o rendimento da reação de 91,2 para 94,2%, mesmo diminuindo o tempo de 8 para 4 horas (experimento 5). A análise dos experimentos 3, 4 e 5 mostraram que a esterificação dos AGL utilizando alginato férrico é dependente da proporção de metanol usado no meio reacional.

## 4.6 Esterificação do ácido oleico comercial

Para avaliar os melhores resultados apresentados nas Tabelas 2, 3, 4 e 5, realizou-se a esterificação do ácido oleico comercial com metanol respeitando estas mesmas condições ótimas. Os resultados estão apresentados na Tabela 6.

Os resultados mostram claramente que, nas melhores condições reacionais obtidas para a esterificação dos AGL de óleo de girassol semi refinado, a esterificação do ácido oleico comercial ocorre com rendimentos próximos a 99%. Estes resultados mostram que estas condições reacionais podem ser usadas não somente para os AGL utilizados neste estudo, mas que também podem ser usados para outros ácidos graxos livres, tais como o ácido oleico. Estes resultados também mostram que o método de purificação prévia dos AGL de óleo de girassol semi refinado foi eficiente, por apresentar resultados tão satisfatórios quanto para AGL vendidos comercialmente.

| Catalisador               | Relação molar metanol/AGL | Temperatura (°C) | Tempo de reação (h) | Catalisador (%) | Conversão (%) |
|---------------------------|---------------------------|------------------|---------------------|-----------------|---------------|
| Ác. Sulfúrico Concentrado | 9:1                       | 110              | 2                   | 1               | 99,0          |
| APTS                      | 20:1                      | 80               | 2                   | 4               | 98,7          |
| Sulfato Férrico           | 20:1                      | 80               | 4                   | 4               | 98,6          |
| Alginato Férrico          | 20:1                      | 60               | 4                   | 4 <sup>a</sup>  | 98,6          |

Tabela 6. Esterificação do ácido oleico comercial utilizando as melhores condições reacionais da esterificação dos AGL de óleo de girassol semirefinado.

<sup>a</sup> 4% de ferro em 22,8% de alginato férrico.

## 5 | CONCLUSÕES

Os resultados obtidos durante o processo de conversão de AGL de óleo de girassol semi refinado em biodiesel mostraram que é possível recuperar os AGL contidos na fase glicerina da produção de biodiesel em escala industrial. Este trabalho mostra também que é possível aumentar os ganhos das indústrias produtoras de biodiesel purificando o coproduto glicerina, retirando os AGL por separação de fase e convertendo estes AGL em biodiesel que novamente poderão ser comercializados como combustível. Este processo, aumenta o valor agregado dos AGL do óleo de girassol semi refinado, visto que converte estes em combustível e impede que sejam comercializados como impurezas da glicerina bruta.

Dentre os catalisadores o APTS mostrou o melhor rendimento e foi muito mais eficiente na conversão dos AGL em biodiesel, precisando de apenas 2 h de reação para produzir biodiesel com 96,2% de rendimento.

## 6 | AGRADECIMENTOS

Fundação Araucária, CNPq, CAPES, TECPAR, LAMAQ e UTFPR/DAQBI.

## REFERÊNCIAS

AGENCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Disponível em <<http://www.anp.gov.br/>>. Acesso em: 14 maio 2019.

AOCS Official Method Cd 1-25; “**Iodine value of fats and oils – Wijs method**”; Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemist’s Society, 5<sup>a</sup> ed., Champaign, 1998.

AOCS Official Method Cd 3-25; “**Saponification Value of Fats and Oils**”; Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemist’s Society, 5<sup>a</sup> ed., Champaign, 1998.

AOCS Official Method Cd 3d-63; “**Acid Value**”; Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemist’s Society, 5<sup>a</sup> ed., Champaign, 1998.

AOCS Official Method Da 2a-48; “**Moisture and Volatile Matter in Soap Moisture and Volatile Matte, Air Oven Method**”; Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemist’s Society, 5<sup>a</sup> ed., Champaign, 1998.

BOELY, P.L.; GANESAN, S.; MANIAM, P.G.; KHAIRUDDEAN, M.; LEE, S.E. **A new heterogeneous acid catalyst system for esterification of free fatty acids into methyl esters**. Appl. Catal. A-Gen., v. 433, p. 12-17, 2012.

BONDIOLI, P.; BELLA, L.D. **An alternative spectrophotometric method for the determination of free glycerol in biodiesel**. Eur. J. Sc. Technol., v. 107, p. 153-157, 2005.

CAMACHO, L.; CARVALHO, L.G.; BRITTO, P.P.; SANTOS, R.T.P.; DONATO, A.G.A. **Efeitos da natureza e concentração de ácidos homogêneos na esterificação de ácidos graxos**. 3<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Petróleo e Gás. Rio de Janeiro, RJ, 2005.

CHONGHONG, S.; TONGURAY, C.; CHETPATTANANONDT, P. **Continuous esterification for biodiesel production from palm fatty acid distillate using economical process**. Renew. Energy, v.43, p. 1059-1063, 2009.

CONCEIÇÃO, M.M.; DANTAS, M. B.; SILVA, F. C.; SANTOS, I. M. G.; SOUZA, A. G.; **Obtenção de biodiesel através da transesterificação do óleo de milho: conversão em ésteres etílicos de caracterização físico-química**, I Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel, v. 1, 2005.

CORMA, A.; GARCIA, H.; **Lewis Acids: From Conventional Homogeneous to Freen Homogenous and Heterogeneous Catalysis**, Chem Reviews, v. 103, p. 4307-4366, 2006.

FARAG, H.A.; EL-MAGHRABY, A.; TAHA, N. A. **Optimization of factors affecting esterification of mixed oil with high percentage of free fatty acid**. Fuel Processing Technology, v. 92, p. 507-510, 2011.

FERREIRA, D. A. C.; MENEGHETTI, M. R.; MENEGHETTI, S. M. P.; WOLF, C. R., **Methanolysis of soybean oil in the presence of tin(IV) complexes**. Applied Catalysis A: General, v. 317, p. 58-61, 2007.

GUAN, G.; KUSAKABE, K.; SAKURAI, N.; MORIYAMA, K. **Transesterification of vegetable oil to biodiesel fuel using acid catalysts in the presence of dimethyl ether**. Fuel, v.88, p. 81–86, 2009.

HOYDONCKX, H.E.; VOS, D.E.; CHAVAN, S.A.; JACOBS, P.A. **Esterification and transesterification of renewable chemicals**. Top. Catal., v. 27, p. 83-95, 2004.

LOTERO, E.; LIU, Y.; LOPEZ, D. E.; SUWANNAKARN, K.; BRUCE, D. A.; GOODWIN, J. G. JR.; **Synthesis of biodiesel via Acid Catalysis**, v. 44, p. 5353-5363, 2005.

ÓLEO DE GIRASSOL, FICHA TÉCNICA. Disponível em: <<http://www.campestre.com.br/oleos-vegetais/oleo-de-girassol/oleo-de-girassol-ficha-tecnica/>>. Acesso em: 05 junho 2019.

MARCHETTI, J. M.; MIGUEL, V. U.; ERRAZU, A. F., **Heterogeneous esterification of oil with high amount of free fatty acids**, Fuel, v. 86, p. 906-910, 2007.

MEHER, L. C.; SAGAR, D.; VIDYA & NAIK, S. N., **Technical aspects of biodiesel productions by transesterification – a review**. Renew Sustain Energy Rev, v. 10, p. 248-268, 2006.

VIESSER, R. V. **Purificação da fase Glicerina Obtida a Partir da Transesterificação do Óleo de Girassol Semi refinado**. 2010, 90f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

WANG, Y.; OU S.; LIU, P.; ZHANG, Z. **Preparation of biodiesel from waste cooking oil via two-step catalyzed process**. Energ. Convers. Manage., v. 48, p. 184-188, 2007.

## **SOBRE A ORGANIZADORA**

**MÔNICA JASPER** é Doutora em Agronomia pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (2016), com graduação e Mestrado (2010) na linha de pesquisa Manejo Fitossanitário. Professora na Universidade Estadual de Ponta Grossa e no Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais, atuando principalmente nas disciplinas de Entomologia Geral e Aplicada, Manejo de culturas, Morfologia e Fisiologia Vegetal, Fitopatologia Geral e Aplicada, Biologia, Genética e Melhoramento Genético e Biotecnologia.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Ácidos graxos livres 1, 2, 9, 96, 97, 98, 99  
Agronegócio 68  
Álcool 2, 3, 12, 68, 69, 70, 71, 72, 93, 95  
Análise química imediata 75, 77, 78, 79  
ANOVA 38, 50, 51, 55, 70  
Antioxidante 12, 14, 16, 17, 18, 94  
Aprendizagem de máquinas 24, 26, 28  
Automação 41, 117, 118

### B

Biocombustível 50, 51, 57, 68, 69  
Biodiesel 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 37, 40, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 99, 100, 101, 102, 125, 126, 128, 129, 130  
Biodigestor 117, 118, 119  
Bioenergia 41, 52, 59, 82, 100, 118, 119  
Bioetanol 50, 58  
Biogás 19, 20, 41, 45, 46, 49, 117, 118  
Biomass 18, 19, 20, 23, 25, 27, 34, 35, 37, 40, 75, 101, 106, 113, 114, 117, 121, 122, 123, 124, 129  
Biomassa florestal 24, 75, 118, 119  
Biosorbent 121, 122

### C

Carbonização da madeira 82  
Carvão vegetal 75, 76, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86  
Célula fotovoltaica 59, 60  
Celulase 50  
Cultivo 36, 37, 38, 39, 40, 70, 85, 91, 100

### D

Desenvolvimento sustentável 41, 60, 65, 99  
Domínio cerrado 103

### E

Eficiência energética 61, 82  
Energia 13, 41, 43, 44, 46, 47, 48, 49, 59, 60, 62, 64, 65, 66, 72, 75, 80, 82, 86, 87, 88, 90, 98, 99, 100, 118, 119, 120  
Energia da biomassa 75  
Energias renováveis 59, 60

Esterificação 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 100

Eucalipto 35, 75, 80, 82

Extrato vegetal 12, 14

## **G**

Geoestatística 103, 105, 107, 113, 115

Gestão ambiental 88

## **H**

Híbrido de eucalipto 82

## **I**

Inventário florestal 27, 103, 106

## **L**

Lignina 19, 52, 80

Lipídio 36

## **M**

Macaúba 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 97, 98, 99, 100, 101, 102

Metano 19, 45, 46, 118

Mudanças climáticas 24, 25, 34, 60

## **O**

Óleo de girassol 1, 4, 5, 6, 9, 11

## **P**

Potencial energético 41, 47, 48, 49, 87, 88, 90

Pyroligneous Liquor 82, 125, 126, 127, 129

## **R**

Rede cooperativa 117

Regressão múltipla 24, 26, 31, 33, 34

Resíduo orgânico 68

Resíduos sólidos 19

## **S**

Sequestro de carbono 24, 25, 108, 114

Sociologia ambiental 88

Solanum tuberosum L 68, 72

## T

Transesterificação enzimática 88, 93, 97, 98, 99, 100

Transesterification 2, 10, 11, 88, 100, 125, 126, 127, 130

## W

Waste coking oil 125

Waste management 121

Water and wastewater treatment 121

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-629-4

