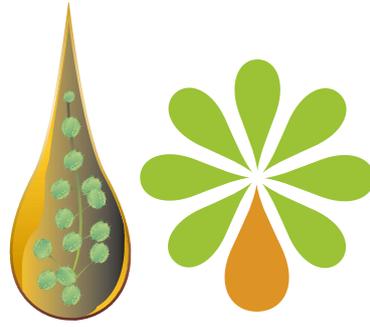


ISBN 978-85-65615-02-0



6° Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel
9° Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel

BIODIESEL: 10 ANOS DE PESQUISA, DESENVOLVIMENTO E INOVAÇÃO NO BRASIL



VOLUME 2
ANAIS - ARTIGOS CIENTÍFICOS
2016



6° Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel
9° Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel

BIODIESEL:
10 ANOS DE PESQUISA, DESENVOLVIMENTO E INOVAÇÃO NO BRASIL
Anais - Trabalhos Científicos

Editores:

Pedro Castro Neto

Antônio Carlos Fraga

Rafael Silva Menezes

Gustavo de Lima Ramos

Natal, 22 a 25 de Novembro de 2016

Rio Grande do Norte - Brasil

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca da UFLA**

Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel
(6. : 2016 : Natal, RN).

Anais do 6. Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia
de Biodiesel, 9. Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas,
Óleos, Gorduras e Biodiesel, Natal, RN, 22 a 25 de novembro
de 2016 / Editores: Pedro Castro Neto ... [et al.]. – Lavras :
UFLA, 2016.

1432 p.

Bibliografias

ISBN 978-85-65615-02-0

1. Biodiesel. 2. Plantas oleaginosas. 3. óleos vegetais. I

Castro Neto, Pedro et al. II. Congresso Brasileiro de Plantas
Oleaginosas, óleos, Gorduras e Biodiesel.

CDD – 633.85

APRESENTAÇÃO

O Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) possui papel fundamental no processo de aprimoramento tecnológico do biodiesel brasileiro. No âmbito do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), o módulo de Desenvolvimento Tecnológico é coordenado pelo MCTIC e objetiva organizar e fomentar a base tecnológica existente no País e norteá-la a gerar resultados que atendam às demandas do PNPB.

Nesse sentido, foi implantada a Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel (RBTB), que articula os diversos atores envolvidos, permitindo a convergência de esforços e a otimização de investimentos públicos na busca por soluções para os desafios tecnológicos da cadeia produtiva, levando em consideração aspectos de sustentabilidade, geração de empregos e desenvolvimento regional.

Como ferramenta de avaliação e divulgação dos resultados dos projetos fomentados, o MCTIC promove, desde 2006, o Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel e a Universidade Federal de Lavras promove, desde 2004, o Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel. Eventos que em suas edições anteriores foram um sucesso, tanto em termos de público, como na divulgação do conhecimento gerado por pesquisadores de inúmeras universidades e institutos de pesquisa de todo o país. A partir de 2010 esses dois eventos foram realizados simultaneamente constituindo o maior evento técnico científico em biodiesel do mundo. Este evento é referência para as áreas de produção de plantas oleaginosas, óleos, gorduras e biodiesel.

APRESENTAÇÃO

É estratégico para o setor de biodiesel possuir fóruns de discussão para se debater temas ligados à pesquisa, desenvolvimento e inovação em Biodiesel, como também promover encontros entre especialistas, estudantes, empresários e a sociedade civil para discutir meios para o desenvolvimento desse novo combustível.

Para o evento deste ano os organizadores receberam 884 trabalhos, dos quais 715 foram aprovados e serão expostos nas sessões de apresentação de pôster. Foram destacados trabalhos que também serão apresentados oralmente nas sessões temáticas. Busca-se atingir com a divulgação dos Anais do evento a difusão do conhecimento gerado, servindo como base para a continuidade das ações e como motivação para que a inovação tecnológica contribua de forma efetiva para os objetivos do PNPB.

Cordialmente,

Professor Pedro Castro Neto
Presidente do Congresso

Professor Antônio Carlos Fraga
Presidente da Comissão Técnico-Científica

Rafael Silva Menezes
**Coordenador de ações de
desenvolvimento
energético RBTB-MCTIC**

COMISSÃO ORGANIZADORA

Pedro Castro Neto
**Presidente do Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas,
Óleos, Gorduras e Biodiesel**

Rafael Silva Menezes
**Presidente do Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia
de Biodiesel**

Gustavo de Lima Ramos
Secretário-Geral

Antônio Carlos Fraga
Presidente da Comissão Técnico-Científica

Juliana Espada Lichston
Presidente da Comissão Local da UFRN

Rafael Peron Castro
Anderson Lopes Fontes
Secretários Comissão Local da UFRN

COMISSÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

Antônio Carlos Fraga (UFLA) - Presidente

Pedro Castro Neto (UFLA) - Vice-Presidente

Lucas Ambrosano (UEM) - Secretário

Geovani Marques Laurindo (G-Óleo/UFLA) - Secretário

Douglas Pelegrini Vaz-Tostes (G-Óleo/UFLA) - Secretário

MEMBROS DAS ÁREAS TEMÁTICAS

Aristeu Gomes Tininis (IFSP)

Bill Jorge Costa (TECPAR)

Bruno Galvêas Laviola (EMBRAPA)

Cláudio José de Araujo Mota (UFRJ)

Danilo Luiz Flumignan (IFSP)

Donato Alexandre Gomes Aranda (UFRJ)

Eduardo Homem de Siqueira Cavalcanti (INT)

Fátima Menezes Bento (UFRGS)

Gustavo Lima Ramos (SETEC/MCTIC)

Iêda Maria Garcia dos Santos (UFPB)

Luiz Pereira Ramos (UFPR)

Maria Aparecida Ferreira César-Oliveira (UFPR)

Nelson Roberto Antoniosi Filho (UFG)

Paulo Anselmo Ziani Suarez (UnB)

Rafael Silva Menezes (SETEC/MCTIC)

Roberto Bianchini Derner (UFSC)

Rosenira Serpa da Cruz (UESC)

Sérgio Peres Ramos da Silva (UPE)

Simoni Margaretti Plentz Meneghetti (UFAL)

COMISSÃO EXECUTORA

Associação dos
Pesquisadores em Plantas Oleaginosas,
Óleos, Gorduras e Biodiesel



Rede Brasileira de
Tecnologia de Biodiesel

SECRETARIA DE
DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO
E INOVAÇÃO

MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA,
INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES



REVISÃO E EDITORAÇÃO

Pedro Castro Neto (UFLA)
Antônio Carlos Fraga (UFLA)
Lucas Ambrosano (UEM)
Douglas Pelegrini Vaz-Tostes (G-Óleo/UFLA)
Geovani Marques Laurindo (G-Óleo/UFLA)

COMISSÃO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO

Pedro Castro Neto (UFLA) – Presidente
Antônio Carlos Fraga (UFLA)
Gilson Miranda Júnior (BCC/UFLA)
Jaime Daniel Corrêa Mendes (BCC/UFLA)
João Paulo de Araújo (BCC / G-Óleo/UFLA)
Ferguson Antônio Gomes Peres de Souza (G-Óleo/UFLA)
Henrique Fidencio (G-Óleo/UFLA)
Arnon de Castro Oliveira (G-Óleo/UFLA)
Saulo Kirchmaier Teixeira (G-Óleo/UFLA)

AGRADECIMENTOS

Apoiadores, Autores, Congressistas, Expositores e Palestrantes.

MEMBROS DA G-ÓLEO

Associação dos Pesquisadores em Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel

Pedro Castro Neto (Presidente)
Lucas Ambrosano (Vice-Presidente)
Douglas Pelegrini Vaz-Tostes (Tesoureiro)
Vinícius Reis Bastos Martins (Secretário)
Antônio Carlos Fraga
Arnon de Castro oliveira
Bárbara Lemes
Camilla Freitas Maia
Camilo José Rodrigues Dal Bó
Carlos Henrique Santos Fonseca
Carlúcio Queiroz Santos
Clara de Almeida Filippo
Daniel Augusto de Souza Borges
Danilo da Silva Souza
Diego Flausino Brasileiro
Erika Tokuda
Ferguson Antonio Gomes Peres de Souza
Gabriel Dlouhy Alcon
Gabriele de Faria Castro
Geovani Marques Laurindo
Gilson Miranda Júnior
Guilherme de Oliveira Martins
Gustavo de Almeida Adolpho
Hamilton Olinto Pimenta Lima Junior
Henrique Fidencio
Jaime Daniel Corrêa Mendes
Janice Alvarenga Santos Fraga
João Paulo de Araújo
Julia Andrade de Ávila
Juliana de Xisto Silva
Maraiza Assis Mattar Silva
Marcela Santos Moreira
Matheus Sterzo Nilsson
Paulo Rogério Ribeiro Pereira
Pedro Henrique Barcelos Mota
Pedro Rodolfo Bianchim de Oliveira
Rafael Peron Castro
Rodrigo Martins Santos
Sandra Regina Peron Castro
Sandro Freire de Araújo
Saulo Kirchmaier Teixeira
Stênio Carvalho
Thalita Caroline Azevedo Gonçalves
Thiago Matiulli
Vitor Favareto Silva

REALIZAÇÃO

O Núcleo de Estudos em Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biocombustíveis (G-Óleo) idealizado pelos professores Antônio Carlos Fraga



do Departamento de Agricultura e Pedro Castro Neto do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, desde 2006 promove a

produção científica e realiza eventos acadêmicos voltados a estudantes, pesquisadores e empreendedores que atuam nas diversas etapas da cadeia produtiva do biodiesel, transferindo ao produtor rural por meio de eventos de extensão, onde inovações da pesquisa e indústria são levadas e apresentadas à comunidade.

A diversidade das áreas de atuação do grupo torna os projetos amplamente diversificados, englobando atividades em fitotecnia, química, projetos e manutenção de máquinas agrícolas e industriais, gerência e tecnologia de informação, administração, extração e purificação de óleos e gorduras, gestão de coprodutos e resíduos, todas associadas à produção científica visando inovação para a indústria e melhoria na produção rural.

REALIZAÇÃO

Com o objetivo de impulsionar o desenvolvimento tecnológico e a inovação do biodiesel no Brasil, o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) promove diversas ações, principalmente por meio da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel (RBTB), que envolve diversos atores da cadeia produtiva. Isso permite a convergência de esforços e a otimização de investimentos públicos, buscando soluções para os desafios tecnológicos do setor. Desde 2006, a Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (SETEC/MCTIC) promove o Congresso da RBTB com objetivo de disseminar os conhecimentos tecnológicos gerados, a divulgação das potencialidades da Rede, as competências e os trabalhos em andamento. A realização do evento envolve a comunidade científica e empresarial e abrange sete diferentes áreas temáticas: Matéria Prima; Armazenamento, Estabilidade e Problemas Associados; Caracterização e Controle da Qualidade; Co-Produtos; Produção do Biocombustível; Uso de Biodiesel; e Políticas Públicas e Desenvolvimento Sustentável.



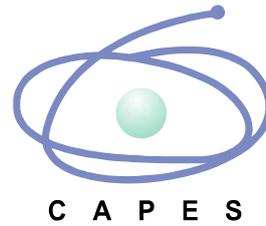
REALIZAÇÃO

SECRETARIA DE
**DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO
E INOVAÇÃO**

MINISTÉRIO DA
**CIÊNCIA, TECNOLOGIA,
INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES**



APOIO





6° Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel
9° Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel

**TRABALHOS
CIENTÍFICOS
APROVADOS**

Ácidos graxos residuais como matéria prima para a produção de biodiesel utilizando catálise ácida heterogênea e rota etílica

Mailena Silva Dourado (LABEC/UFBA, mailenasilva@hotmail.com), Donato Alexandre Gomes Aranda (GREENTEC/UFRJ, donato.aranda@gmail.com), Emerson Andrade Sales (LABEC/UFBA, andradesales.emerson@gmail.com).

Palavras Chave: Ácidos graxos residuais; esterificação; biodiesel.

1 - Introdução

A utilização dos resíduos graxos industriais apesar da necessidade de estudos mais aprofundados, quando aplicados industrialmente, mostra-se eficientes como matérias primas para a produção de biodiesel com o uso de catalisadores heterogêneo devido o alto índice de acidez, objetivando a sustentabilidade do planeta através da química verde e a minimização de custos operacionais, tais como nas etapas de separação e purificação, quanto na substituição de agentes químicos de origem fóssil (metanol) na produção de biodiesel.

A pureza da glicerina oriunda dos processos convencionais de obtenção de biodiesel é entre 75-85%, podendo ser atingida até 90-95% de pureza se a reação de transesterificação for otimizada (BOURNAY et al, 2005).

As impurezas presentes na glicerina bruta podem ser: ácido graxo, composto resinoso e nitrogenado, substâncias coloridas, hidrocarbonetos e produtos fermentados, a saber: trimetilenglicol, ácido láctico, ácido succínico, ácidos graxos oxidados de baixo peso molecular, aldeídos e cetonas (BAILEY; HUI, 1996, MINER, 1953). Além do álcool não reagido, que segundo Thompson (2006) estaria entre 23,4% e 37,5 % de metanol.

Esses ácidos graxos gerados na hidrólise da glicerina podem ser usado como matéria prima para a produção de biodiesel. A utilização de resíduos graxos de elevada acidez é uma alternativa bem interessante pela possibilidade de geração de biocombustíveis com baixo custo de produção, já que ela foi permitida na Lei 11.097 de 2005. Sem dúvida, essa estratégia parece mais atraente do que a utilização de óleos vegetais neutralizados, como os exigidos nos processos de transesterificação, e também por não chocar com os interesses das indústrias alimentícias.

O uso do ácido graxo residual como matéria prima para produção de ésteres é justificado pela quantidade de ácidos graxos presente nas amostras desse resíduo. O reaproveitamento dos resíduos gerados na purificação da glicerina é uma busca de novas alternativas como matéria-prima, permitindo assim produzir biodiesel a custo mais baixo quando comparado a outros insumos utilizados.

Os ácidos graxos gerados na hidrólise da glicerina podem ser utilizados como matéria prima para a produção de biodiesel. O uso de resíduos graxos de elevada acidez é uma alternativa que apresenta pontos positivos do ponto de vista ambiental, e também financeiro, vista como uma estratégia mais atraente do que a constante utilização de óleos vegetais neutralizados, como os exigidos nos processos de transesterificação, e não apresentam conflitos de interesses das indústrias alimentícias.

Este trabalho propõe a utilização dos resíduos graxos gerados no processo de purificação do glicerol como matéria

prima, para a produção de biodiesel utilizando o catalisador ácido níobico e etanol como agentes esterificantes.

2 - Material e Métodos

Os resíduos graxos gerados na purificação da glicerina foram utilizados como matéria prima no presente estudo, e sua composição é apresentada na Tabela 01.

Tabela 01 Caracterização dos ácidos graxos residuais gerados na purificação do glicerol.

TEMPO DE RETENÇÃO	% DE ÁCIDO GRAXO	NOME	FÓRMULA
5.518	6,6043	Caproico	C6:0
12.167	0,0084	Undecanóico	C11:0
13.489	0,0157	Laurico	C12:0
15.695	0,2469	Mirístico	C14:0
16.242	0,0165	Miristoléico	C14:1
17.850	9,5765	Palmitico	C16:0
18.152	0,2219	Palmitoléico	C16:1
18.983	0,1064	Heptadecanóico	C17:0
19.272	0,0826	Cis-10-Heptadecanóico	C17:1
20.198	2,3598	Estearico	C18:0
20.481	20,7612	Oléico	C18:1n9c
21.103	52,0795	Linoléico	C18:2n6c
21.918	6,9878	Linolénico	C18:3n3
22.732	0,1796	Araquídico	C20:0
23.025	0,1658	Gadolínico	C20:1
23.161	0,1659	Gadolínico	C20:1
25.135	0,0375	Eicosapentanoico	C20:5
25.512	0,1296	Behénico	C22:0
26.151	0,0329	Erucico	C22:1n9
27.244	0,0514	Tricosanoico	C23:0
29.138	0,1697	Lignocérico	C24:0

Os ácidos graxos foram caracterizados por cromatografia gasosa usando o método EN 14103. A análise foi realizada no laboratório Greentec, da Universidade Federal do Rio de Janeiro

O catalisador heterogêneo utilizado, ácido níobico em pó (HY-340), foi cedido pela empresa CBMM (Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração), e previamente tratado em um forno mufla na temperatura de 200°C por 1 hora, para ativação e remoção de água e impurezas. Após o pré-tratamento, foram realizados os ensaios de bancada, tempo de reação fixo de 6 horas.

Foram realizadas análises do índice de acidez por titulometria, utilizando o indicador fenolftaleína e NaOH como titulante. A metodologia consiste na neutralização dos ácidos graxos por solução alcalina de NaOH 0,25 N, previamente padronizada. Os ácidos graxos residuais, matéria prima utilizada nesse estudo apresentaram acidez livre de 64,9%. Dessa forma, pode-se avaliar qualitativamente a melhor conversão de ésteres conforme cada ensaio realizado.

A amostra que apresentou o melhor resultado de conversão em ésteres, avaliada pelo menor índice de acidez, foi misturada na proporção de 5% para 95% e 10% para 90%

com o biodiesel produzido por rota industrial tradicional (Empresa Oleoplan). Os *blends* foram enviados para análise de qualidade e certificação na empresa Saybolt Concremat, credenciada pela ANP.

3 - Resultados e Discussão

O ensaio que apresentou a melhor conversão em ésteres, cerca de 70%, foi o de número 12: temperatura de 200°C, razão molar etanol/ácidos graxos 20:1 e 20% de catalisador, ou seja, com todas as variáveis em seus valores máximos, como pode-se verificar na Tabela 2.

Tabela 2: Conversão dos ácidos graxos em ésteres.

Ensaio	Temperatura (°C)	Razão (álcool: ácidos graxos)	% Catalisador	% Éstere
1	150	15:1	10	47,5
2	150	15:1	15	61,6
3	150	15:1	20	63,8
4	150	20:1	10	61,6
5	150	20:1	15	64,7
6	150	20:1	20	66,0
7	200	15:1	10	50,4
8	200	15:1	15	59,2
9	200	15:1	20	63,3
10	200	20:1	10	53,9
11	200	20:1	15	57,2
12	200	20:1	20	70,0

Os ésteres formados nessa reação foram adicionados ao biodiesel produzido com óleo de soja, em um percentual de 5% e submetido às análises de certificação conforme exigido pela resolução da 07/2005 da ANP.

A Tabela 03 apresenta as análises exigidas e os resultados obtidos do biodiesel final, todas dentro das especificações exigidas para comercialização.

Tabela 03: Certificação do biodiesel final obtido a partir do *blend* com 5% dos ésteres de ácidos graxos.

PROPRIEDADE ANALISADA	MÉTODO DE ANÁLISE	UNIDADE	ESPECIFICAÇÃO	RESULTADO OBTIDO
ASPECTO / TEMPERATURA LÍQUIDA EM °C	VISUAL		NOTA 1	L 11 / 24,2
MASSA ESPECÍFICA A 20°C	ASTM D 4052	Kg/m ³	850,0 A 900,0	878,4
VISCOSIDADE CINEMÁTICA A 40°C	ASTM D 445	mm ² /s	3,000 A 8,000	4,258
TEOR DE ÁGUA	ASTM D 6304	mg/kg	200 MÁX.	154
CONTAMINAÇÃO TOTAL	EN 12962	mg/kg	24 MÁX.	20,1
PONTO DE FULGOR	ASTM D 93	°C	100,0 MÍN.	146,0
TEOR DE ÉSTER	EN 14103	%MASSA	99,9 MÍN.	99,8
CONZAS SULFATADAS	ASTM D 974	%MASSA	0,000 MÁX.	(#)
ENXOFRE TOTAL	ASTM D 5483	mg/kg	10 MÁX.	1,9
SÓDIO + POTÁSSIO	NBR 15553	mg/kg	5 MÁX.	3,1
CÁLCIO + MAGNÉSIO	NBR 15553	mg/kg	5 MÁX.	1,7
FÓSFORO	NBR 15553	mg/kg	10 MÁX.	1,8
CORROSÃO AO COBRE, 3H A 50°C	ASTM D 130		1 MÁX.	1
PONTO DE ENTUPIMENTO	ASTM D 8371	°C	19 MÁX.	#
ÍNDICE DE ACIDEZ	ASTM D 854	mg 99 KOP/g	0,50 MÁX.	0,44
GLICEROL LIVRE	ASTM D 8584	%MASSA	0,02 MÁX.	0,010
GLICEROL TOTAL	ASTM D 8584	%MASSA	0,25 MÁX.	0,174
MONOGLICEROL	ASTM D 8584	%MASSA	0,70 MÁX.	0,538
DIGLICEROL	ASTM D 8584	%MASSA	0,20 MÁX.	0,145
TRIGLICEROL	ASTM D 8584	%MASSA	0,20 MÁX.	0,028
METANOL OU ETANOL	EN 14111	g de l/100g	0,20 MÁX.	0,06
ÍNDICE DE IODO	EN 14111		ANOTAR	60
ESTABILIDADE OXIDATIVA A 110°C	EN 14112	HORAS	8 MÍN.	7,0
NÚMERO DE SETANOS	ASTM D 813		ANOTAR	(#)

4 – Conclusões

Apesar da necessidade de estudos mais aprofundados, quando aplicado industrialmente, devido às características específicas da transposição de escala, este trabalho mostra uma alternativa para as atuais rotas tecnológicas de produção de biodiesel visando à minimização de custos operacionais quando da utilização de materiais residuais e redução de etapas de purificação, por exemplo reduzindo a geração de efluentes pelo uso de catalisador sólido ácido, além da substituição de agentes químicos de origem fóssil como é o caso do uso de etanol em substituição ao metanol. Os testes realizados mostraram uma possibilidade promissora de reaproveitamento dos resíduos gerados da purificação de glicerina e a inserção de mecanismos de produção mais

limpa na indústria de biodiesel.

5 – Agradecimentos

Agradecemos ao CNPq e ao MCTI pelo apoio financeiro ao grupo de pesquisa do Laboratório de Bioenergia e Catalise (LABEC), Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia, e a toda a equipe do LABEC e do Laboratório de Tecnologias Verdes - GreenTec / UFRJ pelo suporte e apoio no desenvolvimento da pesquisa.

6 - Bibliografia

- BAILEY, A. E.; HUI, Y. H. Glycerin processing. In: HUI, Y. H. (Ed.). **Bailey's industrial oil and fat products**. 5 edição. New York: John Wiley, 1996. v. 5, p. 275-308.
- BOURNAY, L.; CASANAVE, D.; DELFORT, B.; HILLION, G.; CHODORGE, J.A.; **New heterogeneous process for biodiesel production: A way to improve the quality and the value of the crude glycerin produced by biodiesel plants**. *Catalysis Today*, v.106, p. 190-192, 2005. Chavanne, G.; *BE 422,877, 1937* (CA 1938, 32, 4313).
- BRAGA, V. S. **Preparação e caracterização de catalisadores baseados em pentóxido de nióbio e óxido de cobertos (III) aplicados em reações de esterificação e transesterificação**. 2007. 114 p. Tese (Doutorado em Química) Universidade de Brasília, Brasília.
- BRAGA, V. S.; BARROS, I. C. L.; GARCIA, F. A. C.; DIAS, S. C. L.; DIAS, J. A. **Esterification of acetic acid with alcohols using supported niobium pentoxide on silica-alumina catalysis**. *Catalysis Today*, v. 133, p.106-112, 2008.
- GONÇALVES, J. A. **Esterificação de Compostos Modelos Sobre Ácido Nióbio para Produção de Biodiesel**. *Dissertação de Mestrado da Universidade Federal do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2007.
- LIMA, L. L. **Produção de Biodiesel a partir da Hidroesterificação dos Óleos de Mamona e Soja**. Tese de Mestrado. Escola de Química - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2003.
- SAMPAIO, M. J. F. **Produção de biodiesel por catálise heterogênea**. 2008, 70 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) Instituto Politécnico de Bragança, Bragança.