

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO ÓLEO E DO BIODIESEL DE *Crambe abyssinica* Hochst¹

JASPER, Samir Paulo²
BIAGGIONI, Marco Antônio Martin³
SILVA, Paulo Roberto Arbex³

Recebido em: 2013-02-03

Aprovado em: 2013-06-20

ISSUE DOI: 10.3738/1982.2278.854

RESUMO: Atualmente, a produção de biodiesel no mundo vem crescendo de forma acelerada, este interesse e demanda por biodiesel promovem um aumento da demanda por matéria-prima, ou seja, lipídios. O biodiesel é um substituto do diesel de petróleo obtido pela transesterificação, ácida ou básica, dos lipídios presentes nos óleos e gorduras. O *Crambe abyssinica* Hochst é uma espécie vegetal que tem despertado interesse dos produtores brasileiros, devido ao teor de óleo, rusticidade, cultivo mecanizado e, principalmente, por ser uma cultura de inverno tornando, assim, mais uma opção ao agricultor neste período. Objetivou-se, neste trabalho, a caracterização físico-química do óleo e do biodiesel proveniente do *Crambe abyssinica* Hochst, de acordo com a Resolução n° 7 da ANP. A análise de ácidos graxos do óleo do crambe indicou elevada concentração de ácidos graxos insaturados, o que pode não ser adequado para o uso do biodiesel em regiões muito frias, caso utilizado puro ou em misturas elevadas com óleo diesel. O biodiesel produzido a partir do *Crambe abyssinica* Hochst revelou estar dentro das normas estabelecidas pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.

Palavras-Chave: Biocombustível. Combustível alternativo. Ácidos graxos.

PHYSICAL-CHEMISTRY CHARACTERIZATION OF OIL AND BIODIESEL FROM CRAMBE ABYSSINICA HOCHST

SUMMARY: Currently, the production of biodiesel in the world is growing so rapidly, this interest and demand for biodiesel promote an increase in demand for raw materials, or lipids. Biodiesel is a substitute for diesel oil obtained by transesterification, acid or base, of the lipids present in oils and fats. The *Crambe abyssinica* Hochst is species plant that has attracted interest of Brazilian producers due to oil content, rusticity and mechanized cultivation, mainly as a crop of winter it becomes an option for most farmers in this period. This study aimed to characterize physical-chemical oil and biodiesel from *Crambe abyssinica* Hochst, in accordance with Resolution n° 7 of the ANP. The analysis of fatty acids of oil Crambe showed high concentration of unsaturated fatty acids, which may not be suitable for the use of biodiesel in very cold regions, where it is used pure or in mixtures with diesel in large proportions. The biodiesel produced from *Crambe abyssinica* Hochst be revealed within the standards established by the National Agency of Petroleum, Natural Gas and Biofuels.

Keywords: Biofuel. Alternative fuel. Fatty acids.

INTRODUÇÃO

De acordo com o Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT, 2005), biocombustíveis são fontes de energias renováveis, derivados de produtos agrícolas como a cana-de-açúcar, plantas oleaginosas, biomassa florestal e outras fontes de matéria orgânica. Em alguns casos, os biocombustíveis podem ser usados tanto isoladamente, como adicionados aos combustíveis convencionais. Como exemplos, podem-se citar o biodiesel, o etanol, o metanol, o metano e o carvão vegetal.

¹Extraído da tese de doutorado do primeiro autor.

²Engenheiro Agrônomo, Pós-Doutorando do Programa de Pós-graduação em Agricultura, FCA/UNESP – Botucatu/SP, jasper@fca.unesp.br.

³Engenheiro Agrônomo, Professor Doutor, FCA/UNESP – Botucatu/SP – Brasil.

O biodiesel pode ser definido como sendo um éster de ácidos graxos derivado de fontes renováveis, como óleos vegetais, óleos residuais e gorduras animais, obtido através de um processo de transesterificação, no qual ocorre a transformação de triacilglicerídeos em moléculas menores de ésteres de ácidos graxos (DANTAS *et al.*, 2006).

A transesterificação é um processo químico que tem por objetivo modificar a estrutura molecular dos lipídios, tornando-a praticamente idêntica à do óleo diesel e, por consequência, com propriedades físico-químicas iguais. Por outro lado a grande vantagem do lipídio transesterificado é a possibilidade de substituir o óleo diesel sem nenhuma alteração nas estruturas do motor (CONCEIÇÃO *et al.*, 2005).

Como combustível, o biodiesel possui características vantajosas em relação aos combustíveis derivados do petróleo, podendo ser citada a condição de ser livre de enxofre e de compostos aromáticos; alto número de cetano; teor médio de oxigênio; maior ponto de fulgor; menor emissão de partículas, HC, CO e de CO₂; caráter não tóxico e biodegradável, além de ser proveniente de fontes renováveis. Ele permite que se estabeleça um ciclo fechado de carbono no qual o CO₂ é absorvido quando a planta se desenvolve e é liberado quando o mesmo é queimado na combustão do motor. Estudo conjunto realizado pelos Departamentos de Energia e de Agricultura dos Estados Unidos mostra que o biodiesel reduz em 78% as emissões líquidas de CO₂ (D'ARCE, 2005).

A produção de biodiesel no Brasil encontra-se alicerçada em culturas anuais, principalmente de ciclo primavera/verão, faltando alternativas para o outono/inverno que permitisse dar continuidade à produção de biodiesel, além de realizar rotação de cultura. Para a obtenção de máxima eficiência da capacidade produtiva do solo, o planejamento de rotação de cultura deve considerar, além das espécies comerciais, aquelas destinadas à cobertura do solo, que produzam grandes quantidades de biomassa, cultivadas quer em condição solteira ou em consórcio com culturas comerciais (EMBRAPA SOJA, 2004).

Atualmente, na produção de biodiesel, empresas e órgãos estaduais e federais vêm priorizando busca por matérias-primas alternativas, contudo, sempre avaliando os atributos destas sob aspectos agrônômicos e tecnológicos, como: teor de óleo; produtividade; sistema produtivo; ciclo da cultura; etc. Considerando estes aspectos, acredita-se que o *Crambe abyssinica* Hochst, por trata-se de uma cultura de inverno, tem grande potencial para constituir-se em matéria-prima para biodiesel, além de atuar na rotação de cultura. Cultivada em maior escala no México e nos Estados Unidos para produção de óleo industrial, seu cultivo iniciou-se no Brasil em 1995, na Fundação do Mato Grosso do Sul (Fundação MS), no município de Maracaju/MS, que visava seu uso para rotação de cultura (ECHEVENGUÁ, 2007).

Estudos realizados na estação de pesquisa da Fundação do Mato Grosso do Sul (2007), em Maracaju/MS, destacaram como vantagens *Crambe abyssinica* Hochst: tolerância à seca, à geada depois de estabelecida, elevada precocidade e elevado teor de óleo (34% a 38%). A produtividade em 2007 variou entre 1.000 e 1.500 quilos por hectare, contudo, ressalta-se a possibilidade de aumentar a produtividade.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a composição análises físico-químicas do óleo e do biodiesel do *Crambe abyssinica* Hochst cultivado, após o milho safrinha, na região de Botucatu, tendo como referência os parâmetros exigidos pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP).

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no ano agrícola 2008, na Fazenda Experimental Lageado, pertencente à Faculdade de Ciências Agrônômicas – UNESP, localizada no município de Botucatu - SP,

na região centro oeste do Estado de São Paulo, tendo como coordenadas geográficas de Latitude 22° 51' S e Longitude 48° 26' W de Greenwich, altitude média de 770 metros, declividade média de 4,5% e clima subtropical chuvoso, apresentando inverno seco, tipo Cfa, de acordo com o critério de Köppen.

A área experimental vem sendo conduzida no sistema de plantio direto desde 1997. Após a colheita do milho safrinha na última quinzena de julho, realizou-se a dessecação da área na primeira semana de agosto, por meio de herbicida para instalação (semeadura) do experimento na segunda semana do mês de agosto. A colheita foi realizada por colhedora automotriz na última semana de novembro, totalizando o ciclo da cultura em 106 dias.

Os grãos colhidos foram encaminhados a empresa Ecirtec Equipamentos e Acessórios Industriais Ltda., com sede em Bauru/SP, onde o óleo foi extraído em prensa quente.

O Biodiesel do *Crambe abyssinica* Hochst foi obtido por reação de transesterificação, utilizando o álcool metílico e o catalisador básico (KOH). As análises físico-químicas do óleo do *Crambe abyssinica* Hochst foram realizadas de acordo com as normas da American Oil Chemists Society [AOCS, 1985]. As análises do biodiesel puro do *Crambe abyssinica* Hochst foram realizadas de acordo com as normas da American Society of Testing and Materials (ASTM) e Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) indicadas pela Resolução nº 7 da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2008). Todas as análises foram realizadas no Instituto de Tecnologia do Paraná (TECPAR).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização do óleo de *Crambe abyssinica* Hochst

Os resultados da caracterização físico-química do óleo do *Crambe abyssinica* Hochst são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros físicos e químicos do óleo de crambe.

Ensaio	Óleo Crambe	Unidade
Massa Específica	911,3	kg m ⁻³
Viscosidade Cinemática	49,02	mm ² s ⁻¹
Índice de Iodo	88	gI ₂ 100g ⁻¹
Índice de Acidez	3,64	mg KOH g ⁻¹
Teor de Água	803,4	mg kg ⁻¹

Fonte: Elaborado pelos Autores

Analisando o teor de água para óleo do crambe de, 803,4 mg kg⁻¹, obtém-se um valor inferior a 0,5% em peso. De acordo com Freedman *et al.* (1984); Silva (2005), todas as matérias-primas para biodiesel devem ser anidras, ou seja, conter no máximo 0,5% do seu peso em água. Portanto, o óleo do crambe analisado foi favorável para obtenção do biodiesel, na reação de transesterificação.

Verifica-se na Tabela 1, o alto índice de acidez do óleo do crambe (3,64 mg KOH g⁻¹), quando comparado com os índices de acidez relatado por Cunha (2008) para óleo de soja, sebo bovino e gordura de frango que foram, respectivamente, 0,104 mg KOH g⁻¹, 0,703 mg KOH g⁻¹ e 0,684 mg KOH g⁻¹. Por outro lado, no trabalho realizado por Schroeder *et al.* (2006), o índice de acidez da gordura das aves, obtida do sistema de tratamento de efluente, foi de 10,02 ± 0,02 mg KOH g⁻¹, quase três vezes superior ao índice de acidez do crambe. Para corrigir o alto índice da gordura das aves, utilizaram um catalisador básico na reação transesterificação, mesmo procedimento adotado neste trabalho.

As propriedades físico-químicas da matéria-prima que podem interferir na reação de transesterificação são duas: o teor de água por promover a desativação do catalisador, e conseqüentemente, a formação de ácidos graxos livres; e o índice de acidez, que determina o estado de

conservação dos óleos e/ou gordura. Elevados índices de acidez podem interferir negativamente na reação de transesterificação, por favorecer a reação de saponificação, transformando os ácidos graxos em sabão e formando moléculas de água (PEREIRA, 2007).

Ainda pela análise da Tabela 1, observou-se mínima diferença da massa específica do óleo do crambe foi de $911,3 \text{ kg m}^{-3}$, quando comparada com a massa específica dos óleos de canola, girassol e soja, de $920,3 \text{ kg m}^{-3}$, $918,0 \text{ kg m}^{-3}$ e $919,5 \text{ kg m}^{-3}$, respectivamente, relatada por Bassi; Maciel (2003).

Na Tabela 2, é apresentada composição e a porcentagem dos ácidos graxos do óleo do *Crambe abyssinica* Hochst. Analisando-se a composição, observa-se a predominância dos ácidos graxos insaturados (90,1%) sobre os ácidos graxos saturados (9,9%), tendo o ácido erúico (insaturado) correspondido a 56,7% da composição dos ácidos graxos, corroborando com os dados de ECHEVENGUÁ (2007).

Tabela 2. Composição dos ácidos graxos do óleo do *Crambe abyssinica* Hochst.

Ácido graxo	Nomenclatura do ácido	Porcentagem de ácidos graxos totais (%)	
		Crambe	
C 16:0	Palmítico	3,4	
C 18:0	Estearico	1,1	
C 18:1	Oléico	17,8	
C 18:2	Linoléico	6,1	
C 18:3	Linolênico	2,8	
C 20:0	Araquídico	1,7	
C 20:1	Eicosenóico	6,7	
C 22:0	Behênico	3,7	
C 22:1	Erúico	56,7	
Σ Saturados		9,9	
Σ Insaturados		90,1	

Fonte: Elaborado pelos Autores

Voltando à análise da Tabela 1, verifica-se que o índice de iodo para óleo do crambe foi de $88 \text{ gI2 } 100\text{g}^{-1}$. Relacionando o índice de iodo com a composição dos ácidos graxos no trabalho de Cunha (2008), observa-se que o índice de iodo para o óleo de soja, sebo bovino e gordura de frango foram de $143,34 \text{ gI2 } 100\text{g}^{-1}$, $41,52 \text{ gI2 } 100\text{g}^{-1}$ e $60,21 \text{ gI2 } 100\text{g}^{-1}$, respectivamente. As composições dos ácidos graxos foram de: 82,08% insaturados e 17,92% saturados para óleo de soja; 34,48% insaturados e 65,52% saturados para o sebo bovino; e 69,22% de insaturados e 30,78% de saturados para gordura frango, ou seja, o índice de iodo e relativo ao número de duplas ligações do ácido (insaturação), sendo dependente da origem do óleo e/ou gordura (SORIANO *et al.*, 2006), logo o elevado índice de iodo do óleo do crambe, reflete a predominância dos ácidos graxos insaturados sobre os ácidos graxos saturados, o que explica, em partes, a alta viscosidade cinemática do o óleo do crambe ($49,02 \text{ mm}^2 \text{ g}^{-1}$), conforme Tabela1, mas esta viscosidade deve ser atribuída, principalmente, pelo ácido graxo predominante, no caso erúico, conforme Garcia (2006).

Para a produção de biodiesel, é preferível a predominância de ácidos graxos saturados, que possuam alto número de cetano, pois são menos propensos à oxidação que os compostos insaturados (CANAKCI, 2007). Como a oxidação causa polimerização e formação de goma, evitando a combustão completa nos motores ciclo diesel (MA; HANNA, 1999), a mistura do biodiesel do crambe com diesel e/ou biodiesel provenientes de outros óleos vegetais, residuais ou gordura animal, pode ser recomendável.

Caracterização do biodiesel de *Crambe abyssinica* Hochst

Na Tabela 3, são apresentados os dados referentes à caracterização físico-química do biodiesel do crambe, bem como as especificações determinadas pela ANP.

Tabela 3. Parâmetros físicos e químicos do biodiesel *Crambe abyssinica* Hochst, em rota metflica.

Ensaio	Métodos	Resultados	Especificação ANP	Unidade
Índice de Acidez	NBR 14.448	0,06	0,80 (máx.)	mg KOH g ⁻¹
Índice de Iodo	EN 14.111	88	<115	gI ₂ 100g ⁻¹
Massa Específica a 20°C	NBR 7.148	874	850 - 900	kg m ⁻³
Ponto de Entupimento do Filtro a Frio (PEFF)	NBR 14.747	11 ¹	19 (máx.)	°C
Poder Calorífico	ASTM D 240	9.675 (40,51)	---	cal g ⁻¹ (MJ kg ⁻¹)
Viscosidade Cinemática a 40°C	NBR 10.441	5,919	3,0 - 6,0	mm ² s ⁻¹
Cálcio+Magnésio	EN 14.538	5,0 ²	5 (máx.)	mg kg ⁻¹
Sódio+Potássio	EN 14.538	Na 2,5+K < 2,0 ²	5(máx.)	mg/kg ⁻¹
Fósforo	EN 14.107	< 2,0 ²	10 (máx.)	mg kg ⁻¹
Teor de Éster	EN 14.103	96,5	96,5 (min.)	% massa
Glicerina Livre	EN 14.105	0,00	0,02 (máx.)	% massa
Glicerina Total	EN 14.105	0,06	0,25 (máx.)	% massa

¹ O limite máximo de 19°C é válido para as regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste e Bahia, devendo ser anotado para as demais regiões. O biodiesel poderá ser entregue com temperaturas superiores ao limite supramencionado, caso haja acordo entre as partes envolvidas. ² Limite mínimo de detecção do equipamento – 2,0 mg kg⁻¹.

Fonte: Elaborado pelos Autores

Analisando, inicialmente, o índice de acidez do biodiesel do crambe, de 0,06 mg KOH g⁻¹, verifica-se, que este parâmetro foi cerca de 15 vezes inferior do que o máximo preconizado pela ANP (0,80 mg KOH g⁻¹). Para Dantas *et al.*(2006), o problema do alto índice de acidez do biodiesel está em catalisar reações intermoleculares dos triacilgliceróis, ao mesmo tempo em que afeta a estabilidade térmica do combustível na câmara de combustão, além da ação corrosiva sobre componentes metálicos no motor. Comparando o índice de acidez do óleo do crambe de 3,64 mg KOH g⁻¹ (Tabela 1) com o índice de acidez do biodiesel de crambe de 0,06 mg KOH g⁻¹, nota-se a acentuada redução do índice de acidez através do processo de transesterificação, devido ao catalisador básico utilizado.

Como mencionado anteriormente, o índice de iodo revela a quantidade de ligações insaturadas do material analisado. Verifica-se que, após o processo de transesterificação do óleo do crambe, o índice de iodo do biodiesel manteve-se estável, em 88 gI₂ 100g⁻¹, valor abaixo do máximo permitido pela ANP, de 115 gI₂ 100g⁻¹. Dantas *et al.* (2006) relatam que um índice de iodo superior a 135 gI₂ 100g⁻¹ leva a produção de um biodiesel inaceitável para fins carburantes devido à tendência a formar depósitos de carbono.

Ainda pela a Tabela 3, verifica-se que a massa específica do biodiesel do crambe foi de 874 kg m⁻³, dentro da faixa de variação de 850 a 900 kg m⁻³, aceita pela ANP. O mesmo comportamento da massa específica foi encontrado nos trabalhos de Demirbas (2005) e Arcoumanis *et al.* (2008) e Encimar *et al* (2005).

O ponto de entupimento do filtro a frio (PEFF) do biodiesel do crambe foi de 11°C, abaixo do máximo de 19°C preconizado pela ANP (Tabela 3). Cunha (2008) verificou que o PEFF para o sebo bovino foi de 19 °C, gordura de frango de -1 °C e óleo de soja de -8 °C. O PEFF do biodiesel do crambe ficou 19 °C acima do PEFF do biodiesel de soja, estudado por Cunha (2008), ambos são óleos vegetais,

porém com composição dos ácidos graxos distintas. Devido ao elevado PEFf do biodiesel do crambe, recomenda-se misturas este biodiesel, em poucas proporções, com óleo diesel em regiões frias.

O poder calorífico do biodiesel do crambe atingiu $40,51 \text{ MJ kg}^{-1}$, 4,91% menor do que o poder calorífico do óleo diesel de $42,6 \text{ MJ kg}^{-1}$ (SOUZA; MILANEZ, 1994). Castellanelli *et al.* (2008), atribuem esta diferença ao aumento do consumo específico de motores ciclo diesel, trabalhando com biodiesel.

Pela Tabela 3, observa-se que a viscosidade cinemática do biodiesel do crambe ($5,92 \text{ mm}^2 \text{ s}^{-1}$) encontra-se de acordo com as normas da ANP. Valores semelhantes foram observados no biodiesel dos trabalhos de Dermibas (2005), Canacki (2007) e Marchetti, Miguel e Errazu (2005).

Observa-se, ainda na Tabela 3, que os valores encontrados para os metais, Cálcio + Magnésio ($5,00 \text{ mg kg}^{-1}$) e Sódio + Potássio ($\text{Na } 2,50 \text{ mg kg}^{-1}$ e $\text{K} < 2,00 \text{ mg kg}^{-1}$) encontram-se dentro dos limites estabelecidos pela ANP, de $5,00 \text{ mg kg}^{-1}$. O teor de fósforo para o biodiesel do crambe foi inferior a $2,00 \text{ mg kg}^{-1}$, bem abaixo do máximo de $10,00 \text{ mg kg}^{-1}$, estabelecidos pela ANP. Pesquisadores relatam que a emissão de fósforo deve ser controlada para que não ocorra bloqueio do catalisador (REVISTA ELO, 2007).

O teor de éster do biodiesel do crambe foi 96,5%, coincidindo com o mínimo exigido pela ANP, demonstrando que a reação de transesterificação do óleo de crambe carece de alguns estudos para aprimorar o rendimento em termos de teor de éster.

Quanto à formação de glicerina, verifica-se que não ocorreu no biodiesel do crambe a forma livre, enquanto a glicerina total atingiu 0,06%. De acordo Ruphel; Hall (2007) a legislação estabelece, no máximo, 0,25% de glicerina total, para que o biodiesel seja de excelente qualidade.

CONCLUSÃO

Após análise da composição físico-químicas do óleo e do biodiesel do crambe, pode-se observar que o biodiesel *Crambe abyssinica* Hochst encontra-se de acordo com normas estabelecidas na Resolução nº 7 da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), porém, deve-se ressaltar que este biodiesel, em regiões frias, pode comprometer o funcionamento do motor ciclo diesel, sendo necessário misturar com óleo diesel e/ou biodiesel, provenientes de outra matéria-prima.

REFERÊNCIAS

A.O.C.S. American oil chemist's society. **Official and Tentative**, 3. ed., Chicago, 1985.

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás e Biocombustíveis. **Resolução nº 7**, Brasília, 2008. Disponível em: www.anp.gov.br Acesso em 16 maio 2009.

ARCOUMANIS, C.; KUMAR, L.; AGARWAL, A. K. Renewable Energy. **Fuel**. n.33, p. 1147, 2008.

BASSI, G. F.; MACIEL, M. R. W. Caracterização de óleos naturais. In: CONGRESSO INTERNO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNICAMP, 11. **Anais...** 2003.

CANAKCI, M. The potencial of restaurant waste lipids as biodiesel feedstocks. **Bioresource Technology**, Essex, v. 98, p. 183-190, 2007.

CASTELLANELLI, M. *et al.*. Desempenho de motor ciclo diesel em bancada dinâmométrica utilizando misturas de diesel/biodiesel. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.1, p.145-153, 2008.

CONCEIÇÃO, M. M. *et al.* Rheological Behavior of Castor Oil Biodiesel. **Energy & Fuels** v. 19, p. 2185-2188, 2005.

CUNHA, M. D. **Caracterização de biodiesel produzido com misturas de matérias primas: sebo bovino, óleo de frango e óleo de soja**. Porto Alegre, 2008. Dissertação (Mestre em Química) Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

DANTAS, H. J.; *et al.* Caracterização físico-química e estudo térmico de biodiesel etílico de algodão. In: 1º Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia do Biodiesel, 1. 2006. **Artigos Técnico-científicos...**, v. 1, p 231-235, 2006.

D'ARCE, M. A. B. R. **Grãos e óleos vegetais: matérias primas**. 2005. Disponível em: <<http://www.esalq.usp.br>>. Acesso em: 24 maio 2009.

DEMIRBAS, A. **Progress in Energy and Combustion Science**, n.31, p.466, 2005.

ECHEVENGUÁ, A. **Crambe surge como nova opção para produzir biodiesel**, 2007. Disponível em: www.ecoeacao.com.br Acesso em: 9 maio 2009.

EMBRAPA SOJA. Empresa brasileira de Pesquisa Agropecuária de Londrina. **Tecnologias de Produção da Soja: Rotação de Culturas**. Londrina, 2004. Disponível em: www.cnpsa.embrapa.br/producaosojaPR/rotacao.htm Acesso em: 15 maio 2009.

ENCINAR, J. M.; GONZÁLEZ, J. F.; RODRÍGUEZ-REINARES, A.; Biodiesel from used frying oil. Variables affecting the yields and characteristics of the biodiesel. **Ind. Eng. Chem. Res.**, n.44, p.5491, 2005.

FREEDMAN, B.; PRYDE, E. H., MOUNTS, T. L. Variables Affecting the Yields of Fatty Esters from Transesterified Vegetable Oils; **J. Am. Oil Chem. Soc.**, v. 61, n. 10, p. 1638-1643, 1984.

GARCIA, C. M. **Transesterificação de óleos vegetais**. Campinas, 2007. Dissertação (Mestre em Química) Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).

FUNDAÇÃO MATO GROSSO DO SUL. Culturas para biodiesel. **Crambe**. Maracajú, 2007. Disponível em: www.fundacaoms.com.br Acesso em: 15 maio 2009.

MA, F.; HANNA, A. Biodiesel production: a review. **Bioresource Technology**, Essex, v. 70, p. 1-15, 1999.

MARCHETTI, J. M.; MIGUEL, V. U.; ERRAZU, A. F. Possible methods for biodiesel production. **Rewable & Sustainable Energy Reviews**, 1300-1311, 2005.

MCT. Ministério de Ciência e Tecnologia. **O Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel**. Brasília, 2005. Disponível em: www.biodiesel.gov.br Acesso em: 11 maio 2009.

PEREIRA, F. E. de A. **Biodiesel produzido a partir do óleo de sementes de *Mabea fistulifera* Mart.** Viçosa, 2007. Dissertação (Mestre em Agroquímica) Universidade Federal de Viçosa.

REVISTA ELO. Artigos técnicos. Biodiesel em motores Caterpillar. Disponível em: www.revistaelo.com.br/downloads/catbiodiesel.pdf Acesso em: 25 maio 2009.

RUPHEL, T.; HALL, G.; Glicerina livre e total em biodiesel B100 por cromatografia a gás. **Analytica**, n.30, p.90-95, 2007.

SOUZA, E. G.; MILANEZ, L. F. Overall efficiency of tractor operating in the field. **Applied Engineering in Agriculture**, v.10, n.6, p.771-775, 1994.

SCHROEDER, P. *et al.* Caracterização de gordura proveniente de sistema de tratamento de efluentes de industria de abates de aves para produção de biodiesel. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DO PROGRESSO DA CIÊNCIA, 54. **Anais...** Florianópolis, SC. 2006.

SILVA, C. L. M. **Obtenção de ésteres etílicos a partir da transesterificação do óleo de andiroba com etanol.** Campinas, 2005. Dissertação (Mestre em Química) Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).

SORIANO Jr., N. U.; MIGO, V. P.; MATSUMURA, M. Ozonied vegetable oil as pour point depresant neat biodiesel. **Fuel**, n.85, p.25-31, 2006.