



PRODUÇÃO DE BLEND PARA BIODIESEL DE RESÍDUO DE ÓLEO DE FRITURA A PARTIR DE RESÍDUO GRAXO BOVINO FERMENTADO

Roger Marques Vasques – rogermarquesea@gmail.com
Universidade de Caxias do Sul - UCS
Rua Francisco Getúlio Vargas, 1130. Bloco V, sala 206.
95070-560 – Caxias do Sul – Rio Grande do Sul

Thayli Ramires Araujo – thayliraraujo@gmail.com
Universidade Federal de Pelotas - UFPel

Vânia Elisabete Schneide – veschnei@ucs.br
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Tito Roberto Sant’Anna Cadaval – titoeg@gmail.com
Universidade Federal do Rio Grande – FURG

Érico Kunde Corrêa – ericokundecorrea@yahoo.com.br
Universidade Federal de Pelotas – UFPel

Resumo: A prodigalidade da população mundial tem sido notada nas últimas décadas, com ela a necessidade de desenvolvimento e de recursos naturais, alimentos e energia, sendo 86% desses recursos provindas de combustíveis fósseis como fonte. Dessa forma, o desenvolvimento de novas tecnologias para substituir o modelo atual energético ou complementá-lo auxiliaria na queda do uso desses combustíveis fósseis como também na diminuição da emissão de carbono fóssil na atmosfera, almejando a sustentabilidade. O uso de matérias renováveis como óleo de fritura de cocção de alimentos como também resíduos graxos bovinos tem sido amplamente estudados para seus usos na produção de biodiesel, cabido a sua alta disponibilidade e baixo custo. A compatibilidade das fontes renováveis com outras matérias-primas de diferentes propriedades físicas, químicas e tecnológicas é relevante para aprimorar tecnologias e aperfeiçoar características de ambos os materiais, tendo em vista o uso desses resíduos de forma que a blenda seja uma rota alternativa. Analisando esses aspectos, o objetivo deste trabalho foi utilizar resíduo graxo bovino fermentado por ação microbiana na produção de biodiesel, caracterizando o biocombustível obtido perante a legislação brasileira pertinente de forma a transformar o resíduo graxo bovino em matéria-prima passível de se tornar um componente na blenda com resíduos graxos de origem vegetal.

Palavras-chave: biocombustível, sustentabilidade, fontes renováveis.

Abstract: The lavishness of the world population has been noted in recent decades, with it the need for development and natural resources, food and energy, with 86% of these stemmed resources of fossil fuels as a source. Thus, the development of new technologies to replace the current model or energy supplement it help in the fall of the use of these fossil fuels as well as the reduction of fossil carbon emissions into the atmosphere, aiming for sustainability. The use of renewable materials such as cooking oil for frying foods as well as fatty waste cattle has been widely studied for their use in biodiesel production, fitted to its high availability and low cost. The compatibility with other sources of renewable raw materials of different physical, chemical and technological properties is relevant technologies to enhance and improve characteristics of both materials in view of the use of such waste so that the blend is an alternative route. Analyzing these aspects, the aim of this study was to use fatty

REALIZAÇÃO

CORREALIZAÇÃO

INFORMAÇÕES



fermented bovine waste by microbial action in biodiesel production, featuring the biofuel obtained before the relevant Brazilian legislation to transform the fatty beef waste into raw materials likely to become a component in blend with fatty waste plant.

Keywords: biofuel, sustainability, renewable sources.

1. INTRODUÇÃO

A prodigalidade da população mundial tem sido notada nas últimas décadas, com ela a necessidade de desenvolvimento e de recursos naturais, notadamente alimentos e energia (BANERJEE & CHAKRABORTY, 2009; GODFRAY et al., 2010). A energia consumida no mundo atual baseia-se em recursos não renováveis, sendo 86% desses recursos providas de combustíveis fósseis como fonte primária (BANKOVIC-ILIC et al., 2012). Basicamente os combustíveis fósseis são usados para todos os processos de transformações nas indústrias, criando produtos que atendem a expectativa populacional. Consequentemente, a disponibilidade desses combustíveis tornar-se-ão escassos ou até esgotados, por serem fontes não renováveis, ocasionando a sua extração e utilização inviável economicamente devido ao seu alto custo para o processo (GODFRAY et al., 2010; AZAD et al., 2014).

Alertas de aquecimento global pela emissão de carbono fóssil, poluição ambiental, queda da oferta de petróleo nas próximas décadas são motivos para que seja substituída essa fonte não renovável em uma fonte renovável que não cause tantos danos ao meio ambiente (ATADASHI et al., 2011).

Dessa forma, o desenvolvimento de novas tecnologias ou aprimoramento para substituir o modelo atual energético ou complementá-lo auxiliaria na queda do uso desses combustíveis fósseis como também na diminuição da emissão de carbono fóssil na atmosfera, responsável pelo aquecimento global e poluição ambiental, almejando a sustentabilidade (ATADASHI et al., 2011).

Visando os aspectos da sustentabilidade, os combustíveis produzidos a partir de recursos como biomassa (cana de açúcar, milho, microalgas, oleaginosas), resíduos graxos e dejetos, denominados biocombustíveis, emitem uma menor taxa de monóxido de carbono, compostos sulfurados e hidrocarbonetos aromáticos relacionados com os combustíveis fósseis (XUE et al., 2011; AN et al., 2011; SANTORI et al., 2012).

O biodiesel apesar das suas fases de testes e melhoramento, apresenta um grande potencial como combustível, tendo grandes chances de substituir o diesel de petróleo para uso em equipamentos de maneira alternativa sem causar algum dano ou comprometer sua eficiência funcional. Hoje, juntamente com a mistura do diesel de petróleo, é utilizado 20% de biodiesel em motores de ciclo-diesel sem a necessidade de mudanças estruturais nos mesmos (AYDIN & ILKILIÇ, 2010; XUE et al., 2011). As leis a serem cumpridas referentes ao teor de biodiesel a diluir e uso em veículos variam em cada país e região (McCARTHY et al., 2011; CHAUHAN et al., 2010).

É definido pela Agência Nacional do Petróleo (ANP) que biodiesel é um éster alcoólico (metílico ou etílico) produzido de reações de transesterificação com um álcool e um catalisador químico ou enzimático, proveniente de fontes renováveis de energia como óleos vegetais ou gorduras animais, resultando em uma mistura de ésteres de ácidos graxos e como subproduto o glicerol (BRASIL, 2005). Com as vantagens tecnológicas, o biodiesel proveniente de resíduos graxos, como biocombustíveis de segunda geração, torna-se uma excelente alternativa para o uso no abastecimento da frota mundial de veículos terrestres pesados (AL-ZUHAIR et al., 2012).

Em busca da sustentabilidade, os três erres (reduzir, reutilizar e reciclar) agem no reaproveitamento do óleo de fritura usado na cocção de alimentos, tendo como produtos o sabão, massa de vidraceiro, ração animal e biodiesel. O óleo de fritura pode vir a substituir a matéria-prima de óleo vegetal virgem na produção de biodiesel, reduzindo o custo para a metade do valor referente à aquisição do petróleo, evitando o descarte de maneira incorreta desse resíduo no meio ambiente (MARQUES et al., 2015).



A obtenção de biodiesel através do óleo de fritura por via catalítica ácida, mostrou-se com 98% de eficiência, em contraponto, seu alto consumo energético e tempo não viabiliza sua produção em escalas maiores do que as laboratoriais, sujeitando estudos com blendas que poderiam tornar esse processo viabilizável devido suas propriedades já constatadas, como aumento do campo de miscibilidade, baixa emissão de gases poluentes, número de cetano na faixa de 45 e 67, maior segurança do processo de ignição (elevado ponto de fulgor), como também um enorme número de matéria-prima disposta para sua obtenção reduzindo o uso de matéria-prima fóssil (MEJIA et al., 2013).

Enquanto a transesterificação enzimática mostrou-se como uma rota alternativa para a obtenção de biodiesel, apesar de ser mais lenta essa reação do que os processos químicos, o consumo e custo energético são menores e evita a corrosão de equipamentos (ANTEZAK et al., 2009).

Estudos acreditam que rota enzimática seja vantajosa em relação a outros processos, pois não geram resíduos aquosos, ácidos e alcalinos e resultam em um número irrisório na contaminação do produto final. (KANSEDO et al., 2009; BASHA & GOPAL; 2012; KAPITUROWSKA et al., 2012; YUZBASHEV et al., 2012). Papanikolau et al. (2011) usaram *Aspergillus* e *Penicillium* na transformação dos resíduos de azeite de cozinha em biomassa rica de lipídeos, atingindo valores substanciais de ácidos gordos intracelular compostos principalmente de ácido oleico.

Os microrganismos além de atuar na rota enzimática no processo da obtenção do biodiesel, também podem agir na produção de biossurfactantes, atuando na diminuição da tensão superficial e na emulsificação, consistindo em subprodutos metabólitos de bactérias, fungo e leveduras (NITSCHKE & PASTORE, 2002).

Os biossurfactantes são moléculas anfóteras que tendem a se distribuir nas interfaces de fluídos com diferentes graus de polaridade, produzidas a partir de fontes renováveis via fermentação microbiana. Eles apresentam copiosas vantagens sobre os surfactantes de origem química, como baixa toxicidade, tolerância a temperatura, pH e força iônica e são biodegradáveis na água e no solo (PORNUNTHORNTAWEE et al., 2009). Podendo ser de diversas classes como: glicolipídeos (ramnolipídeos, soforolipídeos, trehalolipídeos); lipopeptídeos (peptídeo-lipídeo, viscosina, serrawetina, surfactina, subtilisina, gramicidina, polinixina); ácidos graxos (ácidos graxos, lipídeos neutros, fosfolipídeos); surfactantes poliméricos (emulsan, biodispersan, liposan, carboidrato-lipídeo-proteína, manana-lipídeo-proteína); surfactantes particulados (vesículas, células) (NITSCHKE & PASTORE, 2002).

A gordura animal por ser uma fonte renovável e abundante por ser descarte de agroindústrias, torna-se um atrativo economicamente para a produção de biodiesel, pois implica no baixo custo e sua matéria-prima é de acesso imediato. Os resíduos graxos bovinos para que sejam favoráveis na produção do biodiesel é necessário a realização de algumas etapas no seu melhoramento e condições para uso como a desumidificação e neutralização a qual pode ser realizada por ações de biossurfactantes, formando borras que serão removidas através da decantação (BARROS & JARDINE, 2016).

Cabido a sua alta disponibilidade e baixo custo, a mistura da gordura de origem animal com o petrodiesel, tendem a apresentar baixa água e acidez livre, seus ésteres metílicos apresentam maior número de cetano, e não são corrosivos. Já as blendas com petrodiesel controlam alguns parâmetros, como alto ponto de fluidez, alta viscosidade e alto ponto de fulgor além de dificuldades inerentes no processo da matéria-prima sólida (GURU et al., 2009; GURU et al., 2010; BALAT & BALAT, 2010).

A compatibilidade das fontes renováveis com outras matérias-primas de diferentes propriedades físicas, químicas e tecnológicas é relevante para aprimorar tecnologias e aperfeiçoar características de ambos os materiais, tendo em vista o uso desses resíduos de forma que a blenda seja uma rota alternativa (ENCINAR et al., 2011; CANOIRA et al., 2008).

Analisando esses aspectos, o objetivo deste trabalho foi utilizar resíduo graxo bovino fermentado por ação microbiana na produção de biodiesel, caracterizando o biocombustível obtido perante a legislação brasileira pertinente de forma a transformar o resíduo graxo bovino em matéria-prima passível de se tornar um componente na blenda com resíduos graxos de origem vegetal.

2. MATERIAIS E MÉTODOS



2.1 Coleta e armazenamento das amostras

As amostras de resíduo graxo bovino foram coletadas em frigorífico-abatedouro da região Sul do Estado do Rio Grande do Sul. A gordura bovina foi obtida a partir de animais recentemente abatidos, durante a evisceração das carcaças. Foram coletadas amostras do invólucro renal graxo de 25 carcaças, cada uma com massa aproximada de 1,4 kg. A coleta nesse ponto visou pré-selecionar resíduos com o menor resquício de sangue possível, contribuindo para a homogeneidade das amostras.

Todas as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos estéreis e transportadas em caixa térmica com gelo até o Núcleo de Educação, Pesquisa e Extensão em Resíduos e Sustentabilidade da Universidade Federal de Pelotas, onde, assepticamente, as amostras foram fracionadas e estocadas em temperatura de -18°C até o momento das análises. Previamente a cada análise, porções das amostras eram descongeladas durante a noite sob-refrigeração a 4°C .

2.2 Cepas estoque e processo fermentativo

Culturas estoque de *S.xylosus* NRRL B-14776 foram utilizadas no experimento. Uma alçada de biomassa bacteriana foi previamente transferida para tubos de ensaio contendo caldo BHI (*Brain Heart Infusion*) e incubados a $30^{\circ}\text{C} \pm 0,1^{\circ}\text{C}$ overnight, removendo as células do estado de latência. A determinação da contagem de células ao final deste período foi realizada por contagem padrão em placas, pela técnica do esgotamento em superfície em Ágar Padrão de Contagem (PCA – *Plate Count Agar*). O cultivo foi controlado a fim de obter uma concentração celular inicial para fermentação da gordura bovina de $8 \log \text{UFC.mL}^{-1}$.

A fermentação foi conduzida em estado semissólido em batelada. Sendo o resíduo graxo bovino o constituinte insolúvel, fonte de carbono e material de ancoragem para bactérias, o caldo BHI como fase aquosa e fonte primária de nitrogênio e secundária de carbono, e por fim, o inóculo ($1\% \text{ v/v}$; $8 \log \text{UFC.mL}^{-1}$). Na manhã seguinte, foram retiradas assepticamente alíquotas de 1 mL e adicionadas nos erlenmeyers contendo o mosto, procedendo o processo fermentativo em seguida. O volume total nos reatores foi de 100 mL. O meio permaneceu com duas fases distintas ao longo do processo.

O mosto foi preparado a partir das amostras de gorduras de origem animal, que foram assepticamente pesadas em sacos plásticos estéreis e após adição do caldo BHI, foram homogeneizadas em “Stomacher” por 2 min e transferidos para erlenmeyers onde foi procedida a fermentação. As concentrações de gordura utilizadas variaram entre 40 e 60% m/v, determinadas através de experimento prévio (dados não divulgados).

2.3 Delineamento experimental

O experimento foi conduzido utilizando delineamento completamente casualizado, com três repetições, em esquema unifatorial, sendo o fator de tratamento “fonte de triglicerídio” (gordura bovina fermentada por *S.xylosus*; blenda de resíduo de óleo de fritura – 95% - e gordura bovina fermentada – 5% v/v). As variáveis respostas avaliadas foram “rendimento reacional”, “massa específica”, “acidez livre”.

2.4 Procedimento experimental

As seguintes condições reacionais foram fixadas: temperatura de 55°C , metanol em proporção molar de 8:1 de resíduo graxo, metilato de sódio 1% como catalisador e tempo reacional de 1,5 h. Os ésteres metílicos obtidos foram purificados via decantação por 45 min, sendo que o produto oriundo da gordura bovina foi mantido sob aquecimento (65°C) enquanto que o processo da blenda foi conduzido à temperatura ambiente.

2.5 Análises físico-químicas das gorduras bovinas



Os ésteres etílicos foram caracterizados quanto aos seus valores de acidez livre. A acidez livre foi determinada segundo método EN 14104:2003 (EN Standard, 2003) onde uma alíquota da amostra de biodiesel foi previamente pesada e solubilizada em solução de etanol/água, seguindo da adição de indicador fenolftaleína e titulação com NaOH.

O rendimento da reação foi calculado pela razão simples da massa inicial de resíduo graxo e a final de éster obtido. A massa específica foi determinada por densímetro de bancada.

A fim de averiguar a produção de ésteres metílicos, os produtos reacionais foram analisados por cromatografia em camada delgada, pareando seus resultados com um padrão de ésteres metílicos caracterizado em experimento anterior. A fase estacionária usada foi a sílica branca, enquanto que a móvel foi uma solução de iodo.

3. RESULTADOS

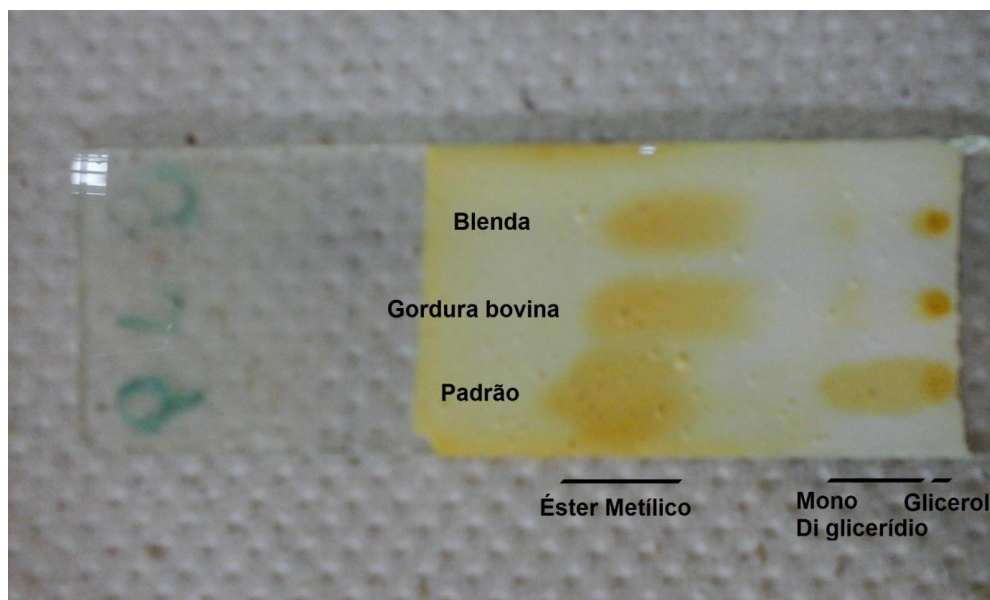
Os resultados obtidos na produção de biodiesel estão descritos na Tabela 1. Através desses resultados é possível observar que o resíduo graxo bovino apresentou um rendimento de 40% enquanto que quando presente como um componente de blenda de resíduo de óleo de fritura, o rendimento chegou a 85%, sem afetar tanto os parâmetros de acidez e massa específica dos ésteres metílicos produzidos perante a blenda.

Avaliando os resultados da cromatografia em camada delgada (Figura 1) é possível observar que foram obtidos ésteres metílicos a partir dos resíduos graxos bovinos e que o mesmo biodiesel foi produzido ao utilizar a blenda de resíduo graxo bovino com o de óleo de fritura. As manchas do biodiesel padrão quando comparada com os testados nesse experimento, aliado aos resultados da Tabela 1, corroboram o fato de que o biodiesel oriundo de resíduo graxo animal pode ser produzido com rendimentos aceitáveis, principalmente quando adicionados em blenda como matéria-prima.

Tabela 1 – Resultados de produção de biodiesel de diferentes matérias-primas e suas propriedades físico-químicas

Matéria-prima	Rendimento (%)	Acidez (mg KOH. g ⁻¹)	Massa específica (g.mL ⁻¹)
Resíduo graxo	40	0	0,89
Blenda	85	0	0,89

Figura 1 – Placa de cromatografia em camada delgada de biodiesel de resíduo de óleo de fritura (padrão), do biodiesel de gordura bovina pura e do biodiesel obtido a partir da blenda entre ambos resíduos.



4. DISCUSSÃO

A produção de ésteres metílicos a partir da blenda de resíduos graxos bovinos de baixo ponto de fusão com resíduos de óleo de fritura apresentou rendimento semelhante a blendas com o mesmo resíduo vegetal e banha suína, entre 81 e 88% (DIAS et al., 2008). Os mesmos autores relatam que o rendimento da transesterificação dessas matérias-primas foram inferiores quando obtidos isoladamente ao invés de usar blendas. Lu *et al.* (2007) relatam que o efeito da temperatura reacional é proporcional ao rendimento de ésteres da reação em qualquer rota catalítica, mais precisamente na rota alcalina, onde o rendimento operacional 88,6% a 65°C enquanto que no experimento realizado neste estudo, rendimentos próximos foram obtidos já em 55°C, o que pode caracterizar uma economia de energia ao utilizar esse processo. Além disso, o emprego da blenda de resíduo graxo bovino e resíduo de óleo de fritura apresentou características de acidez livre e massa específica dentro dos padrões internacionais ISO 3675 e ISO 660 respectivamente (massa específica entre 0,86 e 0,9 g.mL⁻¹ e acidez inferior a 0,8 mg KOH. g⁻¹).

A blenda testada nesse experimento sugere que o resíduo graxo bovino modificado pode servir como um material promissor na produção de biodiesel, não somente pelo produto obtido no final do processamento, mas também pelo seu baixo custo, abundância, redução da geração de resíduos na



fonte, desvio de resíduos para as estações de tratamento à uma alternativa para valorização de subprodutos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através desse trabalho é possível concluir que o resíduo graxo bovino fermentado serve como uma matéria-prima para produção de biodiesel quando acrescentado em blendas com resíduos de óleos vegetais, mais especificamente dos oriundos de frituras. Servindo como um componente extra para produção de ésteres metílicos com qualidade para serem empregados na indústria energética.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) e a Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal do Ensino Superior (CAPES) pela concessão de bolsas de estudo que permitiram a realização desse trabalho.

6. REFERÊNCIAS

AL-ZUHAIR, S.; HUSSEIN, A.; AL-MARZOUQI, A. H.; HASHIM, I. Continuous production of biodiesel from fat extracted from lamb meat in supercritical CO₂ media. **Biochemical Engineering Journal**. v.60, p.106-110, 2012.

American Oil Chemist Society – AOCS. Official Methods and Recommended Practices of the AOCS. 6th Edition. Official method Cd 3-25. 2013.

AN, H.; WILHELM, W. E.; SEARCY, S. W. Biofuel and petroleum-based fuel supply chain research: A literature review. **Biomass and Bioenergy**. v.35, p.3763-3774, 2011.

ATADASHI IM, AROUA MK, ABDUL AZIZ A. Biodiesel separation and purification: a review. **Renewable Energy**. v.36, p.437-443, 2011.

AYDIN, H.; İLKILIÇ, C. Effect of ethanol blending with biodiesel on engine performance and exhaust emissions in a CI engine. **Applied Thermal Engineering**. v.30, p.1199-1204, 2010.

AZAD AK, KHAN MMK, AHASAN T, AHMED SF. Energy scenario: production, consumption and prospect of renewable energy in Australia. **Journal of Power and Energy Engineering**. v.2, p.19-25, 2014.

BALAT M, BALAT H. Progress in biodiesel processing. **Applied Energy**. v.87, p.1815-1835, 2010.

BANERJEE, A.; CHAKRABORTY, R. Parametric sensitivity in transesterification of waste cooking oil for biodiesel production – A review. **Resources, Conservation and Recycling**. v.53, p.490-497, 2009.

BANKJOVIC-ILIC IB, STOJKOVIC IJ, STAMENKOVIC OS, VELJKOVIC VB, HUNG Y. Waste animal fats as feedstocks for biodiesel production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v. 32, p.238-254, 2014.

BARROS, T.D; JARDINE, J.G. Gordura animal. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fj1om7kf02wyiv802hvm3j_holyoom.html> Acesso em: 27 jul. 2016.

BASHA, S. A.; GOPAL, K. R. A review of the effects of catalyst and additive on biodiesel production, performance, combustion and emission characteristics. **Renewable & Sustainable Energy Reviews**, v.16, p.711-717, 2012.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional do Petróleo (ANP). Lei N° 11.097 de 13 de Janeiro de 2005. **Introdução do biodiesel na matriz energética brasileira**. Brasília, DF, 2005.

CANOIRA L, RODRÍGUEZ-GAMERO M, QUEIROL E, ALCANTARA R, LAPUERTA M, OLIVA F. Biodiesel from low-grade animal fat: production process assessment and biodiesel



properties characterization. **Industrial and Chemical Engineering Research**. v.47, p.7997-8004, 2008.

CHAUHAN, B. S.; KUMAR, N.; CHO, H. M. Performance and emissions studies on an agriculture engine on neat Jatropha oil. **Journal of Mechanical Science and Technology**. v.24, p.529-535, 2010.

DIAS JM, FERRAZ CA, ALMEIDA MF. Using mixtures of waste frying oil and pork lard to produce biodiesel. **Proceedings of World Academy of Science: Engineering Technology**. v.46, 2008.

EN Standards. Fatty acid methyl esters (FAME) – Determination of Ester and linolenic acid methyl ester contents. EN 14103. 2011.

ENCINAR, J. M.; SÁNCHEZ, N.; MARTÍNEZ, G.; GARCÍA, L. Study of biodiesel production from animal fats with high free fatty acid content. **Bioresource Technology**. v.102, p.10907-10914, 2011.

GODFRAY, H. C. J.; BEDDINGTON, J. R.; CRUTE, I. R.; HADDAD, L.; LAWRENCE, J. F. M.; PRETTY, J.; ROBINSON, S.; THOMAS, S. M.; TOULMIN, C. Food Security: The Challenge of feeding 9 billion people. **Science**. v. 327, p.812-818, 2010.

GURU, M; ARTUKOGLU, B. D; KESKIN, A; KOCA, A. Biodiesel production from waste animal fat and improvement of its characteristics by synthesized nickel and magnesium additive. **Energy Conversion & Management**. v.50, p.498-502, 2009.

GURU M, KOCA A, CAN O, INAR C, SAHIN F. Biodiesel production from waste chicken fat based sources and evaluation with Mg based additive in a diesel engine. **Renewable Energy**. v.35, p.637-643, 2010.

KANSEDO, J.; LEE, K. T.; BHATIA, S. **Biodiesel production from palm oil via heterogeneous transesterification**. Biomass Bioenergy, v.33, p.271-276, 2009.

KAPITUROWSKA, A. U.; STOLARZEWICZ, I. A.; KRZYCZKOWSKA, J.; FLORJARICZYK, E. B. **Studies on the lipolytic activity of sonicated enzymes from *Yarrowia lipolytica***. Ultrasonics Sonochemistry, v.19, p.186-191, 2012.

LU J, NIE K, XIE F, WANG F, TAN T. Enzymatic synthesis of fatty acid methyl esters from lard with immobilized *Candida* sp. 99-125. **Process and Biochemistry**. v.42, p.1367-1370, 2007.

MCCARTHY, P.; RASUL, M. G.; MOAZZEM, S. Comparison of the performance and emissions of different biodiesel blends against petroleum diesel. **International Journal of Low-Carbon Technologies**. v.6, p.255-260, 2011.

MARQUES, R. V; BITTENCOURT, G. A; CORRÊA, L. B; CORRÊA, E. K. Biofuels: Status quo and future challenges – a review. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade** v.1, n.1, p.1-12, 2015.

MEJIA, J. D; SALGADO, N; ORREGO, C. E. Effect of blends of Diesel and Palm-Castor biodiesel on viscosity, cloud point and flash point. **Industrial Crops and Products**. v.43, p.791-797, 2013.

NITSCHKE, M; PASTORE, G. M. Biossurfactantes: Propriedades e Aplicações. **Química Nova**. v.25, n.5, p.772-776, 2002.

PAPANIKOLAOU, S.; DIMOU, A.; FAKAS, S.; DIAMANTOPOULOU, P.; PHILIPPOUSSIS, A.; PANAYOTOU, M. G.; AGGELIS, G. **Biotechnological conversion of waste cooking olive oil into lipid-rich biomass using *Aspergillus* and *Penicillium* strains**. Journal of Applied Microbiology, v.110, p.1138-1150, 2011.

SANTORI G.; DI NICOLA, G.; MOGLIE, M.; POLONARA, F. A review analyzing the industrial biodiesel production practice starting from vegetable oil refining. **Applied Energy**. v.92, p.109-132, 2012.

XUE, J.; GRIFT, T. E.; HANSEN, A. C. Effect of biodiesel on engine performances and emissions. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v.15, p.1098-1116, 2011.

YUZBASHEV, T. V.; YUZBASHEVA, E. Y.; VIBRONAYA, T. V.; SOBOLEVSKAYA, T. I.; LAPTEV, I. A.; GAVRIKOV, A. V.; SINEOKY, S. P. **Production of recombinant *Rhizopus oryzae* lipase by the yeast *Yarrowia lipolytica* results in increased enzymatic thermostability**. Protein Expression and Purification, v. 82, p. 83-89, 2012.