

Metodologia experimental para avaliação de custos de produção e utilização de biodiesel: estudo de caso de quatro ésteres metílicos e óleo diesel comercial

Experimental methodology for assessing the cost of biodiesel production and use biodiesel: a case study of four methyl esters and commercial diesel fuel

Diego Augusto Fiorese^{I,IV*} Luis Fernando Souza Gomes^{II} Samuel Nelson Melegari de Souza^{III}
Arno Udo Dallmeyer^{IV} Leonardo Nabaes Romano^{IV}

RESUMO

Considerando que o Brasil detém uma vasta gama de matérias-primas para produção de biodiesel, e também que há a possibilidade de produção em pequena escala, prima-se por estudos de cunho econômico a partir de metodologias de fácil execução. O objetivo do trabalho foi demonstrar uma metodologia e sua aplicação para avaliação dos custos inseridos dentro do processo produtivo e de utilização do biodiesel. A metodologia foi aplicada a biodieseis originários de óleo de soja, girassol, frango e sebo bovino, dos quais se avaliaram economicamente os custos fixos e variáveis para conversão química dos óleos e gorduras em ésteres metílicos, em uma planta de produção experimental. Os custos de produção para cada uma das quatro citadas são distintos em função do valor inicial por litro de cada uma. Também fora avaliado o custo específico e o consumo específico de cada um dos biodieseis, a fim de determinar a diferença em relação ao óleo diesel comercial. No estudo de caso, os resultados mostraram vantagens para o óleo diesel, tanto no custo quanto no consumo. Comparando-se os biodieseis, o de sebo bovino apresentou-se com o menor custo de produção e o menor consumo.

Palavras-chave: energia, biocombustível, *Helianthus annuus*, *Glycine max*, consumo.

ABSTRACT

Considering that Brazil has a wide range of raw materials for biodiesel production, and also the possibility of small scale production, there is a demand for economic methodology studies with easy implementation. The objective of this research was to demonstrate a methodology and its

application to assess the costs within the production process and the biodiesel use. The methodology was applied to biodiesels originated from soybean oil, sunflower oil, chicken oil and beef tallow, which assessed the fixed and variable costs for chemical conversion of oils and fats into methyl esters in an experimental production plant. Production costs for each of the four mentioned esters are peculiar due to the initial value of each oil per liter. Also the specific cost and specific fuel consumption were evaluated for each biodiesel to determine the difference with the commercial diesel oil. The case study showed advantages for diesel oil, both in cost and consumption. Comparing the biodiesels, the beef tallow showed the lowest production costs and lower consumption.

Key words: energy, biofuel, *Helianthus annuus*, *Glycine max*, consumption.

INTRODUÇÃO

O biodiesel pode ser produzido a partir de óleos e gorduras de origem animal ou vegetal, incluindo óleos residuários (PARENTE et al., 2003; GOMES et al., 2008). De acordo com MORETTO & FETT (1998); SOLOMONS & FRYHLE (2000); LEHNINGER et al. (2006), óleos e gorduras são substâncias insolúveis em água, formados predominantemente de produtos da condensação entre glicerol e ácidos graxos, chamados triglicerídeos ou triacilgliceróis. Complementam KNOTHE et al. (2006), que são

^IDepartamento de Engenharia, Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA), Universidade Estadual Paulista (UNESP), 18610-307, Botucatu, SP, Brasil. E-mail: dafiorese@yahoo.com.br. *Autor para correspondência.

^{II}Universidade Federal do Paraná (UFPR), Palotina, PR, Brasil.

^{III}Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), Cascavel, PR, Brasil.

^{IV}Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, Brasil.

altamente viscosos em temperatura ambiente, possuindo propriedades não aceitáveis para utilização nos motores de combustão interna de ciclo diesel, necessitando assim de intervenções químicas para conversão em combustível adequado.

A conversão das moléculas de triglicerídeos em monoglicerídeos pelo processo de transesterificação permite a obtenção dos produtos comumente denominados de biodiesel, nos quais a reação química ocorre com a presença de um álcool de cadeia curta (usualmente metanol) e um catalisador (KNOTHE et al., 2006). O peso molecular desses monoglicerídeos e as propriedades físico-químicas são similares ao óleo diesel (ABREU et al., 2004), porém, a energia contida no biodiesel, representada pelo poder calorífico, é inferior, acarretando maior consumo de combustível para o suprimento da potência necessária (SANTOS et al., 2007).

Motores de ciclo diesel são caracterizados por altas taxas de compressão e auto-ignição do combustível, que convertem energia química em energia mecânica, havendo inúmeros tipos, tamanhos, aplicações e formas construtivas (HEYWOOD, 1988; STONE, 1999). Segundo alguns autores, testes têm mostrado que a eficiência real de conversão da energia do combustível em potência é similar para o biodiesel e o óleo diesel, sendo que o primeiro aproveita melhor o seu conteúdo energético (PARENTE et al., 2003), de forma que os consumos específicos dos dois combustíveis se equivalem (ALI et al., 1996). Por outro lado, vários autores afirmam diferenças no consumo (CANAKCI, 2007; CORRÊA et al., 2008) e na potência (BRUNELLI, 2009; MACHADO, 2008), em virtude de origens diferentes e das características físico-químicas que, apesar de similares não são exatamente iguais.

Baseado nas distinções dos motores, na grande disponibilidade de matérias-primas para produção de combustíveis similares e, atrelado às divergências entre autores para os quesitos supracitados, uma maneira de avaliar o custo benefício na utilização dos diversos combustíveis é calcular o custo específico (R\$ kWh⁻¹), a exemplo de SEYE & SOUZA, (2006) e CASTELLANELLI (2007).

Os custos de produção do biodiesel podem conter variações de acordo com a escala de produção, podendo afetar em 25% o custo final do biodiesel, enquanto que o preço da matéria prima pode representar diferenças de até 50% do custo final (IEA, 2004). Assim o custo de produção, conforme HORNGREN et al. (2004); OLIVEIRA (2008), é formado pela soma dos valores de todos os recursos (insumos), operações (serviços) e de capital (custo de oportunidade), utilizados no processo produtivo.

Segundo conceitos abordados por OLIVEIRA (2008), o cálculo de custos de um determinado produto, estabelece custos de produção associados aos diversos padrões tecnológicos e preços de fatores em uso nas diferentes situações ambientais. Na formulação do método de cálculo dos custos de produção, o objetivo deliberado é a determinação do custo médio por unidade de comercialização da atividade constante na empresa.

Considerando a relevância dos custos de produção, atrelado ao consumo peculiar dos distintos combustíveis, o objetivo deste trabalho é aplicar uma metodologia que englobe os fatores de custo inseridos no ciclo de vida do biodiesel, mediante estudo de caso a partir de 4 matérias-primas e óleo diesel comercial B2, a fim de verificar o custo unitário volumétrico, consumo horário volumétrico, consumo específico e custo específico.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido e avaliado em três etapas. Na primeira etapa, abordaram-se estudos sobre o processo de transesterificação *in loco*, em uma planta experimental que trabalha em processo descontínuo por batelada, com capacidade de 900 litros por turno de 8 horas, avaliada em R\$180.000,00, instalada no Centro de Desenvolvimento e Difusão de Tecnologias da Faculdade Assis Gurgacz – FAG, na Cidade de Cascavel-PR. A planta possui estrutura capaz de converter pelo processo químico de transesterificação todos os tipos de óleos e gorduras, independente da origem, sendo que, na ocasião, utilizou-se como álcool o metanol e, como catalisador, o Hidróxido de Sódio (NaOH), fornecendo ao final do processo um rendimento de 95%.

No processo de transesterificação, utiliza-se álcool em excesso para facilitar a reação química (FERRARI et al., 2005; KNOTHE et al., 2006). Dessa forma, a parte não consumida fica disponível para destilação e recuperação para posterior uso em novas reações químicas, uma vez que, de acordo com KAUL et al. (2007), o metanol na forma livre presente no biodiesel pode causar problemas graves nos componentes do motor.

Fora levantada a quantidade de insumos e energia gastos para a capacidade produtiva da planta experimental, bem como o rendimento da conversão. Os cálculos foram executados para dois turnos diários de trabalho, totalizando 16 horas (duas bateladas), durante 300 dias por ano (365 dias menos domingos e feriados).

A aquisição das matérias-primas avaliadas foi feita em empresas da região, num raio de 150km.

A quantidade de metanol utilizado no processo foi de 13% (20% adicionado na reação química menos o recuperado) e 0,5% de catalisador calculados em volume. Os dados foram coletados em quatro repetições.

A segunda etapa consistiu em avaliar o consumo horário e específico de cada um dos biodieseis, comparando com o óleo diesel B2, em um grupo gerador, tendo em vista que os distintos combustíveis divergem em suas características físicas e no consumo.

Utilizou-se um grupo gerador com motor diesel monocilíndrico, quatro tempos, capacidade volumétrica de 406cm³ e com rotação de trabalho constante. O modelo possui potência nominal de 6,6kW (9cv), refrigeração a ar e injeção direta de combustível, com capacidade de geração de 5kW. As cargas aplicadas, na melhor condição de operação do motor (70%) e com máxima capacidade de geração (100%), foram impostas por corrente Foucault, sendo que os ensaios tiveram quatro repetições. Todo o sistema está instalado no Centro de Sistemas Alternativos de Energia da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel-PR.

Para verificar o consumo, foi utilizado um tanque auxiliar e uma balança digital de precisão. O consumo horário foi medido pela massa consumida de combustível ao sair do tanque sobre a balança, sendo esta dividida pela potência gerada para determinação do consumo específico (g kWh⁻¹). A potência produzida foi mensurada por um analisador de energia marca Embrasul, modelo RE 2000, munido de sistema de aquisição e armazenamento de dados.

A terceira etapa consistiu basicamente em concretizar o escopo da metodologia, tendo como premissa o entendimento da primeira e segunda etapa, momento em que surgiram os dados necessários para todos os cálculos. No quesito custos, utilizou-se a metodologia adotada pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2010) e por OLIVEIRA (2008), que abordam especificadamente sobre custos de produção no agronegócio.

O ciclo de custos para os 5 combustíveis avaliados se decompôs da seguinte forma: Custo volumétrico (R\$ L⁻¹), sendo, para o óleo diesel B2 usado como testemunha, adquirido diretamente na bomba de abastecimento, e para os 4 biodieseis, totalizado pelo custo variável somado ao custo fixo de produção, calculado de acordo com a tabela 1; consumo horário volumétrico, dado retirado dos ensaios no motor de acordo com: $Chv = (Chm/1000) * \rho$, em que Chv é o consumo horário volumétrico (Lh⁻¹), Chm consumo horário mássico obtido pela massa de combustível

consumida em 30 minutos de ensaio (g) multiplicado por 2 que converte para consumo horário (g h⁻¹), 1000 constante para conversão de g para kg e ρ é o peso específico (g cm⁻³); consumo específico, calculado pela expressão: $C_s = (Chm/N)$, em que C_s é o consumo específico expresso como quantidade de combustível em massa por unidade de energia gerada (g kWh⁻¹) e N é a potência fornecida pelo motor acoplado ao gerador (kW); custo específico, no qual são considerados: o custo de aquisição do óleo diesel, que é cotado pelo preço volumétrico; no cálculo de consumo específico, considera-se massa consumida por unidade de energia produzida. Partindo de tais premissas, o cálculo pode ser realizado pela equação: $C_{\$s} = (C_{\$v}/\rho) * (C_s/1000)$, em que $C_{\$s}$ é o custo específico de combustível (R\$ kWh⁻¹); $C_{\$v}$ é o custo volumétrico (R\$ L⁻¹); ρ é o peso específico (kg L⁻¹); C_s é o consumo específico (g kWh⁻¹) e 1000 constante para conversão de g para kg.

A análise de variância foi realizada no programa estatístico ASSISTAT, com comparação bifatorial de “combustível” e “carga no motor”. Foram avaliadas as médias de consumo horário volumétrico, consumo específico do motor e do custo específico de cada combustível, pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Trabalhos semelhantes que abordassem todos os custos de produção de biodiesel e que também englobassem todo o ciclo do combustível para ao final fornecer os dados em custo específico ainda não foram publicados, tornado a discussão dos dados com menor embasamento teórico.

Partindo da metodologia de cálculo de custos de produção da CONAB (2010) e por conceitos sugeridos por OLIVEIRA (2008), para a planta experimental avaliada em R\$ 180.000,00, o custo fixo encontrado situa-se em R\$ 0,06 por litro de biodiesel produzido, em que são considerados depreciação, juros, seguro e manutenção, independente da matéria-prima utilizada. Em média, o custo da matéria-prima representou 82,81% de todo o custo variável. O melhor custo de produção foi para o biodiesel de sebo bovino (R\$ 2,01L⁻¹), sendo comparado com os demais na tabela 1.

A metodologia adotada evidenciou que os custos vão além dos gastos de produção, e aquisição, pois o consumo de cada combustível é distinto, concordando com CANAKCI (2007) e CORRÊA et al. (2008), a exemplo do que acontece com a gasolina e o etanol. Na melhor condição, o óleo diesel B2 apresentou custo específico de R\$ 0,71kWh⁻¹, já, para os biodieseis, este ficou acima, sendo R\$ 0,74kWh⁻¹, R\$ 0,88kWh⁻¹,

Tabela 1 - Custos para produção de biodiesel de quatro matérias-primas em uma planta de produção de pequeno porte para um turno diário de 16 horas, totalizando duas bateladas.

Variáveis	Descrição	Un.	R\$ Un. ⁻¹	Qtde	R\$	%
-----Variáveis para processamento (Inalterável à troca de matéria-prima)-----						
Álcool	Metanol	L	1,60	234	374,40	51,11
Catalisador	Hidróxido de sódio	kg	2,34	10,8	25,27	3,45
Ácidos	Acético	L	11,60	1,8	20,88	2,85
Energia	Elétrica	kWh	0,12245	92,46	11,32	1,55
	Lenha	m ³	35,00	2	70,00	9,55
Tratamentos	Caldeira	dia	10,00	1	10,00	1,36
	Resíduos	L	0,06	900	54,00	7,37
RH	Internos	diário	62,40	2	124,80	17,04
Frete	Custo por litro	L	0,0209	1800	37,62	5,14
Aditivos	Antioxidante	L	12,69	0,34	4,31	0,59
Subtotal 1					732,61	100
-----Variáveis matéria-prima-----						
Óleo de soja		L	2,60	1800	4.680,00	86,46
Óleo de girassol		L	2,70	1800	4.860,00	86,90
Óleo de frango		L	1,62	1800	2.916,00	79,92
Sebo bovino		L	1,44	1800	2.592,00	77,96
-----Custos variáveis por litro de biodiesel para cada uma das quatro matérias-primas-----						
Biodiesel de soja		L	3,17	1710	5.412,61	-
Biodiesel de girassol		L	3,27	1710	5.592,61	-
Biodiesel de frango		L	2,13	1710	3.648,61	-
Biodiesel de sebo bovino		L	1,94	1710	3.324,61	-
-----Custos fixos por litro de biodiesel independente da matéria-prima-----						
Fixos	Un.	Dados	Vs (%)	Vs (R\$)	R\$ ano ⁻¹	R\$ litro ⁻¹
Depreciação	Anos	10	10	18.000,00	16.200,00	R\$ 0,0316
Juros	%	6	10	18.000,00	5.940,00	R\$ 0,0116
Seguro	%	2	10	18.000,00	1.980,00	R\$ 0,0039
Manutenção	%	5	10	18.000,00	9.000,00	R\$ 0,0175
Subtotal 2					33.120,00	R\$ 0,0646
-----Custos totais por litro de biodiesel para cada uma das quatro matérias-primas-----						
Produto final		Un.	Qtde final		R\$	R\$ litro ⁻¹
Biodiesel de soja		L	1710		5523,01	3,23
Biodiesel de girassol		L	1710		5703,01	3,34
Biodiesel de frango		L	1710		3759,01	2,20
Biodiesel de sebo bovino		L	1710		3435,01	2,01

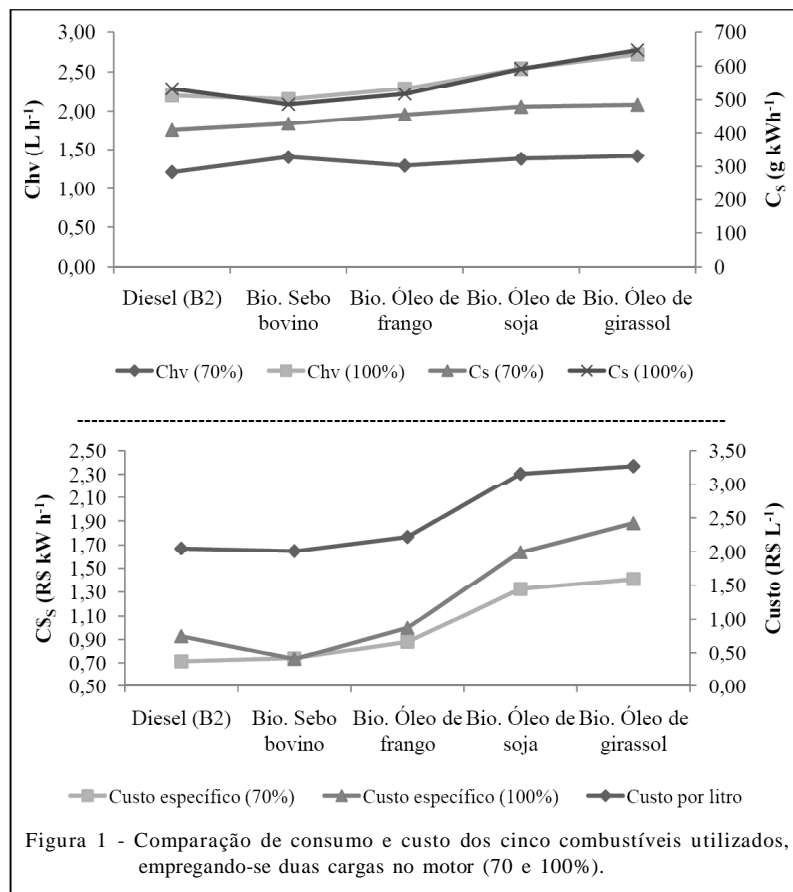
RH – Recursos humanos, Vs – valor sucata.

R\$ 1,33kWh⁻¹ e R\$ 1,41kWh⁻¹, para os originários de sebo bovino, óleo de frango, soja e girassol, respectivamente, conforme representa a figura 1.

Na melhor condição de funcionamento do motor (70% de carga), observou-se que os resultados de Chv , C_s e $C_{\$}$ foram melhores para o óleo diesel B2, enquanto que, para 100% de carga, o biodiesel de sebo bovino se destacou com melhores resultados. O fato é perfeitamente compreendido já que o custo inicial dos dois combustíveis são muito próximos, indicando que o C_s e o $C_{\$}$ foram balizados pelos Chv , distintos nas respectivas cargas.

Interpretando os resultados da análise estatística, médias do Fator 1, combustível, X as médias do Fator 2, carga aplicada ao motor, tem-se: o Chv é influenciado pela carga no motor em todos os combustíveis, sendo que para 70% de carga não há diferença significativa entre os combustíveis; com 100% de carga, o óleo diesel B2, biodiesel de sebo bovino e de óleo de frango são semelhante e diferem de biodiesel de soja e girassol.

O C_s é influenciado pela carga no motor em todos os combustíveis; comparando-se todas as médias do C_s com 70% de carga, verifica-se que não há



diferença significativa entre os combustíveis; para 100% de carga, a testemunha é igual ao biodiesel de sebo bovino, de óleo de frango e soja; o biodiesel de girassol teve o pior resultado, diferindo do restante.

O C_{S_s} é influenciado principalmente pelo custo unitário volumétrico peculiar dos cinco combustíveis e estatisticamente os resultados de C_{S_s} mostram diferenças do biodiesel de soja e girassol com

biodiesel de frango, sebo bovino e óleo diesel. No comparativo do fator carga para C_{S_s} , são semelhantes apenas os biodieseis de sebo bovino e de óleo de frango (Tabela 2).

Embora realizado com intuito científico, lança-se mão dos resultados estatísticos quando se avaliam valores monetários (\$), pois centavos podem significar semelhança conforme visto, porém, é

Tabela 2 - Valores de custo unitário volumétrico dos 5 combustíveis e resultados médios de consumo horário volumétrico, consumo específico e custo específico dos 5 combustíveis submetidos a duas cargas de operação no motor.

-----Médias do Fator 1 x Médias do Fator 2-----							
Fator 1 (Comb.)	Custo (R\$ L ⁻¹)	-----Chv (L h ⁻¹)-----		-----C _s (g kWh ⁻¹)-----		-----C _{S_s} (R\$ kWh ⁻¹)-----	
		-----Fator 2 (carga no motor)-----					
		70%	100%	70%	100%	70%	100%
Óleo diesel	2,05	1,2133 aB	2,1967 bA	408,89 aB	532,6 bcA	0,71 bB	0,93 cA
Biodiesel sebo bov.	2,01	1,4033 aB	2,1500 bA	428,23 aB	486,37 cA	0,74 bA	0,84 cA
Biodiesel frango	2,22	1,2933 aB	2,2867 bA	455,53 aB	517,14 bcA	0,88 bA	1,00 cA
Biodiesel soja	3,16	1,3833 aB	2,5400 aA	478,71 aB	591,86 abA	1,33 aB	1,64 bA
Biodiesel girassol	3,27	1,4200 aB	2,7200 aA	484,82 aB	647,61 aA	1,41 aB	1,88 aA
CV (%)		5,41		6,44		6,45	

Colunas classificadas com letras minúsculas e linhas com letras maiúsculas. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

inadequado usar dessa ferramenta para avaliação de dados econômicos, a fim de tomada de decisão.

CONCLUSÃO

A metodologia adotada não está especificada em norma, no entanto apresentou-se como uma alternativa para avaliação dos custos inseridos na produção e utilização de biodiesel, usando como comparativo o combustível padrão, o óleo diesel comercial. A produção de biodiesel em planta de pequeno porte, a partir das matérias-primas estudadas, não indicou economia monetária, quando comparados com o óleo diesel, revelando valores que inviabilizam a produção em pequena escala. Em escala crescente de valor, os resultados de custo (produção para biodiesel e aquisição de óleo diesel) ficaram representados por biodiesel de sebo bovino, seguido do óleo diesel B2, biodiesel de óleo de frango, soja e girassol e, para custo específico, os melhores resultados favorecem o diesel de petróleo, seguido de biodiesel originário de sebo bovino, frango, soja e girassol. Destacamos que o biodiesel de sebo bovino, além de apresentar um custo menor, é favorável também na autonomia, apresentando o melhor resultado econômico das quatro alternativas estudadas.

REFERÊNCIAS

- ABREU, R.F. et al. Utilization of metal complexes as catalysts in the transesterification of brazilian vegetable oils with differentialcohols. **Journal of Molecular Catalysis**, Brasília, v.209, p.29-33, 2004. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S138116903005818>>. Acesso em: 10 dez. 2010. doi:10.1016/j.molcata.2003.08.003.
- ALI, Y. et al. Effect of alternative diesel fuels on heat release curves for Cummins N14 410 diesel engine. **Transactions of the ASAE**, v.39, n.3, p.407-414, 1996.
- BRUNELLI, R.R. **Estudo da viabilidade operacional e desempenho de motores de combustão interna operando com combustível biodiesel em relação ao combustível diesel automotivo**. 2009. 142f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS.
- CANAKCI, M. Combustion characteristics of a turbocharged DI compression ignition engine fueled with petroleum diesel fuels and biodiesel. **Bioresource Technology**, v.98, n.6, p.1167-1175, 2007. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852406002306>>. Acesso em: 15 jan. 2011. doi:10.1016/j.biortech.2006.05.024.
- CASTELLANELLI, C.A. et al. Estudo do biodiesel como fonte de energia em geradores diesel no horário de ponta. In: SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, 4., 2007, Resende. **Anais...** Rio de Janeiro: Associação Educacional Dom Bosco, 2007. p.1-9. Disponível em: <http://www.aedb.br/seget/artigos07/1468_Biodiesel+seget.pdf>. Acesso em: 02 jun. 2010.
- CORRÊA, I.M. et al. Desempenho de motor diesel com misturas de biodiesel de óleo de girassol. **Ciência e Agrotecnologia**, v.32, n.3, p.923-928, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cagro/v32n3/a33v32n3.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2011. doi: 10.1590/S1413-70542008000300033.
- CONAB. **Metodologia de cálculo de custo de produção da CONAB**. 2010. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/custosproducaometodologia.pdf>>. Acesso em: 20 maio, 2010.
- FERRARI, R.A. et al. Biodiesel de soja – Taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização físico-química e consumo em gerador de energia. **Química Nova**, v.28, n.1, p.19-23, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v28n1/23031.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2010. doi: 10.1590/S0100-40422005000100004.
- GOMES, L.F.S. et al. Biodiesel produzido com óleo de frango. **Acta Scientiarum Technology**, v.30, n.1, p.57-62, 2008. Disponível em: <<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/view/3203/1941>>. Acesso em: 10 dez. 2010. doi: 10.4025/actascitechnol.v30i1.3203.
- HEYWOOD, J.B. **Internal combustion engines fundamentals**. New York: McGraw-Hill, 1988. 897p.
- HORNGREN, C.T. et al. **Contabilidade de custos**. 11.ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2004. 544p.
- IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Biofuels for transport - An international perspective**: OECD. Paris, 2004. Disponível em: <<http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2004/biofuels2004.pdf>>. Acesso em: 01 jun. 2010.
- KNOTHE, G. et al. **Manual de Biodiesel**. Curitiba: Edgard Blücher, 2006. 352p.
- LEHNINGER, A.L. et al. **Princípios de bioquímica**. 3.ed. São Paulo: Sarvier, 2002. 975p.
- MACHADO, P.R.M. **Ésteres combustíveis em motor de ciclo diesel sob condições de pré-aquecimento e variação no avanço de injeção**. 2008. 142f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria RS.
- MORETTO, E.; FETT, R. **Tecnologia de óleos e gorduras vegetais na indústria de alimentos**. São Paulo: Varela, 1998. 150p.
- OLIVEIRA, V. **Agronegócio**. Toledo: Fasul, 2008. 161p.
- PARENTE, E.J. de S. et al. **Biodiesel: uma aventura tecnológica num país engraçado**. Fortaleza, Ce: I Tecbio, 2003. 68p.
- SANTOS, D.C. et al. **Análise de emissões e de consumo específico de um motor diesel operando com biodiesel de soja e de óleos e gorduras residuais**. Salvador: UFB. 2007. Disponível em: <<http://www.biodiesel.gov.br/docs/congresso2007/uso/2.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2008.
- SEYE, O.; SOUZA, R.C.R. Avaliação do desempenho do motor de combustão interna de pequeno porte com misturas óleo diesel – óleo de dendê. In: CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E ENERGIA NO MEIO RURAL, 6., 2006, Campinas, SP. **Anais...** Campinas: UNICAMP, 2006. Disponível em: <<http://www.nipeunicamp.org.br/agrener/anais/2006/77.pdf>>. Acesso em: 01 jun. 2010.
- STONE, R. **Introduction to internal combustion engines**. 2.ed. Warrendale: Society of Automotive Engineers, 1999. 574p.
- SOLOMONS, G.; FRYHLE, C. **Organic chemistry**. 7.ed. New York: John Wiley & Sons, 2000. 156p.