

Produção e uso sustentável do biodiesel integrado a usinas do setor sucroalcooleiro

Maurício Guimarães Sabbag*, Miguel Edgar Morales Udaeta, Patricia Helena dos Santos Matai

*Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
mguisab@hotmail.com; mauricio.sabbag@poli.usp.br
Rua Conde D'Eu, nº 45, Alto da Boa Vista, São Paulo – SP - Brasil*

Sumário

Propõe-se o uso sustentável de biodiesel como instrumento ecológico de economia de energia no setor sucroalcooleiro da região administrativa do município de Araçatuba, Oeste paulista, Brasil, permitindo o aproveitamento de recursos vegetais antes encarados como sub-produtos ou resíduos. Contribuindo com combustível mais limpo e também econômico para tratores, caminhões ou geradores através de mistura com o diesel ou sua substituição total, agregando valor econômico à biomassa, o biodiesel sucroalcooleiro representa, atualmente, a alternativa renovável mais importante para os países em desenvolvimento. Os princípios de prevenção da poluição, reciclagem, tratamento e disposição final adequada constam no piloto de empreendimento-modelo produtor de biodiesel integrado às usinas de açúcar e álcool, parte integrante do presente projeto, que também contemplou: análise prévia de ciclo de vida, esquematização da integração entre as usinas e destilarias com a planta de processamento de sementes de girassol e amendoim, fabricação do biodiesel de girassol em escala laboratorial, análises químicas no biodiesel e na glicerina, soluções para destinação da glicerina, análise econômica e sugestões para garantir a sustentabilidade do empreendimento.

1. Introdução

A produção de energia para fins urbanos requereu intervenção industrial sobre os recursos naturais do planeta levando a impactos permanentes. Seja para transporte, alimentação, trabalho ou lazer a obtenção de energia foi marcada por intervenções industriais que não obedeceram fronteiras geopolíticas, religiosas e/ou ambientais, e passaram a ser hipocritamente consideradas justificativas para guerras (figura 1).



Figura 1 - Poços de petróleo em chamas no Kuwait. Fonte: Google Imagens.

O temor acerca do esgotamento das fontes de petróleo pode ser justificado pelo atual consumo de combustíveis fósseis para geração de energia.

Ainda que novos poços de petróleo e gás natural continuem sendo descobertos, as reservas são limitadas e concentradas em alguns poucos países. As emissões causadas por veículos convencionais carregam diversas substâncias tóxicas que, em contato com o sistema

respiratório, podem produzir vários efeitos negativos sobre a saúde. São compostas por gases como monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NOx), hidrocarbonetos (HC), óxidos de enxofre (SOx), material particulado (MP).

A transesterificação dos óleos vegetais de mamona, dendê, girassol e outros em processos químicos e enzimáticos, bem como processos de conversão energética de outras fontes de biomassa, como vegetais lenhosos e não-lenhosos, e resíduos orgânicos, representam alternativas excelentes em países com características climáticas favoráveis. Sabe-se que o consumo anual de diesel no Brasil é da ordem de 36 bilhões de litros, sendo 20% importado. O diesel se utiliza preferencialmente para transporte 80%, e 20% para sistemas elétricos isolados, agroindústria e usinas emergenciais de eletricidade (1000 MW instalados). A produção nacional de biodiesel em adição ao diesel comum melhora a qualidade do diesel e contribui na redução da atual dependência de importação de óleo diesel, que é da ordem de 7 bilhões de litros ao ano, desonerando a balança de pagamentos e criando riqueza no interior.

2. Objetivo

O objetivo do presente trabalho é minimizar as emissões de gases de efeito estufa e gases causadores de chuva ácida através do aproveitamento dos biocombustíveis e sua maior participação na matriz energética brasileira, apresentando a viabilidade de tal

iniciativa. Busca-se alcançar o jamais atingido desenvolvimento sustentável. O trabalho inclui análise de empreendimento-modelo produtor de biodiesel integrado às usinas e destilarias de açúcar e álcool, localizadas na região administrativa de Araçatuba, oeste do Estado de São Paulo, área de enorme importância latina desde o programa PRÓALCOOL.

Sugere-se o uso de biocombustíveis como instrumento de integração latino-americana, solução ambiental para reduzir emissões veiculares, alternativa energética mundial baseada no aproveitamento sustentável dos óleos vegetais, bioetanol e subprodutos do biodiesel e da indústria do açúcar e álcool. Trata-se de integrar as usinas e destilarias de açúcar e álcool à estratégia ambiental do uso de biodiesel, declarando independência energética da indústria petroquímica.

Seu uso é benéfico e contribui lucrativamente com combustíveis mais limpos e econômicos para tratores (LOPES, 2005), caminhões ou geradores através da substituição do petrodiesel, ou sua mistura ao mesmo, agregando valor econômico à biomassa, podendo favorecer a eliminação das queimadas realizadas por esse setor industrial.

3. Empreendimento-modelo

3.1. A área de estudo

A região administrativa de Araçatuba situa-se à noroeste do Estado de São Paulo, contendo 704.527 habitantes (2005) localizados em uma área de 18.588 km² (7,48% do total do estado) constituída por 43 municípios, os quais compreendem duas regiões de governo, Andradina e Araçatuba.

A economia da região baseia-se na agroindústria, com diversas usinas sucroalcooleiras e de alimentos. Também apresenta frigoríficos. A indústria de bebidas, líquidos alcoólicos e vinagre representa 9,18% do valor adicionado regional (FUJII, 2006).

3.2. Biomassa para geração termelétrica na região

Com relação à capacidade instalada de geração termelétrica, a região possui um total de 71,69 MW, com 68,69 MW de geração por meio de bagaço de cana-de-açúcar e 3 MW de geração diesel, conforme informações do BIG (Banco de Informações da Geração - ANEEL). A figura 2 apresenta a localização geográfica das referidas UTEs.



Figura 2 – Localização geográfica das UTEs existentes na região de Araçatuba. Fonte: Google Earth.

Sabe-se que a cana *in natura* produz cerca de 35% de seu peso em bagaço e este possui 440 kcal/kg. A produção de cana-de-açúcar na região é de 13.660.000 toneladas, de acordo com dados do IBGE para 2003. Obtém-se assim o potencial energético de $8,8 \cdot 10^{15}$ J, ou 2.442.560 MWh/ano. Considerando-se uma eficiência de 50% no processo, para a geração de calor e eletricidade, tem-se um potencial teórico de **1.221.280 MWh/ano**.

3.3. Consumo de diesel na produção de açúcar, álcool e óleo vegetal

Segundo o grupo DEDINI, o consumo de diesel nas usinas sucroalcooleiras chega a 2,5 litros por tonelada de cana. Tal combustível é utilizado nas etapas de corte da cana, transporte à usina e transporte do etanol produzido.

Já na produção industrial de óleo vegetal o petrodiesel é utilizado nas etapas de colheita, transporte em caminhão e transporte no trilho.

Segundo UNICA, a produtividade média nas usinas do Estado de São Paulo é de 80 ton/ha, em ciclo de 5 cortes, e 16.280 hectares corresponde à área média de corte da cana-de-açúcar. Considerando o consumo de 2,5 litros de petrodiesel por tonelada de cana, calcula-se uso de 3.256 milhões de litros de petrodiesel em cada safra. Utilizando o valor de R\$ 1,93 por litro desse combustível (banco de dados do IEA, setembro, 2006) as usinas gastam, em média, cerca de R\$ 6.284.080,00 na compra de petrodiesel por safra.

3.4. Rotação de culturas e escolha das oleaginosas

Além de proporcionar a produção diversificada de alimentos e outros produtos agrícolas, se adotada e conduzida de modo adequado e por um período suficientemente longo, a rotação de culturas melhora as características físicas, químicas e biológicas do solo; auxilia no controle de plantas daninhas, doenças e pragas; repõe matéria orgânica e protege o solo da ação dos agentes climáticos e ajuda a viabilização do Sistema de Semeadura Direta e dos seus efeitos benéficos sobre a produção agropecuária e sobre o ambiente como um todo.

O presente trabalho propõe a rotação de culturas na área plantada com cana-de-açúcar. As oleaginosas escolhidas para plantio na área de rotação são amendoim e girassol, pelo fato de apresentarem ciclos curtos, excelente rendimento e produtividade, bom teor de óleo em sua estrutura, poucas pragas associadas, e serem naturais da América Latina. Não seria possível o plantio de dendê, por exemplo, que produz excelente biodiesel por seu excelente rendimento em óleo por hectare. Seus frutos levam cerca de 3 anos para surgir, e o tempo médio de rotação de culturas no setor sucroalcooleiro do Sudeste e Sul do Brasil é 6 meses. A área de renovação nos canaviais é 20% da área de corte.

3.5. Produtividades e rendimentos na integração cana / oleaginosas

Segundo UNICA, União da Agroindústria Canavieira de São Paulo, a área média de rotação, por usina, é 4.070 ha. Nesta área seria possível produzir oleaginosas conforme a tabela 1, considerando 40% o teor de óleo no girassol e 44% o teor em amendoim.

Tabela 1 – Produtividade em óleo vegetal

Oleaginosa	Área (ha)	Produtividade (ton/ha)	Óleo (ton)	Farelo (ton)	Custos (R\$/ha)	Custos Totais (milhões de R\$)
Soja	4.070	2,5	2.035	8.140	700,00	2.849
Girassol	4.070	1,5	2.440	3.663	300,00	1.221
Nabo Forr.	4.070	0,8	1.953	1.953	75,00	0,305
Amendoim	4.070	2,7	4.835	6.154	2.433,00	9,902

Fonte: Para soja, girassol e nabo forrageiro, Grupo BIOBRÁS, 2003.
Para amendoim, COPLANA, 2006.

Considerando estequiometricamente que 0,95 kg de óleo vegetal gera 1 kg de biodiesel, os 4.070 hectares plantados gerariam 2.568.421 kg de biodiesel de girassol ou 5.089.474 kg de biodiesel de amendoim (tabela 2 e 3):

Tabela 2– Peso em biodiesel por safra

Oleaginosa	Biodiesel produzido (kg)
Girassol	2.568.421
Amendoim	5.089.474

Fonte: Elaboração própria

Tabela 3 – Dados para o petrodiesel, massa específica 0,85 kg/litro

Volume de petrodiesel utilizado por usina (litros)	3.256.000
Massa de petrodiesel utilizado por usina (kg)	2.767.600
Gasto com o petrodiesel (R\$)	6.284.080,00

Fonte: Elaboração própria, a partir de R\$ 1,93 por litro de petrodiesel, IEA, setembro, 2006

É importante ressaltar que uma importante restrição para os cálculos acima foi o tempo de rotação de culturas, que é de 6 meses, ou 180 dias. Nesse período, seria possível uma única safra de girassol (ciclo de 100 dias < 180) ou uma única safra de amendoim (ciclo de 120 a 150 dias <180). O amendoim rasteiro é, atualmente, o mais plantado no Brasil (85 a 90%), e seu ciclo é de 120 a 150 dias, entretanto existem cultivares precoces e de porte ereto cujo ciclo é de 85 a 90. No período de 6 meses, se houver boa organização nos procedimentos de colheita e replantio, poder-se-ia obter duas safras dessa variedade de amendoim ($2 \times 85 = 170$ dias < 180). Sendo assim, poder-se-ia obter o dobro do peso em biodiesel (tabela 4):

Tabela 4 – Rendimentos do amendoim

Variedade de Amendoim	Biodiesel produzido na área de rotação
Rasteiro (1 única safra)	5.089.474 kg
Ereto precoce (2 safras)	10.178.948 kg

Fonte: Elaboração própria

3.6. Dimensão e princípios da usina de biodiesel

Para a escolha da planta de biodiesel necessária, é preciso saber a capacidade de esmagamento dos grãos, em toneladas por dia. Em 4.070 hectares, poder-se-ia produzir grãos conforme tabela 5:

Tabela 5 – Grãos produzidos na usina

Oleaginosa	Produtividade (ton/ha)	Massa de grãos (ton)
Soja	2,5	10.175
Girassol	1,5	6.105

Nabo Forrageiro	0,8	3.256
Amendoim	2,7	10.989

Fonte: Elaboração própria

Considerando 270 dias de trabalho por ano, tanto o uso de girassol como o uso de amendoim contemplariam uma mini-planta, conforme tabela 6:

Tabela 6 – Tipos de plantas para biodiesel

Descrição	Capacidade diária (t)	Capacidade anual (t)	Capacidade anual (1000 Litros)	Rotas e Processos
GRANDES PLANTAS	240 A 300	80.000 A 100.000	96.400 A 120.000	ET / MET CONTÍNUO
PLANTAS MÉDIAS	60 A 180	20.000 A 60.000	24.000 A 72.000	ET / MET CONTÍNUO / BATELADA
MINI-PLANTAS	até 60	até 20.000	até 24.000	ETANOL / BATELADA

Fonte: DEDINI, 2005

A usina deve vender os grãos para a fábrica de esmagamento de grãos, recebendo como pagamento o óleo. A fábrica, por sua vez, vende o farelo e converte o valor em óleo, que será recebido pela usina para o processo de transesterificação, originando o biodiesel.

O sistema operacional da usina integrada deve seguir o seguinte fluxograma:

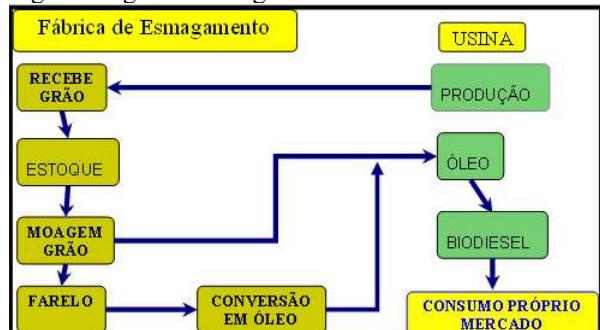


Figura 32 – Fluxograma do processo

3.7. Análise econômica

Segundo o Grupo BIOBRÁS, para uma mini-planta os gastos com equipamentos seriam de 2 milhões de reais. Ter-se-ia, portanto (tabela 7):

Tabela 7 – Custos para o produtor de biodiesel

Opções de Oleaginosas	Custo de matéria-prima	Custo de equipamentos	Custo total
Girassol	R\$ 1.221.000,00	R\$ 2.000.000,00	R\$ 3.221.000,00
Amendoim rasteiro	R\$ 9.902.310,00	R\$ 2.000.000,00	R\$ 11.902.310,00
Amendoim precoce ereto	R\$ 16.833.927,00*	R\$ 2.000.000,00	R\$ 18.833.927,00

* Considerando que na obtenção de duas safras com o amendoim precoce ereto não seria necessário repetir todos os gastos da primeira safra utilizando-se fator de correção de 170% sobre o custo de R\$ 2.433,00/ha. Fonte: Elaboração própria

Compararam-se as três opções de oleaginosas quanto aos lucros obtidos no processo de substituição do petrodiesel pelo biodiesel:

Fabricando biodiesel de amendoim rasteiro necessário somente para cobrir os gastos com diesel, e vendendo o excedente de grãos não-prensados: **prejuízo de R\$1.497.133,00 por safra de cana-de-açúcar;**

Fabricando biodiesel de amendoim ereto (duas safras) necessário somente para cobrir os gastos com diesel, e vendendo o excedente de grãos não-prensados:

economia de R\$ 604.208,00 por safra de cana-de-açúcar;

Fabricando biodiesel de girassol (não supre todo consumo de óleo-combustível da usina): **economia de R\$ 2.736.326,85 por safra de cana-de-açúcar;**

Fabricando biodiesel de amendoim rasteiro e vendendo o biodiesel excedente: **prejuízo de R\$ 1.225.325,74 por safra de cana-de-açúcar;**

Fabricando biodiesel de amendoim ereto (duas safras) e vendendo o biodiesel excedente: **economia de R\$ 1.470.795,19 por safra de cana-de-açúcar;**

Fabricando biodiesel de amendoim rasteiro necessário somente para cobrir os gastos com diesel, e vendendo o óleo vegetal bruto excedente: **prejuízo de R\$ 1.206.350,00 por safra de cana-de-açúcar;**

Fabricando biodiesel de amendoim ereto necessário somente para cobrir os gastos com diesel, e vendendo o óleo vegetal bruto excedente: **economia de R\$ 1.532.353,00 por safra de cana-de-açúcar.**

O presente trabalho utilizou o valor de R\$ 1,8130 por litro como preço de venda de biodiesel nos últimos leilões (ANP, 2006), e R\$ 0,822 por kg como preço de venda do amendoim (IEA, 2006).

O óleo bruto de amendoim e o óleo bruto de girassol, segundo ABOISSA (Departamento Special Oils, novembro de 2006), são negociados sob o mesmo preço de venda equivalente a R\$ 2.000 por tonelada.

Não foram considerados impostos nem os gastos com compra de óleo vegetal da agricultura familiar (exigência do Selo Combustível Social), no caso de venda do biodiesel em leilões.

4. Sugestões para o destino da glicerina em Araçatuba

Baseando-se em materiais consultados referentes às condições econômicas, sociais e ambientais da região administrativa de Araçatuba e em toda a bibliografia consultada, focando a proposta de produção do biodiesel sucroalcooleiro, o presente trabalho sugere os seguintes destinos para a glicerina produzida:

Biodigestão junto ao vinhoto em reatores, para aproveitamento energético do biogás, seguido de aplicação do composto (produto secundário) na agricultura, como fertilizante;

Uso como combustível nas termelétricas, junto ou separadamente ao bagaço de cana, palha da cana, vinhoto;

Venda, após destilação, para a indústria alimentícia e de bebidas que, segundo Inventário Ambiental (anexo II), concentra mais de 88% dos investimentos da região;

Aplicação no solo, juntamente com o vinhoto, após cálculo da correta taxa de aplicação;

Reforma catalítica para reaproveitamento de substâncias alcoólicas;

Observação: Logicamente, a escolha de cada alternativa deve contemplar avaliação de impactos ambientais.

5. Conclusões

A melhor opção para substituição do petrodiesel nas usinas de açúcar e álcool seria a integração com uma fábrica de processamento de grãos, que lhes forneceria

óleo vegetal. Recebendo o óleo, a usina pode produzir biodiesel, suprindo a necessidade de óleo combustível das atividades sucroalcooleiras e vendendo o biodiesel excedente, ou óleo vegetal bruto, ou os grãos não processados, ou o subproduto (torta) do processamento de grãos, ou glicerina. Desse modo, o setor não estaria sujeito à variação cambial e às variações nos preços do petróleo, nem aos impactos ambientais negativos a ele associados.

A opção pelo plantio do amendoim na área de rotação de cultura da cana-de-açúcar pode ser rentável dependendo da variedade do cultivar escolhido.

O plantio do amendoim precoce e de porte ereto (ciclo de 85 a 90 dias) pode beneficiar a usina sucroalcooleira tanto ambientalmente quanto monetariamente na fabricação do biodiesel de amendoim, tornando o empreendimento livre da dependência de compra do petrodiesel. Fabricando o biodiesel de amendoim ereto necessário somente para cobrir os gastos com diesel, e vendendo o óleo vegetal bruto excedente, a economia seria de R\$ 1.532.353,00 por safra de cana-de-açúcar.

Grandes benefícios também surgem com o uso do girassol para fabricação de biodiesel, entretanto o mesmo não suprirá toda a necessidade por óleo combustível utilizado no setor (corresponde a 92,8%, em massa, do total de petrodiesel consumido na safra de cana). Sua mistura ao petrodiesel implica em economias maiores do que o uso do biodiesel de amendoim. Fabricando biodiesel de girassol para mistura ao petrodiesel, a economia seria de R\$ 2.736.326,85 por safra de cana-de-açúcar.

A glicerina apresenta ótimo potencial para geração de energia nas termelétricas já movidas a bagaço de cana-de-açúcar.

6. Bibliografia

- LOPES, A., Biodiesel em trator agrícola: desempenho e opacidade. ESALQ, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.
- FUJII; R. J. Modelo de Caracterização Sistêmica das Opções de Oferta Energética para o PIR. Dissertação de mestrado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- CÂMARA, G., MARTINS, M., Amendoim: cultura e agronegócio. ESALQ/USP.
- TORQUATO, S. A., MARTINS, R.; Renovação de canaviais: alternativas para o biodiesel e a produção de amendoim no Estado de São Paulo. IEA, Instituto de Economia Agrícola, São Paulo, 2006;
- GOLDEMBERG, J., Balanço energético da produção de combustíveis de óleos vegetais, Instituto de Física/USP, pré-print, nº 323, São Paulo, 1982.
- MARTINS, H., TEIXEIRA, L. C, Balanço energético da produção de óleos vegetais transesterificados, III Congresso Brasileiro de Energia, Rio de Janeiro, 2003.
- UNGARO, M., Mercados potenciais para o girassol e os seus subprodutos. ESALQ/USP.
- MACEDO, I., NOGUEIRA, L., Avaliação do Biodiesel no Brasil, CGEE, Brasília, 2004.
- IEA – Instituto de Economia Agrícola, 2006.
- Governo Federal, 2006;

- ANP, Agência Nacional do petróleo, gás natural e Biocombustíveis.