

Reservatórios  
da planta-piloto,  
em Ribeirão Preto,  
estocam biodiesel  
à base de etanol



# Biodiesel no tanque

Combustível produzido com etanol e óleos vegetais está pronto para abastecer ônibus e caminhões

**S**e tudo correr bem, dentro de dois anos os veículos brasileiros movidos a óleo diesel – caminhões, ônibus, tratores e locomotivas – estarão rodando com um percentual de biodiesel no tanque. Um dos candidatos a esse novo combustível foi desenvolvido por meio da reação química de óleos vegetais com etanol, o álcool extraído da cana-de-açúcar, nos laboratórios da Universidade de São Paulo (USP), em Ribeirão Preto. A equipe coordenada pelo professor Miguel Dabdoub – coordenador do Laboratório de Desenvolvimento de Tecnologias Limpas (Ladatel) – faz parte de um grupo maior, composto por dezenas de pesquisadores espalhados por todo o país que estudam e desenvolvem alternativas para o diesel de petróleo. Em Ribeirão Preto, eles chegaram a um processo inovador para a obtenção de biodiesel com a descoberta de eficientes catalisadores, substâncias que aceleram a reação química e transformam óleos de soja, dendê, milho ou mamona, por exemplo, mais o álcool, em um novo produto.

Com as características de ser totalmente renovável, produzir menos poluentes que o diesel do petróleo e por já existir uma indústria de produção de álcool no país, a adoção do biodiesel à base de etanol facilita a incorporação desse tipo de combustível à matriz energética brasileira. Além disso, os resultados das pesquisas demonstram que o biodiesel é mais eficiente do que o óleo vegetal *in natura* porque não causa corrosão no motor, não carboniza os bicos injetores de combustível e melhora a partida do veículo por ser menos denso e fluir melhor nas mangueiras e dutos.

Fatores econômicos e estratégicos também tornam o biodiesel bem-vindo. Hoje, a frota nacional consome cerca de 37 bilhões de litros de óleo diesel por ano. Em 2005, esse volume subirá para 40 bilhões de litros, conforme projeção da Agência Nacional do Petróleo (ANP). A meta do Programa Brasileiro de Desenvolvimento Tecnológico de Biodiesel (Pro-biodiesel), do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), e mais recentemente do Grupo de Trabalho Interministerial coordenado pela Casa Civil da Presidência da República é montar um amplo plano de produção desse novo combustível, com o incentivo ao plantio de espécies oleaginosas. Esse combustível servirá como complemento ao óleo diesel comum e, futuramente, poderá ser usado de forma integral nos motores diesel se houver oferta suficiente. A idéia inicial é acrescentar 5% de biodiesel ao óleo originário do petróleo – fórmula conhecida como B5 –, em uma iniciativa similar à que ocorre com a gasolina, que recebe cerca de 25% de etanol. Com essa medida, estima-se que o Brasil reduza em 33%, de um total de 6 bilhões de litros, suas importações de diesel, gerando uma economia anual de US\$ 350 milhões, além de um grande número de empregos diretos e indiretos.

Mesmo que o país alcance a auto-suficiência em petróleo nos próximos anos, será preciso continuar importando diesel. O problema é que o óleo extraído das profundezas marítimas da costa brasileira tem qualidade inadequada para a produção do diesel. Na maior parte das jazidas, principalmente aquelas da Bacia de Campos, o petróleo é do tipo pesado, caracterizado por ainda não ter completa-

do seu ciclo de maturação e por sofrer um processo de biodegradação natural.

A produção de um composto de óleo vegetal e etanol já é conhecida há alguns anos, mas mostrava-se economicamente inviável devido às limitações de ordem técnica, como a baixa taxa de conversão da mistura em biodiesel. “A síntese que emprega o metanol com óleos vegetais – usado na Europa e nos Estados Unidos – resulta numa transformação da ordem de 98%, enquanto com o etanol chegava a 80%”, explica Dabdoub. Outro problema a ser solucionado era a separação da glicerina, um subproduto da reação química. “O nosso grande desafio foi desenvolver uma metodologia que superasse esses dois obstáculos. Tivemos êxito, no início deste ano, na obtenção de um processo que permite uma transformação acima de 98% e possibilita a separação espontânea da glicerina, além de diminuir bastante o tempo da reação”, diz o pesquisador.

**N**o biodiesel de metanol, o catalisador empregado é o hidróxido de sódio ou de potássio, também conhecido como soda ou potassa cáustica. Para sintetizar o biodiesel de etanol, o pesquisador adicionou, além do catalisador tradicional, uma outra substância catalisadora, cujo nome é mantido em segredo porque o processo de obtenção da patente não está concluído. “Podemos dizer que o novo catalisador é um hidróxido metálico misto, chamado vulgarmente de argila”, diz Dabdoub. Segundo ele, o processo de transformação de óleos vegetais e álcool em biodiesel, conhecido como transesterificação, é relativamente simples. O óleo vegetal é misturado ao álcool e aos catalisadores em um reator e sofre agitação por meia hora. Para cada 1 mil litros de óleo são utilizados 200 litros de etanol e de 0,8% a 1% dos agentes catalisadores. Em seguida, a mistura vai para um decantador onde ocorre a separação da glicerina, substância de alto valor agregado, usada por indústrias farmacêuticas, de cosméticos e de explosivos. Uma tonelada de glicerina chega a custar US\$ 1,3 mil.

No laboratório, transformação de óleos vegetais, álcool e catalisadores em biodiesel



Uma das vantagens do novo combustível é a possibilidade de produzi-lo a partir do óleo de várias plantas. São oleaginosas com diferentes índices de produtividade e adaptação ao mosaico regional do país. Assim, a soja produz 400 litros (l) de óleo por hectare (ha), o girassol, 800 l/ha, mamona, 1.200 l/ha, babaçu, 1.600 l/ha, dendê, 5.950 l/ha, pequi, 3.100 l/ha, milho, 160 l/ha, algodão 280 l/ha e macaúba 4 mil l/ha. “Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), o amendoim forrageiro dos cultivares BR-1 e BR-151 L-7 é resistente à seca e adequado para plantio no semi-árido, rendendo, sem irrigação, 750 l/ha de óleo ou quase 2.100 l/ha no plantio irrigado”, informa o professor.

“Utilizamos nos nossos experimentos 11 variedades de óleos vegetais, além de óleos de fritura já usados. Porém preferimos o óleo de soja porque é o mais abundante e o Brasil é o segundo maior produtor mundial desse produto, com um total anual de 54 milhões de toneladas.” Mas o plantio de outras oleaginosas pode ser incentivado, elevando a demanda por essas plantas e promovendo o desenvolvimento em vários pontos do país. “Em duas regiões no Estado de São Paulo, no Vale do Ribeira e no Pontal do Paranapanema, a macaúba poderia ser empregada, enquanto no Vale do Jequitinhonha, em Minas Gerais, por exemplo, o biodiesel poderia ser produzido a partir do pequi. Para as regiões Norte e Nordeste, isso poderá ser feito com óleo de babaçu, amendoim e dendê.”

Hoje existe uma grande discussão no âmbito federal sobre a produção de biodiesel com óleo de mamona. Principalmente para a região do semi-árido nordestino. Para Dabdoub isso é possível, mas é preciso também uma boa dose de precaução e muitos testes. “A reação de transesterificação acontece muito bem com o óleo de mamona. Dessa forma, a produção do biodiesel não é problema. Porém precisamos de pesquisas conclusivas sobre os efeitos causados pelo uso prolongado do biodiesel de mamona nos motores”, diz. Isso é necessário porque existe um grupamento químico equivalente a um álcool na molécula do óleo de mamona que torna as características físico-químicas do biodiesel produzido com esse vegetal bastante diferentes daquelas observadas para os ésteres

(compostos de carbono, hidrogênio e oxigênio que caracterizam o biodiesel), metílicos ou etílicos, derivados de qualquer outro óleo. Esse grupamento pode se tornar uma séria restrição técnica que somente os resultados práticos e concretos das pesquisas poderão eliminar.

**I**ndependentemente do óleo a ser usado, o processo de produção do biodiesel desenvolvido pelo Ladetel possui outras vantagens que o tornam superior também na fabricação de biodiesel de metanol. “Conseguimos fazer a reação em 30 minutos, enquanto o processo tradicional leva seis horas. Com isso, somos 12 vezes mais produtivos”, diz Dabdoub. Essas novas características aliadas à transformação química que acontece a frio, na temperatura ambiente, tornaram o processo de produção do biodiesel tecnicamente viável, reduzindo o consumo energético e os custos operacionais.

Apesar da eficiência do processo de conversão e do aproveitamento da glicerina, o biodiesel brasileiro ainda é mais caro do que o diesel comum. O percentual depende do preço do óleo empregado na produção. Mas a diferença, diz Dabdoub, poderá ser facilmente anulada se o governo desonerar o produto de impostos na fase inicial do programa, antes de atingir a produção em grande escala. O pesquisador acrescenta que o novo combustível não exige modificações no motor para que ele funcione normalmente, mesmo que se adote o uso do biodiesel etílico sem a presença do diesel de petróleo. O uso exclusivo traz inúmeras vantagens, a começar pelo fato de ser um combustível totalmente nacional e 100% renovável. Há também ganhos ambientais, como a redução da emissão de gases poluentes. O uso do biodiesel na sua forma pura diminui a emissão de dióxido de carbono em 46% e de material particulado em 68%. Se for usada a mistura B5, a redução de fumaça preta chega a 13%. Segundo Dabdoub, o biodiesel puro é isento de enxofre, componente do óleo diesel e gerador de chuva ácida. “A grande vantagem do biodiesel etílico é que ele proporciona uma combustão muito mais limpa”, diz José Domingos Fontana, coordenador do Centro Brasileiro de Referência em Biocombustíveis (Cerbio) e diretor técnico do Instituto de Tecnologia do Paraná (Tecpar).

## OS PROJETOS

### *Biodiesel Brasil*

**COORDENADOR**  
MIGUEL DABDOUB (USP)

**INVESTIMENTO**  
R\$ 1.087.000,00 – parcerias com empresas

### *Teste de Trator Agrícola com Biodiesel*

**MODALIDADE**  
Linha Regular de Auxílio a Pesquisa da FAPESP

**COORDENADOR**  
AFONSO LOPES (Unesp)

**INVESTIMENTO**  
R\$ 43.331,93 e US\$ 4.117,59

### *Ônibus Movido a Biodiesel*

**COORDENADOR**  
LUCIANO BASTOS (Instituto Alberto Luiz de Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro – Coppe/UFRJ)

**INVESTIMENTO**  
R\$ 700.000,00 – divididos entre Coppe, Financiadora de Estudos e Projetos (Finep), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (Faperj) e Petrobras

### *Biodiesel de Óleo de Mamona*

**COORDENADOR**  
CARLOS NAGIB KHALIL (Petrobras)

**INVESTIMENTO**  
R\$ 5.000.000,00 – empresa

### *Óleo Diesel Vegetal*

**COORDENADOR**  
JOSÉ ROBERTO RODRIGUES PERES (Embrapa)

**INVESTIMENTO**  
R\$ 50.000,00 – Embrapa

### *Biodiesel de Mamona para Ônibus*

**COORDENADOR**  
EXPEDITO PARENTE (Tecnologias Bioenergéticas – Tecbio)

**INVESTIMENTO**  
R\$ 1,2 milhão – R\$ 775 mil da Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Funcap) e Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), R\$ 300 mil da Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial (Nutech) e R\$ 125 mil da Tecbio

Para provar a eficácia do biodiesel de etanol, Dabdoub fechou acordo com empresas, entidades e instituições de pesquisa para a realização de testes de desempenho, consumo e potência. Essas parcerias, que incluem também usinas de álcool da região de Ribeirão Preto, foram a fonte de grande parte dos recursos financeiros que o Ladetel utilizou nos estudos. Um dos principais testes foi feito pela Universidade Estadual Paulista (Unesp), campus de Jaboticabal, que ficou responsável por verificar a eficiência do produto em tratores agrícolas. Os ensaios ficaram a cargo do engenheiro agrícola Afonso Lopes, professor do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV). Além do apoio financeiro da FAPESP, o pesquisador recebeu um trator como resultado de uma parceria com a Valtra do Brasil e a Cooperativa dos Cafeicultores e Citricultores de São Paulo (Cooper柑橘). Lopes testou o combustível no trator, modelo BM100, com 100 cavalos de potência no motor, equipado com um sistema de medição de combustível desenvolvido na Unesp.

O veículo foi avaliado em condição de preparo de solo com uma grade aradora sob cinco tipos de mistura biodiesel-diesel de petróleo: B100 (apenas biodiesel), B25 (25% de biodiesel e 75% de diesel), B50 (metade biodiesel e metade óleo), B75 (75% de biodiesel e 25% de óleo) e B0 (somente diesel). “O funcionamento do trator foi normal com todas as misturas. Constatamos que até o limite de 50% de biodiesel não foram notadas alterações significativas no consumo. Quando o trator funcionou com 100% de biodiesel, o consumo aumentou, em média, 11%”, conta Lopes. Segundo o pesquisador, isso aconteceu porque, em relação ao diesel, o biodiesel tem menor poder calorífico – de 3% a 4% – e por isso consome mais quando a mistura é superior a 50%. A próxima etapa do estudo será avaliar a emissão de poluentes.

O produto desenvolvido no Ladetel também foi testado em carros, locomotivas, motores e geradores elétricos. Nesse último caso, a parceria foi estabelecida com a empresa Branco, do Paraná, em abril deste ano. “Os resultados têm sido



Amostras de biodiesel com diferentes óleos vegetais. À direita, trator em testes com o novo combustível

altamente satisfatórios”, diz Dabdoub. “Observamos redução na emissão de poluentes e agora estamos realizando testes de durabilidade empregando o biodiesel puro (B100).” Os ensaios com locomotivas estão sendo executados pela América Latina Logística (ALL), concessionária ferroviária com atuação no Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo e Argentina. No primeiro momento, foram realizados com sucesso testes laboratoriais para medir consumo, potência e emissões. A segunda fase envolverá o uso do combustível na forma B25 em locomotivas que rodarão nos trechos Ourinhos-Apuarana e Curitiba-Apuarana durante um ano. “Em função dos resultados, a ALL avaliará a possibilidade de usar biodiesel em toda a frota”, afirma Dabdoub.

Por fim, o biodiesel também está sendo testado nas misturas B20, B30 e B100 em veículos de passeio com motores diesel produzidos para exportação, como no caso dos automóveis das montadoras francesas Peugeot e Citroën. Os estudos da USP concentram-se na análise de consumo de combustível, durabilidade e emissão de poluentes (monóxido e dióxido de carbono, dióxido de enxofre, hidrocarbonetos não queimados, gases de nitrogênio e material particulado). Os testes de durabilidade são realizados com o carro percorrendo, no mínimo, 80 mil km, e a análise da variação das emissões de gases poluentes é feita a cada 20 mil km. “Também fazemos testes com os motores cedidos por essas montadoras em colaboração com os professores Antônio Moreira e Jos-

## Diesel usou óleo vegetal

Foi a partir da invenção do motor diesel, pelo engenheiro francês de origem alemã Rudolph Christian Carl Diesel (1858-1913) no final do século 19, que se vislumbrou, pela primeira vez, a possibilidade de se usar óleos vegetais como combustível. Foi apenas na primeira década do século passado que o óleo diesel passou a ser produzido a partir do petróleo. A primeira patente de biodiesel feito com óleo de amendoim e metanol foi depositada no Japão na década de 1940, seguida de outras três patentes nor-

te-americanas na década de 1950. No Brasil, as pesquisas tiveram início nos anos de 1980 com a criação do Programa de Óleos Vegetais (Oveg). O pioneirismo coube, entre outros, à Universidade Federal do Ceará (UFC), responsável pela primeira patente brasileira de um processo de biodiesel. Pesquisadores cearenses produziram o combustível com uma mistura de vários óleos vegetais com metanol e etanol.

“O programa brasileiro não vingou nessa época por motivos econômicos. Faltou uma visão estratégica de



UNESP

mar Pagliuso, da Escola de Engenharia Mecânica da USP de São Carlos. Esses mesmos ensaios são feitos de forma paralela na sede da PSA Peugeot-Citroën na França”, conta Dabdoub.

Além da USP de Ribeirão Preto, existe no Brasil uma extensa rede que envolve universidades, institutos de pesquisa, associações empresariais, agências reguladoras e de fomento, empresas, cooperativas e organizações não governamentais (ONGs) interessadas no desenvolvimento e na implementação do biodiesel. Um trabalho importante é feito pelo Tecpar, um dos pioneiros na pesquisa da mistura álcool etílico e diesel de petróleo como combustível. Desde 1998, vários ônibus de empresas associadas à Urbanização de Curitiba (Urbs) circulam na cidade com uma

longo prazo que permitisse a superação das deficiências tecnológicas como foi feito com o programa do álcool (Proálcool)”, conta o professor Miguel Dabdoub. Nos anos de 1990, países da Europa começaram a implantar programas de uso do biodiesel. Atualmente, 2 milhões de veículos rodam no continente com esse combustível. Na Alemanha e na Áustria, emprega-se o biodiesel puro, enquanto nos demais países ele é misturado ao diesel na proporção de 5% a 20%. Em 2005, 2% de todo o combustível consumido na Europa deverá vir de fontes renováveis. Em 2010, esse percentual sobe para 5,75%.

mistura de óleo diesel (89,4%), etanol (8%) e um aditivo à base de soja (2,6%), batizada de Mistura de Álcool no Diesel (MAD-8), combustível que algumas vezes é erroneamente chamado de biodiesel. Ocorre que, segundo normas internacionais, a simples mistura não caracteriza o produto. O aditivo utilizado foi fabricado e fornecido pela empresa Ecomat de Mato Grosso. Em outra pesquisa do Tecpar, ônibus circularam em Curitiba com biodiesel metílico importado dos Estados Unidos e diesel fóssil numa proporção de 20-80.

No Rio de Janeiro, uma experiência realizada pelo Instituto Alberto Luiz de Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (Coppe), da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), em parceria com o governo do estado, testou com sucesso um ônibus movido a biodiesel feito com óleo reciclado doado pela rede de lanchonetes McDonald's. Esse tipo de óleo residual usado no Rio também é objeto de estudo no Ladetel, que mantém um subprojeto que faz parte do Projeto Biodiesel Brasil, nome do estudo coordenado por Dabdoub. O grupo utiliza material doado pelos refeitórios universitários da USP na capital e no interior e também pelo McDonald's.

Entre as empresas, a Petrobras desenvolve seu programa de biodiesel, iniciado há dois anos. A estatal pretende colocar em funcionamento, no final de 2004, uma usina-piloto para produção de biodiesel feito com óleo de mamona e álcool etílico. A unidade será instalada em Mossoró, no Rio Grande

do Norte, e terá produção inicial estimada em 5 mil litros de biodiesel por dia. O combustível será testado em veículos da própria companhia. O programa tem um forte viés social, porque prevê a compra do óleo de pequenos produtores, que poderão usar a água dos poços perfurados pela Petrobras, onde não foi encontrado petróleo, para irrigar as plantações.

**No campo e na cidade** - O óleo de mamona também é o principal ingrediente de estudos realizados na Embrapa. A instituição, em parceria com o Instituto de Química da Universidade de Brasília (UnB), desenvolveu um equipamento capaz de transformar óleo vegetal em óleo diesel vegetal, com características físico-químicas diferentes do biodiesel. “É um processo muito simples. Não usamos a transesterificação, mas uma técnica por craqueamento (quebra das cadeias de moléculas de carbono) térmico-catalítico. O óleo vegetal é colocado em um craqueador de aço inoxidável e é submetido a uma temperatura de 360°C. De cada 100 litros de óleo vegetal, são produzidos 60 litros de óleo diesel vegetal, 20 litros de gasolina e querosene, 10 litros de gás e 10 litros de água”, afirma o pesquisador da Embrapa José Roberto Rodrigues Peres, um dos responsáveis pela inovação. Segundo Peres, a técnica será direcionada para comunidades rurais isoladas, permitindo que pequenos produtores tenham capacidade para gerar seu próprio combustível.

No Ceará, um projeto de desenvolvimento de biodiesel é liderado pela empresa Tecnologias Bioenergéticas (Tecbio), incubada no Parque Tecnológico da Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial (Nutec). A partir de 2004, a frota de ônibus da empresa Guanabara, de Fortaleza, deverá começar a ser abastecida com biodiesel à base de mamona produzido pela Tecbio. Para isso, estão sendo semeados 10 mil hectares da planta no estado. A expectativa dos pesquisadores envolvidos no projeto é que seja criado um emprego para cada 2 hectares plantados, gerando um rendimento de R\$ 500,00 por hectare. Com todas essas experiências, fica fácil imaginar um futuro promissor para o biosiesel no país, em bem pouco tempo, trazendo grandes benefícios sociais, econômicos e ambientais. •