

Biodiesel: Uma Alternativa de Combustível Limpo

Ana Paula B. Santos e Angelo C. Pinto

A transesterificação de óleos vegetais para a obtenção de biodiesel é uma alternativa para a produção de combustíveis menos poluentes. O objetivo deste trabalho é apresentar aos alunos do Ensino Médio a confecção de equipamento de laboratório, com materiais de fácil acesso, e a importância da preparação de biodiesel, por meio de um experimento simples, que pode ser feito com materiais do cotidiano e que traz à tona uma temática bastante atual. A preparação de biodiesel pode motivar uma boa discussão em sala de aula sobre novas fontes renováveis de energia e sobre as reações de esterificação e transesterificação.

► biodiesel, transesterificação, cotidiano ◀

Recebido em 26/06/07, aceito em 29/07/08

A maior parte de toda a energia consumida no mundo provém do petróleo, uma fonte limitada, finita e não renovável. A cada ano que passa, aumenta o consumo de combustíveis derivados do petróleo e, conseqüentemente, o aumento da poluição atmosférica e da ocorrência de chuvas ácidas (Ferrari e cols., 2005; Oliveira e cols., 2008).

O consumo brasileiro de diesel, em 2003, foi de cerca de 38 bilhões de litros e, em 2005, o Brasil ainda importava cerca de 11% de óleo diesel. Atualmente cerca de 40 bilhões de litros desse combustível são usados, ocorrendo a importação de 2 bilhões de litros por ano – o equivalente a 5% do diesel consumido (Kaplan e cols., 2007). Portanto, a busca por fontes alternativas de energia é de grande importância para a economia brasileira (Guarieri, 2006).

O biodiesel é um substituto do diesel. São ésteres metílicos ou etílicos de ácidos graxos, obtidos a partir da reação de transesterificação de triglicerídeos. A transesterificação consiste na reação dos triglicerídeos presentes nos óleos vegetais ou gorduras animais com álcool em

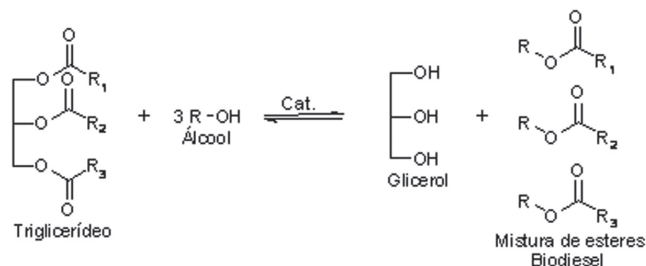
presença de catalisador como mostra o Esquema 1 (Ferrari e cols., 2005; Pinto e cols., 2005).

No Brasil, devido à grande diversidade de espécies oleaginosas, pode-se produzir biodiesel a partir de diferentes óleos vegetais como soja, milho, amendoim, algodão, babaçu e palma (Ferrari e cols., 2005). Além disso, esse biocombustível pode ser produzido a partir de óleos de frituras e de sebo bovino, reduzindo, assim, os riscos de poluição ambiental causados por esses materiais (Suarez e cols., 2007; Costa Neto e cols., 2000).

No Brasil, o Congresso Nacional aprovou a lei nº 11.097, em 13/01/2005, que tornou obrigatória a adição de 2% de biodiesel ao diesel

(B2) até 2008 e a adição de 5% (B5) até 2013 (Geris e cols., 2007).

O biodiesel é um combustível obtido de fontes limpas e renováveis (ciclo curto do carbono) que não contém compostos sulfurados (não contribui para formação de chuvas ácidas) e aromáticos; apresenta alto número de cetanos (o correspondente a octanos na gasolina); e é biodegradável. Esse biocombustível, quando comparado ao diesel, oferece vantagens para o meio ambiente como a redução de emissões de dióxido de carbono (CO₂, o principal responsável pelo efeito estufa) e de materiais particulados. Essas vantagens são traduzidas em menos custos com a saúde pública, visto o grande consumo de óleo



Esquema 1: Reação de transesterificação de triglicerídeos com álcool.

diesel nos transportes rodoviários e automotivos nas grandes cidades. (Costa Neto e cols., 2000).

O objetivo deste artigo é estimular professores e estudantes do Ensino Médio a prepararem biodiesel em sala de aula a partir do óleo de soja e etanol na presença de hidróxido de sódio como catalisador. Trata-se de um experimento simples que pode ser realizado com materiais do cotidiano, adquiridos em estabelecimentos comerciais de qualquer cidade ou município brasileiro.

Material

Resistência para fogareiro elétrico;
Termostato;
Fita isolante térmica;
Telha de alumínio 1 m x 1 m;
Madeira (pinho);
Tubo de alumínio de 1 m (suporte);
Lâmpada de 250 watts sem o miolo (balão de fundo redondo);
Vidro pirex®;
Termômetro;
Luva ½ polegada de diâmetro (conexão entre o balão e o condensador);
2 copos de acrílico (condensador);
1 m de mangueira de polietileno (condensador);
2 pedaços de mangueira de polietileno (para refrigeração do condensador);
2 roscas de PVC de 4 cm x ½ polegada;
3 canetas esferográficas;
Durepoxi® (resina epoxi);
Araldite® (resina epoxi);
Garra de bateria de automóvel;
Arame (gancho);
Garrafa PET de 600 mL;
Seringa de 1,5 cm de diâmetro e 5 mL;
Pregador de roupas;
Copo medidor;
Conta gotas ou seringa;
1 colher de chá
Furadeira

Na lâmpada sem miolo, é acoplado um pedaço de rosca de PVC com Durepoxi® (Figuras 1 e 2).

Construção do aquecedor elétrico

Ao contrário da reação de transesterificação de triglicerídeos com metanol, a reação com etanol deve ser feita com aquecimento. Devido à



Figura 1: Montagem da aparelhagem.

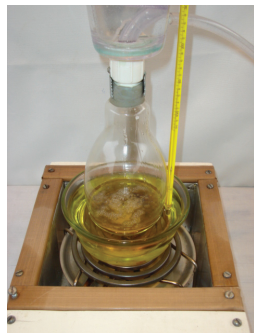


Figura 2: Banho de óleo.

inflamabilidade do etanol, é desaconselhável o uso de chamas em laboratórios de ensino. O bico de Bunsen pode ser substituído por um aquecedor elétrico, que pode ser construído usando-se uma resistência para fogareiros acoplada a um termostato, envoltos por uma caixa de alumínio. Esse conjunto é colocado dentro de uma caixa de madeira. Na parte de trás da caixa, é fixado um tubo de alumínio que serve de suporte para toda a aparelhagem (Figura 1).

Construção do condensador

O condensador é feito com dois copos de acrílico. Com o auxílio de uma furadeira, faz-se 2 furos – 1 na lateral e 1 no centro para cada copo. Em cada furo, é fixado, com Araldite®, uma metade de tubo de caneta. As duas metades de caneta centrais são interligadas internamente à mangueira em forma de espiral (se necessário, use uma barra de acrílico perfurada para deixar as espirais com a mesma distância). Os copos de acrílico são colados com Araldite® e, depois de secos, em um dos furos centrais, é fixado externamente uma luva de PVC com resina Araldite® (Figura 3).



Figura 3: Condensador.

Construção do funil de separação

O funil de separação é construído fazendo-se um furo no fundo da garrafa PET e acoplando-se um pedaço de tubo de PVC que é colado com Durepoxi®. A torneira é feita furando-se a tampa e acoplando-se um pedaço do tubo da caneta (com Durepoxi®) que recebe um pedaço de garrote e um pregador (Figura 4). Uma fita de teflon é usada para vedar a rosca.

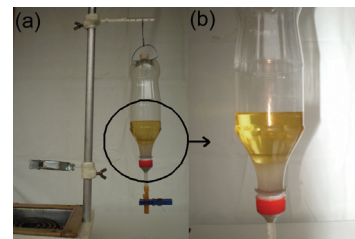


Figura 4: (a) Processo de separação do biodiesel dos subprodutos da reação; (b) ampliação do processo de separação do biodiesel.

Reagentes¹

Para obtenção do biodiesel, foram utilizados os seguintes materiais (Figura 5):

Óleo de soja (óleo de cozinha);
Álcool etílico (etanol) absoluto 99,3° INPM² a 99,5° INPM² ou álcool etílico P.A.² (para análise) 99,9° INPM;
Hidróxido de sódio (soda cáustica)³;
Glicerina (glicerol 95%)³;
Cloreto de sódio (sal de cozinha);
Água

Procedimento experimental

Num copo de vidro, dissolver 1,0 g (1 colher de chá) de hidróxido de sódio em 50 mL de etanol (dissolver o máximo possível – mexer por 15 minutos). Transferir somente a solu-



Figura 5: Reagentes.

ção para a lâmpada de 500 mL e, em seguida, adicionar 100 mL de óleo de soja. Deve-se fazer uma ligeira agitação manual para se formar uma única fase translúcida. Coloca-se a lâmpada num banho de óleo soja, que deve ser aquecido inicialmente a 100°C, para permitir que a mistura fique em agitação. Em seguida, manter o aquecimento a 60°C por 1 hora. Terminada a reação, a solução é deixada esfriar em temperatura ambiente e transferida para a garrafa PET. São adicionados 10 mL de glicerina (com leve agitação), para que parte desta decante e seja removida da garrafa PET. O biodiesel então é lavado com uma solução saturada de NaCl (sal de cozinha). Nessa etapa, observa-se a formação de uma fase aquosa, que contém a glicerina residual. O biodiesel do óleo de soja é um líquido de cor amarelo claro e menos denso que a água, com viscosidade inferior ao do óleo de cozinha.

Análise do biodiesel

A viscosidade de um fluido indica sua resistência ao escoamento. Tal propriedade pode ser usada para comprovar a obtenção de biodiesel: por meio da determinação das viscosidades desse biocombustível e do óleo vegetal relativas à água. Normalmente, a viscosidade relativa é determinada usando-se um viscosímetro de Ostwald, mas pode ser estimada pelo fluxo do fluido em um tubo capilar ou numa pipeta capilar (Rinaldi e cols., 2007).

A diferença de viscosidade entre o biodiesel e o óleo vegetal pode ser observada, por exemplo, com o uso

de um tubo feito a partir de uma caneta esferográfica, que pode ser produzida do seguinte modo⁴: Retire a carga da caneta e reduza o diâmetro do tubo com a chama de um isqueiro, até a obtenção de um orifício que permita o escoamento lento do líquido. Marque as duas extremidades do tubo com uma caneta apropriada. Coloque o biodiesel no tubo com o auxílio de um conta-gotas e marque o tempo de escoamento entre as duas marcas. Repita o mesmo procedimento para o óleo vegetal e para a água. Esse experimento deve ser feito em triplicata. As viscosidades relativas à água são determinadas pela razão entre os tempos médios de escoamento do biodiesel e do óleo de soja e o tempo médio de escoamento da água⁵.

Projeto: produção de biodiesel nas escolas públicas de Ensino Médio

Como o presente trabalho está voltado para a produção de biodiesel em escolas de Ensino Médio, estão sendo construídos 15 kits, tal como o apresentado neste trabalho, para serem distribuídos em escolas públicas de Ensino Médio nos estados do Rio de Janeiro, São Paulo e Bahia. O projeto, denominado "Produção de biodiesel nas escolas públicas de Ensino Médio", conta com o apoio do Laboratório de Produtos Naturais e Transformações Químicas (PILAB) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ); da Rede Cooperativa de Biodiesel do Nordeste (RECOMBIO); e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) para a confecção dos kits.

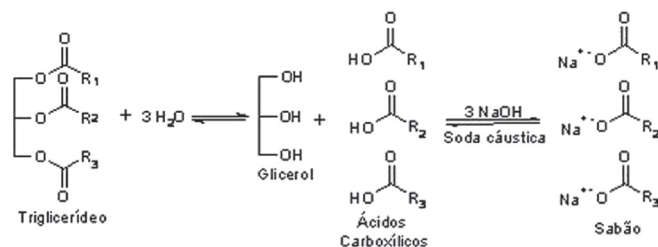
O biodiesel é um combustível obtido de fontes limpas e renováveis que não contém compostos sulfurados e aromáticos, apresenta alto número de cetanos e é biodegradável.

Resultados e discussão

Na reação de transesterificação, 1 mol de triglicerídeo reage com 3 mols de etanol. Devido ao caráter reversível dessa reação, normalmente emprega-se um excesso de álcool para deslocar a reação no sentido de maior formação de biodiesel. A reação de transesterificação obedece ao princípio de Le Chatelier, que estabelece que qualquer alteração em uma das concentrações das espécies envolvidas no equilíbrio provocará uma reação do sistema de maneira a restabelecer o equilíbrio (Ferreira e cols., 1997). Os melhores resultados foram obtidos quando foram usadas relações em mol entre 9:1 e 12:1 (Meher e cols., 2006). Optou-se nesse experimento pela relação de 9:1 entre etanol e triglicerídeo porque esta é a que utiliza a menor quantidade de solvente.

Na reação de transesterificação, a catálise alcalina é muito mais rápida do que a ácida, e 1,0 % (m/m) de NaOH, em relação ao óleo vegetal, já é suficiente para formar o catalisador da reação, o etóxido de sódio (NaOEt)⁶.

No Brasil, devido ao baixo custo e à grande disponibilidade, o etanol pode ser usado como matéria prima para a produção de biodiesel. Não se pode usar álcool comercial (mais de 2 mL/100 mL de álcool) porque a quantidade de água que está presente neste favorece a reação de hidrólise do triglicerídeo (reação de saponificação) em presença de base, formando-se sabão e glicerol (Esquema 2). A formação



Esquema 2: Reação de hidrólise de triglicerídeos (reação de saponificação).

de sabão é indesejável, pois além de consumir o catalisador da reação (etóxido de sódio), permite a formação de emulsão, dificultando a separação das fases orgânica e aquosa (Suarez e cols., 2007). O uso de etanol hidratado com teores de água superiores a 2%, tais como etanol 92,8°INPM ou etanol como combustível de automóveis, não é adequado para a produção de biodiesel, por isso se utilizou nesse experimento etanol absoluto 99,3°INPM, 99,5°INPM e 99,9°INPM (PA.). O resultado das viscosidades relativas à água pode ser visualizado na Tabela 1.

Na fase de extração, adicionou-se 10 mL de glicerina para alterar o sistema ternário (biodiesel:etanol:glicerina) e acelerar a formação nítida de duas fases. Estas foram formadas após a lavagem com solução saturada de NaCl que removeu o excesso de etanol e a glicerina residual. O etanol residual pode ser eliminado, deixando-se a solução exposta em temperatura ambiente. Industrialmente o excesso de etanol é removido por destilação, que resulta na separação da glicerina.

A solução saturada de NaCl, utilizada para evitar a formação de emulsão, deve ser adicionada lentamente pelas paredes do funil de separação (Geris e cols., 2007; Rinaldi e cols., 2007). Quando se realiza a reação com metanol, seu excesso é mais

fácil de ser removido do que o etanol na fase aquosa, devido a este ser mais solúvel no próprio biodiesel.

A taxa de conversão da reação de transesterificação é influenciada pelo tempo de reação e pela temperatura. Quando se utiliza metanol, após 1 hora de reação, sob

temperatura de 45-60°C, consegue-se 93-98% de conversão (Ma e Hanna, 1999). O etanol anidro, no entanto, proporciona uma velocidade reacional menor em relação ao metanol, atingindo-se 80% de conversão. Por isso, a preparação de biodiesel etílico exige um tempo reacional de 1 hora e temperatura do banho de óleo de 100-60°C, para permitir maiores taxas de conversão.

Foi possível a comprovação da obtenção do biodiesel por meio da determinação das viscosidades relativas de biodiesel e óleo de soja com relação à água a 25°C. Os

resultados estão apresentados na Tabela 1 (Rinaldi e cols., 2007).

Conclusão

A preparação de biodiesel, utilizando materiais de fácil acesso para a confecção do equipamento e

reagentes do cotidiano, é uma oportunidade para os alunos do Ensino Médio realizarem um experimento simples que resulta num combustível limpo substituto do diesel. Esse procedimento experimental permite a discussão sobre fontes renováveis de energia e seus benefícios ambientais, além de abordar reações clássicas da Química Orgânica.

Questões propostas

Pode ser discutido o aproveitamento de óleos vegetais usados para a produção de biodiesel.

A discussão sobre as principais aplicações da glicerina será de grande validade, pois apesar de ainda possuir aplicação no mercado, somente no ano de 2007, sua produção

como subproduto da indústria do biodiesel foi de 100 mil toneladas, sendo maior que a demanda do mercado (Biodieselbr.com, 2007).

Agradecimentos

Agradecimentos a Uilson Ramos de Azevedo (líder de produção da Bayer CropScience) e ao engenheiro químico Luiz Guilherme Marques (IVIG-COPPE/UFRJ), pelo auxílio na realização do experimento e purificação do biodiesel; ao professor Pedro Paulo Merat (CEFET), pelo incentivo na realização de experimentos com materiais do cotidiano; a rede RECOMBIO; ao CNPq; e à Capes, pelo apoio financeiro.

Notas

1. O hidróxido de sódio e o álcool etílico devem ser recentemente adquiridos para minimizar a presença de água.

2. O álcool etílico 99,3° INPM (equivalente a 99,3% v/v) pode ser encontrado em supermercados ou farmácias como solvente para tintas e vernizes. O álcool etílico 99,5° INPM (equivalente 99,5% v/v) e o PA. 99,9° INPM (equivalente a 99,9% v/v) podem ser encontrados em lojas de produtos químicos. INPM: Instituto

A maior parte de toda a energia consumida no mundo provém do petróleo, uma fonte limitada, finita e não renovável.

No Brasil, devido à grande diversidade de espécies oleaginosas, pode-se produzir biodiesel a partir de diferentes óleos vegetais como soja, milho, amendoim, algodão, babaçu e palma.

A cada ano que passa, aumenta o consumo de combustíveis derivados do petróleo e, conseqüentemente, o aumento da poluição atmosférica e da ocorrência de chuvas ácidas.

Tabela 1: Tempos médios de escoamento do óleo de soja e biodiesel e suas viscosidades relativas à água.

Líquido	Tempo médio de escoamento (s)	Viscosidade relativa à água a 25°C
Óleo de soja	45	5,6
Biodiesel a partir de etanol 99,3° INPM	10	1,2
Biodiesel a partir de etanol 99,5° INPM	10	1,2
Biodiesel a partir de etanol 99,9° INPM	9	1,1
Água	8	1,0

Nacional de Pesos e Medidas.

3. O hidróxido de sódio pode ser encontrado em supermercados ou em lojas de produtos químicos, e a glicerina, em farmácias ou em casas de perfumaria.

4. Tubo de caneta esferográfica com 14 cm de comprimento.

5. Essas medidas podem ser feitas com mais precisão se, em vez do tubo de caneta, for usado uma pipeta graduada.

6. Catalisadores são espécies que aceleram a velocidade de uma reação, diminuindo a sua barreira de energia (Rinaldi e cols., 2007).

Referências

Biodieselbr.com. Disponível em: <http://www.biodieselbr.com/noticias/biodiesel/glicerina-biodiesel-inunda-mercado-pais-derruba-precos-02-05-07.htm>. Acesso em junho de 2007.

COSTA NETO, P.R.; ROSSI, L.F.S.; ZAGONEL, G.F. e RAMOS, L.P. Produção de biodiesel alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em frituras. *Química Nova*, v. 23, n. 4, p. 531-537, 2000.

FERRARI, R.A.; OLIVERIA, V.S. e SCABIO, O.A. 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.

FERREIRA, L.H.; HARTWIG, D.H. e ROCHA-FILHO, R.C. Algumas experiências simples envolvendo o princípio de Le Chatelier. *Química Nova na Escola*, n. 5, maio, p. 28-31, 1997.

GERIS, R.; SANTOS, N.A.C.; AMARAL, B.A.; MAIA, I.S.; CASTRO, V.D. e CARVA-

LHO, J.R.M. Biodiesel de soja - Reação de transesterificação para aulas práticas de química orgânica. *Química Nova*, v. 30, n. 5, 2007.

GUARIEIRO, L.L.N. *Metodologia analítica para quantificar o teor de biodiesel na mistura biodiesel: diesel utilizando espectrometria na região do infravermelho*. 2006. Dissertação (mestrado). Instituto de Química, Programa de Pós-Graduação em Química Orgânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2006.

KAPLAN, S.; FERRAZ, F.F. e FERRAZ, M. Biocombustíveis Petrobrás: uma evolução inspirada na natureza. *Ciência Hoje*, v. 41, p. 2-7, 2007.

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

MEHER, L.C.; SAGAR, D.V. e NAIK, S.N. Technical aspects of biodiesel production by transesterification – a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 10, n. 3, p. 248-268, 2006.

OLIVEIRA, F.C.C.; SUAREZ, P.A.Z. e SANTOS, W.L.P. Biodiesel: possibilidades

Ana Paula Bernardo dos Santos (anabernardo@iq.ufrj.br), graduada em Química Industrial pela Universidade Federal Fluminense (UFF), licenciada em Química pela UFRJ, mestre em Ciências pela UFRJ, é doutoranda do Programa de Química Orgânica da UFRJ e bolsista da FAPERJ. **Angelo da Cunha Pinto** (angelo@iq.ufrj.br), graduado em farmácia pela UFRJ, mestre em Química pelo Instituto Militar de Engenharia (IME), doutor em Química Orgânica pela UFRJ, é professor titular do IQ-UFRJ e bolsista IA de produtividade do CNPq.

e desafios. *Química Nova na Escola*, n. 8, maio, p. 3-8, 2008.

PINTO, A.C.; GUARIEIRO, L.L.N.; REZENDE, M.J.C.; RIBEIRO, N.M.; TORRES, E.A.; LOPES, W.A.; PEREIRA, P.A.P. e ANDRADE, J.B. Biodiesel: an overview. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, v. 16, n. 6B, p. 1313-1330, 2005.

RINALDI, R.; GARCIA, C.; MARCINIUK, L.L.; ROSSI, A.V. e SCHUCHARDT, U. Síntese de biodiesel: uma proposta contextualizada de experimento para laboratório de química geral. *Química Nova*, v. 30, n. 5, p. 1374-1380, 2007.

SUAREZ, P.A.; MENEGHETTI, S.M.P.; MENEGHETTI, M.R. e WOLF, C.R. Transformação de triglicerídeos em combustíveis, materiais poliméricos e insumos químicos: algumas aplicações da catálise na oleoquímica. *Química Nova*, v. 30, n. 3, p. 667-676, 2007.

Para saber mais

KNOTHE, G. Historical perspectives on vegetable oil-based diesel fuels. *Industrial Oils*, v. 12, p. 1103-1107, 2001.

Abstract: *Biodiesel: An alternative of the clean fuel.* The transesterification of vegetable oil to biodiesel is an alternative for the production of less polluting fuels. The objective of this article is twofold: to present high school students with a way to make laboratory equipment with easily accessible materials, as well as the importance of preparation of biodiesel by way of a simple experiment using common, everyday materials focusing on a topical theme today. In the classroom, the preparation of biodiesels can incite a lively discussion on new sources of renewable energy and on the reactions of esterification and transesterification.

Keywords: biodiesel, transesterification, daily.

ESERA 2009 Conference

A Conferência do European Science Education Research Association (ESERA) será realizado no *The Grand Cevahir Hotel and Conference Centre*, em Istambul, Turquia, de 31 de agosto a 4 de setembro.

O evento está sendo organizado em parceria pelas instituições Gazi University, Hacettepe University e Yeditepe University. A escolha recaiu sobre a Turquia porque está tem apresentado um grande crescimento na publicação de artigos científicos em jornais e revistas.

As discussões serão em torno de conferências, mesas-redondas, oficinas temáticas, simpósios e apresentações de trabalhos de pesquisa, nas formas de apresentação oral ou pôster interativo.

As inscrições serão realizadas até 01 de agosto de 2009.



Contato pelos endereço-e: mftasar@gazi.edu.tr e cakmakci@hacettepe.edu.tr

Informações adicionais: <http://www.esera2009.org>

Luciana Caixeta Barboza
(editoria QNEsc)