

TRATAMENTO DA ÁGUA DE PURIFICAÇÃO DO BODIESEL UTILIZANDO ELETROFLOCULAÇÃO

Juliana Ferreira de Brito*, Laís de Oliveira Ferreira e Joaquim Paulo da Silva

Departamento de Ciências Exatas, Universidade Federal de Lavras, CP 3037, 37200-000 Lavras – MG, Brasil

Teodorico Castro Ramalho

Departamento de Química, Universidade Federal de Lavras, CP 3037, 37200-000 Lavras – MG, Brasil

Recebido em 30/5/11; aceito em 9/10/11; publicado na web em 20/1/12

TREATMENT FOR PURIFICATION WATER OF BODIESEL USING ELECTROFLOCCULATION. Biodiesel was created as a solution for a great economic and environmental problem of petroleum, a resource with sustainable characteristics. But its production still needs optimization, because it uses a lot of water and generates a large volume of this residue, which appears improper to disposal without correct treatment. This work propose an economic, viable and efficient way to treat the Biodiesel purification water, not only aiming at a proper disposal, but the reuse as input in the process, generating a large industrial economy, and greater environmental progress. For both treatment uses the electroflocculation technique.

Keywords: biodiesel; water; electroflocculation.

INTRODUÇÃO

O grande desenvolvimento da sociedade e, conseqüentemente, das tecnologias fez com que crescesse também a preocupação com o meio ambiente. Neste contexto, uma das principais limitações e preocupações do desenvolvimento industrial e social são as fontes de energia.¹ As fontes de energia renováveis apareceram como a solução para esses problemas, além dos problemas ambientais e para o fim da preocupação com o esgotamento das fontes não renováveis.

O biodiesel é uma das fontes renováveis que está em alta expansão na substituição do diesel de petróleo no Brasil.² Este biocombustível tem origem vegetal, sendo assim, o CO₂ liberado durante sua queima é consumido pelas plantas que irão produzi-lo, minimizando os impactos causados pelo CO₂ no efeito estufa e no aquecimento global, as duas principais preocupações dos ambientalistas hoje.

Apesar de ser um recurso renovável e pouco agressivo para o meio ambiente, o processo de produção do biodiesel ainda precisa ser otimizado. Antes de estar pronto para consumo, o biodiesel tem que ser purificado. Nesta fase, o biodiesel passa por uma lavagem utilizando água, para retirar o excesso de catalisador, álcool, sabão proveniente da reação, óleos e graxas e glicerol residual.³

São utilizados em média, para a purificação do biodiesel, um volume três vezes maior de água para cada litro de biodiesel produzido.⁴ Se o Brasil produz hoje cerca de 176 milhões de litros de biodiesel por ano, segundo dados do Anuário da Indústria de Biodiesel no Brasil,⁵ seriam gastos aproximadamente 530 milhões de litros de água por ano apenas para a purificação do biodiesel.

Segundo dados do PROCON,⁶ uma cidade de 100 mil habitantes gasta aproximadamente 550 milhões de litros de água por mês. Ou seja, o gasto anual de água para a produção de biodiesel seria suficiente para suprir as necessidades da população de uma cidade de 95 mil habitantes por um mês.

Vale ressaltar que 1 L de óleo pode chegar a poluir 1 milhão de litros de água.⁷ Apesar do resíduo de purificação não ser óleo propriamente dito, tem um alto teor de óleo e graxas e, mesmo que não chegue a poluir esta grande quantidade, o volume de resíduo é muito grande para que seu descarte não seja repensado.

Sendo assim, esta etapa de purificação do biodiesel utilizando

água merece grande atenção, já que é uma das etapas mais importantes da produção, pois é ela que garante a qualidade do biodiesel produzido.⁸ Além disso, o reaproveitamento da água traria uma grande economia para a produção.

Na literatura, existem poucos trabalhos que pesquisam soluções para a água de purificação do biodiesel, como, por exemplo, o efeito do tratamento térmico e químico do carvão ativado sobre sua capacidade de adsorver o glicerol presente no efluente.⁹ A opção de uma purificação do biodiesel por via seca, utilizando adsorventes,¹⁰ assim como o estudo da adsorção do biodiesel bruto utilizando carvão ativado modificado em vários pHs.¹¹ Apesar dos vários esforços, estes métodos não se mostraram eficientes ou acessíveis para serem utilizados em grande escala.

O emprego de técnicas que utilizam reatores eletroquímicos tem apresentados resultados bastante promissores para o tratamento de vários tipos de efluente.¹² Este processo é denominado de eletrofloculação, eletroflotação ou eletrocoagulação.

Neste trabalho, procurou-se desenvolver um método para o tratamento da água de purificação do biodiesel, utilizando um dispositivo de eletrofloculação, de modo que esta água pudesse ser reutilizada no processo, visando a diminuição de resíduo gerado pela produção do biodiesel, a diminuição ainda maior dos impactos que este biocombustível pode causar no meio ambiente, além de uma redução de custos para as indústrias produtoras.

PARTE EXPERIMENTAL

Dispositivo de eletrofloculação

Dispositivos de eletrofloculação simples são compostos por eletrodos que possuem polaridades diferentes, alguns ânodo e outros cátodo. Quando uma voltagem é aplicada, o ânodo é oxidado e o cátodo reduzido, fazendo com que ocorra a geração eletroquímica do agente coagulante.¹³ O material de carga positiva pode reagir com as cargas negativas da solução, ocorrendo a hidrólise da solução, liberando o hidróxido, um dos maiores responsáveis pelo tratamento do efluente. A Figura 1 mostra a representação esquemática de um dispositivo de eletrofloculação.

O tratamento da água residual do biodiesel utiliza um reator eletroquímico constituído de dois eletrodos tubulares de alumínio

*e-mail: juzinhab@hotmail.com

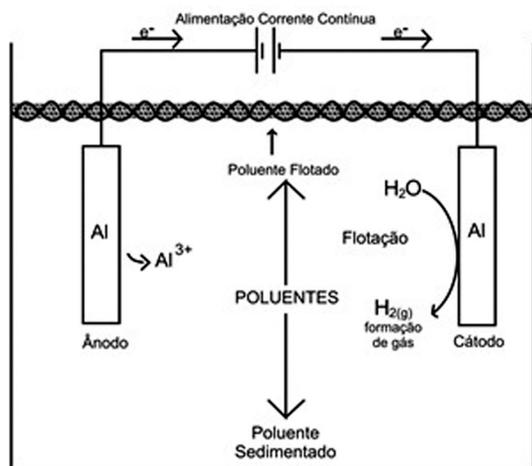


Figura 1. Esquema do reator eletroquímico utilizado no processo de eletrofloculação

com 20 cm de comprimento e 1 cm de diâmetro. Os eletrodos são fixados na tampa de um recipiente cilíndrico de polietileno e a eles são soldados fios que se ligam à fonte de energia elétrica, que fornece à reação a voltagem necessária. Neste recipiente é colocada a solução a ser tratada, no caso a água de lavagem de biodiesel, e coletam-se alíquotas do efluente para análise por meio de um orifício selado com um septo de borracha.¹⁴

Tratamento da água de lavagem do biodiesel

Para o tratamento do efluente foi colocado no recipiente de eletrofloculação 1 L de solução de água de lavagem do biodiesel, cedida pelo Laboratório Escola de Óleos, Gorduras e Biodiesel da Universidade Federal de Lavras, e forneceu-se uma tensão de 12 V para que a reação ocorresse. Foram retiradas alíquotas de 10 mL do efluente em 1, 2, 3, 4 e 24 h para análises.

O potencial aplicado foi cedido por uma fonte de alimentação Sissa 6/12 VCC5. As medidas de potencial, 12 V, e corrente, 0,1 A, utilizadas no experimento foram realizadas por multímetros digitais da marca Polymed PM 2070 ligados à fonte de alimentação.

Análise da qualidade do efluente tratado

As análises realizadas levaram em conta alguns parâmetros estipulados no trabalho de De Boni,¹⁵ além da análise da quantidade de alumínio presente na solução, que contribuiu para a verificação da qualidade do efluente após tratamento, e de sua comparação com a solução antes do início da reação.

A variação na turbidez das alíquotas retiradas nos tempos estipulados para análise foi analisada em um turbidímetro, marca Tecnal. Acompanhou-se, também, o aumento de pH das alíquotas das 3 repetições por meio do pHmetro, marca Hanna Instrument e modelo pH HII221. Uma varredura de todas as alíquotas foi realizada também em triplicata no aparelho de UV/VIS, o primeiro ensaio no modelo UV-169 PC e as outras duas repetições no modelo UV Shimadzu 1800. O acompanhamento da quantidade de carbono orgânico total das três repetições, para se avaliar a carga orgânica das alíquotas durante o tratamento, foi feito por meio do aparelho TOC Shimadzu 500A.

A quantidade de alumínio presente em solução foi analisada por método volumétrico por titulação com hidróxido de sódio, pelo Laboratório de Análise de Solos da UFPA, certificado pela Profert - MG. Em um erlenmeyer de 125 mL foram pipetados 25 mL de

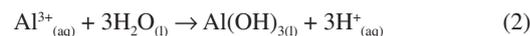
solução, adicionadas 3 gotas do indicador Azul de Bromotimol a 1% e titulou-se com solução de NaOH 0,025 mol L⁻¹ até o ponto de viragem.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

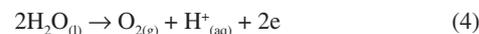
O tratamento com eletrofloculação inicia com a oxidação do eletrodo de alumínio, a reação ocorre no ânodo, a partir do potencial aplicado, de acordo com a Equação 1.¹²



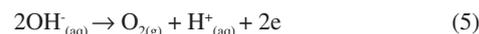
Este cátion formado reage com a água formando o agente coagulante, Al(OH)₃, como mostrado na Equação 2, que é o responsável pela coagulação e formação de partículas coloidais.



Existe também a formação de microbolhas, tanto no ânodo quanto no cátodo, responsáveis pela flotação de óleos, graxas e outros particulados. A formação desses gases no cátodo é apresentada pela Equação 3, e no ânodo pelas Equações 4 e 5.¹²



ou



Análise do pH

O monitoramento do pH durante os tempos de análise mostrou uma variação que pode indicar o que está ocorrendo na reação. Já era esperado que a eletrofloculação liberasse hidróxido, como apresentado por meio das equações acima, e como o resíduo de purificação do biodiesel se apresenta ácido, devido à grande quantidade de ácidos graxos, os hidróxidos liberados no decorrer da reação fazem com que o pH do efluente aumente de acordo com o tempo de tratamento, como apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Variação do pH de acordo com o tempo de tratamento

Tempo	1ª Repetição	2ª Repetição	3ª Repetição	Média
0 h	3,64	2,85	2,92	3,137
1 h	3,94	3,15	3,24	3,443
2 h	4,10	3,38	3,51	3,663
3 h	4,19	3,67	3,77	3,877
4 h	4,31	3,87	3,91	4,003
24 h	4,55	4,52	4,50	4,523

De acordo com a Resolução CONAMA n° 357/2005, um efluente pode ser descartado com pH entre 5 e 9,¹⁶ apesar de não ser a intenção deste trabalho o descarte do efluente depois de tratado, mas sim a sua reutilização no processo. De acordo com a Tabela 1, observa-se que com 24 h de tratamento o efluente chega a um valor de pH de 4,5, podendo com poucos ajustes, de acordo com esses parâmetros, ser devidamente descartado.

Este pH, apesar de não ser o valor encontrado em águas comuns, que é geralmente próximo de neutro, não está distante do pH da água destilada, que normalmente é levemente ácido. Sendo assim, o pH do

efluente tratado não impediria a utilização desta solução novamente como água para purificação do biodiesel.

Variações de turbidez

O tratamento da água de lavagem do biodiesel apresentou grande diferença em relação ao aspecto da solução, de acordo com o tempo de reação. O resíduo se apresentava muito turvo, praticamente branco e, após 4 h de tratamento, o aspecto da solução já mostrava grande diferença. Ao término das 24 h, a solução tinha aparência de água límpida. A diferença da turbidez acentua a eficiência do tratamento, já que a clarificação do resíduo é nítida.

A Tabela 2 mostra a evolução da turbidez da solução à medida que o tempo de tratamento aumenta. A diferença entre o resíduo e a solução após tratamento é realmente grande, chega a ser aproximadamente 50 vezes menor. Após 4 h de tratamento, a turbidez da solução se reduz visivelmente, já atingindo 80% de remoção, com 24 h de tratamento a remoção da turbidez chega a 98%, um valor muito expressivo. Apesar de não chegar à turbidez de água destilada, que medida no mesmo aparelho é 0,47 NTU (unidades nefelométricas de turbidez), a turbidez da solução é bem menor do que no início do tratamento, e pode chegar a ser ainda menor se o tratamento for estendido por mais algumas horas.

Tabela 2. Variação da turbidez de acordo com o tempo de reação

Tempo	Turbidez (NTU)
0 h	1046
1 h	964
2 h	917
3 h	738
4 h	208
24 h	21

A turbidez de um efluente também deve ser analisada antes do seu descarte, já que a coloração de um efluente restringe a passagem de radiação solar, o que diminui a atividade fotossintética natural e, consequentemente, provoca alterações na vida aquática.¹⁷

Segundo a Resolução CONAMA n° 357/2005, o valor máximo para que uma água seja considerada água doce é de 40 NTU;¹⁶ o valor encontrado com as 24 h é praticamente a metade do permitido, o que se mostra muito satisfatório.

Apesar do tratamento nas primeiras 4 h não ter apresentado um valor tão baixo de turbidez quanto com 24 h, este resultado pouco influencia na reutilização da água para a produção. A turbidez interfere significativamente apenas na vida aquática, não sendo prejudicial para a sua reutilização. Sendo assim, o tratamento não poderia ser encerrado com 4 h apenas se a intenção fosse o descarte do efluente.

Espectrometria de UV-VIS

A espectrofotometria na região UV-VIS é uma das técnicas analíticas mais empregadas, em função de sua potência, custo relativamente baixo e grande número de aplicações desenvolvidas.¹⁸ Está fundamentada na lei de Lambert-Beer, que é a base matemática para medidas de absorção de radiação por amostras nos três estados (sólido, líquido ou gasoso) nas regiões ultravioleta, visível e infravermelho do espectro eletromagnético.¹⁹

É possível observar na Figura 2 que as alíquotas retiradas durante os tempos propostos no tratamento apresentam absorvâncias, portanto, também concentrações, muito menores do que a água de biodiesel antes do tratamento, de acordo com a Lei de Lambert-Beer,

que afirma que utilizando o mesmo comprimento de caminho óptico, a concentração é proporcional à absorvância. Para que as análises pudessem ser realizadas as alíquotas do padrão, 1, 2 e 3 h foram diluídas 10 vezes, e os resultados de absorvância destes tempos foram multiplicados por este valor para compensar as diluições.

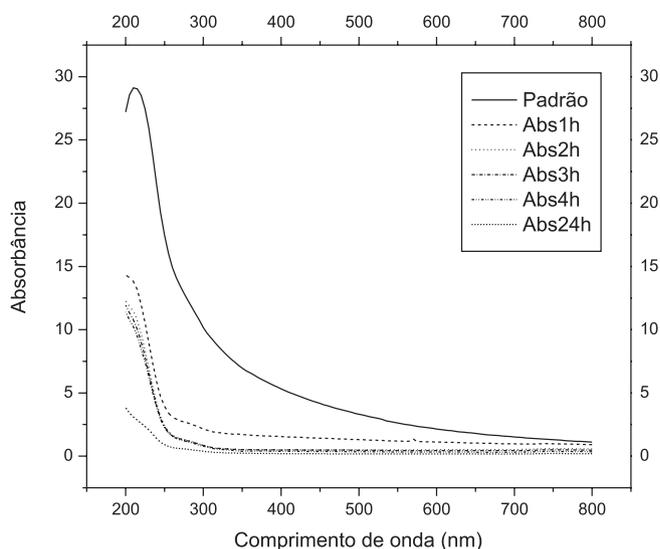


Figura 2. Espectro de UV-VIS para 1, 2, 3, 4 e 24 h

Ácidos graxos são ácidos carboxílicos de cadeia longa, que apresentam uma banda de absorção próxima a 200 nm.²⁰ Esse comprimento de onda aumenta com o aumento da cadeia,²⁰ o que é visto na Figura 2, na qual também é possível perceber que a concentração dos ácidos graxos presentes em solução é aproximadamente 10 vezes menor, no pico de maior absorvância, após 24 h de tratamento, uma diferença bastante significativa.

Apesar da diminuição da absorvância na região próxima de 200 nm apresentar uma diferença bem maior do que as outras regiões do visível, a Figura 2 mostra que todos os comprimentos de onda do espectro apresentam diminuição na absorvância e, consequentemente, de concentração. Isto mostra que não apenas os ácidos graxos, mas também outros componentes do resíduo foram “removidos” com o tratamento.

A diminuição da concentração de ácidos graxos contribui, juntamente com as hidroxilas liberadas no processo, para o aumento do pH da solução, como já discutido anteriormente e apresentado na Tabela 1. É perceptível que à medida que a concentração de ácidos graxos, que trazem à solução um caráter mais ácido, diminui, o pH da solução aumenta, o que pode claramente ser observado pelas medidas de espectroscopia de UV-VIS.

Teor de carbono orgânico total

O resíduo gerado na purificação do biodiesel possui grandes quantidades de carbono, devido à alta concentração de ácidos graxos. Com a análise de teor de carbono orgânico é possível perceber o quanto de carbono ou, no caso, de ácidos graxos, foi possível degradar ou “retirar” da solução por meio do tratamento.

A afinidade da matéria orgânica, presente no resíduo, pelo $Al(OH)_3$ gerado possibilita que ele seja facilmente coagulado e flotado. A maior parte das substâncias orgânicas presentes no resíduo de purificação do biodiesel podem conter cargas superficiais que dependem do pH do meio. Assim, vários tipos de reações químicas ocorrem entre a superfície dos colóides formados pelo hidróxido de alumínio e as substâncias orgânicas, formando colóides maiores. A

formação destes colóides pode ser útil para racionalizar a ausência de alumínio em solução. Os grupamentos alifáticos presentes nas moléculas orgânicas não interagem com as moléculas de água e os colóides podem ser removidos facilmente por flotação.¹²

A Figura 3 mostra que, a partir de 4 h do processo, a quantidade de carbono que é retirada da solução passa a ser praticamente constante. Apesar do valor de carbono orgânico ainda ser alto, próximo de 2800 mg L⁻¹, muito diferente do recomendado pela Resolução CONAMA n° 357/2005 para águas salobras que é de 3 mg L⁻¹.¹⁶ Talvez a decantação, seguida de filtração do efluente após tratamento, seja uma solução para os altos teores de matéria orgânica ainda presentes em solução, já que ocorre uma pequena decantação após algumas horas.

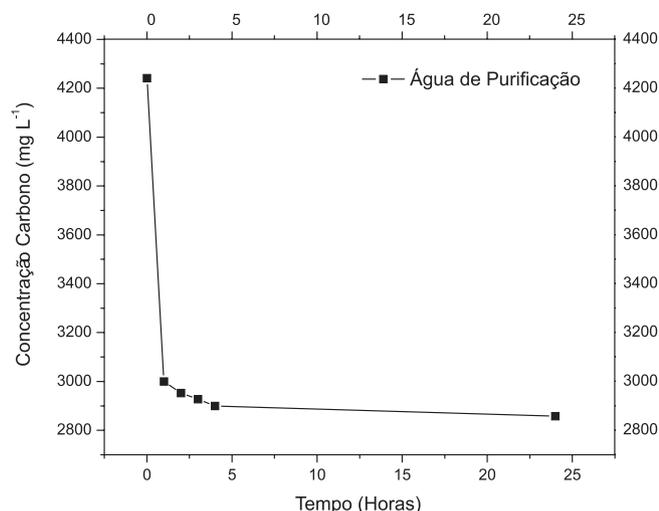


Figura 3. Concentração de carbono orgânico em relação ao tempo de tratamento

O tratamento proposto teve um bom resultado a nível laboratorial, como foi comprovado por todas as análises aqui apresentadas, e não há impedimentos aparentes para que esses resultados não sejam reproduzidos também a nível industrial, já que testes preliminares com volumes maiores estão sendo realizados em outros reatores com a mesma voltagem e se consegue obter resultados bem aproximados dos mostrados neste trabalho.

Dificuldades ambientais

A análise de alumínio em solução não apresentou valores detectáveis pela técnica utilizada, o que indica que o alumínio, assim como a matéria orgânica, se encontra concentrado no lodo gerado durante o tratamento. Este resultado já era esperado, pois o mesmo fenômeno foi relatado em outros trabalhos, como o de Fogo,²¹ em que a quantidade de alumínio que já estava presente em solução foi reduzida após o tratamento com eletrofloculação e o lodo produzido apresentou uma concentração considerável deste metal. Isto mostra que o tratamento de resíduo utilizando eletrofloculadores com eletrodos de alumínio concentra o alumínio liberado no lodo formado e não na solução.

De fato é bem conhecido que se o alumínio oriundo dos eletrodos fosse liberado para a solução, ocorreriam sérios problemas para a reutilização da água no processo de pós-tratamento, pois poderia causar a contaminação do biocombustível, influenciando a sua pureza.

O lodo, resíduo gerado durante tratamentos com eletrofloculação, também é uma das preocupações quando se propõe um tratamento de resíduos utilizando esta técnica. O lodo é composto pela matéria

orgânica que foi retirada do resíduo. No caso deste trabalho, a cada 1 L de resíduo tratado são produzidos apenas 45 mL de lodo.

Uma das opções existentes para o tratamento do lodo é o tratamento biológico. Este tipo de tratamento procura reproduzir os mecanismos naturais de degradação da matéria orgânica biodegradável presente no resíduo, acontece de forma contínua e pode ser empregado como complemento de tratamentos físico-químicos utilizados em resíduos industriais.²¹

O lodo gerado do tratamento da água de purificação do biodiesel apresenta grande carga de matéria orgânica; como a maior parte da composição deste resíduo são gorduras, seria passível a utilização de tratamento biológico, desde que o seu pH seja devidamente acompanhado, pois para este tipo de tratamento deve-se manter o pH do resíduo o mais próximo possível da neutralidade, variando no máximo na faixa de 4 a 9, inviabilizando o tratamento.²² Para tanto, é ainda necessário avaliar a interferência no alumínio neste tipo de tratamento.

Alternativas podem ser empregadas na disposição final do lodo, como aterro sanitário, reuso industrial (fabricação de tijolo, cerâmica e cimento), incineração, recuperação de solos degradados e uso agrícola e florestal.²³ Também neste caso deve-se levar em conta a composição química do lodo. Pesquisas para minimizar a formação do lodo, como também para o descarte do mesmo, estão em andamento e serão alvos de próximos trabalhos.

CONCLUSÃO

Os testes para o tratamento proposto para o resíduo gerado durante a purificação do biodiesel foram feitos com 1 L de resíduo e, após 24 h de tratamento, obtiveram-se 955 mL de um líquido transparente e praticamente sem odor, muito diferente do resíduo inicial. O tratamento gerou um resíduo de 45 mL praticamente sólido, com aparência de pasta, o chamado lodo de tratamento, um volume relativamente pequeno perto da quantidade de resíduo tratado.

As análises realizadas nos cinco tempos escolhidos mostram uma grande diminuição da contaminação da água de lavagem, principalmente a partir de 4 h de tratamento. Ao término das 4 h de tratamento obtiveram-se ótimos resultados, talvez suficientes para o tratamento e com o tempo estipulado como extrapolação, que foi de 24 h, obteve-se uma solução com baixos valores de turbidez, pH mais próximo do desejado, espectro de UV-VIS com picos muito menores do que antes do tratamento e valores de matéria orgânica mais baixos do que os iniciais.

Os ganhos ambientais que se poderia conseguir aperfeiçoando este processo de tratamento dentro de unidades produtoras de biodiesel seriam grandes e poderiam ser ainda maiores se a água tratada fosse reutilizada no processo de purificação. Conseguir-se-ia não apenas diminuir a poluição que pode ser gerada por esse resíduo, como também evitar o uso de um volume de água infinito.

Apesar do tratamento proposto gerar um pequeno volume de resíduo, em escala industrial esse volume seria ainda bastante representativo e preocupante. Sendo assim, este novo resíduo necessita ainda de uma intensa pesquisa para que seu impacto ambiental seja minimizado. Uma das possibilidades que ainda serão testadas com esse novo resíduo é o tratamento biológico, já que suas características de composição e pH permitem este tipo de tratamento.

O presente trabalho atingiu os objetivos propostos, pois o tratamento se mostrou eficiente para o resíduo da água de purificação do biodiesel e a solução pós-tratamento atingiu características próximas da água convencional, pelo menos nos parâmetros analisados, sendo possível a sua reutilização na etapa de purificação para a lavagem do biodiesel.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais, FAPEMIG, e ao CNPq pelo suporte financeiro ao trabalho.

REFERÊNCIAS

1. Goldemberg, J.; *Estudos avançados* [online] **1998**, *12*, 15.
2. Dorado, M. P.; Ballesteros, E.; Arnal, J. M.; Gómez, J.; Gimenez, F. J. L.; *Energy Fuels* **2003**, *17*, 1560.
3. Cardoso, J. J. F.; Costa, A. A.; Almeida, M. A. P.; Melo, C. K.; Cardias, H. T. C.; *1º Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel*, Brasília, Brasil, 2006.
4. Goldani, E.; Boni, L. A. B.; Frankenberg, C. L. C.; Cantelli, M.; *Tratamento físico-químico dos efluentes líquidos provenientes da purificação do biodiesel*, Embrapa Clima Temperado: Pelotas, 2008.
5. <http://www.biodieselbr.com/biodiesel/brasil/biodiesel-brasil.htm>, acessada em Janeiro 2012.
6. <http://www.procon.sp.gov.br/texto.asp?id=681>, acessada em Janeiro 2012.
7. Orssatto, F.; Hermes, E.; Vilas Boas, M. A.; *Eng. Ambiental* **2010**, *7*, 249.
8. Oliveira, D.; Oliveira, J. V.; Faccio, C.; Menoncin, S.; Amroginski, C.; *Ciênc. Tecnol. Aliment.* **2004**, *24*, 178.
9. Liu, G.; Ma, J.; Li, X.; Qin, Q.; *J. Hazard. Mater.* **2009**, *164*, 1275.
10. Faccini, C. S.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil, 2008.
11. Vasques, E. C.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal do Paraná, Brasil, 2010.
12. Crespilho, F. N.; Rezende, M. O. O.; *Eletroflotação: Princípios e Aplicações*, RIMA Editora: São Carlos, 2004.
13. Mollah, M. Y. A.; Morkovsky, P.; Gomes, J. A. G.; Kesmez, M.; Parga, J.; Cocke, D. L.; *J. Hazard. Mater.* **2004**, *114*, 199.
14. Brito, J. F.; Ferreira, L. O.; Silva, J. P.; Ramalho, T. C.; *Br PI 1102560-3*, **2011**.
15. De Boni, L. A. B.; Goldani, E.; Milcharek, C. D.; Santos, F. A.; *Periódico Tchê-Quím.* **2007**, *4*, 41.
16. <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>, acessada em Janeiro 2012.
17. Dallago, R. M.; Smaniotto, A.; Alves, L. C. A.; *Quim. Nova* **2005**, *28*, 433.
18. Lobinski, R.; Marczenko, Z.; *Crit. Rev. Anal. Chem.* **1992**, *23*, 55.
19. Rocha, F. R. P.; Teixeira, L. S. G.; *Quim. Nova* **2004**, *27*, 807.
20. Silverstein, R. M.; Bassler, C.; Morrill, T. C.; *Identificação espectrométrica de compostos orgânicos*, 3ª ed., Guanabara Koogan: Rio de Janeiro, 1979.
21. Fogo, F. C.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade de São Paulo, Brasil, 2010.
22. Tchobanoglous, G.; Burton, F. L.; Stensel, H. D.; Metcalf & Eddy. *Wastewater Engineering: treatment and reuse*, McGraw-Hill: New York, 2003.
23. Bettiol, W.; Camargo, O. A.; *Impacto Ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto*, Embrapa Meio Ambiente: Jaguariúna, 2000.