



Otimização do processo de produção de biodiesel de óleos residuais em escala piloto através de rota inovadora utilizando irradiação ultrassônica para uso em motores de veículos da frota de mineração

Alex Nogueira Brasil¹

Fabício Pereira Costa²

Luiz Felipe de Sousa Santana³

Raquel Valadares Coelho Batista⁴

Geraldo do Carmo Santos Oliveira⁵

Leandro Sávio da Costa Rocha⁶

Guilherme Geraldo Faria Alves⁷

Alan Henrique Pereira Malta⁸

Matheus Camargos Santos Silqueira⁹

Mário Sérgio Dutra Campidelli¹⁰

Alisson Rodrigues de Morais¹¹

Resumo: A BChem Biocombustíveis, startup brasileira, em parceria com a Universidade de Itaúna, Universidade Federal de Minas Gerais e a Biominas Brasil, vem se destacando no cenário nacional de promoção e desenvolvimento de novas tecnologias para a produção mais sustentável de biodiesel e políticas de reciclagem de óleos e gorduras residuais. Baseada em modernos reatores ultrassônicos e catalisadores sólidos nanomodificados com ênfase em um processo de elevada sustentabilidade técnico-econômico-ambiental. A BChem apresenta-se como uma empresa pioneira na oferta de tecnologias inovadoras que transformam óleos de baixa qualidade, por exemplo fritura, em biodiesel. O resultado obtido nos 10 anos de pesquisa foi o desenvolvimento e certificação de tecnologia que permite o “scale up” da produção de biodiesel usando matérias-primas de baixa qualidade e de forma acessível ao pequeno empresário. A BChem traz grandes inovações desenvolvidas ao longo de 4 anos de pesquisa na UFMG tanto na tese de doutorado do Prof. Alex Brasil (concepção de reatores ultrassônicos para produção de biodiesel), quanto nos trabalhos de mestrado e doutorado orientados pelo Prof. Rochel Lago (criação de novos catalisadores heterogêneos nanomodificados). A BChem foi vencedora do Programa Mining Lab da Votorantim Metais, resultando na assinatura de um termo de parceria para desenvolvimento e implementação do projeto denominado: “Otimização do processo de produção de biodiesel de OGR’S através de rota inovadora utilizando irradiação ultrassônica para uso em motores de veículos da frota de mineração”. O projeto prevê o desenvolvimento e implementação de um projeto de conscientização ambiental, coleta e beneficiamento de óleos e gorduras residuais com o propósito de produção de biodiesel. Com a implantação prevista nos municípios do entorno das Minas de Vazante e Morro Agudo, o projeto tem um potencial para produção de 200 mil litros de biodiesel mensais que serão utilizados no abastecimento da frota da Votorantim Metais em substituição parcial dos atuais 6 milhões de litros de diesel mineral, consumidos atualmente no transporte.



Palavras-chave: Biodiesel. Óleos residuais. Ultrassom. Votorantim. MiningLab.

1. Engenheiro/professor, Dr., Universidade de Itaúna, brasil@uit.br.
2. Engenheiro/MBA, Esp., Universidade de Itaúna/Fundação Dom Cabral, f.costa@bchem.com.br.
3. Estudante de Engenharia, aluno, Universidade de Itaúna, santana@bchem.com.br.
4. Administradora/MBA, Esp., UNA/Fundação Dom Cabral, raquelvaladares@bchem.com.br.
5. Estudante de Engenharia, aluno, Universidade de Itaúna, geralducajuru@hotmail.com.
6. Estudante de Engenharia, aluno, Universidade de Itaúna, leandrosavio_rocha@hotmail.com.
7. Estudante de Engenharia, aluno, Universidade de Itaúna, guialvesf@hotmail.com.
8. Estudante de Engenharia, aluno, Universidade de Itaúna, alanhpmalta@hotmail.com.
9. Estudante de Engenharia, aluno, Universidade de Itaúna, matheuscamargos1@hotmail.com.
10. Estudante de Engenharia, aluno, Universidade de Itaúna, mario-s10@hotmail.com.
11. Estudante de Engenharia, aluno, Universidade de Itaúna, alissonrodrigues.morais@gmail.com.

1. Introdução

O conceito técnico de utilizar óleos vegetais e gorduras animais, ou mesmo, óleos oriundos do processo de cocção de alimentos como combustíveis de natureza renovável é realmente extraordinário. Muitos estabelecimentos comerciais e residências descartam o óleo utilizado na rede de esgoto causando problemas ambientais, além de gerar graves problemas de higiene e mau cheiro.

O biodiesel vem com a proposta de dar outro fim para estes óleos, além de não tóxico e biodegradável, é hoje a forma em que os óleos e gorduras são utilizados como combustível substituto do diesel mineral, podendo ser usado puro ou em qualquer proporção de mistura com o diesel derivado do petróleo, com pequena ou nenhuma necessidade de adaptação do motor. É uma fonte de energia renovável que vem se destacando. O mercado brasileiro carece de tecnologias para a produção do biodiesel em pequena escala, acessíveis e seguras, para suas demandas energéticas com fontes limpas.

A maioria dos métodos atuais de produção de biodiesel oferece soluções em processamento de óleos vegetais para produção de biodiesel em grandes escalas, elevando assim o custo de processamento, fornecendo equipamentos com valores inacessíveis para os pequenos produtores. Estes também empregam a tecnologia de reatores por batelada (agitação mecânica), a qual apresenta capacidade limitada, devido a uma série de razões, principalmente em virtude da imiscibilidade dos reagentes do processo.

A BChem Biocombustíveis, com mais de 10 anos de pesquisa nesta área, possui um histórico de comercialização de usinas próprias para produção e consumo locais de biodiesel, além da prestação de serviço e fornecimento de biocombustível, como ocorreu com a Minerita Minérios, FIAT Automóveis (Unidade de Betim) e com o Supermercado Verdemar. A startup foi vencedora do Programa Mining Lab da Votorantim Metais o que resultou numa parceria para a implementação do projeto “Otimização do processo de produção de biodiesel de OGR’S através de rota inovadora utilizando irradiação ultrassônica para uso em motores de veículos da frota de mineração”. Este projeto que prevê o desenvolvimento e implementação de um projeto de conscientização ambiental, coleta e beneficiamento de óleos e gorduras residuais com o propósito de produção de biodiesel. Com a implantação prevista nos municípios do entorno das Minas de Vazante e Morro Agudo, o projeto tem um potencial para produção de 200 mil litros de biodiesel mensais que serão utilizados no abastecimento da



frota da Votorantim Metais em substituição parcial dos atuais 6 milhões de litros de diesel mineral, consumidos atualmente no transporte.

2. Metodologia

O projeto tem como objetivo a implementação do projeto “Óleo Vivo”: programa de conscientização, coleta e beneficiamento de óleo residual (óleo de cozinha) para produção de biodiesel, o que margeia os campos tecnológico, social e ambiental. Tecnológico pela pesquisa em biocombustíveis, ambiental pelo não descarte do óleo residual de forma inadequada e social pela conscientização da comunidade quanto ao descarte, recolhimento e uso adequado do óleo residual, com conseqüente geração de empregos e renda.

A BChem tem como compromisso a responsabilidade de implementação do programa “Óleo Vivo” nos municípios do entorno das Minas de Vazante e Morro Agudo, produção de biodiesel com auxílio de uma usina móvel e fornecimento do respectivo combustível para abastecimento de frota interna da Votorantim Metais. A FIGURA 1 ilustra a usina móvel que auxiliará a produção, Usina Móvel - unidade II.



FIGURA 1 - Usina Móvel de Biodiesel.

O projeto consiste no fornecimento do biodiesel produzido para a empresa Votorantim a um custo inferior ao diesel mineral. Além disso, programas sociais para a comunidade local serão implantados, onde a BChem será encarregada de executar essas atividades.

Nos cinco primeiros meses de projeto o recurso financeiro investido pelo cliente será destinado para manutenção, adaptação e instalação da Usina Móvel no local adequado,



aquisição dos materiais de escritório, desenvolvimento do programa de conscientização, coleta e beneficiamento de óleos e gorduras residuais (Óleo Vivo), prospecção de pontos de coleta e recolhimento do resíduo. O início da produção de biodiesel acontecerá no mês 5, de modo que no decorrer dos meses a produção de biodiesel aumentará gradativamente até atingir a capacidade máxima da Usina Móvel (40.000 mensais) a partir do mês 17.

No 13º mês inicia-se a expansão do programa “Óleo Vivo” nos municípios do entorno das Minas de Vazante e Morro Agudo de forma a viabilizar o potencial de produção de 200.000 litros de biodiesel por mês. A partir do 18º mês, considerando a expansão do programa para os municípios do entorno e conseqüente aumento da disponibilidade de matéria-prima, uma nova usina será implantada com capacidade produtiva de 300 mil litros de biodiesel mensais.

A produção do biodiesel pode ser generalizada em 3 etapas sequenciais principais: pré-tratamento, reação e purificação (Rincón et al., 2014).

O pré-tratamento consiste na retirada de elementos indesejados da matéria-prima lipídica, os quais podem interferir nas reações de transformação. Partículas em suspensão, pigmentos, resíduos da extração e outras impurezas podem ser retirados por meio de filtração. Quando o conteúdo de água (>0,06%) e o teor de ácidos graxos livres (AGL) (>4%) forem elevados, uma reação de saponificação pode ser induzida, formando uma emulsão (sabão) ao invés de biodiesel (Rincón et al., 2014). De forma a evitar este inconveniente, torna-se necessário secar a matéria-prima anteriormente, procedendo em seguida, a eliminação dos AGL, por meio de neutralização ou pré-esterificação dos ácidos graxos livres. A esterificação como método de pré-tratamento pode ser combinada com a transesterificação para se obter uma conversão praticamente completa em biodiesel (Drapcho et al., 2008). Na reação de transesterificação requer a presença de um catalisador, o qual pode ser uma base, um ácido ou uma enzima, de forma que esta ocorra a uma velocidade aceitável, embora possa ser conduzida em processos não catalíticos, mas em condições supercríticas (Veljkovic et al., 2012). Atualmente, a maior parte da produção comercial de biodiesel em todo o mundo utiliza catalisadores homogêneos básicos ou ácidos (Islam et al., 2014).

Na etapa de separação e purificação, a mistura reacional obtida após o processo de transesterificação e, conforme mencionado anteriormente, contém uma mistura de ésteres alquílicos, glicerol, álcool não convertido, catalisador e mono-, di-, e triglicerídeos. Esta mistura deve ser purificada a fim de se obter um biodiesel de alta qualidade e, em conformidade com as normas: europeia (EN 14214), ou americana (ASTM D6751), ou a resolução brasileira (ANP nº 14). Por esta razão, as etapas de separação e purificação são de extrema importância para a qualidade do produto final, afetando, conseqüentemente, os custos operacionais (Rincón et al., 2014).

A utilização de ondas ultrassônicas no processo de obtenção de ésteres apresenta uma série de vantagens em relação aos métodos mecânicos convencionais, além de ser mais simples.

O ultrassom é definido como o som de uma frequência além da perceptível pelos ouvidos humanos. O alcance normal perceptível está entre 16 Hz e 18 KHz e o ultrassom opera geralmente entre 20 KHz e acima de 100 MHz. Como qualquer onda sonora, o ultrassom alternativamente comprime e alonga o espaço molecular do meio por onde passa, causando uma série de compressões e ciclos de redução (Amish P. Vyas, jaswant L. Verma, N. Subrahmanyam, 2009).



Para que as reações aconteçam, é necessário que haja a mistura entre os líquidos envolvidos no processo, que geralmente apresentam alta imiscibilidade. Com o intuito de forçar a mistura destes líquidos, aplica-se um alto gradiente de pressão negativa no líquido fazendo com que a distância entre as moléculas exceda a distância molecular crítica necessária para manter o líquido intacto. Isso faz com que o mesmo se desmembre e vazios sejam produzidos, formando bolhas de cavitação. À altas intensidades ultrassônicas, pequenas cavidades podem crescer rapidamente. Como resultado, algumas bolhas expandem subitamente à tamanhos instáveis e colapsam violentamente, rompendo as ligações e causando emulsificação (mistura de líquidos imiscíveis). Assim sendo, as ondas ultrassônicas fornecem a energia mecânica necessária para que a mistura aconteça e consequente energia de ativação da reação de transesterificação. Esse método apresenta vantagens como melhores taxas e menor tempo de reação, menor consumo de energia e simplicidade.

3. Resultados e Discussão

Como resultado nesses 10 anos de pesquisa em desenvolvimento de novas tecnologias para a produção mais sustentável de biodiesel, a BChem Biocombustíveis já tem projetos consolidados. Entre eles o projeto com a rede de supermercados Verdemar e o projeto com a FIAT Automóveis.

Para projeto Verde Mar, rede que possui sete unidades que geram em média 10.000 litros de óleo de fritura por mês, os quais não possuía destinação adequada, foi desenvolvida uma Usina de Biodiesel Modular com capacidade instalada de 12.000 litros mensais. Esta usina transformará o resíduo de óleo de fritura em biodiesel dentro das instalações do supermercado, localizado em Nova Lima no bairro Jardim Canadá. Todos os dias da semana, durante três horas (horário de pico), a energia da concessionária (CEMIG) é desligada e toda a energia elétrica consumida no supermercado é produzida por um gerador elétrico movido à diesel de petróleo. Este será substituído por 100% biodiesel de óleo residual, trazendo diversos benefícios ambientais e financeiros, tais como: destinação correta do óleo de fritura, todo este resíduo será transformado em combustível renovável (biodiesel) que quando utilizado no gerador de energia, reduz em torno de 80% a emissão de gases de efeito estufa, quando comparado com o diesel mineral; a substituição do Diesel mineral por 100% biodiesel no gerador de energia elétrica, acarreta em uma economia de aproximadamente 70% com os custos de combustível.

O projeto FIAT Automóveis tem como matéria prima o óleo residual dos restaurantes internos do Grupo FIAT, que geram em torno de 3.000 litros mensais de óleos e gorduras residuais (OGR's), que eram destinados a uma empresa de coleta de resíduos orgânicos. O projeto foi desenvolvido pelo Prof. Alex Brasil e o biodiesel produzido abastecerá a frota interna da Fiat Automóveis em uma proporção de 20% em relação ao diesel mineral. A FIGURA 2 apresenta foto da Usina Modular de Biodiesel (FIAT) durante testes de "Try-out".



FIGURA 2: Usina Modular de Biodiesel (FIAT) durante testes de “Try-out”.

O projeto Votorantim está atualmente na primeira fase, como mencionado anteriormente, parte do projeto destinada para manutenção, adaptação e instalação da Usina Móvel no local adequado, aquisição dos materiais de escritório, desenvolvimento do programa de conscientização, coleta e beneficiamento de óleos e gorduras residuais (Óleo Vivo), prospecção de pontos de coleta e recolhimento do resíduo.

Importante ressaltar que todo biodiesel produzido segue todos os parâmetros exigidos pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). A TABELA 1 abaixo apresenta resultados do biodiesel produzido pela usina Usina Modular de Biodiesel (FIAT), amostra analisada em um laboratório acreditado pela ANP.

TABELA 1: Resultados obtidos na análise da amostra do biodiesel segundo a resolução ANP nº 45.



Parâmetros	Limite	Resultado	Und.	Método
Teor de éster (min.)	96,5	98,6	%(m/m)	EN 14103
Glicerina livre (máx.)	0,02	<0,01	%(m/m)	NBR 15908
Monoglicerídeos	0,70	0,56	%(m/m)	NBR 15908
Diglicerídeos	0,20	0,07	%(m/m)	NBR 15908
Triglicerídeos	0,20	0,02	%(m/m)	NBR 15908
Glicerina total	0,25	0,16	%(m/m)	NBR 15908

4. Conclusão

Conforme apresentado anteriormente, a produção de biodiesel atingirá a capacidade máxima da Usina Móvel (40.000 litros mensais) a partir do 17º mês após o início do projeto. O início da expansão do programa “Óleo Vivo” nos municípios do entorno da Mina de Vazante ocorrerá no mês 13, momento em que a produção de biodiesel atingirá 20.000 litros mensais.

Em paralelo à expansão do programa acima mencionado e consequente validação do projeto com a Votorantim, serão iniciados o projeto e construção de uma Usina Modular de Produção de Biodiesel com capacidade de 300 mil litros mensais. Importante enfatizar, que com a possibilidade de aumento do volume de óleo coletado a partir do mês 13, a produção de biodiesel poderá ser ampliada com a operação da Usina Móvel em mais de um turno, o que acarretará uma capacidade produtiva de 40.000 litros de biodiesel por mês.

A Votorantim tem a sustentabilidade como estratégia e, atualmente, busca substituir e/ou otimizar matrizes energéticas tradicionais do setor de mineração e metalurgia (combustíveis fósseis, por exemplo), por alternativas mais econômicas, mais eficientes e que apresentem ganhos ambientais. Ao final dos 18 meses de implementação do projeto, a BChem entregará solução econômica e ambientalmente correta para o consumo de quantidades expressivas de diesel fóssil.

5. Agradecimentos

Agradecemos ao PAFAP UI - Programa de Apoio, Fomento e Acompanhamento de Pesquisa da Universidade de Itaúna e a FAPEMIG - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais, pela concessão de bolsa de iniciação científica.

6. Referências

ANP, Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Resolução ANP nº 45, de 25/08/2014.

BORGES, M. E.; DÍAZ, L. Recent developments on heterogeneous catalysts for biodiesel production by oil esterification and transesterification reactions: A review. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, 2012, p. 2839-2849.

Brasil, A. N.; Oliveira, G. C. S.; SANTANA, L. F. S.; LARA, G. M. C.; BORGES, S. C. S. Projeto FIAT – miniusina automática para produção de biodiesel a partir de óleos residuais por irradiação ultrassônica. 6º



SICIT
Semana de Iniciação
Científica e Tecnológica

25 a 29 de setembro de 2017
Engenharias e Computação

Universidade de Itaúna

Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel e 9º Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel, Natal, Brasil, 2016, 2 p.

Brasil, A. N.; Oliveira, L. S.; França, A. S. Circulation flow reactor with ultrasound irradiation for the transesterification of vegetable oils. *Renewable Energy*, v. 83, p. 1059-1065, 2015.

Brasil, A. N.; Brasil, A. N.; Oliveira, G. C. S.; Oliveira, M. M.; Santana, L. F. S. Bchem - Novas tecnologias para a produção mais eficiente de biodiesel. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC'2016, *Foz do Iguaçu - PR, Brasil, 2016*.

Brasil, A. N.; Oliveira, G. C. S.; Santana, L. F. S.; Santos, J. R.; Silva, L. A.; Óleo vivo - desenvolvimento de processo para produção de biodiesel a partir de óleo de fritura. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC'2017, *Belém – PA, Brasil, 2017*

DALAI, A. K.; ISSARIYAKUL, T.; BAROI, C. *Catalysis for Alternative Energy Generation. Chapter 6: Biodiesel production using homogeneous and heterogeneous catalysts: A review*. Springer, ISBN 978-1-4614-0343-2, 2012, p. 237-262.

DEMIRBAS, A. Progress and recent trends in biodiesel fuels. *Energy Conversion and Management*, vol. 50, 2009, p. 14-34.

ISSARIYAKUL, T.; DALAI, A.K. Biodiesel from vegetable oils. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 31, 2014, p. 446-471.

KEERA, S. T.; EL SABAGH, S. M.; TAMAN, A. R. Transesterification of vegetable oil to biodiesel fuel using alkaline catalyst. *Fuel*, vol. 90, 2011, p. 42-47.

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

MOSER, B. R. Biodiesel production, properties, and feedstocks. *In vitro cellular & developmental biology - Plant*, vol. 45, 2009.

RAMOS, L. P.; SILVA, F. R.; MANGRICH, A. S.; CORDEIRO, C. S. Tecnologias de Produção de Biodiesel. *Revista Virtual de Química*, vol. 3, 2011, p. 385-405.

SHAHID, E. M.; JAMAL, Y. Production of biodiesel: A technical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, 2011, p. 4732-4745.

VALLE, P. W. P. A. *Produção de biodiesel via transesterificação do óleo de nabo forrageiro*.

Tese de doutorado, Departamento de Química, Universidade Federal de Minas Gerais, 2009, 183 p.

YUSUF, N. N. A. N.; KAMARUDIN, S. K.; YAAKUB, Z. Overview on the current trends in biodiesel production. *Energy Conversion and Management*, vol. 52, 2011, p. 2741-2751.