

ESCUMA DE ESGOTO PARA A PRODUÇÃO DE BIODIESEL: UMA ALTERNATIVA AMBIENTALMENTE ADEQUADA

DOI: 10.19177/rgsa.v8e12019429-444

Hilquias Sabino Barros¹
Luiz Di Souza²
Anne Gabriela Dias Santos³

RESUMO

O cenário brasileiro de gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos tem demonstrado o quanto os empreendimentos empresariais necessitam de apoio técnico para a disposição final dos resíduos. Nessa perspectiva, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) foi elaborada para dar suporte aos procedimentos legais e de disposição final ambientalmente corretos dos resíduos. A produção de biodiesel aproveitando o material lipídico presente nos resíduos de esgoto é uma alternativa viável que agrega valor aos rejeitos, já que o torna matéria-prima de uma importante fonte energética. Neste trabalho, foi realizada a síntese de biodiesel a partir da espuma de esgoto, do que foi obtido rendimentos de aproximadamente 19% com taxas de conversão de aproximadamente 82% de biodiesel, a partir de reações *in situ* de espuma de esgoto previamente seca. Diante dos resultados obtidos foi possível concluir que essa é uma alternativa viável conforme os objetivos da PNRS.

Palavras-chave: Aproveitamento Energético. Disposição Final. Gerenciamento de Resíduos.

¹Mestre em Ciências Naturais – UERN. Especialista em Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável – UNP. Graduado em Petróleo e Gás – UNP. E-mail: hilquiassabino@gmail.com ><<http://orcid.org/0000-0001-8198-650X>

²Doutor e mestre em Ciências e Engenharia dos Materiais – UFSCar. Engenharia Industrial Química EEL – USP. Professor do Departamento de Química da UERN. E-mail:souzaluzdi@gmail.com

³Doutora e mestra em Química – UFRN. Licenciatura em Química – UERN. Professora do Departamento de Química da UERN. Universidade do Estado do Rio Grande do Norte - UERN E-mail: gabriella.uern@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

No processo de tratamento dos esgotos urbanos, é possível obter como coproduto, resíduos sólidos compostos por gorduras originárias de alimentos como manteiga, óleos vegetais (MONDALA et al, 2009), metais pesados (BARBOSA, 2016; CASTRO et al, 2015), e outros constituintes. Quanto à exposição final dos resíduos de esgoto, grande parte destes materiais, são encaminhados na melhor das hipóteses, para aterros sanitários (MORGADO & INACIO, 2014; CASTRO et al, 2015; SOUTO, 2016), sem prévia etapa de reutilização ou aproveitamento deste resíduo.

Conhecendo que estes resíduos ainda possuem valores agregados e que os mesmos não são aproveitados na cadeia produtiva, o responsável em realizar o descarte sem um coprocessamento e posteriormente para o seu aproveitamento, estará descumprido o que determina a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Se este ato vier a se concretizar, o mesmo poderá ser punido e autuado condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, conforme descrita pela Lei nº 9605/98 (BRASIL, 1998). Neste caso, o estabelecimento passará a ser responsável por um passivo ambiental, em que a mesma, terá como obrigação, sanar os impactos ambientais negativos acarretados pela disposição inadequada destes resíduos.

A reutilização ou reaproveitamento de resíduos é uma prática que necessita ser aplicada com fins de amenizar os efeitos negativos que a atividade humana exercida sobre o meio ambiente. Para que esses efeitos não ocorram, o Art. 7º e parágrafo XIV, abordam o incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial, voltadas para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos sólidos, incluindo a recuperação e o aproveitamento energético (BRASIL, 2010).

Neste contexto, pesquisas têm demonstrado viabilidade do uso de resíduos de esgoto na produção de energias renováveis, principalmente sobre os avanços do uso dessa matriz para a produção de biodiesel (DUFRECHE et al., 2007; MONDALA et al., 2009; POKOO-AIKINS et al., 2010; BARROS et al. 2013; GIRISHA et al., 2014). Ao produzir o biodiesel neste sentido, ainda se tem como subproduto, resíduos sólidos de menor massa granulométrica, mas que possuem uma empregabilidade na produção de argamassas, adubos utilizados para a recuperação de áreas degradadas, dentre outras (BARBOSA, 2016; CASTRO et al. 2015).

A questão de se produzir energia ambientalmente limpa e ecologicamente correta, é um dos princípios para o uso desta fonte oleica, uma vez que, sua extração é realizada de resíduos que são descartados nos aterros sanitários e que os mesmos, representam um grande problema ambiental para centros urbanos devido a sua complexa composição (DUFRECHE et al., 2007; BERNNAMOUN, 2012). Outro fator importante que vale ressaltar a respeito da utilização dessa matriz, é a sua disponibilidade imediata com produção continuada, baixo custo de produção e potencial de redução de poluição (OLIVERA, 2004), o que mostra suas vantagens e benefícios econômicos e socioambientais.

Desta forma, este trabalho propõe o reaproveitamento dos resíduos presentes na espuma de uma estação de tratamento de esgoto, como alternativa para a produção de biodiesel seguindo os princípios de prioridade conforme elucidado na PNRS, como também, sugerir uma alternativa de adequação as normas ambientais para este tipo de atividade industrial, contribuindo na melhoria dos processos de tratamento da ETE e reduzindo os passivos ambientais decorrentes da disposição final destes resíduos.



2 PRODUÇÃO DO BODIESEL DE ESGOTO

2.1 COLETA E TRATAMENTO PRÉVIO DA ESCUMA

A espuma de esgoto (EE) é um material que possui características de baixa densidade e que pode ser visualizada na camada superficial dos tanques de tratamento de esgoto. A amostra da espuma, por ter uma grande concentração de água, necessitou passar por um pré-tratamento para a remoção deste líquido. Nesta etapa, a amostra foi exposta à luz solar por aproximadamente 15 dias, tempo suficiente para a evaporação da água presente na amostra, deixando-a com uma aparência pastosa.

Em seguida, o material foi submetido ao processo de desidratação em estufa com temperatura de 100°C, durante 24 horas, para somente depois ser realizado o processo de síntese.

3.2 SÍNTESE DO BIODIESEL

O método escolhido para realização da síntese levou em consideração as características físico-químicas do material lipídico (ML) anteriormente determinadas por (BARROS, et al. 2015), o qual mostrou que a utilização da catálise ácida *in situ*, seria a mais indicada para reação. Dentre as principais vantagens de se utilizar esta síntese, está a eliminação da etapa de extração dos óleos, já que o biodiesel será produzido diretamente de sua matriz sólida seca, para em seguida realizar-se a separação do biodiesel dos resíduos da reação.

Para a realização da síntese utilizou-se a metodologia adaptada de (MONDALA et. al, 2009) em que 10 gramas da espuma desidratada foi colocada em um balão de fundo redondo e adicionou-se 50 mL de hexano ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}_3$), para melhorar a solubilidade e diminuir a viscosidade da mistura com o material lipídico. Em seguida adicionou-se 152 mL de metanol (CH_3OH) como reagente e 7,6 mL do catalisador ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado. Essa mistura permaneceu sob refluxo contínuo para minimizar a perda dos solventes no processo de banho-maria numa temperatura de 70 °C, com agitação constante durante 8 horas.

Após o término da síntese, foram adicionados 50 mL de hexano na mistura e realizou-se o processo de separação, por meio da centrifugação da mistura. A fase superior, composta pelas frações de hexano, biodiesel e material não reagido, foi transferida para um funil de separação, para realizar a lavagem do biodiesel com água aquecida a 100 °C. Após a lavagem, o material foi seco em uma estufa a aproximadamente 70 °C, durante 24 horas, para a remoção de hexano residual.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Para caracterização dos materiais foram empregadas as técnicas espectroscópicas (FTIR e RMN¹H) e térmicas (TG/DTG e DSC). Os espectros de FTIR foram registrados em espectrômetro Bomem-Michelson série MB-100, com transformada em Fourier via impregnação da amostra em uma pastilha de KBr. A caracterização foi realizada via espectroscopia na região do infravermelho, abrangendo a região 4000 a 400, sendo esta a mais utilizada para caracterização de compostos orgânicos.

Os espectros de RMN¹H foram realizados em um aparelho Bruker Avance DPX-300, empregadas as frequências de 300 MHz para aquisição do sinal ¹H. A referência interna foi ajustada a partir do sinal de TMS e de sinais residuais de solventes presentes no solvente deuterado utilizado para solubilizar a amostra (CDCl₃). A taxa de conversão foi calculada utilizando a metodologia dotado por Andrade (2011), a partir da seguinte Equação 1:

$$TC = 100 \times (2A_{EM} / 3A_{CH_2}) \quad \text{Equação 1}$$

Em que: TC é a taxa de conversão; A_{EM} corresponde ao sinal 3,7 δ (ppm) dos hidrogênios da metoxila dos ésteres metílicos e metínico em posição β- ao grupo olefínico do ácido ricinoléico; A_{CH₂} corresponde ao sinal 2,3 δ (ppm) dos hidrogênios metilênicos em posição α- à carbonila.

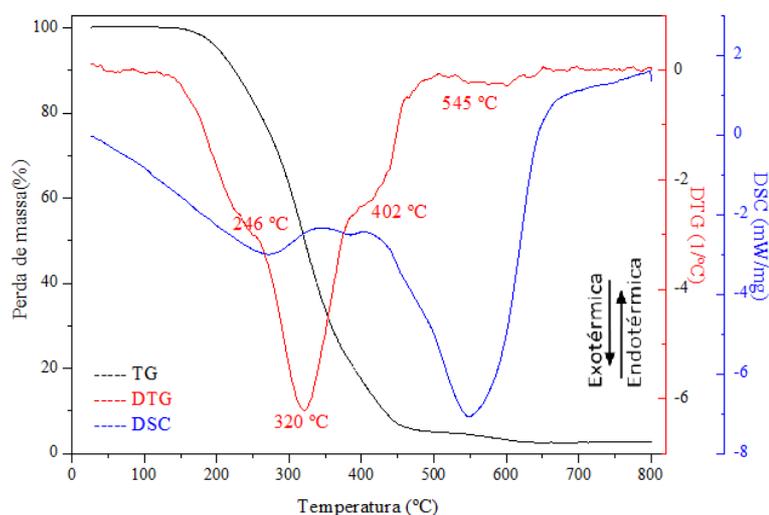
Para as análises térmicas foi empregado um analisador térmico marca STA 449F3-Júpiter, com variação de temperatura de 30 a 600 °C e razão de aquecimento de 10 °C/min, sob atmosfera inerte de nitrogênio utilizando cadinho de alumina e aproximadamente 5 mg da amostra.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 BIODIESEL DE ESCUMA DE ESGOTO

A caracterização térmica do material transesterificado foi realizada com intuito de verificar o rendimento da reação do material lipídico (ML) em biodiesel, e avaliar o comportamento térmico da amostra. A Figura 1 demonstra que ocorreram quatro perdas de massa na curva TG do material transesterificado.

Figura – 1: Curvas TG/DTG/DSC do material transesterificado.

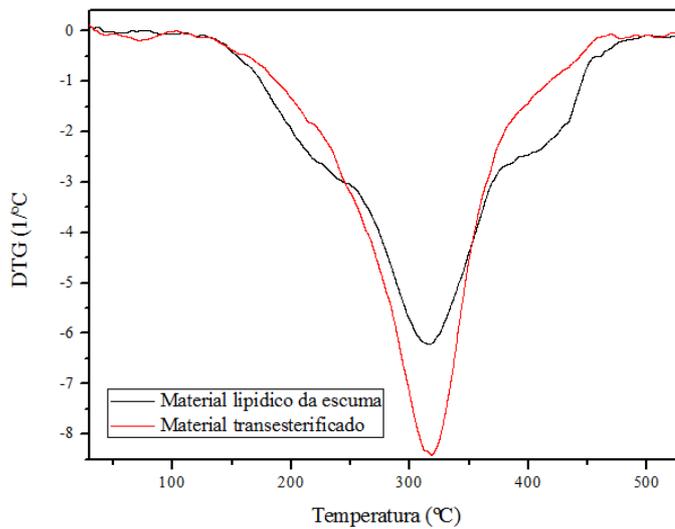


Fonte: Arquivo pessoal.

Os dois primeiros eventos da DTG (com máximos em 246, 320 °C) correspondem à volatilização do biodiesel obtido e do óleo residual não reagido. Os dois últimos eventos (com máximos em 402 e 545 °C) correspondem às degradações/volatizações dos produtos de degradação formados durante o experimento, bem como a degradação de compostos de maior massa molecular presente no material ou formado por reação durante o experimento.

A curva de DSC corrobora com estas interpretações mostrando dois eventos endotérmicos (para cima) com máximos próximos de 350 e 410 °C, correspondentes a volatilização do biodiesel e do óleo e dois exotérmicos (para baixo) correspondentes a degradação dos compostos com picos máximos próximo de 270 e 550 °C. A conversão do material fica claramente evidenciada na curva DTG (Figura 2), a qual mostra que as temperaturas de perda máxima destes eventos ocorrem em aproximadamente 246, 320, 402 e 545 °C.

Figura 2: Curvas DTG do material lipídico e do material transesterificado.



Fonte: Arquivo pessoal.

A curva da DTG do material lipídico e do material transesterificado obtido sobrepostos mostram claramente que: a reação de esterificação/transesterificação é incompleta (fato já amplamente demonstrado na literatura (DUFRECHE et al., 2007; MONDALA et al., 2009; REVELAME et al., 2009; BRARANTHIAJA et al., 2014), o que é visto ao analisar a idade material entre as temperaturas de aproximadamente 113 a 255°C com máximo em 246 °C (vide tabela 1, pico 1); é relevante, também, observar que já existia uma quantidade de ésteres no material lipídico, fato já citado na literatura (SILVA, 2010) em que a maior parte do material permanece sem reagir (vide tabela 1, pico 2), indicando assim que a diferença entre as perdas de massa em aproximadamente 320 °C corresponde ao material lipídico reagido e é igual a % de biodiesel que aparece em 246 °C.

A Tabela 1 identifica estes quatro eventos, mostra a % de perda de massa de cada um e o resíduo final ao final da corrida. O primeiro evento que se encontra entre as temperaturas de 113 – 255°C, com pico máximo próximo de 246 °C indica a presença do biodiesel formado.

Tabela - 1: Dados térmicos das perdas, temperatura máxima, perdas de massa e resíduos do material transesterificado.

Evento	Temperatura (°C)	Temperatura Max (°C)	Perda de massa (%)	Material Residual (%)
1	113-255	246	18,66	
2	255-376	321	57,70	
3	376-490	420	10,56	5,08
4	490-620	550	8,00	

Fonte: Arquivo pessoal (2014)

Com aproximadamente 18,66%, verifica-se o rendimento da adoML em biodiesel no evento 1, fato comprovado por estar no intervalo de temperatura característico de degradação de biodiesel (SANTOS, 2010; PINTO, 2014). Este rendimento é compatível quando comparado com a literatura em que na obtenção de biodiesel de resíduos de esgoto, os resultados apresentam um percentual de rendimento que vão de aproximadamente 4 a 27% de conversão para reações *in situ* destes materiais (DUFRECHE et al., 2007; MONDALA et al., 2009; REVELAME et al., 2009; BRARANTHIAJA et al., 2014).

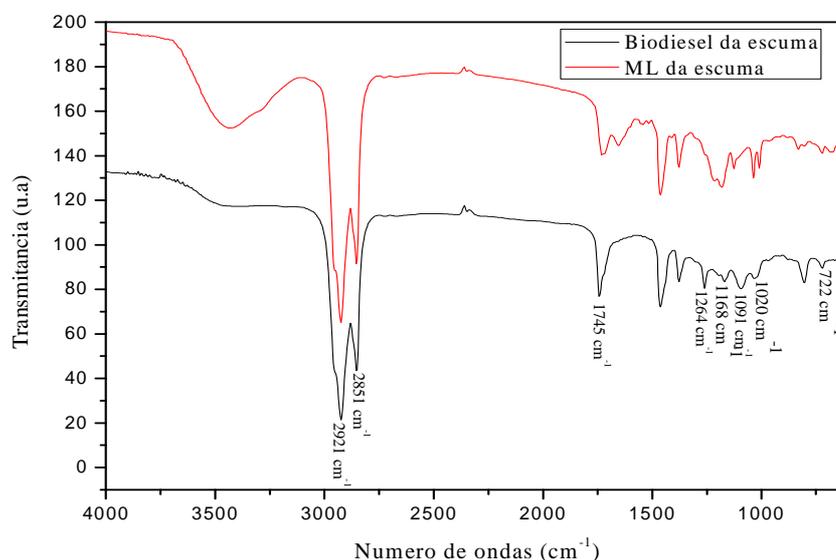
A curva DSC confirma a decomposição do biodiesel pela energia liberada durante a realização da análise térmica, sendo verificado que ocorrem dois eventos exotérmicos (eventos que liberam energia devido à degradação/volatilização do material) um com pico de máximo em aproximadamente 268 ° C e outro com pico de máximo em aproximadamente 550 ° C. Ao comparar os eventos da DTG, é possível observar que eles ocorreram dentro de um intervalo característico de temperatura (246 ° C e 321°C respectivamente) e que comprovam a produção de biodiesel (SANTOS, 2010; PINTO, 2014), já a eliminação das ligações de hidrogênio do ácido ao ser formado mostra que o éster diminui a temperatura de volatilização deste para aproximadamente 246 °C em comparação com os 320 °C do ácido ou mistura de ácidos.

4.2 ESPECTROSCOPIA NA REGIÃO DO INFRAVERMELHO (FT-IR)

Ao comparar os espectros no infravermelho do biodiesel com o do óleo (Figura 3), é possível observar diferenças nas intensidades e quantidades de bandas de transmitância, com maior frequência de bandas na faixa espectral situada entre 1400

a 600 cm^{-1} . Esta região é a que corresponde à faixa da impressão digital das amostras, onde cada substância apresenta um padrão específico de bandas de absorção.

Figura - 3: Espectro de FT-IR do biodiesel e do ML da escuma na região de $4000 - 600\text{ cm}^{-1}$



600 cm^{-1}

Fonte: Arquivo pessoal

As principais bandas de transmitâncias no espectro de infravermelho de FT-IR do biodiesel e do ML são mostradas na Tabela 2, com a devida interpretação funcional de cada banda.

Tabela - 2: Principais bandas de transmitâncias (cm^{-1}) no espectro de infravermelho de FT-IR do ML e do biodiesel da escuma e suas interpretações.

REGIÕES (CM^{-1})	GRUPO FUNCIONAL	INTERPRETAÇÃO
2921	C-H	Estiramento assimétrico de grupos metileno
2851	C-H	Estiramento simétrico de grupos metil
1745	C=O	Estiramento da carbonila
1264	C = O	Estiramento característico dos triglicerídeos e dos ésteres insaturados
1091	C- O	Deformação axial da ligação C - O
722	C-H	Deformação fora do plano

Fonte: Arquivo pessoal

Assim, como descrito na literatura, (MELO et al, 2010; SANTOS, 2010; MOURA, 2010; ALISKE, 2010; SILVA, 2010; SILVA & LIPORONE, 2011; BRITO, 2011 e PINTO, 2014), a presença das bandas que caracterizam os ésteres metílicos está nas regiões próximas às bandas de 2924 e 2853 cm^{-1} , 1735 a 1743 cm^{-1} , 1264 e 1170 cm^{-1} , 1015 cm^{-1} e 721 cm^{-1} . Estas bandas aparecem claramente na Figura 2, principalmente na amostra do material lipídico onde está bem definido, indicando a conversão do ML em biodiesel como também, que já existia certa quantidade apreciável de ésteres na espuma dos esgotos.

4.3 ESPECTROSCOPIA DE RESSONÂNCIA MAGNÉTICA NUCLEAR DE PRÓTON (RMN ^1H)

A quantificação por RMN ^1H foi empregada para confirmar a formação de ésteres, na reação da transesterificação *in situ* dos materiais lipídicos. Como as amostras são compostas por uma mistura de várias substâncias (SILVA, 2010), a identificação de cada hidrogênio não foi possível, mas foi possível destacar algumas faixas de deslocamento químico característico, conforme abordado na Tabela 3.



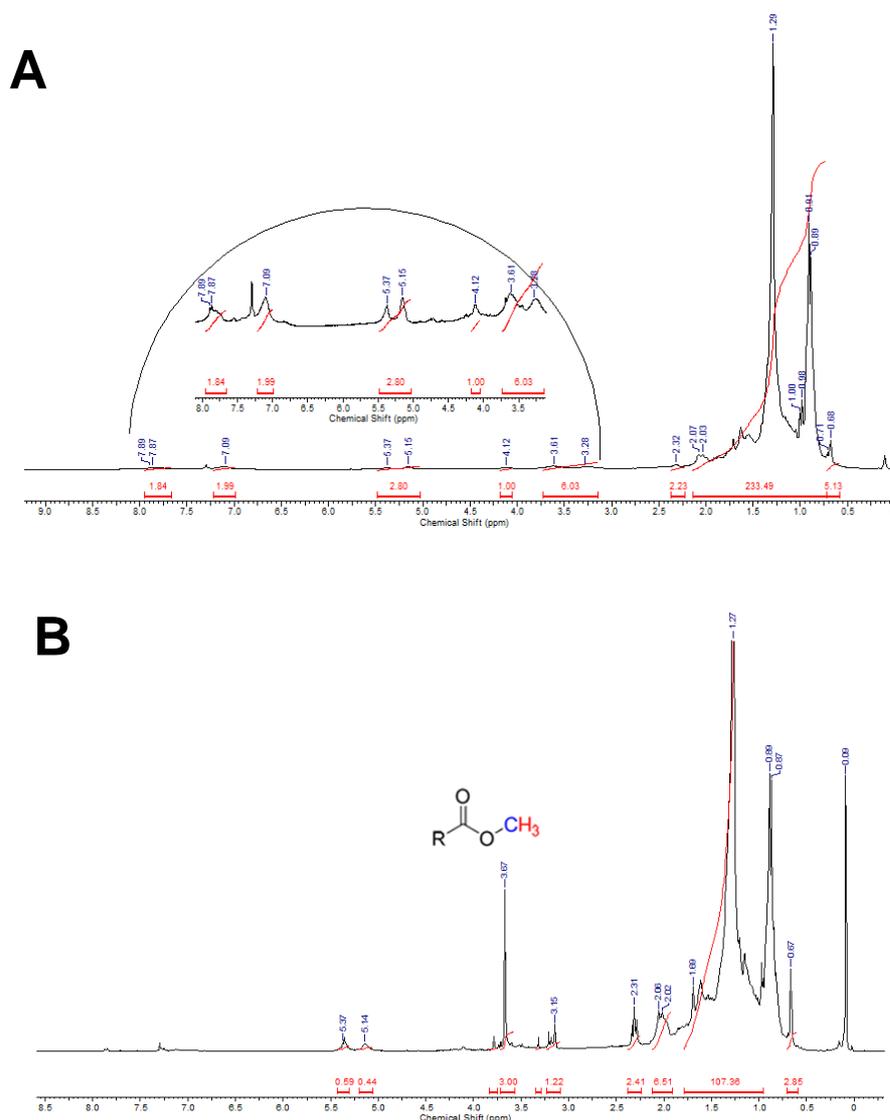
Tabela 3: Regiões espectrais, segundo os deslocamentos químicos para os núcleos de ^1H .

Espécie	δ (ppm)
Aromáticos Totais	6,3 – 9,3
Alifáticos Totais	0,5 – 4,5

Fonte: Silva (2010)

Conhecendo as regiões espectrais, é possível interpretar com maior facilidade, os resultados do espectro de RMN ^1H realizados no biodiesel da espuma conforme demonstrado na Figura 4.

Figura 4: Espectros de RMN H¹ do material lipídico (A) e do material transesterificado (B) da espuma de esgoto.



Fonte: Arquivo pessoal

Observam-se na Figura 4ab, as maiores concentrações de hidrogênio estão na região de menores deslocamentos químicos, que é a dos alifáticos totais. Isto permite afirmar que a maior parte dos compostos presente nas amostras, não possui anéis aromáticos. O pico $\delta = 0.9$ ppm, ocorre pela presença do grupamento alquil. metil de ésteres (HORST et al., 2009). Os sinais entre $\delta = 0.5 - 2.0$ ppm, correspondem a hidrogênios do grupo R-O-H (SILVA, 2010). O de $\delta = 5.3$ ppm, está relacionado a ¹H localizado na/ou perto da ligação dupla, dos ésteres metílicos. Quanto à produção do biodiesel, a presença do sinal na posição próxima a $\delta = 3.6$ ppm (Figura 4b) é um forte indicativo da presença de ésteres (ROSSET, 2011; KOLLAR, 2012). A presença desse pico no material lipídico (Figura 4a), mesmo que mínima, confirma que já existia uma

pequena quantidade de éster na amostra e o grande aumento do pico visto para o material transesterificado (Figura 4b), confirma que ocorreu a esterificação/transesterificação durante.

Por ser uma amostra de biodiesel pura, aparecem outros sinais que são atribuídos à presença de materiais não identificados neste trabalho. Porém, ao analisar isoladamente os sinais das posições $\delta = 3.6$ e $\delta = 2,3$ na Figura 4b, é possível calcular a porcentagem de conversão do ML em MT, utilizando a Equação 1.

$$TC = 100 \times (2 \times \delta = 3.6 / 3 \times \delta = 2,3) \quad \text{Equação 1}$$

Em que: TC é a taxa de conversão; $\delta = 3.6$ corresponde à região dos hidrogênios assinalados ao grupo da metoxila dos ésteres metílicos, e $\delta = 2,3$ a região dos hidrogênios assinalados dos metilênicos (ANDRADE, 2011, SOUSA, 2015).

Substituindo os valores da Equação 1, é possível encontrar como resultado uma conversão de aproximadamente 82,66 %, como mostrado na Equação 2, a partir dos dados da Figura 4b.

$$TC = 100 \times (2 \times 3 / 3 \times 2,41)$$

$$TC = 82,98 \%$$

Equação 2

Desta forma, foi possível verificar que dentre os 18,66 % de rendimento obtido na transesterificação do ML em biodiesel (vide Tabela 1), 82,98 % desse material, corresponde na conversão real em biodiesel. Com posse desse valor percentual da conversão, podemos concluir que de 100 % do resíduo da espuma de esgoto, obteve-se aproximadamente 15,48 % de biodiesel. Apesar do baixo percentual de conversão, ressalva-se a importância de um possível tratamento desse resíduo como também no seu reaproveitamento para produção de um biocombustível.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos resultados obtidos, pode-se concluir que é possível utilizar os resíduos sólidos oriundos do tratamento de esgoto como matéria prima para a produção de biodiesel. Por meio da metodologia adotada, foi possível obter um rendimento de aproximadamente 19% com taxas de conversão de aproximadamente

89% de biodiesel a partir de reações *in situ* de espuma previamente seca confirmadas pelas análises da DTG e RMN ¹H respectivamente. Estes resultados, embora muito animadores, indicam também a necessidade de mais estudos para melhorá-los.

O aproveitamento dos resíduos sólidos (escuma) das ETE's demonstram-se com uma fonte de matéria prima viável para a produção de biodiesel, em virtude da sua disponibilidade constante, baixo custo e responsabilidade ambiental. Cabe ressaltar que a destinação desses resíduos para a produção do biocombustível, possibilita a companhia de tratamento de esgoto, reduzir a possibilidade de gerar passivos ambientais, uma vez que, de acordo com a PNRS, é necessário o máximo aproveitamento dos resíduos antes que os mesmos recebam sua disposição final.

USE OF SEWAGE SLUDGE FOR THE PRODUCTION OF BIODIESEL: A POLITICAL AND ENVIRONMENTAL ALTERNATIVE ADEQUATE TO AVOID THE GENERATION OF ENVIRONMENTAL LIABILITIES.



The Brazilian scenario of solid waste management has demonstrated how much entrepreneurial ventures need technical support for a final waste disposal. In this perspective, the *Política Nacional de Resíduos Sólidos* (PNRS) was developed to support legal procedures and environmentally sound disposal of waste. The production of biodiesel taking advantage of the lipid material present in sewage waste is a viable alternative that adds value to the tailings, since it makes it the raw material of an important source of energy. In this study, the synthesis of biodiesel from the sewage scum was carried out, from which yields of approximately 19% were obtained with conversion rates of approximately 82% of biodiesel, from *in situ* reactions of previously dried sewage scum. In view of the results obtained it was possible to conclude that this is a viable alternative according to the objectives of the PNRS.

Keywords: Energy Utilization. Final Disposition. Waste management.

REFERÊNCIAS

ALISKE, M.A. **Medidas de espectroscopia no infravermelho médio para a determinação do teor de biodiesel em óleo diesel.** Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciências dos Materiais). Universidade Federal do Paraná – UFPR. Curitiba, 2010.

ANDRADE, D.F. **Caracterização de biodiesel através da separação dos constituintes por cromatografia líquida.** Tese (Doutorado em Ciências). Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. Rio de Janeiro, 2011.

BARBOSA, R.S. **Efeito do lodo de esgoto em latossolo vermelho e na cultura do milho.** Dissertação (Mestre em Ciências Ambientais). Universidade Federal de Alfenas – UNIFAL. Alfenas-MG. 2016.

BARROS, H.S.; MAIA, C.E.M.; SOUZA, L.Z. Extração do óleo presente na espuma de esgoto para uso na produção de biodiesel. **Revista Química: Ciência, Tecnologia e Sociedade.** v. 2, 2013. p. 42-48.

BARROS, H.S.; SOUZA, L.V.; SANTOS, A.P.B.; SOUZA, L.D.; SANTOS, A.G.D. Extração do material lipídico presente na espuma e no lodo de esgoto sanitário através de diferentes métodos. **Holos,** v.6, 2015. p.137-145.

BERNNAMOUN, L. Solar drying wastewater sludge: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews.** 16. 2012. p. 1061-1073.

BHARATHIRAJA, B.; YOGENDRAN, D.; KUMAR, R.R.; CHAKRAVARTHY, M.; PALANI, S. Biofuels from sewage sludge areview. **Chemical Technology Research.** v. 6, n. 9, 2014.p. 4417 – 4427.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Palácio do Planalto.** Brasília, DF, 2 ago. 2010.

_____. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. **Palácio do Planalto.** Brasília, DF, 12 fev. 1998.

BRITO, I.A.O. **Análise das interações moleculares em blendas sintéticas tipo biodiesel/diesel por espectroscopia dielétrica e vibracional de absorção na região do infravermelho.** Dissertação (Mestrado em Química). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”- UNESP. São José do Rio Preto, SP. 2011.

CASTRO, A.L.F.G.; SILVA, O.R.; SCALIZE, P.S. Cenário da disposição do lodo de esgoto: uma revisão das publicações ocorridas no Brasil de 2004 a 2014. **Multi-Science Journal.** v.1, n.2. 2015. p.66-73.

DUFRECHE, S.; HERNANDEZ, R.; FRENCH, T.; SPARKS, D.; ZAPPI, M.; ALLEY, E. Extraaction of lipids from municipal wastewater microorganisms for production of biodiesel. **Amer Oil Chemists’ Society.** 84. 2007, p.181-187.

GIRISHA, S.T.; RAVIKUMAR, K.; MRUNALINI,; GIRISH, V. **Lipid extraction for biodiesel production from municipal sewage water sludge**. Revista Pelagia Research Library. v. 1, 2014. p. 242-249.

HORST, M.; URBIN, S.; BURTON, R.; MACMILLA, C. **Using proton nuclear magnetic resonance as a rapid response research tool for methyl ester characterization in biodiesel**. Revista Lipid Technology. v. 21 n. 2. 2009. p. 1-3.

KOLLAR, S.R.M. **Desenvolvimento de metodologias analíticas para análises de biodiesel por RMN – ^1H 1,40T**. Dissertação (Mestrado em Química). Universidade de Brasília – UNB. Brasília. 2012.

MELO, I.C.A., TINOCO, J.E.P., FERNANDES, M.F. Passivo ambiental: A importância do reconhecimento, do registro contábil e da divulgação. **Gestão e Negócios**, v.6, n.2, 2010. p. 72-101.

MONDALA, A.; LIANG, K.; TOGHIANI, H.; HERNANDEZ, R.; FRENCH, T. Biodiesel production by in situ transesterification of municipal primary and secondary sludges. **Bioresource Technology**. 100, 2009. p.1203-1210.

MORGADO, M.; INÁCIO, G. Caracterização da composição de resíduos removidos em gradeamento de ETEs. **Hydro**, n.89, 2014. p.16-24.

MOURA, B.S. **Transesterificação alcalina de óleos vegetais para a produção do biodiesel: avaliação técnica e econômica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2010.

Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental

OLIVEIRA, L.B. **Potencial de aproveitamento energético de lixo e de biodiesel de insumos residuais no Brasil**. Tese (Doutorado em Ciências). Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. 2004.

PINTO, V.L. **Efeito do envelhecimento na degradação termoxidativa do sebo bovino e seus biocombustíveis via análise de UV-VIS**. Dissertação (Mestrado em Ciências Naturais). Universidade do Estado do Rio Grande do Norte-UERN. Mossoró, 2014.

REVELLAME, E.; HERNANDEZ, R.; FRENCH, W.; HOLMES, W.; ALLEY, E. Biodiesel from activated sludge through in situ transesterification. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**. 85.2009. p. 614-620.

ROSSET, I.G. **Produção de biodiesel empregado biocatálise via reações de esterificação e transesterificação**. Dissertação (Mestre em Físico-Química). Universidade de São Paulo- USP. São Carlos. 2011.

SANTOS, A.G.D. **Avaliação da estabilidade térmica e oxidativa do biodiesel de algodão, girassol, dendê e sebo bovino**. Dissertação (Mestrado em Química). Universidade Federal do Rio Grande do Norte-UFRN. Natal, 2010.

SILVA, C.B.,LIPORONE, F. Deposição irregular de resíduos sólidos domésticos em Uberlândia: algumas considerações. **Revista Eletrônica de Geografia**, v.6, n.2, 2011. p.22-35.

SILVA, V.S. **Estudo e tratamento catalítico do óleo de pirólise de lodo de esgoto**. Dissertação (Mestrado em Química Orgânica). Universidade Federal Fluminense – UFF. Niterói – RJ. 2010.

SOUTO, K.R.S. **Aproveitamento de lodo de esgoto e concha de Liliu (*Anomalocardia brasiliana*) em argamassa**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) Universidade Federal do Rio Grande do Norte-UFRN. Natal-RN. 2016.

SOUSA, L.V. **Estudo da viabilidade técnica da produção de biodiesel usando óleo da *Calotropis Procera***. Dissertação (Mestrado em Ciências Naturais). Universidade do Estado do Rio Grande do Norte – UERN. Mossoró-RN. 2015.

