

Eixo Temático ET-04-004 - Energia

**TRATAMENTO DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA DE BIOCOMBUSTÍVEIS**Luiz Antônio Pimentel Cavalcanti<sup>1</sup>, Débora Carvalho da Silva Oliveira<sup>2</sup>,  
Paulo Gabriel Ferreira de Azevedo<sup>3</sup><sup>1</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia - IFBA. *Campus* Salvador, Bahia. E-mail: luiz.cavalcanti@ifba.edu.br.<sup>2</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia - IFBA. *Campus* Salvador, Bahia. E-mail: carvalho\_debora2@outlook.com.<sup>3</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia - IFBA. *Campus* Salvador, Bahia. E-mail: paulo97745@gmail.com.**RESUMO**

Biocombustíveis vêm tomando bastante destaque quando se trata de consumo energético sustentável, posto que o emprego dos combustíveis fósseis tem gerado problemas ambientais e econômicos. No entanto, a produção de biocombustível gera resíduo que são intrínsecos aos seus processos. O presente trabalho se dispôs a analisar os principais resíduos dos principais biocombustíveis produzidos no país, de modo a acomodá-los num fim alternativo àquele de descarte no meio. Para tanto, avaliou-se dois fluxogramas de processo sendo primeiro da indústria sucroalcooleira para produção de etanol e posteriormente o fluxograma de processo para produção de biodiesel. Em ambos os processos foram identificados os pontos de geração de resíduos e as possibilidades de reuso e transformação destes em produtos com valor comercial e de interesse para sociedade. Foi observado cada resíduo selecionado possui uma opção de tratamento e reutilização, de modo que seu descarte na natureza torna-se desnecessário.

**Palavras-chave:** Biocombustíveis; Resíduos; Biodiesel; Etanol.**INTRODUÇÃO**

Autores apontam que, dentre vários, dois problemas se destacam na produção energética via combustível fóssil atualmente: emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) de maneira excessiva e descontrolada e o esgotamento dessas reservas (HÖÖK; TANG, 2013). A mudança irreversível no clima mundial causada pela atuação de gases de efeito estufa, como o CO<sub>2</sub>, é completamente aceita pela comunidade científica, que atribui esse fenômeno às atuações antropológicas (DIETZ et al., 1997). Ademais, estudiosos esperam que a produção dos combustíveis fósseis atinja um pico com um posterior declínio, devido tanto a fatores geológicos, posto que o petróleo, gás natural e carvão são recursos naturais limitados, como econômicos, já que espera-se que os custos de extração desses tipos de combustíveis aumentem, tornando essa atividade monetariamente inviável (CHIARI et al., 2011).

Em contrapartida aos problemas relatados surgem os biocombustíveis, tornando-se uma alternativa viável quando se trata de problemas ambientais atrelados ao uso de combustível (DIAS et al., 2013; CHIARI et al., 2011). Segundo dados da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustível (ANP, 2019), 45% da energia e 18% do combustível consumidos no Brasil são de origem renovável, em confronto os dados em nível mundial, que correspondem com o uso de somente 14% de energia renovável. O órgão ainda destaca que o país é o pioneiro no uso de biocombustíveis, além de realçar o protagonismo do etanol e do biodiesel nesse cenário. Ainda segundo esse órgão, a produção de etanol e biodiesel para o ano de 2018, no Brasil, foi de aproximadamente 33 mil e 5.3 mil metros cúbicos, respectivamente, com destaque para o crescimento da produção do biodiesel, com 458% para 2018, quando comparado com o ano de 2008 (diferença de 10 anos). Quando se trata das matérias-primas utilizadas para a

produção de biodiesel em território nacional, destacam-se a soja e o sebo bovino, detendo cerca de 77% e 15% da produção, respectivamente (RAMOS et al., 2017).

Mesmo diante dos benefícios ambientais engatados à substituição dos combustíveis fósseis pelos biocombustíveis, o processo produtivo do último gera alguns resíduos que merecem atenção. Dados da literatura indicam que esses processos se mostram grandes geradores de resíduos, como por exemplo a torta oleosa, gerada após extração do óleo vegetal, ou o bagaço da cana, resíduo formado após a etapa de extração do caldo da cana de açúcar para a produção de etanol (CAVALCANTI, 2013). Estes resíduos podem trazer diversos danos ao ecossistema quando mal administrados, ao mesmo tempo que seu tratamento adequado pode provocar um aumento na produtividade agrícola, além de amparos econômicos (LIMA et al, 2008).

Com base nisso, o presente trabalho buscou propor alternativas para o tratamento dos principais resíduos gerados na indústria de biocombustíveis, com enfoque na produção industrial do biodiesel, especificamente o oriundo do óleo de soja, e do etanol.

## **OBJETIVO**

O presente estudo teve por objetivo realizar um levantamento da literatura acerca das possibilidades de tratamento de resíduos industriais gerados nos processos de produção de biodiesel, oriundo da soja, e do etanol e propor alternativas para gestão desses resíduos.

## **METODOLOGIA**

A realização desse trabalho se deu inicialmente pela seleção de uma rota de processo industrial que condissesse com o principal caminho tomado para a produção do combustível em análise. Partindo desse processo, foram identificadas as etapas mais influentes na produção, com o intuito de identificar os resíduos gerados nessa determinada etapa. Posteriormente, foram realizadas pesquisas acerca dos resíduos selecionados, buscando rotas alternativas de tratamentos para os mesmos.

Um levantamento minucioso da literatura relacionada foi realizado nas plataformas *Scielo* e *google scholar* usando os descritores “efluentes da produção de biocombustíveis”, “resíduos da produção de etanol” e “tratamento de efluentes na indústria de biocombustíveis”, utilizando como critérios de inclusão todos os artigos que retratavam a o processo de produção de etanol, biodiesel e seus respectivos resíduos do processo produtivo e como critérios de exclusão todos os artigos de divergiam do tema.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

O processo industrial de obtenção de etanol consiste no processamento da cana de açúcar, como representado na Figura 1 (ALBARELLI, 2013), sendo que em vermelho são denotados os principais resíduos.

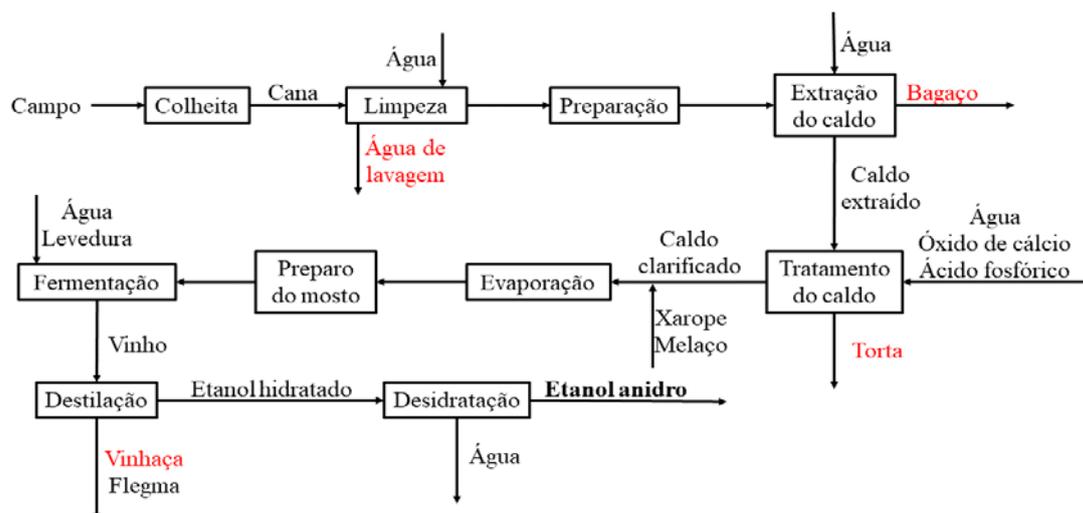


Figura 1. Fluxograma com as principais etapas de produção de etanol. Fonte: Albarelli (2013).

Analisando a Figura 1, pode-se destacar os principais resíduos gerados nesse processo: a água de lavagem, a torta, o bagaço e a vinhaça.

A água é uma das substâncias mais utilizadas no processo de produção de etanol. Na etapa de lavagem da cana, especificamente, a água é utilizada com o intuito de remover impurezas oriundas do campo, tais como terra, folhas e resíduos inorgânicos (ALBARELLI, 2013; BONASSA, 2015). Diante da função de lavagem, a água após o processo possui um alto potencial poluidor, posto que a mesma mostra presença de terra, microorganismos, açúcares etc. Segundo dados da literatura, o processo de lavagem da cana é o responsável pelo maior consumo de água na produção, com 5,6 m<sup>3</sup> de água por tonelada de cana esmagada (ONEMA et al., 2012), sendo que alguns autores recomendam a limpeza a seco, a fim de diminuir o consumo e desperdício (RODRÍGUEZ, 2010).

Uma das alternativas para o redirecionamento desse efluente é o seu tratamento de modo a reutilizar esse fluido no processo, já que, na etapa de lavagem da cana, estudos apontam a possibilidade de se misturar a água tratada com a corrente nova. Nesse sistema de reutilização, deve-se condicionar a atenção ao pH da água residual, posto que a mesma, por já ter mantido contato com a cana anteriormente, pode conter açúcares dissolvidos, o que contribui para a facilitação da evolução da fermentação, o que corrobora com a diminuição do pH do meio, trazendo a possibilidade de disseminação de microorganismos. Mesmo diante desse problema, dados experimentais mostram que o fator pH não é tão significativo a ponto de inviabilizar o uso da água residual (ONEMA et al., 2012).

Outro fator relevante é a concentração de sólidos na água, posto sua função de lavagem. O aumento relatado na concentração de sólidos na água antes e depois da lavagem pode chegar a 622 mg·mL<sup>-1</sup> (ONEMA et al., 2012). Como alternativa, surgem os tratamentos por caixas de areia ou sedimentadores, sendo o primeiro apropriado para remoção de partículas menores e o segundo, maiores. No entanto, esses sistemas ocupam muito espaço, tornando viável o estudo de coagulação e floculação (NASCIMENTO et al., 2016), tal como já se utiliza nas Estações de Tratamento de Efluentes, ETE (MARTINS, 2014).

Com relação ao bagaço, esse resíduo pode ser definido como um tipo de matéria fibrosa sólida, gerada na etapa da extração do caldo da cana-de-açúcar, representando entre 24 a 40% da cana (BONASSA et al., 2015). Sua composição é majoritariamente de água e fibra celulósica (REBELATO, et al., 2016). Como alternativa ao descarte do bagaço na natureza, o caminho mais explorado para o mesmo é sua queima, com o intuito de geração de energia elétrica em caldeiras ou fornos e utilização do vapor produzido no processo (ALBARELLI, 2013;

REBELATO et al., 2016). Estudos atribuem a crescente aplicação do bagaço na geração de energia à crise energética de 2001 (BONASSA et al., 2015), que ocorreu devido ao não acompanhamento da capacidade energética instalada com o aumento da demanda entre os anos de 1990 a 2000, sendo o primeiro e o último por volta de 49 e 35%, respectivamente (TOLMASQUIM, 2000).

No entanto, o bagaço recolhido do processo de extração do caldo não pode ser enviado diretamente para o processo de combustão, visto que o mesmo é volumoso e é retirado com alto concentração de água (CORTEZ et al., 2017), daí torna-se viável estudar rotas de secagem e compactação desse bagaço. A redução da umidade deve ser feita até atingir valores abaixo de 15%, sendo que a pressão de compactação varia entre 350 a 1000 kg·cm<sup>-2</sup> (PAOLIELLO, 2006). A estimativa de energia contida em 250 kg de bagaço úmido (1 tonelada de cana-de-açúcar) é cerca de 560.000 kcal (CORTEZ et al., 2017).

Apesar dos benefícios energéticos da queima do bagaço de cana, sabe-se que esse processo gera alguns poluentes, como material particulado, gases de efeito estufa e cinzas (BONASSA et al., 2015). Sobre os gases, podem se destacar o monóxido e dióxido de carbono, óxidos de nitrogênio e uma pequena concentração de dióxido de enxofre. Na maioria das indústrias, esses gases são dispersos pelas chaminés, desde que a concentração de emissão esteja dentro dos parâmetros estabelecidos por lei; se não, os mesmos são previamente tratados. O material particulado é constituído por sólidos de fuligem, pequenos fragmentos de bagacilho e sílica, proveniente de terra ainda residual. Esse material particulado também é tratado com retenções a depender da granulometria da partícula, visto que essa propriedade dita o raio de distância de deposição da mesma. Por fim, as cinzas são estáveis, livres de compostos orgânicos e atóxicos, mas são altamente poluentes em águas superficiais. Autores condicionam as cinzas à lavoura (REBELATO et al., 2016) ou para fins mais alternativos, como adições em concreto, com respostas significativas em ensaios de resistência mecânica, contribuindo na redução da produção de cimento, que se mostra uma grande emissora de monóxido e dióxido de carbono (SOUTO, 2010).

Além do destaque do seu uso na geração de energia, outras aplicações podem ser atribuídas ao bagaço. Já foi comprovada sua atuação como adsorvente para remoção de hidrocarbonetos (hexano, heptano e iso-octano) de efluentes aquosos, tendo o potencial de extrair cerca de 30% dos hidrocarbonetos e podendo chegar 100% de extração em sistemas com baixas concentrações de hidrocarbonetos (SILVA et al., 2007). Ademais, a composição lignocelulósica do bagaço propicia sua utilização para produção de mais etanol, chamado de Etanol de Segunda Geração (2G) (CRUZ, 2008). Estudos mostram que, mediante uma estratégia de fermentação partindo do hidrolisado hemicelulósico do bagaço, pode-se produzir etanol 2G (FERREIRA, 2016). Inclusive, comparações foram feitas entre o bagaço da cana (biomassa secundária) e vegetação (biomassa primária), tendo em vista a composição celulósica de ambos, sendo que foi encontrado um maior rendimento para a produção de etanol 2G para o primeiro, com valores de 96 L·ton<sup>-1</sup> para o bagaço e de 79 L·ton<sup>-1</sup> para a vegetação (MANGRICH et al., 2017).

Como terceiro composto apontado como resíduo, tem-se a torta de filtro, que pode ser definida como um resíduo composto da mistura de bagaço moído e lodo da decantação, oriundo do processo de tratamento do caldo (SANTOS et al., 2011). Esse resíduo é tido como alto potencial poluente com relação às águas (REBELATO et al., 2016; BONASSA et al., 2015). Sua composição é dada em maior parte por matéria orgânica, compondo em 85%, em média, além de que, para cada tonelada de cana moída, gera-se 40 kg de torta (BERNARDINO et al., 2018).

Além da aplicação como adubo, a torta de filtro já se mostrou eficiente no tratamento de solos contaminados por óleo diesel, combustível de origem petrolífera. Foi relatado que a torta de filtro potencializou a ação microbiana, o que aumentou a degradação do óleo diesel, contribuindo na redução da ação poluente intrínseca ao óleo citado (TELECHEA, 2015). Ademais, sabendo que a atuação da torta de filtro emite gases de efeito estufa (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O e

CH<sub>4</sub>), estudos já mostraram uma relação entre formas de se utilizar a torta e a taxa de geração desses gases, de modo a minimizar esse efeito (ROCHA, 2013).

O último resíduo a se analisar na produção de etanol é a vinhaça, tida como um dos efluentes mais poluentes do processo devido sua composição e pH (REBELATO et al., 2016), com potencial poluente 100 vezes maior que o esgoto doméstico (SILVA et al., 2006). A vinhaça já se mostrou poluente sobre o lençol freático, sob infiltração no canal, com variações no pH, aumento das espécies de nitrogênio no solo e da condutividade elétrica do meio (LUDOVICE, 1997). A vinhaça surge no processo de destilação do vinho, após a fermentação, é rica em matéria orgânica, com valores entre 20.000 a 35.000 mg·L<sup>-1</sup>, além de possuir pH ácido, entre 5 e 5,5 (REBELATO et al., 2016). A quantidade de vinhaça produzida está na faixa de 10 a 18 L para cada litro de álcool produzido (SILVA et al., 2006). Diante disso, muitos estudos estão sendo desenvolvidos de modo a reutilizar esse resíduo, visto que o mesmo é produzido em grande quantidade em escala industrial e possui alta capacidade de contaminação ambiental.

A maior área de estudo da vinhaça se trata da sua atuação na fertirrigação. Já foi estudado a potencialidade da vinhaça em fornecer o teor adequado de potássio ao solo, em comparação com compostos já usados, como o cloreto de potássio (KCl), onde os pesquisadores constataram resultados similares para os dois casos, tornando possível a substituição do KCl pela vinhaça (PAULA et al., 1998). Técnicas diferentes de fertirrigação, como o gotejamento, também foram estudadas, obtendo-se resultados superiores para a atuação da vinhaça (complementada com fertilizantes minerais quando necessário) do que com adubação mineral convencional, mostrando-se superior, ainda, no cálculo teórico de rendimento de açúcar com base nesse cultivo (BARBOSA, 2010). Além disso, já foi estudado o efeito da vinhaça como fertirrigador por longos tempos. Trabalhos relatam que a aplicação de vinhaça no solo com duração entre 20 a 35 anos, com adição anual, resultou num solo com presença mais substancial de minerais, com maior formação de substâncias húmicas, melhoria na fertilidade e qualidade da matéria orgânica (ZOLIN et al., 2010; CANELLAS et al., 2003). Adicionalmente, já se foi estudada a influência da vinhaça no solo em diferentes épocas e em diferentes posições do campo. Nesse caso, foi notada uma maior concentração de potássio no solo, além de não ser percebido alteração de pH (BEBÉ et al., 2009). Por fim, a vinhaça, ainda, exibiu comportamento degradativo frente a herbicidas em alguns solos, tornando possível seu uso para controle dessas substâncias (PRATA et al., 2000).

A vinhaça, inclusive, já se mostrou propícia à geração de energia elétrica através do biogás. Biogás é um biocombustível obtido pela biodigestão anaeróbica de resíduos, sendo que autores defendem que a vinhaça seja um substrato de fácil biodegradação, uma vez que a maior parte da sua matéria orgânica encontra-se solubilizada, ainda considerando seu pH baixo, além de que o resíduo gerado pelo processo de biodigestão anaeróbica da vinhaça pode ser usado na fertirrigação, pois o mesmo possui teores de nitrogênio, sódio e potássio adequados, pH neutro e manuseio simples (GRANATO et al., 2002; SALOMON, 2007).

O biodiesel pode ser produzido através de variados processos, a partir de óleos vegetais grau alimentício, óleos residuais, gorduras animais e/ou microalgas; dentre os principais processos têm-se a transesterificação, a esterificação e a pirólise, sendo a transesterificação o processo de maior destaque, pois é o mais utilizado pelas indústrias por motivo de sua grande eficiência (AQUINO, 2012). Durante o processo para a obtenção do biodiesel, são gerados resíduos e co-produtos que podem ser reutilizados em outras atividades, tornando a síntese do biocombustível o mais sustentável possível (MOTA, 2011).

A Figura 2 mostra um fluxograma do processo da produção de biodiesel a partir da reação de transesterificação do óleo obtido de oleaginosas, como por exemplo, a soja, o algodão, dentre outros. Tendo os principais resíduos destacados em vermelho.

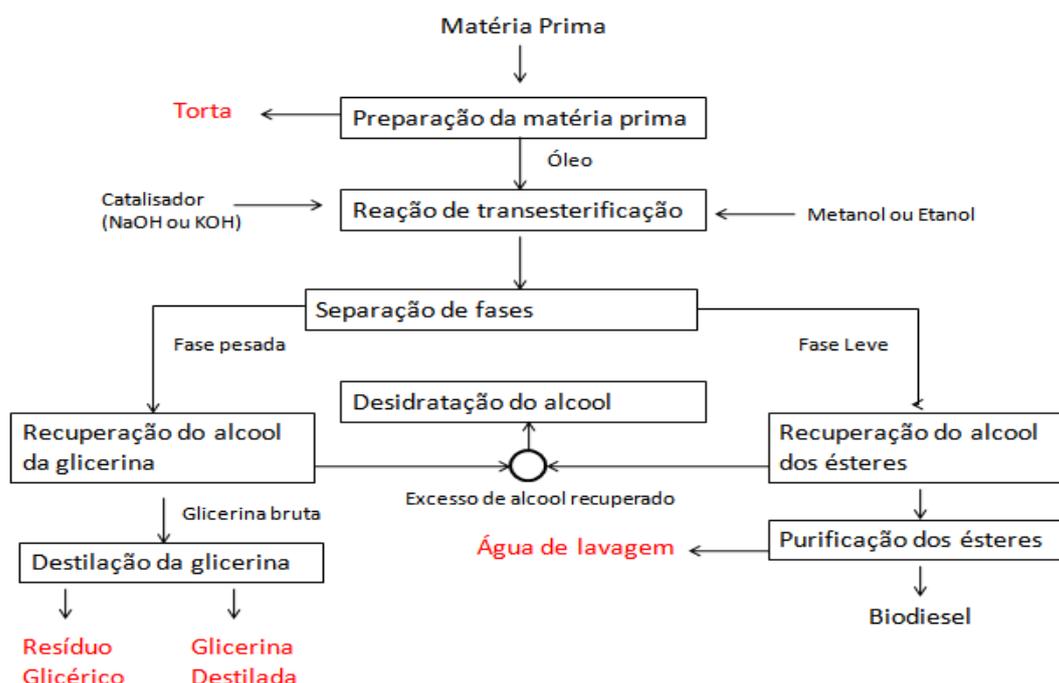


Figura 2. Fluxograma com as principais etapas do processo de produção de biodiesel. Fonte: Pacifico (2012).

Analisando a Figura 2, podem-se destacar como principais resíduos gerados nesse processo: a torta, a água de lavagem e a glicerina bruta.

A torta é considerada valiosa matéria-prima básica, pelo fato de possuir um alto teor de proteínas. Dentre as alternativas para o redirecionamento e reuso desse resíduo proveniente de oleaginosas, destacam-se a utilização para alimentação animal, adubação orgânica e geração de energia (MOTA, 2011).

Atualmente, o principal insumo proveniente desse resíduo para o adubo orgânico é a torta de mamona (ADIBE, 2008), pois, além de possuir baixo valor nutricional, possui alto teor de nitrogênio, o que contribui positivamente para o solo (MOTA, 2011). Outra área em que a torta de mamona se destaca das demais é na geração de energia elétrica, possível a partir da gaseificação das cascas da oleaginosa. Essa alternativa é fortalecida pelo fato dos seus resíduos apresentarem boa eficiência térmica e poder calorífico (MOTA, 2011).

A glicerina é uma matéria prima residual que é aplicada em diversos setores, como a indústria farmacêutica, têxtil, alimentícia, na confecção de produtos de cosméticos, saboaria, entre outros; atuando, na maioria dos casos, como umectante (substância utilizada para reter umidade) (PAIVA, 2015). Através do processo de transesterificação, a cada 90 m<sup>3</sup> de biodiesel produzido são gerados aproximadamente 10 m<sup>3</sup> de glicerina, que possui impurezas como água, catalisador alcalino, entre outros compostos (PAIVA, 2015). Mesmo possuindo impurezas, a glicerina bruta já é comercializada, e como o seu processo de purificação requer um alto custo, é mais viável que seja utilizada em processos que não dependam de alto grau de pureza, que quando feita, é por meio de destilação a vácuo, resultando na glicerina destilada (KNOTHE et al., 2006).

Quando submetida a diversos processos químicos, a glicerina gera outros produtos que são altamente utilizados nas indústrias, dentre esses processos, destacam-se: a hidrogenólise, a eterificação e a esterificação (MOTA, 2011). No processo de hidrogenólise da glicerina, que acontece na presença de catalisadores metálicos a base de Cu, Ni e Pd, são gerados o propilenoglicol (1,2 propanodiol) e o 1,3 propanodiol, o primeiro possui propriedades anti-congelante e é utilizado na produção de produtos alimentícios, detergentes, tintas, entre outros;

enquanto que o 1,3 propanodiol é muito utilizado na produção de fibras sintéticas. Em condições mais extremas, esse processo é capaz de produzir, além dos compostos já citados, propeno e propano, mostrando grande possibilidade de produção de plásticos verdes a partir do propeno (MOTA, 2011).

A produção de éteres de glicerina, chamada eterificação, pode ocorrer pela reação da glicerina com alcoóis ou com o isobuteno. Obtém-se desse processo compostos de menor polaridade e viscosidade, e por consequência, de menor volatilidade. Isso acarreta no uso dos éteres de glicerol como aditivos para combustíveis e solventes. Alguns tipos de biodiesel possuem propriedades diferenciadas, como, por exemplo, o ponto de congelamento abaixo de 20° C, o que causa problemas para sua utilização, principalmente no inverno; uma alternativa para resolução desse problema é realizar a mistura de éteres de glicerina no próprio biodiesel, o produto adicionado irá funcionar como aditivo, devido às suas propriedades (MOTA, 2011).

Na esterificação, a glicerina reage com o ácido acético em presença de catalisadores ácidos, produzindo os compostos mono, di e triacetatos de glicerol, que podem ser utilizados como emulsificantes na indústria alimentícia, cosmética e farmacêutica (MOTA, 2011). Dentre as várias vertentes já citadas para o uso da glicerina proveniente do processo de produção do biodiesel, pode-se destacar também a alimentação de bovinos. Inicialmente, o uso de glicerol em ruminantes foi utilizado como tratamento para Cetose em vacas leiteiras, mostrando resultados eficientes (PAIVA, 2015).

A etapa de lavagem no processo de produção do biodiesel é uma das mais importantes e críticas, pois tem como objetivo a retirada de resíduos de naturezas distintas, como alcoóis, glicerina, catalisador e do próprio óleo usado como matéria-prima (GUIMARÃES, 2013). Nesta purificação, o biodiesel utiliza em média um volume três vezes maior de água a cada litro produzido, o efluente resultante do processo se torna quimicamente impróprio a ser despejado em qualquer corpo hídrico (BRITO et al., 2012).

O impacto ambiental causado por tais tipos de efluentes é de avaliação difícil, por causa da variedade de compostos oriundos da matéria-prima, reagentes, produtos e subprodutos do processo (GRANGEIRO, 2009). Segundo Boni et al. (2007), em geral, os efluentes da etapa de purificação de biodiesel apresentam elevada presença de óleos vegetais e outros contaminantes e seu descarte indevido acarretará em um maior custo no tratamento do esgoto dessa região. Um possível descarte in natura causaria impactos nocivos ao meio ambiente (BRAGA, 2012).

A eletrofloculação, eletroflotação ou eletrocoagulação como também pode ser denominada, tem o propósito de tratar efluentes complexos, com mistura de diferentes substâncias de maneira eficiente, econômica e sustentável, o que viabiliza seu uso no tratamento de efluentes de indústria biodiesel. A utilização dessa técnica para o tratamento de águas residuais pode ser considerada uma tecnologia de instrumentação e operação simples, que envolve a utilização de um par de placas metálicas de sacrifício, comumente de alumínio ou ferro, e a aplicação de corrente elétrica, que através de reações eletroquímicas gera coagulantes in situ. Desse modo, diminui a chance de geração de subprodutos e reduz a produção de lodo (VIEIRA et al., 2017).

#### Conclusão

A avaliação dos fluxogramas de processo de produção de etanol e biodiesel possibilitou avaliarmos a geração de resíduos destes processos e pudéssemos propor alternativas de reutilização dos resíduos para minimizar os impactos dos seus descartes indevidos no meio ambiente. A maioria das sugestões agrega valor aos resíduos da produção do setor de biocombustíveis, resultando na diminuição de desperdícios e maximização de lucros, tornando assim o processo produtivo mais sustentável.

#### REFERÊNCIAS

BERNARDINO, C. A. R.; MAHLER, C. F.; VELOSO, M. C. C.; ROMEIRO, G. A.; SCHROEDER, P. Torta de filtro, resíduo da indústria sucroalcooleira: uma avaliação por pirólise lenta. **Rev. Virtual Quim.**, v. 10, n. 3, 2018.

BONASSA, G.; SCHNEIDER, L. T.; FRIGO, K. D. A.; FEIDEN, A.; TELEKEN, J. G.; FRIGO, E. P. Subprodutos gerados na produção de bioetanol: bagaço, torta de filtro, água de lavagem e palhagem. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 4, p. 144-166, 2015.

BRAGA, E. D. A. S. **Caracterização das águas de lavagem provenientes da etapa de purificação da produção de biodiesel de óleo de tilápia**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2012. (Tese de doutorado).

CAVALCANTI, L. A. P. **Reologia e melhoramento das propriedades de escoamento a frio de biodiesel e suas misturas BX**. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Engenharia Química, 2013. (Tese de Doutorado).

CERQUEIRA, A. A.; MARQUES, M. R. C. Avaliação do processo eletrolítico em corrente alternada no tratamento de água de produção. **Química Nova**, v. 34, p. 59-63, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422011000100012>

CHIARI, L.; ZECCA, A. Constraints of fossil fuels depletion on global warming projections. **Energy Policy**, v. 39, p. 5026-5034, 2011.

CRUZ, S. H. Bagaço e palha da cana são fontes de celulose para gerar álcool. **Revista Visão Agrícola**, n. 8, p. 13-14, 2008.

DIETZ, T.; ROSA, E. A. Effects of population and affluence on CO<sub>2</sub> emissions. **Proc. Natl. Acad. Sci. USA**, v. 94, p. 175-179, 1997.

FERREIRA, A. D. **Produção eficiente de Etanol 2G a partir de hidrolisado hemicelulósico de bagaço de cana-de-açúcar**: otimizando condições de cultivo e operacionais. Tese de doutorado: Universidade de São Paulo. Lorena, 2016.

HÖÖK, M.; TANG, X. Depletion of fossil fuels and anthropogenic climate change: A review. **Energy Policy**, v. 52, p. 797-809, 2013.

LIMA, C. C.; MENDONÇA, E. S.; SILVA, I. R.; SILVA, L. H. M.; ROIG, A. Caracterização química de resíduos da produção de biodiesel compostados com adição mineral. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 3, p. 334-340, 2009.

MARTINS, H. C. **Estudo sobre os processos de coagulação, floculação e decantação em efluentes oriundos de usina canavieira**. Trabalho de Conclusão de Curso: Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2014.

NASCIMENTO, N. H. A.; COELHO, M. G.; JUNIOR, N. M. R.; PANTONI, R. P. Reaproveitamento da água utilizada na lavagem de cana-de-açúcar aliado ao separador sólido-líquido para remoção de particulados aplicado a indústria sucroalcooleira. Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP: São Paulo, 2016.

OMENA, S. P. F.; CALLADO, N. H.; PEDROSA, V. A.; TORQUATO, Jr. H.; MENEZES, A. C. V.; PIMENTEL, I. M. C. **Tratamento de águas de lavagem de cana-de-açúcar, visando a sua reutilização**. Disponível em: <<http://www.ctec.ufal.br/professor/vap/TratamentoAguaLavagemReutilizacao.pdf>>. Acesso em: 21 out. 2019.

PAOLIELLO, J. M. M. **Aspectos ambientais e potencial energético no aproveitamento de resíduos da indústria sucroalcooleira**. 2006. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2006.

RAMOS, L. P.; KOTHE, V.; CÉSAR-OLIVEIRA, M. A. F.; MUNIZ-WYPYCH, A. S.; NAKASAKI, S.; KRIEGER, N.; WYPYCH, F.; CORDEIRO, C. S. Biodiesel: matérias-primas, tecnologias de produção e propriedades combustíveis. **Rev. Virtual Quim.**, v. 9, n. 1, p. 317-369, 2017.

REBELATO, M. G.; MADALENO, L. L.; RODRIGUES, A. M. Análise do desempenho ambiental das usinas sucroenergéticas localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu. **Eng. Sanit. Ambient.**, v. 21, n. 3, 2016.

ROCHA, K. **Decomposição no solo da torta de filtro derivada do processamento da cana-de-açúcar**: emissão de gases de efeito estufa e aspectos microbiológicos. Dissertação de mestrado: Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2013.

RODRIGUES, L. G. S. Avaliação da utilização do bagaço de cana-de-açúcar na alimentação de bovinos. **Revista eletrônica: Nutri-time**, v. 12, n. 5, 2015.

RODRÍGUEZ, M. F. C. **Uso de água na produção de etanol de cana de açúcar**. Dissertação de Mestrado: Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2010.

SANTOS, D. H.; SILVA, M. A.; TIRITAN, C. S.; FOLONI, J. S. S.; ECHER, F. R.; Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar sob adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 5, p. 443-449, 2011.

SILVA, V. L. M. M. GOMES, W. C.; ALSINA, O. L. S. Utilização do bagaço de cana de açúcar como biomassa adsorvente na adsorção de poluentes orgânicos. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 2, n. 1, p. 27-32, 2007.

SOUTO, J. M. F. **Avaliação do desempenho da cinza do bagaço de cana-de-açúcar na produção de concretos**. Dissertação de mestrado: Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2010.

TOLMASQUIM, M. As origens da crise energética brasileira. **Ambient. Soc.**, n. 6/7, 2000.

VIEIRA, S. P; OLIVEIRA, F. C. F.; CAVALCANTI, L. A. P. Síntese do perclorato de ferro a partir das águas residuais da produção de biodiesel tratadas por eletrofloculação para confecção de placas de circuito impresso. **Holos**, v. 33, n. 1, p. 205-213, 2017