Estudos do CEPE

https://online.unisc.br/seer/index.php/cepe/index
ISSN on-line: 1982 - 6729
DOI: 10.17058/cepe.v0i45.8248

PROPOSTA DE UTILIZAÇÃO DO BIODIESEL EM TRATORES DE UMA INSTITUIÇÃO DE ENSINO SUPERIOR: UMA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

MOTION FOR BIODIESEL USE IN AN INSTITUTION OF HIGHER EDUCATION TRACTORS: A COMPUTER SIMULATION

Glauco Oliveira Rodrigues[1]
Jardel Romeu Schneider[1]
Adriano Pereira[1]
Eugenio de Oliveira Simonetto[1]
Mauri Lobler[1]
Marcelo Trevisan[1]

Recebido em: 06/09/2016
Aceito em: 29/03/2017

glaucop10@redes.ufsm.br

Resumo: Este artigo propõe o desenvolvimento de um modelo para o aproveitamento do óleo vegetal pós-uso como matéria-prima para a geração de biodiesel, e utilização deste combustível em tratores de uma Instituição de Ensino Superior (IES). Espera-se, dessa forma, reduzir os potenciais impactos ambientais advindos da destinação incorreta deste composto vegetal, e os impactos da queima do óleo diesel mineral, bem como reduzir os custos para a aquisição de combustível para os tratores. Para tanto, simulou-se a geração de biodiesel e a sua utilização nos tratores da IES, a partir do óleo vegetal pós-uso, em um horizonte de 4 anos. O modelo foi desenvolvido por meio do *Software* Vensim PLE, e foram simulados 3 cenários distintos: cenário A (biodiesel a 5%); cenário B (biodiesel a 8%); e cenário C (biodiesel a 12%). Os resultados obtidos, por meio da simulação computacional, demonstram que o reaproveitamento do óleo vegetal pós-uso para a produção de biodiesel promove a redução do impacto ambiental, em relação a poluição da água e do ar, bem como a economia financeira, em virtude da menor necessidade de aquisição de óleo mineral. A simulação mostrou que os cenários com maior percentual de biodiesel na mistura trazem melhores resultados nos três fatores analisados, sugerindo que a IES busque utilizar esse combustível.

Palavras-chave: Biodiesel. Dinâmica de Sistemas. Modelagem Computacional. Sustentabilidade. Vensim PLE.

Abstract: This paper proposes the development of a model for the use of post-use vegetable oil as a raw material for the generation of biodiesel, and the use of this fuel in tractors of a Higher Education Institution (IES). It is hoped, therefore, to reduce the potential environmental impacts arising from the incorrect allocation of this vegetal compound, and the impacts of the burning of the mineral diesel oil, as well as reduce the costs for the acquisition of fuel for the tractors. In order to do so, the biodiesel generation and its use in the IES tractors were simulated using the post-use vegetable oil over a 4-year horizon. The model was developed using Vensim PLE Software, and three different scenarios were simulated: scenario A (biodiesel at 5%); Scenario B (8% biodiesel); And scenario C (biodiesel at 12%). The results obtained through computational simulation demonstrate that the reutilization of post-use vegetable oil for the production of biodiesel promotes the reduction of environmental impact in relation to water and air pollution as well as financial Of the lesser need to purchase mineral oil. The simulation showed that the scenarios with higher percentage of biodiesel in the mix bring better results in the three factors analyzed, suggesting that the IES seeks to use this fuel.

Keywords: Biodiesel,System Dynamics. Computational modeling. Sustainability. Vensim PLE.

[1] Universidade de Santa Maria – UFSM – Santa Maria – Rio Grande do Sul – Brasil.

A matéria publicada nesse periódico é licenciada sob forma de uma Licença Creative Commons – Atribuição 4.0 Internacional
http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/

1. INTRODUÇÂO

A grande quantidade de gases “estufa”, resultantes da utilização de combustíveis derivados do petróleo, vem despertando a atenção do mundo inteiro. Outrossim, diversos pesquisadores estão procurando desenvolver combustíveis mais “limpos”. Neste contexto, a utilização do biodiesel, produzido por meio do óleo vegetal, se vislumbra como uma das alternativas para a redução do impacto ambiental promovido pelo uso dos combustíveis fósseis. Isso pode ser observado nos estudos de Demirbas (2009), Zang & Kong (2010), Bechetet al (2010), Mendes (2015), entre outros.

Ademais, Mendes (2015) assevera que o óleo vegetal é um potencial poluidor, uma vez que o seu descarte inadequado pode trazer diversos prejuízos. Entre eles, a contaminação da água. O óleo de cozinha, por exemplo, apresenta uma densidade menor do que a da água. Assim sendo, quando se mistura o óleo de cozinha com a água, ele tende a emergir e a formar uma “película” sobre a massa d’água. Isso pode ocasionar a diminuição ou até mesmo a interrupção da troca de oxigênio (O2) entre a água e o ar. Esta situação pode promover a mortandade de peixes e demais seres aquáticos. Além disso, o descarte inadequado do óleo de cozinha pode entupir tubulações e impermeabilizar o solo, vindo a dificultar o escoamento da água e, por ventura, a contribuir para a ocorrência de inundações (OLIVEIRA, 2014).

Apesar de o óleo de cozinha ser potencialmente nocivo ao meio ambiente, pode servir como excelente subproduto para a cadeira produtiva de combustíveis. Ademais, o óleo de cozinha queimado (usado) pode receber uma destinação adequada por ocasião do seu reaproveitamento para a produção de sabão, detergente, ração animal, resina e biocombustível (OLIVEIRA; SOMMERLATTE, 2009). Assim, pode servir de matéria-prima para a produção de outros produtos.

Isso posto, a promoção da energia limpa e do reaproveitamento de produtos potencialmente nocivos ao meio ambiente, pode transformar o óleo de vegetal residual (entendido, neste estudo, como óleo de cozinha queimado/usado). Neste ponto, disseminam-se estudos sobre o reaproveitamento do óleo de cozinha, notadamente no que tange a produção de biocombustíveis (CHRISTOFF, 2006).

Entre as pesquisas atuais, o biodiesel ganha destaque como uma das alternativas de substituição ao diesel (combustível derivado do petróleo). Por vezes, empresas acrescentam uma determinada porcentagem de biodiesel ao diesel, tentando reduzir os custos e os impactos ambientais da combustão. Apesar de apresentar um menor poder energético do que o diesel, o biodiesel contribui para aumentar a quantidade de cetano, o que reduz as emissões de gases poluentes (MUÑOZ, 2004). A atratividade do biodiesel reside no seu potencial de sustentabilidade, o que o torna um promissor sucedâneo do diesel (MENDES, 2015).

Pelo exposto o presente artigo apresenta um modelo de simulação computacional para avaliação de cenários no que tange o reaproveitamento do óleo de cozinha na geração de biodiesel para suprir parcialmente a demanda de diesel dos tratores de um Departamento de Fitotecnia de uma Instituição de Ensino Superior.

2. ÓLEOS VEGETAIS

A obtenção do óleo vegetal se dá por meio das gorduras retiradas de plantas, raízes, galhos, folhas e sementes. É retirada de plantas oleaginosas, as quais são compostas, em regra, por 95% (noventa e cinco por cento) de triacilglicerol. O Brasil apresenta expressiva quantidade de plantas oleaginosas, tornando-o, assim, um grande produtor de óleo vegetal (MENDES, 2015).

Entre as diversas aplicações possíveis para o óleo vegetal, destaca-se a sua aplicação como combustível. O óleo vegetal é considerado uma alternativa sustentável de combustível, uma vez ser uma fonte renovável que, em sua queima, não libera gases poluentes.

2.1 Destinos do Óleo de Cozinha Usado

Segundo Reis et al. (2007), o óleo de cozinha usado, ou óleo de fritura, normalmente é despejado na rede de esgoto, provocando a poluição da rede pluvial e sanitária. Quando misturado com matéria orgânica, promove o entupimento de tubulações e de caixas de gordura. Inclusive, em alguns casos, para o desentupimento das tubulações, se faz necessária a utilização de produtos químicos tóxicos. Ainda, se o esgoto contiver óleo de fritura e, por ventura, vier a penetrar no solo, os lençóis freáticos serão afetados e uma grande quantidade de água será contaminada.

Ademais, Junior et al. (2009) afirmam que, em grandes municípios do Brasil, verifica-se a existência de ligações das redes de esgoto com as redes pluviais e com os córregos locais. Assim, nestes corpos hídricos, por ocasião da imiscibilidade e da menor densidade do óleo, pode haver a redução da concentração de oxigênio (O2) da água. Isso pode promover a formação do gás metano, o quê pode contribuir para o aquecimento global.

2.1.1 Impacto ambiental e econômico

O óleo de cozinha, gerado nas residências, no comércio e nas indústrias, pode trazer inúmeros prejuízos ao ambiente, se não descartado de maneira adequada. De acordo com o Programa de Gestão Ambiental (PGA), 1 (um) litro de óleo que vai para o corpo hídrico é capaz de contaminar cerca de 18.400 (dezoito mil e quatrocentos) litros de água. Isso equivale ao consumo de 1 (uma) pessoa em um período de 14 (catorze) anos. Além disso, aumenta o custo do tratamento das redes de esgoto em até 45% (LIMA et al., 2014). Assim, criar alternativas que possam promover o reaproveitamento deste produto e estabelecer uma cadeia sustentável para o mesmo é algo que merece esforços tanto do âmbito acadêmico quanto do âmbito empresarial.

Muitas pessoas, por desconhecimento, descartam o óleo de cozinha usado diretamente na pia, o quê pode vir a prejudicar o meio ambiente. Se o óleo for parar nos córregos (ou até rios), provocará a impermeabilização do leito dos mesmos, o que pode vir a contribuir para a incidência de enchentes. Outrossim, a decomposição anaeróbia do óleo, bem como de todo material orgânico, emite metano (CH4), dióxido de carbono (CO2) e água. Estes gases relacionam-se com o “efeito

estufa" e, desta forma, podem vir a colaborar para o aquecimento global (RIBEIRO; MAIA; WARTHA, 2010).

A comunidade científica internacional afirma haver uma relação direta entre o aumento da concentração de gases causadores do "efeito estufa" e o aumento médio da temperatura do nosso planeta. Apesar deste alerta, no Brasil, há a predominância dos combustíveis de origem fóssil na nossa matriz de transporte. Isso em que pese o Brasil ser uma referência mundial na implementação de programas de biocombustíveis (MENDES, 2015).

A transformação do óleo de fritura em biodiesel e a sua integração à matriz energética brasileira pode contribuir para o desenvolvimento de uma nova tecnologia energética e para a redução das importações de óleo diesel (BNDES, 2004). Ainda, o petróleo e seus derivados são a base da economia moderna, porém há uma perspectiva finita em relação às suas reservas. Além disso, grande parte da produção mundial destes produtos está concentrada em áreas de conflito. Ademais, estes produtos estão passando por períodos de instabilidade de preços, notadamente em relação a ciclos de aumento e de redução de preços (BNDES, 2004).

2.1.2 Alternativas para a destinação do óleo de cozinha

O descarte inapropriado do óleo de cozinha é um problema sério, o que torna imprescindível desenvolver alguma forma de reaproveitamento economicamente viável, que possa reduzir o seu impacto ambiental. Entre as formas de reaproveitamento, as mais empregadas residem na transformação do óleo de cozinha em biodiesel ou em sabão (BNDES, 2004).

Em comparação com o diesel (combustível fóssil derivado do petróleo), a combustão do biodiesel traz uma menor emissão de monóxido de carbono e de hidrocarbonetos não queimados. Assim, ao ser mais sustentável do que o diesel, por ventura, pode vir a se tornar o seu possível substituto (BNDES, 2004).

Quanto ao processo de logística reversa, o recolhimento do óleo de cozinha usado se mostra um tanto complexo (BIZARI et al., 2011). Existem algumas iniciativas pontuais em relação a isso como, por exemplo, empresas que dão incentivos financeiros a consumidores finais, no intuito de que os mesmos armazenem o óleo de cozinha usado para posterior recolhimento. Salienta-se que, após recolhido, o óleo precisa passar por 2 (dois) processos: 1) remoção dos resíduos sólidos, por meio da filtragem; e 2) remoção da umidade, por meio da decantação. Após isso, é possível reaproveitá-lo.

Observa-se que, nos últimos anos, surgiram diversas iniciativas de reaproveitamento do óleo de cozinha usado (pós-fritura), as quais foram desenvolvidas por organizações privadas e públicas. O McDonald's, por exemplo, transforma o óleo de cozinha usado em biodiesel, o qual é utilizado em seus caminhões (CAETANO, 2010). O poder público, de outro lado, em parceria com ONGs e outras entidades, desenvolveu outras iniciativas, como, por exemplo: nos municípios de Ribeirão Preto, Salvador, Florianópolis, Rio de Janeiro, Porto Alegre e Curitiba, o óleo de cozinha usado é recolhido para ser transformado em resina de tintas, sabão, ração animal, bem como biodiesel (ZUCATTO; WELLE; SILVA, 2013).

2.1.3 Processo da coleta de óleo

Segundo Cunha e Caixeta Filho (2002), o processo de coleta de resíduos, no caso, de óleo de cozinha usado, pode ser descrito em 5 (cinco) fases, quais sejam:

1) **Geração**: é bastante variável e depende de uma série de fatores, como renda, época do ano, modo de vida, movimento da população nos períodos de férias e de finais de semana;
2) **Acondicionamento**: é a primeira etapa do processo de remoção de resíduos. Podem ser usados diversos tipos de vasilhames, como tambores, sacos plásticos, sacos de papel, contêineres comuns, contêineres basculantes, entre outros;
3) **Coleta**: compreende o processo de coleta dos resíduos, realizado por meio de veículo específico para este fim, dos locais onde foram acondicionados aos locais de descarga;
4) **Transporte**: é o movimento do resíduo até o seu destino final (aterros, lixões, usinas de reciclagem, etc.);
5) **Disposição final**: para a disposição final dos resíduos, os aspectos econômicos, muitas vezes, sobrepõem-se às questões ambientais. Contudo, atualmente, a disposição dos resíduos em depósitos a céu aberto (lixões) ou em sistemas hídricos, tornou-se inaceitável.

2.2 Biodiesel

Segundo Tavares e Da Silva (2008), o biodiesel é um combustível natural usado em motores a diesel, obtido a partir de matérias-primas vegetais ou animais. As matérias-primas vegetais são derivadas de óleos vegetais, tais como soja, mamona, palma (dendê), girassol, pinhão-manso, amendoim, entre outros (BIODIESELBR, 2016). Ampliando o entendimento sobre o biodiesel, ele pode ser classificado como um combustível renovável, derivado de óleos vegetais ou de gordura animal, utilizado em motores a diesel.

O biodiesel, também denominado combustível secular, é uma alternativa aos combustíveis derivados do petróleo. Além disso, a sua combustão emite menos gases poluentes. Ele está sendo testado em diversos países: Argentina, Estados Unidos, Malásia, Alemanha, França, entre outros (TAVARES; DA SILVA, 2008).

Ademais, de acordo com a Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005, a qual dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira, o biodiesel é definido como um:

> Biocombustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna com ignição por compressão ou, conforme regulamento, para geração de outro tipo de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil. (BRASIL, 2006)

Por sua vez, o biocombustível é definido como uma:

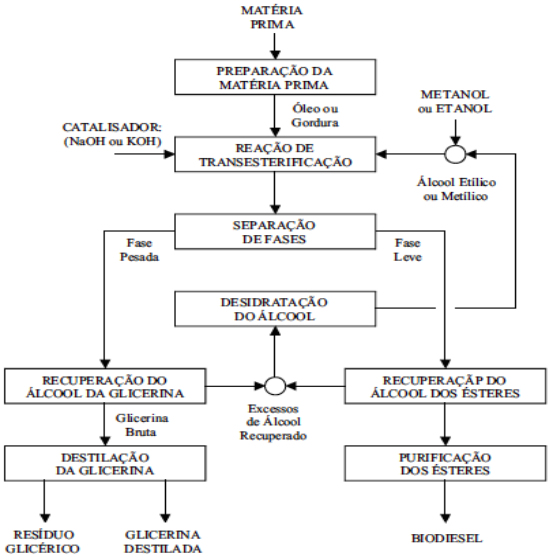
> Substância derivada de biomassa renovável, tal como biodiesel, etanol e outras substâncias estabelecidas em regulamento da ANP, que pode ser empregada diretamente ou mediante alterações em motores a combustão interna ou para outro tipo de geração de energia, podendo substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil. (BRASIL, 2006)

O biodiesel é obtido por meio de processos, tais como o craqueamento, a esterificação e a transesterificação, sendo, este último, o mais utilizado para a sua produção. O biodiesel possui

viscosidade e características de combustão semelhantes às do diesel. Essas propriedades são obtidas por meio do estabelecimento de uma reação química entre o óleo vegetal[2] (o qual é um triglicerídio) e um álcool de pequena cadeia carbônica, geralmente, metanol ou etanol. Salienta-se que o biodiesel e o etanol são importantes alternativas aos combustíveis fósseis. Ambos são denominados de biocombustíveis, uma vez serem derivados de biomassa renovável. Assim, o processo mais utilizado para a transformação do óleo vegetal em biodiesel chama-se transesterificação, que é a separação da glicerina do óleo vegetal, uma vez que cerca de 20% do óleo vegetal é formado por glicerina. A glicerina torna o óleo mais denso e viscoso. Dessa forma, durante o processo de transesterificação, ela é removida do óleo, deixando-o mais fino e reduzindo a sua viscosidade (BIODIESELBR, 2016). A Figura 1 apresenta o fluxograma do processo de produção do biodiesel.

Cumpre ressaltar que se denomina simplesmente “biodiesel”, o biodiesel puro, também chamado B100. Ademais, as misturas do biodiesel com o diesel mineral (diesel derivado do petróleo) são denominadas de “BXX”, onde “XX” refere-se à quantidade de biodiesel na mistura; por exemplo, B10 é uma mistura de 10% de biodiesel com 90% de diesel mineral.

Figura 1 – Fluxograma do Processo de Produção do Biodiesel



Fonte: Parente (2003).

O conceito de biodiesel adotado pela Agência Natural de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) é de um combustível natural, usados em motores a diesel, produzido através de fontes renováveis e que atende às especificações da Resolução ANP n° 14, de 11 de maio de 2012 (MENDES, 2015). A ANP define o biodiesel como um “combustível composto de alquil ésteres de ácidos carboxílicos de cadeia longa, produzido a partir da transesterificação e/ou esterificação de matérias graxas, de gorduras de origem vegetal ou animal, e que atenda a especificação contida no Regulamento Técnico nº 4/2012”, regulamento este integrante da Resolução ANP nº 14/2012 (BRASIL, 2012).

[2] O óleo vegetal é formado por 3 (três) moléculas de ácidos graxos, ligadas a 1 (uma) molécula de glicerina, o que faz dele um triglicídio (BIODIESELBR, 2016).

2.2.1 Vantagens da Utilização do Biodiesel

Santos e Silva (2016) afirmam que os biocombustíveis líquidos utilizados como fonte de energia podem ser facilmente integrados, sem grandes transformações de logística como importante substituto dos combustíveis fósseis. Cabe salientar, ainda, que os motores a diesel, que se utilizam da mistura de diesel mineral com biodiesel, possuem uma maior vida útil, pois o biodiesel funciona como um lubrificante para o motor. Ainda, o risco de explosão do biodiesel se mostra baixo, uma vez que precisa de uma fonte de calor superior a150° C para a sua combustão. Isso facilita o transporte e o armazenamento do produto (TAVARES; DA SILVA, 2008).

De um lado, assevera-se que os gases gerados a partir da utilização de combustíveis fósseis agridem o meio ambiente. De outro lado, Tavares e Da Silva (2008) afirmam que o biodiesel permite que se estabeleça um ciclo fechado de CO2, por meio do qual a quantidade absorvida pela planta oleaginosa, durante o seu desenvolvimento, compensa a quantidade emitida pela combustão do biodiesel. Assim, o biodiesel proporciona um ganho ambiental em relação ao diesel.

2.2.2 Visão Ambiental e Social

Estudos realizados pelo laboratório de Desenvolvimento de Tecnologias Limpas – LADETEL, da USP, mostram que a substituição do diesel mineral pelo biodiesel resulta em uma redução da emissão de: 20% de enxofre, 9,8% de anidrido carbônico, 14,2% de hidrocarbonetos não queimados, 26,8% de material particulado e 4,6% de óxido de nitrogênio (HOLANDA, 2004).

Além disso, a adoção do biodiesel também pode trazer benefícios sociais. Holanda (2004) afirma que a cada 1% de diesel substituído por biodiesel, podem ser gerados cerca de 45 mil empregos no campo, voltados para o cultivo de oleaginosas, com destaque para agricultura familiar. Salienta-se que, em 2010, havia cerca de 103 mil famílias inseridas na cadeia produtiva do biodiesel no Brasil

Assim, o biodiesel, além da sua possível viabilidade econômica, também pode promover a sustentabilidade nas suas bases ambiental e social.

2.2.3 Ciclo de Vida do Biodiesel

A sustentabilidade não está relacionada somente ao meio ambiente: ela também recepciona as questões econômicas e sociais. Assim, para que se possa verificar se o biodiesel é mais sustentável do que o diesel mineral, deve-se considerar os potenciais impactos ambientais de cada um deles, bem como os potenciais impactos econômicos e sociais.

Uma maneira de analisar a sustentabilidade de cada um dos combustíveis é através da Análise do Ciclo de Vida (ACV). A Análise do Ciclo de Vida é uma forma de avaliar os impactos ambientais que um determinado produto causa ao meio ambiente, desde a extração da sua matéria-prima (berço), passando pelas suas etapas de produção, distribuição e uso, até a sua destinação final

(túmulo). Desta maneira, ao se analisar todas as etapas de produção do diesel e do biodiesel, pode-se estabelecer uma comparação entre eles no que tange às questões sustentáveis. Ainda, segundo a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), a Análise de Ciclo de Vida é uma técnica utilizada para avaliar os aspectos ambientais e os potenciais impactos associados a um produto. Ela é uma ferramenta importante para a avaliação das cadeias de produção, sendo bastante utilizada em pesquisas que estudam o impacto ambiental e econômico do emprego de biocombustíveis (Altamariano, 2013). Neste contexto, estudos sobre a Análise do Ciclo de Vida do biodiesel começaram a ganhar destaque (BIODIESELBR, 2015).

Observa-se, então, que a ACV propõe a identificação e a análise das etapas de produção, distribuição, consumo e descarte. No caso do biodiesel, avalia-se, desde o cultivo das sementes de oleaginosas, até a sua utilização nos veículos. Estas análises, por etapas, podem identificar possibilidade de melhorias, tanto em aspectos ambientais, quanto em aspectos econômicos e, por ventura, sociais.

2.2.4 A Utilização de Biodiesel em Motores

Em misturas de diesel com biodiesel, na proporção de até 10% de biodiesel, observou-se uma redução no consumo de combustível dos veículos, em comparação com o diesel puro. Agora, para proporções maiores do que 10%, verificou-se um aumento neste consumo. Quanto ao biodiesel puro, ele apresentou um aumento no consumo de combustível dos veículos da ordem de 4,77%. Isso se deve à diferença do poder calorífico do biodiesel, que, em regra, é menor do que o do diesel.

Ademais, Agarwale Das (2001) verificaram que o uso do combustível “B20”, mistura de 80% (oitenta por cento) de diesel com 20% de biodiesel, testado em um motor a diesel, obteve o melhor desempenho entre todas as misturas analisadas. O “B20” apresentou um aumento de 2,5% na eficiência térmica máxima e uma redução significativa nos teores de fumaça. Dorado et al. (2002), por sua vez, concluíram que o motor a diesel, analisado sem nenhuma modificação, funcionou de maneira satisfatória com uma mistura de 10% de biodiesel de óleo de cozinha em conjunto com 90% de diesel mineral. Ainda, Ferrari et al. (2005) realizaram testes utilizando uma mistura de 5% de biodiesel com 95% de diesel, também denominada de “B5”. Eles utilizaram esta mistura em um veículo durante um ano, percorrendo 19.240 km em condições normais, e observaram que o veículo apresentou um desempenho normal, ao passo que houve uma redução na emissão de fumaça. Além disso, durante o período de realização dos testes, não foram necessários reparos no motor, o que induziu os pesquisadores a concluírem que os óleos vegetais transesterificados se adaptam perfeitamente ao motor.

2.2.5 Emissões de Óxidos de Nitrogênio e Efeitos na Saúde Humana

Mais de 95% das emissões de NO2 (dióxido de nitrogênio) estão sob a forma de óxido nítrico (NO), um gás introduzido no meio ambiente principalmente por causa dos veículos. Ele é formado, sobretudo, em consequência da alta temperatura da câmara de combustão dos motores, mas,

diretamente, não representa perigos à saúde humana. Contudo, ao reagir com o oxigênio (O2), o óxido nítrico (NO) produz o dióxido de nitrogênio (NO2). O NO2, por sua vez, é um gás tóxico.

Ademais, diante da promoção da redução da emissão de diversos gases causadores do "efeito estufa", como o gás carbônico, o biodiesel se tornou um dos principais combustíveis, advindos de fontes renováveis, utilizados pelos países. Quanto ao biodiesel, na fase de cultivo das plantas oleaginosas que o originam, absorve-se em torno de 80% do dióxido de carbono (CO2) que é emitido no momento da sua combustão (NOGUEIRA; DARBELLO, 2009). Isso é outro ponto a favor do biodiesel, em comparação com os combustíveis fósseis, como o diesel.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O método de pesquisa utilizado para o desenvolvimento do modelo computacional proposto por este estudo baseou-se na metodologia concebida por Law (2015), a qual traz 4 passos a serem seguidos para a execução da modelagem e da simulação de sistemas: 1) estudos exploratórios em artigos científicos, relatórios técnicos, entrevistas com *stakeholders* e observações do ambiente onde os dados foram coletados. A partir destes dados, o problema de pesquisa fora concebido; 2) desenvolvimento da solução, pela construção de modelos formais capazes de representar o problema (definição das variáveis e de seus relacionamentos); 3) implementação computacional da solução, neste caso, por meio do simulador da área de Dinâmica de Sistemas Vensim® PLE (VENTANA SYSTEMS, 2016); e 4) verificação e validação (v&v) da solução, através de testes em laboratório e análise do comportamento histórico (com os dados que foram coletados), para verificar se os resultados obtidos representam parte da realidade observada.

Segundo Andrade et al (2006, p. 100), a modelagem computacional pode ser classificada como uma ferramenta do Pensamento Sistêmico que adiciona aprendizado ao processo decisório. Ademais, a partir de modelos, podem ser construídos micromundos do sistema real, que simulam a passagem do tempo e promovem o aprendizado. Um modelo pode ser entendido como uma representação abstrata e simplificada de um sistema real, por meio da qual se pretende explicar ou testar o seu comportamento. Assim, os modelos são utilizados para a representação, da melhor forma possível, de sistemas reais. A robustez do modelo é de fundamental importância para a qualidade da solução preconizada. Outrossim, por meio de métodos matemáticos, pode-se chegar à solução desejada, de maneira clara e aproximada da realidade. Quanto a isso, deve-se dedicar atenção redobrada em relação à formulação matemática, uma vez que relações complexas podem inviabilizar a realização do estudo.

Para a validação do modelo, simulou-se um experimento de comparação, utilizando, para isso, três cenários: cenário A (biodiesel a 5%); cenário B (biodiesel a 8%); e cenário C (biodiesel a 12%). Ademais, também foram consultados alguns especialistas da área para garantir maior robustez à pesquisa.

3.1 O Modelo de Simulação e suas Variáveis

Considerando a importância do reaproveitamento do óleo de cozinha usado para a preservação do meio ambiente e, por ventura, para a economia, desenvolveu-se, neste trabalho, um modelo de simulação que permitirá aos gestores avaliarem as políticas de reaproveitamento do óleo de cozinha usado como matéria-prima para a produção de biodiesel. Foram avaliados os benefícios ambientais, no tocante à poluição da água e à geração de CO2, bem como os benefícios econômicos, no tocante à redução de gastos com a compra de diesel mineral. Isso tudo considerando o contexto de utilização dos tratores de um Departamento de Fitotecnia de uma Instituição de Ensino Superior.

O modelo de simulação computacional desenvolvido poderá auxiliar os gestores no processo de tomada de decisão e, por ventura, promover o reaproveitamento do óleo de cozinha usado, a redução do uso do diesel mineral e o aumento de incentivos ao "consumo verde" (Mansvelt, 2010). Ademais, o modelo fora desenvolvido com a proposta de simplificar a interação usuário-computador, para que análises do tipo "o que se?" (*"what-if?"*), comuns em modelos de simulação, sejam de rápida e simples execução.

Salienta-se que, para a definição das variáveis do modelo de simulação, valeu-se da contribuição de trabalhos acadêmicos e governamentais: BNDES (2004), CONAMA (2011), Oliveira Filho (2014) e Zucatto et al. (2013). As variáveis selecionadas, bem como as suas inter-relações, são apresentadas a seguir:

a) **Óleo Estocado** – obtida a partir da variável **Óleo Coletado**. É a variável com a função de armazenar a variação anual da coleta de óleo;
b) **Red Poluição Água** - obtida a partir do produto da quantidade de óleo pelo potencial impacto poluidor de cada litro de óleo descartado inadequadamente, ou seja, 18.400 (dezoito mil e quatrocentos) litros de água por litro de óleo;
c) **Diesel Utilizado** - variável responsável pelo cálculo do consumo total de diesel utilizado, sendo que os tratores estudados possuem uma média de consumo de 3,03 (três vírgula zero três) quilômetros por litro de diesel, ou seja, 3,03 km/l de diesel;
d) **Biodiesel Gerado** - obtida a partir do produto da variável **Óleo Estocado** com a variável **Tx Óleo**, a qual estabelece o quanto do óleo se aproveita por ocasião do reaproveitamento;
e) **Geração Glicerina -** representa o total de glicerina gerado pela produção do biodiesel a partir do óleo de cozinha usado. Observa-se que a taxa de geração de glicerina é da ordem de 10% do total de biodiesel produzido. Cabe ressaltar que, a partir da glicerina, podem ser produzidos diversos outros produtos. Este fato demonstra a relevância do reaproveitamento do óleo de cozinha, tanto por razões ambientais, quanto por razões econômicas;
f) **Geração CO2** - consiste na subtração entre a quantidade de emissão de CO2 por litro de diesel comum (2.669 kg/CO2) e a quantidade de emissão de CO2 por litro de biodiesel; e
g) **Economia** - representa os ganhos financeiros advindos do reaproveitamento do óleo de cozinha usado. É obtida por meio das variáveis **Consumo Médio Biodiesel** (que representa

o custo estimado por litro de biodiesel produzido), **Consumo Médio Diesel**, **Biodiesel Gerado**, **Custo Diesel**, **Diesel Utilizado** e **Custo Biodiesel**.

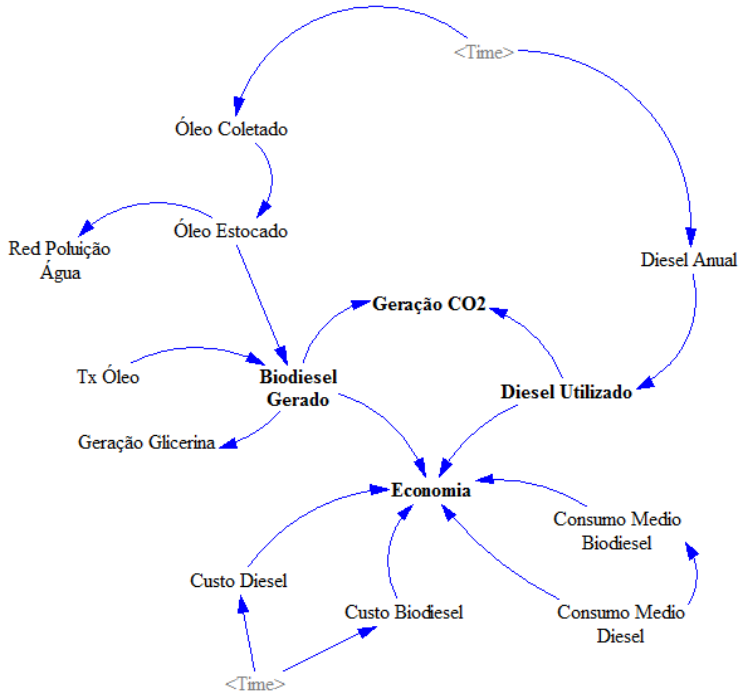
Tabela 1 – Equações do Modelo de Simulação

Equação
Óleo Estocado = Óleo Coletado
Red Poluição Água = 18.400 * Óleo Estocado
Diesel Utilizado = Diesel Anual
Biodiesel Gerado = Óleo Estocado * Tx Óleo
Geração Glicerina = 0.1 * Biodiesel Gerado
Geração CO2 = (2.669 * Diesel Utilizado) – (((2.669 * 0.89) * Biodiesel Gerado))
Economia = ((Consumo Médio Biodiesel * Biodiesel Gerado) + ((Custo Diesel * Diesel Utilizado) / Consumo Médio Diesel)) – Custo Biodiesel

Fonte: Elaborado pelos autores.

O modelo computacional proposto é constituído por variáveis auxiliares e por variáveis com função de estoque. A variável **Óleo Estocado** tem a função de armazenar a quantidade (em litros) de óleo de cozinha pós-uso coletado. Nesta variável, serão incluídos dados reais de coleta fornecidos por uma empresa do ramo da cidade de Santa Maria. A variável **Diesel Utilizado** tem o objetivo de armazenar a quantidade de diesel utilizado pelos tratores da IES. Estes dados, reais, contribuirão para que o modelo computacional se aproxime da realidade. As variáveis auxiliares **Óleo Coletado**, **Diesel Anual**, **Custo Diesel** e **Custo Biodiesel** são conectadas a uma variável da espécie **"time"**. A variável **"time"** tem a função de simular a passagem do tempo, ou seja, promover a projeção dos cenários. As variáveis auxiliares, por sua vez, possuem os dados que serão considerados pela variável **"time"** para a projeção dos cenários. O tempo de projeção proposto para esta pesquisa é de 4 anos. O modelo projetado encontra-se disposto na Figura 2.

Figura 2 – Modelo de Simulação Proposto



Fonte: Elaborado pelos Autores, por meio do *Software*Vensim PLE.

3.2 Cenários Modelados

Para a execução da modelagem da pesquisa, foram gerados três cenários. O Cenário (A) representa o gasto atual dos tratores do Departamento de Fitotecnia da IES. Na época deste estudo, o combustível utilizado pelos tratores era uma mistura de 95% de diesel com 5% de biodiesel. Os outros dois cenários representam propostas de aumento da proporção de biodiesel na mistura com o diesel, à princípio, panoramas mais sustentáveis. A Tabela 2 apresenta os dados utilizados na modelagem computacional, na qual estão expostas a quantidade de biodiesel utilizado em cada cenário, o consumo médio de combustível dos tratores e o custo do diesel e do biodiesel, entre outros dados.

Tabela 2 – Dados Utilizados na Modelagem Computacional

	Cenário (A)	Cenário (B)	Cenário (C)
Diesel (%)	95	92	88
Biodiesel (%)	5	8	12
Óleo Utilizado (Litros)	3.750	6.000	9.000
Diesel Utilizado (Litros)	57.500	55.200	52.800
Biodiesel Utilizado (Litros)	3.000	4.800	7.200
Custo Atual Diesel (R$)	2.99	2.99	2.99
Variação do Custo do Diesel (% ao ano)	0.6	0.6	0.6
Custo Atual Biodiesel (R$)	2.18	2.18	2.18

Variação do Custo do Biodiesel (% ao ano)	0.16	0.16	0.16
Consumo do Óleo Diesel (Km/Litro)	3.03	3.03	3.03

Fonte: Elaborado pelos autores.

4. ANALISE DOS RESULTADOS

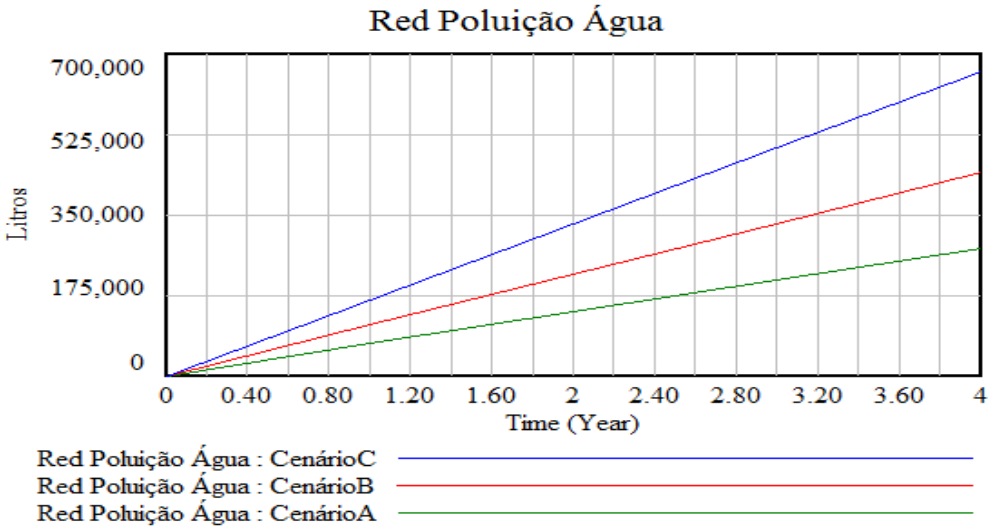
Nesta sessão, serão apresentados os resultados da modelagem desenvolvida.

4.1 Resultados da Modelagem Computacional

Após o estabelecimento dos três cenários para a experimentação do modelo, foram executadas as simulações no *Software* Vensim PLE, em um computador pessoal com as seguintes configurações: processador Intel Pentium Core i5; e 8 Gb de RAM. O tempo de execução da simulação fora da ordem de milionésimos de segundos. O horizonte de tempo simulado fora de quatro anos.

A variável inicialmente analisada (**Red Poluição Água**) apresenta a quantidade de litros de água que deixaria de ser poluída por ocasião do reaproveitamento do óleo de cozinha para a produção de biodiesel, de acordo com a demanda dos tratores de um Departamento de Fitotecnia de uma Instituição de Ensino Superior. Isso, considerando os 3 (três) cenários da pesquisa: cenário A (B5: mistura com 5% de biodiesel e 95% de diesel); cenário B (B8: mistura com 8% de biodiesel e 92% de diesel); e cenário C (B12: mistura com 12% de biodiesel e 88% de diesel). Neste contexto, os potenciais de redução da poluição hídrica de cada cenário são apresentados na Figura 3.

Figura 3 – Redução da Poluição da Água



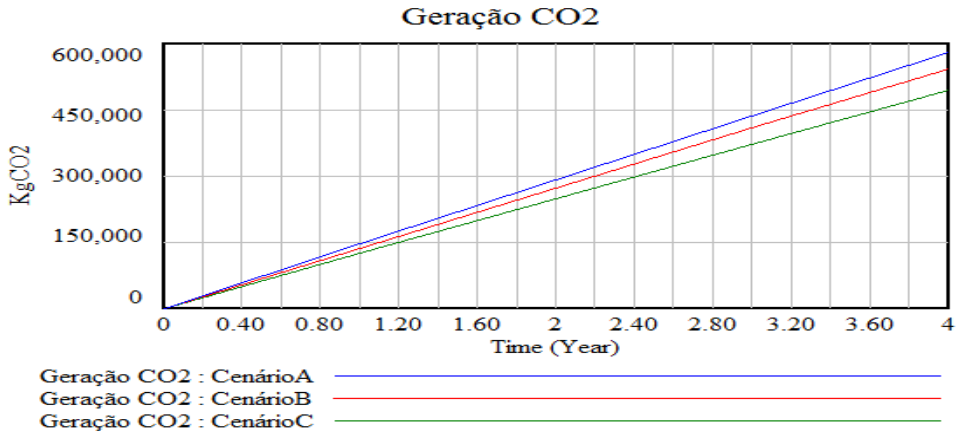
Fonte: Elaborado pelos Autores, por meio do *Software*Vensim PLE.

Observa-se que o cenário C, representado pela linha azul, apresentou uma redução da poluição hídrica da ordem de 412.000 L de água ao ano. Ao final do quarto ano, esta redução chegaria à 1.650.000 L. Se comparado ao cenário A (cenário atual), observa-se uma diferença da ordem de 240.000 L de água ao ano. Mesmo assim, o cenário A possibilitaria uma redução da poluição hídrica da ordem de 172.000 L de água ao ano. Ademais, o cenário intermediário (cenário B)

seria menos capaz de reduzir a poluição hídrica do que o cenário C na ordem de 138.000 L de água ao ano.

O comportamento da variável **Geração CO2**, por sua vez, encontra-se representado na Figura 4. Por meio desta variável, pode-se verificar o potencial poluidor de cada um dos 3 cenários em estudo, no que tange à emissão de CO2 (dióxido de carbono).

Figura 4 – Geração de CO2

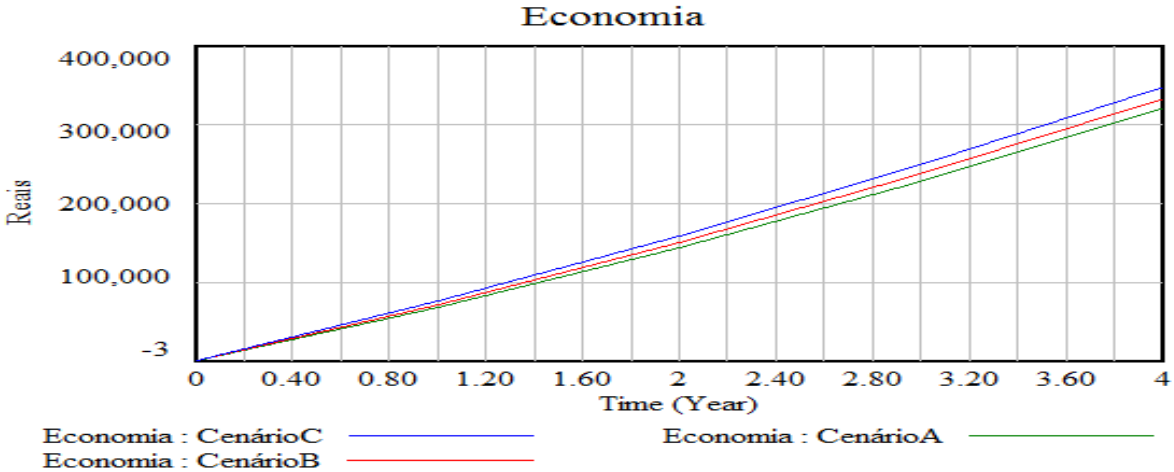


Fonte: Elaborado pelos Autores, por meio do *Software*Vensim PLE.

Quanto à Figura 4, o cenário A apresenta o maior potencial poluidor dos cenários m análise. Ele representaria uma emissão anual da ordem de 362.000 kg de CO2. Ao final do quarto ano, o acumulado chegaria à 1.500.000 kg de CO2. O cenário C, por sua vez, quando comparado ao cenário A, apresenta uma redução da emissão de CO2 da ordem de 240.000 kg. Assim sendo, observa-se que, quanto maior for a porcentagem de biodiesel misturada ao diesel, menor será a quantidade de CO2 emitida.

Salienta-se que a sustentabilidade apresenta 3 pilares centrais: ambiental, social e econômico. Quanto ao aspecto econômico, houve a preocupação de analisá-lo em cada um dos cenários em estudo. Isso se operacionalizou por meio da variável **Economia**. O seu comportamento pode ser observado na Figura 5.

Figura 5 – Economia do Processo



Fonte: Elaborado pelos autores, por meio do *Software*Vensim PLE.

Observa-se que o volume financeiro despendido nos cenários B e C, quando comparado ao cenário A, mostraram-se inferiores. O cenário C, quando comparado ao cenário A, apresentou uma economia anual da ordem de R$ 17.000,00. O cenário B, por sua vez, apresentou uma economia anual da ordem R$ 7.000,00.

Dessa forma, verificou-se que o aumento da proporção de biodiesel na mistura com o diesel mineral resulta em uma diminuição do impacto ambiental e, por ventura, uma economia de recursos financeiros. A Tabela 3 sintetiza os resultados obtidos por meio da simulação do modelo computacional desenvolvido.

Tabela 3 – Resultados Finais

	Cenário (A)	**Cenário (B)**	**Cenário (C)**
Redução da Poluição da Água (Litros)	690.000	1.104.000	1.656.000
Geração de CO2 (kg)	1.450.068	1.359.268	1.238.202
Economia (R$)	0,00	29.987,60	69.737,50

Fonte: Elaborado pelos autores.

Quanto à variável **Economia**, ao se comparar com o cenário A, observou-se que o cenário C pode proporcionar uma economia financeira da ordem de R$ 69.000,00. A variável **Geração CO2**, por sua vez, indicou que o cenário C é capaz de gerar uma redução de 211.000 kg de CO2, em relação ao cenário A.

Ademais, os resultados deste estudo demonstram que, ao utilizar uma mistura com 12% de biodiesel e 88% de diesel, ou seja, cenário C, pode-se reduzir a poluição da água em até 966.000 L de água ao longo de quatro anos. Isso, se comparado ao cenário A (B5: mistura com 5% de biodiesel e 95% de diesel).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O óleo vegetal de cozinha é um composto com grande potencial de poluição ambiental, em especial, quando atinge recursos hídricos, e muitas vezes é mal descartado após o seu uso. Por outro lado, ele pode ser utilizado como matéria-prima para a geração de biodiesel, um combustível que, ao ser misturado com o óleo diesel mineral, reduz a emissão de gases tóxicos, como o CO2, além de promover outros benefícios aos motores dos veículos que o utilizam.

Este trabalho propôs o aproveitamento do óleo de cozinha pós-uso como matéria-prima para a geração de biodiesel para posterior utilização, em mistura com o diesel mineral, como combustível de tratores de um departamento de uma Instituição de Ensino Superior. Foram analisados e comparados 3 cenários, com misturas de 5% (atualmente empregado), 8% e 12% de biodiesel no combustível mineral, e avaliados os impactos ambientais, em relação à poluição da água e do ar, e econômicos, em um horizonte de 4 anos.

Verificou-se que o incremento da proporção de biodiesel diminui o potencial de poluição hídrica (cerca de 240.000 litros, a menos, poluídos por ano), visto que uma maior quantia de óleo terá um descarte correto; gera uma menor quantidade de CO2 (cerca de 240.000 kg ao longo dos 4 anos),

pois a quantidade total de óleo mineral queimada será menor; e representa uma economia financeira (na ordem de R$ 17.000,00 anuais), já que um menor volume de óleo fóssil precisará ser adquirido.

Dessa forma, sugere-se que a IES atue na coleta do óleo, geração de biodiesel e emprego dele como combustível nos tratores, assim como em outros veículos movidos a diesel. Em especial, é indicado que faça uso do combustível B12, isto é, com 12% de óleo vegetal, tendo em vista o seu melhor desempenho. Além disso, espera-se que este modelo possa servir de exemplo para outras instituições, de ensino ou não, para que o óleo tenha um destino correto, podendo voltar à cadeia produtiva como matéria-prima.

REFERÊNCIAS

AGARWAL, A. K.; DAS, L. M. Biodiesel Development and Characterization for Use as Fuel in Compression Ignition Engines. *J. Eng. GasTurb. Power-T. ASME*, v.123, p.440-447, 2001.

ALTAMIRANO, C. A. A. *Análise de ciclo de vida do biodiesel de soja:* uma comparação entre as rotas metílica e etílica. Dissertação Escola de Química – TPQBq UFRJ 2013.

ANDRADE, A. L.; SELEME, A.; RODRIGUES, L. H.; SOUTO, R. *Pensamento Sistêmico:* Caderno de Campo: o desafio da mudança sustentada nas organizações e na sociedade. Porto Alegre: Bookman, 2006.

BECHET, Q.; SHILTON, A.; FRINGER, O. B.; MUNOZ, R.; GUIEYSSE, B. Mechanistic Modeling of Broth Temperature in Outdoor Photobioreactors. *Environmental Science & Technology*, v. 44, n. 6, p. 2197-2203, 2010.

BIODIESEL. *Programa nacional de produção e uso de biodiesel:* o programa. Disponível em: <http:www.biodiesel.gov.br>. Acesso em: 05 jul 2016.

BIODIESELBR. *O quê é o Biodiesel?* 2006. Disponível em: <http://www.biodieselbr.com/biodiesel/definicao/o-que-e-biodiesel.htm>. Acesso em: 12 mai 2016.

BIODIESELBR. *Reciclagem de Óleo de Cozinha*, 2007. Disponível em: <www.biodieselbr.com>. Acesso em: 22 mar 2016.

BNDES - Banco Nacional do Desenvolvimento. *Nova Diretoria do BNDES Lança Programa do Biodiesel*, 2004. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/>. Acesso em: 10 abr 2015.

BRASIL. Resolução n. 275, de 25 de abril de 2001. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. *Manual de saneamento*. 3. ed. rev. - Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2006.

CAETANO, M. *McDonald's Lança Projeto de Biodiesel a partir do Óleo de Cozinha*. 2010. Disponível em: <http://revistagloborural.globo.com/GloboRural/0,6993,EEC1711075-1934,00.html>. Acesso em: 20 abril 2016.

CHRISTOFF, P. *Produção de Biodiesel a partir do Óleo Residual de Fritura Comercial:* Estudo de Caso. Guaratuba, litoral paranaense. Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – LACTEC, Paraná, 2006.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Nº430, Brasília-DF. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>. Acesso em: 20 mai 2016.

CUNHA, V.; CAIXETA, F. J. V. Gerenciamento da coleta de resíduos sólidos urbanos: estruturação e aplicação de modelo não-linear de programação por metas. *Gestão & Produção*, v. 9, n. 2, p.143-161, ago. 2002. Disponível em <http://www.scielo.br/pdf/gp/v9n2/a04v09n2.pdf>. Acesso em: 20 mai 2016.

DEMIRBAS, M. F. Biorefineries for Biofuelupgrading a CriticalReview*. Applied Energy*, v. 86, s. 1, p. 5151-5161, 2009.

DORADO, M. P.; ARNAL, J. M.; GOMEZ, J.; GIL, A.; LOPEZ, F. J.The Effect of Waste Vegetable Oil Blend with Diesel Fuel on Engine Performance.Trans. *ASAE*, v. 45, p. 525-529, 2002.

FERRARI, R. A.; OLIVEIRA, V. S.; SCABIO, A. Biodiesel de Soja: taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização físico-química e consumo em gerador de energia. *Quim. Nova*, v. 28, n. 1, p. 19-23, 2005.

HOLANDA, A. *Biodiesel e inclusão social*. 1. ed. Brasília: Câmara dos Deputados, Coordenação de publicações, 29-40 p,2004.

JUNIOR, P. O. S. R.; NOGUEIRA, N. M. S.; SACOMANO, J. B.; LIMA, J. L. A. *Reciclagem do Óleo de Cozinha Usado:* uma contribuição para aumentar a produtividade do processo. Key Elements for a Sustainable World: energy, water and climate change, São Paulo, May, 2009

LAW, A. M. *Simulation Modeling and Analysis*. 5 ed., McGraw-Hill, 2015.

LIMA, R. A. Aplicação do Projeto Didático-Pedagógico "Sabão Ecológico" em uma Escola Pública de Porto Velho – RO. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v. 18, n. 3, p.1268-1272, 2014.

LOPES, R. C.; BALDIN, N. *Educação Ambiental para a Reutilização do Óleo de Cozinha na Produção de Sabão:* projeto "Ecolimpo". In: IX Congresso Nacional de Educação, Paraná, 2009.

MANSVELT, P. R. J*. Green Consumerism***:** an A-to-Z guide. SAGE Publications, Inc., 2010.

MENDES, P. A. S. *Sustentabilidade na Produção e Uso do Biodiesel*. Curitiba: Annris, 2015.

MUÑHOZ, M. M.; MOREA. F. M. J. Emissions of an Automobile Diesel Engine Fueled with Sunflower Methyl Ester. *Transaction of the ASAE*. v. 47, n.1, p. 5-11, 2004.

NOGUEIRA, J. E. T.; DARBELLO, M. A. *Biodiesel*. In: 17º Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito. Empresa Municipal de Desenvolvimento de Campinas, 2009.

OLIVEIRA, J. J. Óleo de fritura usado sendo reaproveitado na fabricação de sabão ecológico: conscientizar e ensinar a sociedade a reutilizar de maneira adequada o óleo de cozinha. In: IX Congresso de Iniciação Cientifica do IFRN tecnologia e inovação para o semiárido. Rio Grande do Norte. *Anais...* Rio Grande do Norte, p. 1234-1239, 2014.

OLIVEIRA, B. M. G.; SOMMERLATTE, B. R. *Plano de Gerenciamento Integrado do Resíduo óleo de cozinha*. 2008. Disponível em: <http://www.projetoreciclar.ufv.br/docs/cartilha/pgi_oleo_cozinha.pdf>. Acesso em: mai. 2016.

OLIVEIRA, G. S.; FILHO, R. D. O. *Análise do Consumo de Combustível de Ônibus Urbano*. Anais do XVIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes (ANPET), 2014.

PARENTE, E.S. *Biodiesel:* uma aventura tecnológica num país engraçado. Fortaleza: Tecbio, 2003.

REIS, M. F.P.; ELLWANGER, R. M.; FLECK, E. Destinação de óleos de frituras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24, 2007, Belo Horizonte. *Anais*. Belo Horizonte: ABES, 2007.

RIBEIRO, E. M. F.; MAIA, J. O.; WARTHA, E. J. As Questões Ambientais e a Química dos Sabões e Detergentes. *Química Nova na Escola*, v. 32, n. 3, p. 169-175, 2010.

SANTOS, M. X.; SILVA, J. G. F. Aproveitamento do óleo residual de fritura na produção de biodiesel. *Revista do PPGEA/FURG-RS*, Rio Grande do Sul, v. 33, n.1, p. 299-306, jan./abr., 2016.

TAVARES, B. M.; SILVA, S. R. R. *Biodiesel:* Fonte de Combustível Limpo Atuando Como Rica Contribuição Estratégica, Social e Ecológica na Região de Lins. Trabalho de Conclusão de Curso, Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium, Lins, São Paulo, 2008.

VENTANA SYSTEMS. *VensimSimulation Software*. Disponível em: <http://www.vensim.com>. Acesso em: 12 mar 2016.

ZHANG, L.; KONG, S. C. *Vaporization modeling of petroleum-biofuel drops using a hybrid multi-component approach.Combustion and Flame*, v. 3, n. 6, p. 2448-2955, 2010.

ZUCATTO, L. C.; WELLE, I.; SILVA, T. N. D. Cadeia Reversa do Óleo de Cozinha: coordenação, estrutura e aspectos relacionais. *RAE - Revista de Administração de Empresas*, v. 53, n. 5, 2013.