



## USO DE DINÂMICA DE SISTEMAS PARA AVALIAÇÃO DE CENÁRIOS DE REAPROVEITAMENTO DE ÓLEO DE COZINHA NA PRODUÇÃO DE BIODIESEL EM UMA IES PÚBLICA

Tiago Antônio Rizzetti<sup>a</sup>; Glauco Oliveira Rodrigues<sup>a</sup>; Eugênio de Oliveira Simonetto<sup>a</sup>; Rodrigo Castro Gil<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Universidade Federal de Santa Maria

### Resumo

O artigo apresenta a modelagem e desenvolvimento de um modelo de simulação para avaliar a produção de biodiesel a partir do reaproveitamento do óleo de cozinha utilizado nos restaurantes Universitários (RU) de uma instituição de ensino superior (IES) pública. Para a construção do modelo (definição de variáveis e suas inter-relações) utilizou-se por base teórica as pesquisas bibliográficas e observações do processo da geração dos resíduos pós-uso do óleo de cozinha. Dentre os aspectos analisados está a redução do impacto ambiental, em função da redução do descarte inadequado do óleo de cozinha, e da redução na geração de CO<sub>2</sub> ocasionada pelo uso do biodiesel. Para avaliar as possibilidades de geração e reaproveitamento do óleo do RU na produção do biodiesel, foram gerados dois cenários: um cenário baseado na situação atual de geração do resíduo e, outro, denominado cenário futuro com melhores práticas de reaproveitamento e reciclagem desses. Os resultados obtidos através da simulação demonstram que, além da grande redução do impacto ambiental, o processo de reciclagem traz um significativo ganho econômico em função da redução de custos com a aquisição de combustível. O horizonte de tempo simulado foi de dez anos e foi utilizado o software Vensim para o desenvolvimento da simulação.

**Palavras-chaves:** Óleo de cozinha; reciclagem; reaproveitamento; biodiesel; simulação.

### 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, a preocupação com a sustentabilidade, assim como o uso de materiais provenientes de fontes renováveis estão no centro das atenções, não apenas por parte do governo, mas, também, por parte das empresas e da população em geral. No Brasil, assim como em todos os países em desenvolvimento, a preocupação com a destinação final adequada dos resíduos sólidos tem sido muito discutida. Essa destinação é um dos maiores problemas da sociedade moderna, pois a composição dos resíduos urbanos tem se modificado ao longo dos últimos anos e a produção dos mesmos tem aumentado significativamente (Oliveira *et al.*, 2009).

A geração de resíduos ocorre em quantidades e constituições que se alteram de acordo com o nível econômico da população e de diferentes aspectos culturais e sociais, assim como outras características locais. Na classificação apresentada por Pessin *et al.* (2002), o óleo de cozinha enquadra-se na categoria diversos dentre os resíduos urbanos. Por

ser um componente importante nas cozinhas, o óleo causa muitos problemas ao meio ambiente quando descartado de forma inadequada, tais como, incrustações nas tubulações e poluição na água (Oliveira *et al.*, 2009).

Por ser um excelente subproduto, o óleo de cozinha pode ser usado na produção de sabão e detergentes, ração animal, resina para colas, assim como, na produção de biodiesel, o qual tem mostrado-se uma alternativa aos combustíveis fósseis, além de utilizar matéria-prima renovável, agride menos o meio ambiente, reduzindo a emissão de gases causadores do efeito estufa.

Dentro desse contexto, o presente artigo apresenta um modelo de simulação e uma proposta de aproveitamento do óleo de cozinha residual, utilizado nos restaurantes universitários (RU) de uma instituição de ensino superior (IES) pública. No caso específico, foi simulada a possibilidade de



transformação do óleo em biodiesel e, sua posterior utilização como combustível dos veículos que realizam o transporte da comunidade acadêmica (intracampus e intercampi).

O artigo está estruturado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta o referencial teórico sobre as consequências do descarte incorreto do óleo de cozinha e conceitos sobre biodiesel. A Seção 3 apresenta o método de pesquisa aplicado no trabalho. A Seção 4 apresenta o cenário atual da geração de resíduos na IES, propõe um novo cenário, modelado através da ferramenta *Vensim PLE*, e apresenta os resultados gerados pelo modelo. Por fim, a Seção 5, apresenta as considerações finais.

## 2. PROCESSO DO TRATAMENTO DO ÓLEO DE COZINHA

Em função da diferença de densidade, o óleo de cozinha é mais leve que a água, portanto, quando misturado, tende a emergir, formando assim uma película sobre a massa de água que ocasiona a diminuição ou bloqueio da troca de oxigênio, resultando na morte dos seres vivos que nela habitam. Além disso, em função de sua viscosidade, tende a impermeabilizar o solo, além de atuar como um elemento agregador de diversas partículas que acabam por ocasionar problemas em tubulações prejudicando o escoamento e ocasionando enchentes (SABESP, 2007).

Os índices permitidos pelo CONAMA (2011) nos efluentes, para o óleo de cozinha são de 50 ml por litro, o que se traduz na necessidade de 18.400 litros de água para cada litro de óleo de cozinha descartado inadequadamente no ambiente. Segundo Santos (2009), estima-se que no Brasil são descartados 9 bilhões de litros por ano, sendo que somente 2,5% deste montante é reciclado. O potencial poluidor deste montante seria de 161,46 trilhões de litros de água ao ano. Ou seja, seriam necessários 2.650 anos para que a empresa pudesse tratar toda a água potencialmente poluída pelo óleo de cozinha (SABESP, 2007).

### 2.1. Alternativas para destinação do óleo de cozinha

Diante de tais dados, pode-se verificar que o descarte inadequado deste óleo é um problema bastante sério. Dessa forma, é imprescindível alguma estratégia de reutilização do resíduo, de forma que possa novamente ser inserido na cadeia produtiva, minimizando o impacto ambiental e agregando valor econômico ao resíduo. Dentre essas utilizações, as mais comuns são transformação em biodiesel ou sabão (SABESP, 2007).

O processo de logística reversa para obtenção deste óleo usado é bastante complexo (Zucatto *et al.*, 2013). Algumas iniciativas pontuais são provenientes de empresas que oferecem incentivos financeiros, para que restaurantes e condomínios forneçam o óleo de cozinha usado para posterior reciclagem.

Após recolhido, para que possa sofrer qualquer processo de transformação é necessário que seja feita a remoção de resíduos sólidos, geralmente restos de alimentos, bem como remoção da umidade presente no óleo. O primeiro faz-se através da filtragem, já o segundo é realizado pelo processo de decantação, já que o óleo e a água são misturas heterogêneas e, portanto, facilmente separáveis, somente após essa separação é possível utilizar o óleo em algum processo de reciclagem.

## 2.2 Biodiesel

O biodiesel é um combustível obtido a partir de matérias-primas vegetais ou animais. As matérias-primas vegetais são derivadas de óleos vegetais, as de origem animal, por sua vez, podem ser obtidas do sebo suíno, bovino e de aves (Parente, 2003). As etapas do processo de obtenção do biodiesel podem ser visualizadas na Figura 1.

O biodiesel compõe, junto com o etanol, importante oferta para o segmento de combustíveis. Ambos são denominados de biocombustíveis por derivarem de biomassa e por serem menos poluentes e renováveis. O biodiesel puro é denominado biodiesel, que também é chamado B100. Misturas de biodiesel com diesel mineral são denominadas por "BXX", onde "XX" refere-se à quantidade de biodiesel na mistura, por exemplo, B10 é uma mistura de 10% de biodiesel em 90% de diesel mineral. A Figura 1 apresenta o fluxograma da produção do biodiesel.

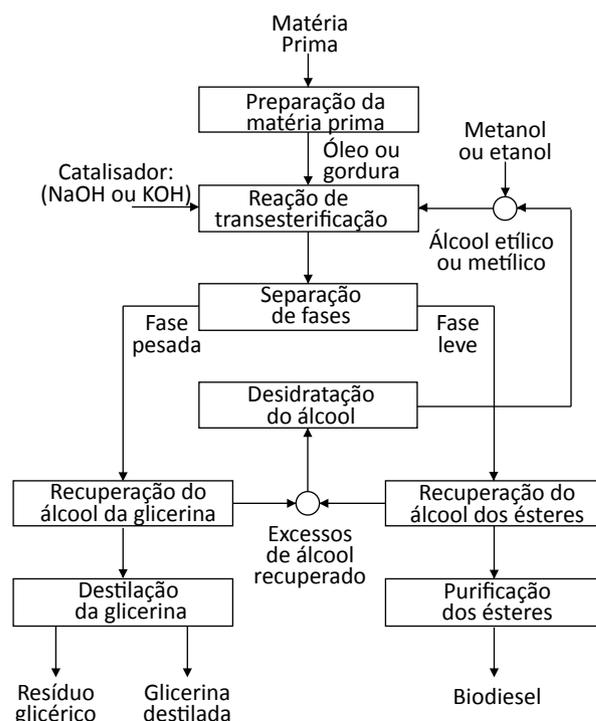


Figura 1 - Fluxograma do processo de produção de biodiesel

Fonte: Parente (2003)



### 3. MÉTODO DE PESQUISA

Neste trabalho, o método de pesquisa adotado para o desenvolvimento do modelo computacional foi baseada na metodologia por Law *et Kelton* (1991), a qual é constituída pelos seguintes passos: (1) estudos exploratórios em artigos científicos, relatórios e entrevistas com os gestores do ambiente simulado, no caso um RU, através destes dados o problema foi especificado e estruturado, assim como foi formulada a hipótese dinâmica, apresentada na Seção 3.1; (2) desenvolvimento da solução, pela construção de modelos formais capazes de representar o problema; (3) implementação computacional da solução, utilizando-se o simulador *Vensim* da área de *system dynamics*; (4) validação da solução, através de testes em laboratório e análise do comportamento histórico, para verificar se os resultados obtidos representam a realidade observada, bem como através da simulação de um experimento utilizando dois cenários para tal. Também foram entrevistados gestores das áreas envolvidas para garantir uma maior fidedignidade ao estudo.

#### 3.1. Formulação de Hipótese Dinâmica

Para Silva (2006), a hipótese dinâmica visa trabalhar o problema teoricamente, analisando o seu comportamento e observando quais as variáveis fazem parte do sistema. Neste artigo, incorporaram-se quatro variáveis básicas: variação do uso de óleo de cozinha por refeição, emissão de CO<sub>2</sub>, o biodiesel gerado e a economia de óleo diesel. O objetivo dessa etapa é formular uma hipótese que explique a dinâmica como consequência da estrutura interna do sistema por meio da interação entre as variáveis e os agentes representados no modelo. Assim, a hipótese dinâmica do modelo de *systems dynamics* deste trabalho é definida a seguir, como sendo: A variação da quantidade de refeições servidas pelo RU associado à quantidade de óleo de cozinha utilizado possui influência direta na quantidade total de resíduos de óleo gerado, bem como, na reciclagem dos mesmos e nos benefícios ambientais e financeiros gerados por essa (reciclagem).

#### 3.2. Dinâmica de Sistemas

A metodologia *system dynamics* (SD) permite o estudo do comportamento dos sistemas ao longo do tempo, permitindo a avaliação das consequências de nossas decisões. Por essa razão e a necessidade de estudar os impactos da reciclagem dos resíduos em um horizonte temporal futuro decidiu-se utilizá-la na modelagem e simulação computacional. Um modelo de SD pode ser definido como a estrutura resultante da interação de políticas. Esta estrutura é formada por dois componentes principais, que são os estoques e os fluxos. Ford (2009) define os SD como uma combinação

de estoques e fluxos que utilizam uma estrutura computacional para serem simulados.

### 4. MODELAGEM DO SISTEMA

A reciclagem, nos termos da lei, é o processo de transformação dos resíduos envolvendo a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, visando à transformação desses em insumos ou novos produtos (ABRELPE, 2014).

Atualmente, verifica-se a crescente geração de resíduos sólidos pela população, logo, demandando que alternativas viáveis ao melhor aproveitamento dos resíduos sejam criadas e executadas. Nesse aspecto, a reciclagem e o reaproveitamento dos resíduos surgem como alternativas viáveis, já que no momento em que o material é reciclado ou reaproveitado ele não polui o meio ambiente e não utiliza recursos naturais em excesso na sua transformação. Nesta seção serão apresentados as variáveis e o modelo desenvolvido, os cenários simulados no mesmo e, por fim, os resultados e a validação do modelo.

#### 4.1. Desenvolvimento do modelo e as variáveis componentes

Tendo por embasamento a importância dos processos citados para a preservação do meio-ambiente e os ganhos ambientais ocasionados por esses, nesse trabalho buscou-se o desenvolvimento de um modelo de simulação, o qual permitisse tanto aos gestores da área de resíduos avaliarem políticas de reciclagem/reaproveitamento do óleo de cozinha dos RU de uma IES pública, onde se avaliou os ganhos ambientais, visando o desenvolvimento sustentável, gerados por este, bem como os benefícios econômicos do processo.

No modelo, os ganhos ambientais avaliados foram a redução da poluição da água e da emissão de CO<sub>2</sub> e, com relação aos ganhos financeiros, foi avaliada a redução de gastos com a compra de diesel para os ônibus que fazem o trajeto interno no campus, bem como, o transporte intercampus.

As decisões, a partir das análises geradas pelo modelo, poderão envolver a busca pela reciclagem total dos resíduos de óleo de cozinha, busca pela redução do consumo do uso de óleo nas refeições, incentivos ao aumento do “consumo verde” (Mansvelt, 2010), bem como outras análises e observações de interesse dos gestores ambientais e/ou acadêmicos, desde que as mesmas sejam exequíveis no modelo de simulação. O modelo foi desenvolvido buscando 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.



Para a definição das variáveis do modelo de simulação apresentado na Figura 2 foram utilizados trabalhos acadêmicos e governamentais da área de resíduos, BNDES (2004), CONAMA (2011), Oliveira *et Orrico Filho* (2014) e Zucatto *et al.* (2013). As variáveis selecionadas, bem como suas inter-relações com outras variáveis, as quais influenciam nos valores totais do reaproveitamento do óleo de cozinha na produção de biodiesel, são:

A variável **OleoParaReciclar** obtida a partir das variáveis **OleoPorRefeicao** e **QuantRefeicao**, ou seja, a quantidade de óleo disponível para reciclagem é o produto da quantidade de óleo residual por refeição pela quantidade de refeições servidas. As variáveis descritas são representadas na equação (1) do modelo de equações da Figura 3;

A variável **BiodieselGerado** é obtida através do produto da variável **OleoParaReciclar** pela variável **TaxaAprovOleo**, a qual representa o quanto se aproveita do óleo residual quando da reciclagem do mesmo. As variáveis descritas são representadas na equação (2) do modelo de equações;

A variável **ReducaoPoluicaoAgua** é obtida através do produto da quantidade de óleo residual pelo potencial poluidor de cada litro despejado inadequadamente, ou seja, 18.400 litros de água por litro de óleo. A variável é descrita na equação (3) do modelo de equações apresentado na Figura 3;

A variável **ReducaoCO2** é obtida através do produto da quantidade de biodiesel gerado pela quantidade de emissão de CO<sub>2</sub> por litro de diesel comum (2,66 kg/CO<sub>2</sub>) pela redução estimada do biodiesel (15%). A equação (4) do modelo de equações descreve a variável;

A variável **ConsumoMedioBiodiesel** é obtida pelo produto do **ConsumoMedioDiesel** (consumo médio do diesel tradicional) pelo aumento de consumo estimado entre 5% e 10% do biodiesel. A equação (5) do modelo de equações representa a variável descrita;

A variável **Economia** representa os ganhos financeiros do reaproveitamento do óleo de cozinha e é obtida utilizando-se as variáveis **ConsumoMedioBiodiesel**, **BiodieselGerado**, **ValorDiesel** e **CustoProducao** (que representa o custo estimado por litro de biodiesel produzido). A variável é descrita na equação (6) do modelo de equações apresentado na Figura 3;

A variável **GeracaoGlicerina** representa o total de glicerina gerado pela produção do biodiesel a partir do óleo de cozinha reciclado. A taxa de geração é 10% do total de biodiesel produzido. Cabe ressaltar que essa variável não foi objeto principal deste estudo, mas a partir da glicerina podem ser produzidos outros produtos. Tal fato demonstra a importância do reaproveitamento do óleo, não só pelos ga-

nhos ambientais, mas também pelos financeiros. A variável é descrita na equação (7) do modelo de equações apresentado na Figura 3.

## 4.2. Cenários simulados no modelo

A razão de transformação do óleo de cozinha em biodiesel, através da inserção do metanol é da ordem de 80% (Santos, 2009), embora outras referências apresentem divergências neste valor (Zucatto *et al.*, 2013). Como subproduto no processo há também a geração de glicerina, correspondendo a aproximadamente 10% (Yang *et al.*, 2012)

Vale ressaltar que os motores a diesel, sem adaptação, funcionarão com biodiesel com mistura máxima de 20%. Ou seja, o biodiesel produzido deverá ser misturado ao diesel comum, para que possa ser utilizado. No Brasil, desde o ano de 2013, a legislação estabelece que o diesel comum deve ter presente 5% de biodiesel, o que caracteriza o diesel B5. Portanto, a partir desta mistura, poderá ser adicionado o biodiesel gerado, formando o B20 que poderá ser utilizado como combustível. Desta forma, para cada litro de diesel B5 deverá ser adicionado 190 ml do biodiesel produzido.

Além da redução do impacto ambiental resultante do descarte inapropriado, outras vantagens adicionais poderão ser obtidas decorrentes da utilização do biodiesel. Dentre elas, a redução do dióxido de carbono emitido na atmosfera através da queima do combustível, visto que o biodiesel gera uma quantidade menor deste poluente. Há também impacto econômico, pela redução da compra de diesel para utilização nesses veículos.

De acordo com os dados da resolução do CONAMA (2011), é admitido a presença de até 50 mg/l de óleos vegetais e gorduras animais nos efluentes. A densidade recomendada pela ANVISA para o óleo de cozinha é de 0,920. A partir destes dados, pode-se calcular de fato o impacto ambiental causado por litro de óleo descartado de forma indevida no ambiente.

Desta relação tem-se que cada litro de óleo precisa de 18.400 litros de água para dispersão. Esse valor é inferior aos valores indicados em Oliveira *et Sommerlatte* (2009) e Zucatto *et al* (2013), porém, não se identificou o respaldo para os valores alegados em tais referências.

A modelagem desenvolvida, a variável causadora de maior impacto, a sensibilidade do modelo é a quantidade de refeições servidas. Essa é diretamente afetada por variações nos números de alunos e servidores presentes na instituição. Baseado em relatórios internos fornecidos pela IES, o crescimento no número de refeições foi estimado em torno de 5.000 refeições/ano.



A quantidade de óleo utilizada atualmente se mantém constante, em torno de 0,00411 litros por refeição servida. A Figura 2 apresenta graficamente a modelagem desenvolvida, ou seja, as variáveis componentes do sistema, bem como, suas inter-relações.

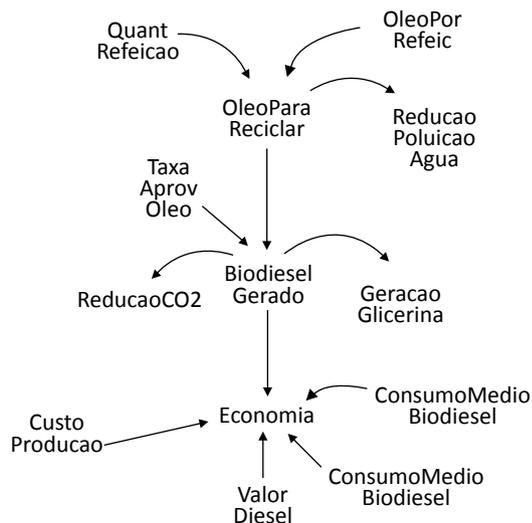


Figura 2 - Modelo de simulação desenvolvido

Fonte: Autores, 2015

O custo de produção do biodiesel é fortemente influenciado pelo custo da matéria-prima utilizada que, neste caso, é gratuita. Os custos envolvidos referentes ao processo e aos demais produtos necessários a reação química são estimados em torno de R\$ 0,30 por litro de óleo, ou seja, aproximadamente R\$ 1,05 por litro de biocombustível B100.

Sabe-se que o diesel comum emite 2.669 KgCO<sub>2</sub> por litro de combustível queimado, o diesel B5, ou seja, o diesel padrão disponível no Brasil hoje, apresenta uma redução de poluição, em relação ao diesel comum, de 3,75%. Já o diesel B20, alcança um índice de redução da poluição de 15,28%. Dessa forma é possível mensurar a redução do CO<sub>2</sub>, um dos principais gases do efeito estufa, em função da redução do uso do óleo diesel comum. Porém, vale ressaltar que o diesel B20, apesar de reduzir os níveis de poluição apresenta uma redução no rendimento, consumindo 6% a mais de

combustível em relação ao diesel comum (o que é levado em consideração na formulação do modelo).

Baseado nestas informações, projetou-se dois cenários: um chamado cenário atual, onde é representado apenas o incremento do número de refeições servidas; e cenário futuro, no qual, além do incremento no número de refeições servidas, varia-se a quantidade de óleo utilizada por refeição e também a taxa de aproveitamento. A proposta é minimizar o impacto ambiental causado pelos resíduos gerados, isso pode ser obtido através de processos mais eficientes de transformação ou através da redução de geração destes resíduos, situação que é representada neste cenário. Na Tabela 1 são apresentados os valores das variáveis utilizadas em ambos os cenários.

Tabela 1 - Configuração das variáveis utilizadas nos cenários

Variável	Cenário Atual	Cenário Futuro
Número de refeições	1,449 milhões refeições/ano	Acréscimo de 5.000 refeições/ano
Óleo por refeição	0,00411mL	Reduzindo 5 % até o ano 4, 2% do ano 5 a ano 8, 0,5% do ano 9 a ano 10
Taxa de aproveitamento no processo de reciclagem	80%	80 % incrementados linearmente até atingir 90 % no ano 10
Custo de Produção	R\$ 1,05	R\$ 1,05
Valor do óleo Diesel (B5)	R\$ 2,65	R\$ 2,65
Rendimento Biodiesel(B20)	94%	94%
Consumo do óleo diesel	3,03 Km/l	3,03 Km/l
Geração de glicerina	10%	10%
Poluição CO <sub>2</sub>	2,669 KgCO <sub>2</sub>	2,669 KgCO <sub>2</sub>
Redução Biodiesel(B20)	15,38%	15,38%
Potencial poluidor por litro de óleo descartado de forma inadequada	18.400 l de água	18.400 l de água

Fonte: Autores (2015)

- (1)  $OleoParaReciclar(t) = OleoPorRefeicao(t) * QuantRefeicao(t)$
- (2)  $BiodieselGerado(t) = OleoParaReciclar(t) * TaxaAprovOleo$
- (3)  $ReducaoPoluicaoAgua(t) = 18400 * OleoParaReciclar(t)$
- (4)  $ReducaoCO2(t) = (2.669 * 0.85) * BiodieselGerado(t)$
- (5)  $ConsumoMedioBiodiesel(t) = ConsumoMedioDiesel(t) * [0.9..0.95]$
- (6)  $Economia(t) = ((ConsumoMedioBiodiesel(t) * BiodieselGerado(t)) * ValorDiesel(t)) / ConsumoMedioDiesel(t) - CustoProducao(t)$
- (7)  $GeracaoGlicerina(t) = BiodieselGerado(t) * 0.1$

Figura 3 - Modelo de equações da simulação desenvolvida.

Fonte: Autores (2015)



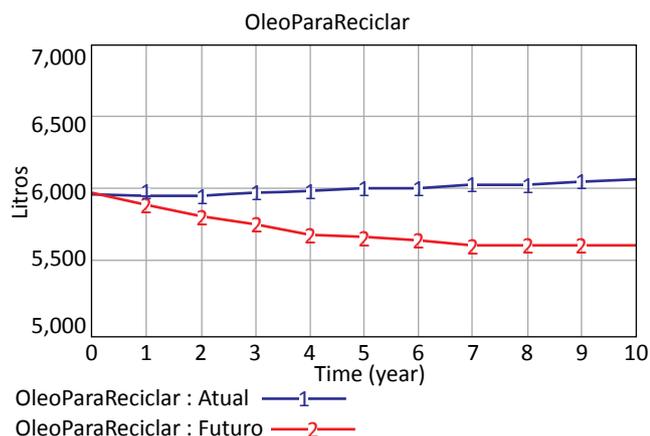
### 4.3. Resultados e possibilidades de uso do biodiesel gerado na IES

Diante da gravidade do cenário, onde o óleo de cozinha é descartado no meio ambiente, e das iniciativas incipientes de reciclagem deste resíduo, foi criada uma proposta para reutilizá-lo como matéria prima para a fabricação de biodiesel. Para a análise dos resultados gerados pelo modelo de simulação, levou-se em consideração a possibilidade do combustível produzido ser utilizado nos ônibus que realizam o transporte interno no campus, bem como o transporte intercampi da IES pública analisada.

Os ônibus (transporte exclusivo da IES) perfazem um total de cerca de 800 km/mês no transporte intracampus e 12.000 km/mês no transporte intercampus. Considerando-se uma média de consumo obtida através do estudo de Oliveira *et* Orrico Filho (2014), para um ônibus leve, tem-se 0,330 l/km ou 3,03 Km/l.

Nos cenários modelados considerou-se que a reciclagem do óleo de cozinha, além de reduzir o impacto ambiental em função do descarte inapropriado, tem outros impactos positivos, como a obtenção de um combustível menos poluente que o tradicionalmente obtido através dos combustíveis fósseis. Assim, a seguir, são apresentados os resultados obtidos através da simulação do modelo no *Vensim PLE*.

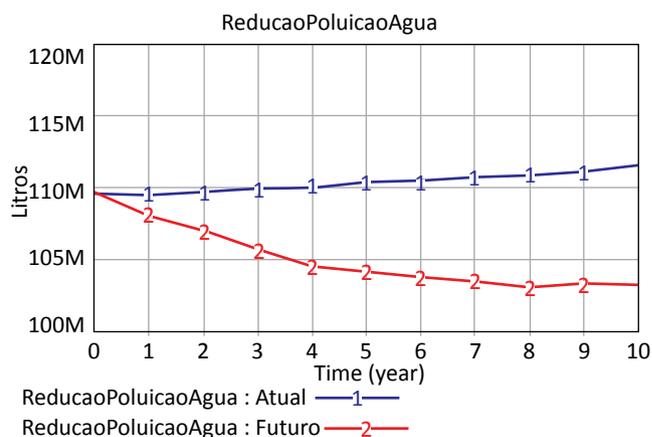
A Figura 4 apresenta os resultados relativos à variação na produção de óleo para o cenário atual e cenário futuro. Nota-se uma redução na produção de resíduos no cenário futuro, mesmo com o aumento gradual no número de refeições, a redução na quantidade deste produto utilizado no preparo das refeições contribui significativamente para reduzir sua geração.



**Figura 4** - Variação na geração de óleo (resíduo)  
 Fonte: Autores (2015)

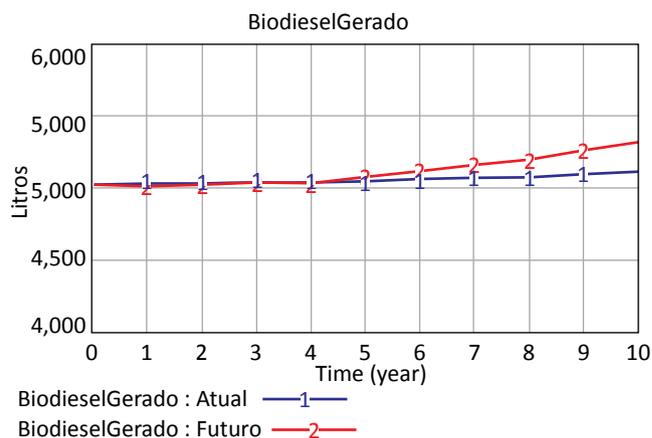
O potencial poluidor para o resíduo de óleo de cozinha gerado pelo cenário atual e cenário futuro pode ser obser-

vado na Figura 5. Mantendo-se o cenário atual, no horizonte de 10 anos, a quantidade total de resíduo de óleo gerado no decorrer deste período será de 65.949,07 litros, cujo potencial poluidor é mais de 1,2 bilhão de litros de água. Nota-se que o cenário atual tem um potencial poluidor maior em função da maior geração de resíduos.



**Figura 5** - Variação do potencial poluidor  
 Fonte: Autores (2015)

O potencial de geração de biodiesel, através da reciclagem, é apresentado na Figura 6, sua variação é diretamente proporcional a quantidade de resíduos produzidos e a taxa de aproveitamento do processo de reciclagem. No cenário futuro, em função do crescimento da taxa de aproveitamento no processo de transformação, apresenta um resultado aproximadamente 5% maior que o atual cenário de produção (caso fosse gerado).



**Figura 6** - Geração de Biodiesel  
 Fonte: Autores (2015)

No período simulado, caso mantenha-se o cenário atual da utilização de diesel comum, seriam reduzidos quase 11.000 kg de CO<sub>2</sub> por ano, com a fabricação de biodiesel, o



potencial de redução é apresentado na Figura 7. O cenário futuro, apesar de evidenciar o aumento a redução em 464 kgCO<sub>2</sub> no 10º ano simulado, pode ser considerado um bom resultado, pois nesse cenário considera-se um relativo aumento nas refeições do RU. Logo, aumenta-se consideravelmente o biodiesel produzido, reduzindo, assim, as emissões.

Além da redução do impacto ambiental, através da reutilização deste resíduo, tem-se uma economia de mais de R\$ 120.000,00 ao longo de 10 anos, já subtraídos os custos envolvidos na produção do biodiesel. A Figura 8 apresenta o impacto financeiro do reaproveitamento do óleo de cozinha ao longo dos dez anos simulados.

Nota-se que o cenário futuro apresenta uma melhoria considerável na economia de, aproximadamente, 4%. Vale salientar que o cenário futuro representa uma redução do óleo utilizado por refeição, porém, em função do aumento da eficiência do processo de transformação permite-se gerar maior quantidade de biodiesel pelo resíduo restante, contribuindo significativamente para maior economia. A Tabela 2 sumariza os resultados para ambos os cenários.

A validação destes cenários foi realizada através da análise do comportamento histórico dos valores das variáveis, utilizando-se a comparação dos valores obtidos, para cada uma das variáveis do cenário, com aqueles observados previamente no RU. Ainda, em tratando-se da validação do modelo desenvolvido, foram entrevistados gestores da área de nutrição e da área ambiental (no que se refere às reais possibilidades de produção do biodiesel).

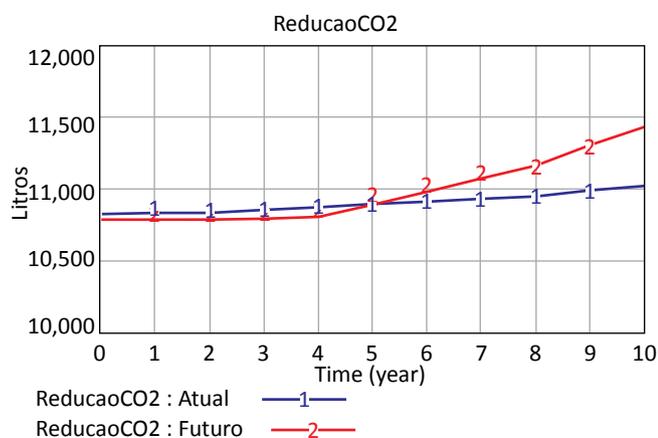


Figura 7 - Redução de Emissão CO<sub>2</sub>

Fonte: Autores (2015)

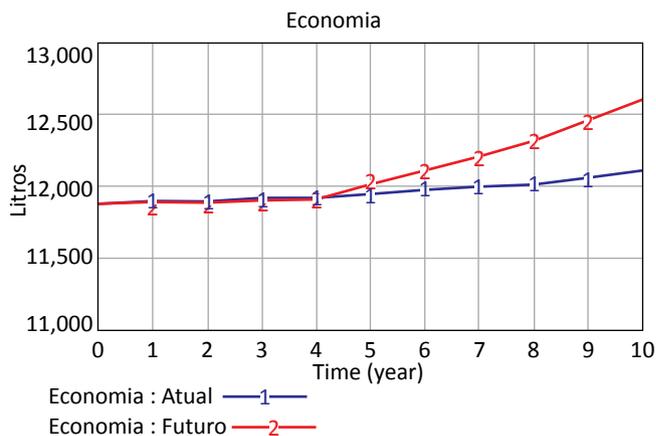


Figura 8 - Economia ocasionada pela reciclagem do óleo de cozinha

Fonte: Autores (2015)

Tabela 2: Resultados sumarizados nos cenários analisados

Variável	Atual (Ano 10)	Futuro (Ano 10)
Compra de combustível	R\$ 99.866,80	R\$ 99.357,70
Economia por Ano	R\$ 12.079,80	R\$ 12.588,90
Redução Emissão de CO <sub>2</sub>	11.002 kgCO <sub>2</sub>	11.466 kgCO <sub>2</sub>
Redução da Poluição da água	111.545.000 l	103.330.000 l

Fonte: Autores (2015)

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho apresentou a proposta de um modelo para o aproveitamento do óleo de cozinha utilizado nos RU de uma IES pública. Os resultados apresentados foram obtidos através de simulações feitas utilizando o software *Vensim*. Porém, já é possível afirmar que, além da redução, o impacto ambiental e a economia gerada para um cenário de 10 anos justificam a aplicação dos resultados gerados pelo modelo.

Dentre os principais resultados ocasionados pela reciclagem do óleo de cozinha gerado pelo RU tem-se uma economia de mais de R\$ 120.000,00, na aquisição de diesel, ao longo de 10 anos, já subtraídos os custos envolvidos na produção do biodiesel. Quanto à redução dos impactos ambientais, também objeto de estudo da pesquisa, verificou-se que com a reciclagem do óleo do RU e, com seu posterior uso nos veículos de transporte da IES, a emissão de CO<sub>2</sub> no meio ambiente seria reduzida em 11 toneladas ao ano. Outro importante fator ambiental evidenciado na pesquisa é o potencial poluidor pelo óleo residual, mas na IES em questão tal fato não ocorre.



Como possíveis trabalhos futuros estão a expansão do modelo, para abranger o cenário de outras instituições de ensino da esfera federal, e talvez municipal e estadual, além da busca por parceiras para a produção de biodiesel e também outros produtos para qual o óleo de cozinha pode ser uma excelente matéria prima.

## REFERÊNCIAS

- ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. (2014), *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2013*, Brasília, DF.
- BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. (2004), “Nova diretoria do BNDES lança programa do biodiesel”. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br/>>. (Acesso em Dezembro de 2014).
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente (2011). Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Brasília, DF.
- Daellenbach, H. G. et McNickle, D. C. (2005), “Management science decision making through systems thinking”, Palgrave Macmillan, New York.
- Ford, A. (2009), “Modeling the Environment”, 2. ed. Island Press.
- Law, A. M. et Kelton, W. D. (1991), “Simulation modeling and analysis”, 2. ed., McGraw-Hill, New York.
- Mansvelt, P. R. J. (2010), “Green Consumerism: A n A-to-Z Guide”, SAGE Publications, California, USA.
- Oliveira, B. M. G et Sommerlatte, B. R. (2009), “Plano de gerenciamento integrado do resíduo óleo de cozinha”, Disponível em: <[http://www.projetoreciclar.ufv.br/docs/cartilha/pgi\\_oleo\\_cozinha.pdf](http://www.projetoreciclar.ufv.br/docs/cartilha/pgi_oleo_cozinha.pdf)> (Acesso em maio de 2015).
- Oliveira, G. S. et Orrico Filho, R. D. (2014), “Análise do consumo de combustível de ônibus urbano”, artigo apresentado no XVIII ANPLET: Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, Curitiba, PR, 24-28 de Novembro, 2014.
- Parente, E.S. (2003), *Biodiesel: uma aventura tecnológica num país engraçado*, Tecbio, Campinas, SP.
- Pessin. N., Mandelli, S e Quassini, C. S, “Diagnóstico preliminar da geração de resíduos sólidos em sete municípios de pequeno porte da região do vale do caí, RS”, apresentado em Simposio Internacional de Qualidade Ambiental, Porto Alegre, RS, 2002.
- Reis M. P. F. P, Ellwanger R. M e Fleck. E, “Destinação de óleos de frituras”, apresentado no 24º CBESA: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2-7 de Setembro, 2007.
- Santos. R. S. (2009), “Gerenciamento de resíduos: coleta de óleo de cozinha”, Disponível em: <<http://www.poslogistica.com/web/TCC/2009-2/tcc-268.pdf>> (Acesso em 12 de maio de 2015).
- Silva, E. (2006), “O impacto da gestão do tamanho da força policial na taxa de violência em Curitiba: uma abordagem qualitativa sob o referencial da dinâmica de sistemas”, Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, PR.
- Simonetto, E. O. et Lobler, M. L. (2013), “Simulação computacional para avaliação de cenários sobre a reciclagem de resíduos sólidos urbanos e o seu impacto na economia de energia”, apresentado no IX Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação, 22-24 de Maio, 2013.
- Simonetto, E. O., Rodrigues, G.O, Dalmolin, L. C. e Modro, N. (2014), “O uso da dinâmica de sistemas para avaliação de cenários da reciclagem de resíduos sólidos urbanos”, *Revista Gestão, Inovação e Tecnologias*, Vol. 4, No. 2, pp. 910-924.
- SABESP - Companhia de Sabeamento Básico do Estado de São Paulo (2007), “Programa de Reciclagem de Óleo de Fritura da Sabesp”, disponível em: <[http://www.site.sabesp.com.br/uploads/file/asabesp\\_doctos/programa\\_reciclagem\\_oleo\\_completo.pdf](http://www.site.sabesp.com.br/uploads/file/asabesp_doctos/programa_reciclagem_oleo_completo.pdf)> (Acesso em Maio de 2015).
- VENSIM – Ventana Simulations (2014), “Vensim simulation software”. Disponível em: <<http://www.vensim.com>>. (Acesso em Dezembro de 2014).
- Yang, F., Hanna, M e Sun, R. (2012), “Value-added uses for crude glycerol—a byproduct of biodiesel production”, *Biotechnology for Biofuels*, Vol. 5, No. 13.
- Zucatto, L. C., Welle, I. e Silva, T. N. D. (2013), “Cadeia reversa do óleo de cozinha: coordenação, estrutura e aspectos relacionais”, *Revista de Administração de Empresas*, Vol. 53, No. 5, pp. 442-453.