

Utilização do BIOBOT 20 para fabricação de biodiesel em uma empresa de transporte urbano

Use of the BIOBOT 20 to manufacture biodiesel in an urban transport company

Glauco Oliveira Rodrigues** *Erick William Pereira** *** **Claudete Santos** **** **Claudia Aline de Souza Ramser**

Informações do artigo

Recebido em: 06/02/2023

Aprovado em: 24/05/2023

Palavras-chave:

Biodiesel, Dinâmica de Sistemas, Modelagem Computacional.

Keywords:

Biodiesel, Systems Dynamics, Computational Modeling.

Autores:

*Bacharela e Mestre em Administração pela Universidade de Caxias do Sul (UCS) e Doutora em Agronegócios pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

alicemunz@gmail.com

**Licenciada em Física pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS) e Doutora em Educação para a Ciência e a Matemática pela Universidade Estadual de Maringá (UEM).

milene.rm1@gmail.com

Como citar este artigo:

RODRIGUES, Glauco Oliveira; PEREIRA, Erick William; SANTOS, Claudete; RAMSER, Claudia Aline de Souza. Utilização do BIOBOT 20 para fabricação de biodiesel em uma empresa de transporte urbano. **Competência**, Porto Alegre, v. 16, n. 1, jun. 2023.

Resumo

Este trabalho apresenta a compreensão, desenvolvimento e execução de um modelo computacional, visando analisar o custo benefício da adesão do BIOBOT 20 por uma empresa de transporte coletivo, produzindo o seu próprio biodiesel. Para o desenvolvimento do modelo, utilizou-se o método de Dinâmica de Sistemas, mediante uso da integração numérica. O Vensim (versão 2016), possibilitou desenvolver, documentar, simular e analisar os modelos, constatando o impacto ambiental e social causado pela coleta nos sete municípios estudados. A implementação utilizou-se de dados históricos para verificara integração entre os módulos do modelo e dos resultados gerados, avaliando-se as saídas produzidas pelo modelo de simulação a partir de dados reais fornecidos aos mesmos. Os resultados foram satisfatórios e atenderam às expectativas dos projetistas.

Abstract

This work presents the understanding, development and execution of a computational model, aiming to analyze the cost benefit of joining BIOBOT 20 by a public transport company, producing its own biodiesel. For the development of the model, the System Dynamics method was used, using numerical integration. Vensim (version 2016) made it possible to develop, document, simulate and analyze the models, verifying the environmental and social impact caused by the collection in the seven municipalities studied. The implementation used historical data to verify the integration between the model modules and the results generated, evaluating the outputs produced by the simulation model from real data provided to them. The results were satisfactory and met the designers' expectations.

1 INTRODUÇÃO

As atividades do setor terciário nas cidades têm assumido papel cada vez mais predominante na geração de empregos, provocando um aumento constante na necessidade de deslocamentos. O transporte urbano é essencial à vida moderna, pois oferece suporte e torna possível a maior parte dos moradores o deslocamento para realizar as atividades sociais e econômicas dos países.

No Brasil existem diferentes modos para o transporte de passageiros como o metrô, BRTs (transporte rápido por ônibus), ônibus entre outros e cada um com a sua operacionalidade. Por isso, torna-se fundamental conhecer os subsistemas de cada modal de transporte para poder compreender os impactos gerados aos meios físicos, biótico e antrópico nas diferentes etapas dos sistemas de transporte.

O transporte, apesar de indispensável, também influi no meio ambiente, representando uma atividade que depende da utilização de muita energia, a qual acarreta na queima de combustíveis prejudiciais ao meio ambiente, visto que, boa parte do combustível queimado é de origem fóssil (DE ROCCO; HENKES, 2020). Todavia, do ponto de vista econômico, representa um serviço que não gera riqueza, mas ajuda a desenvolver os potenciais produtivos das demais atividades, agregando valor de “tempo” e “espaço” à massa. Ademais, através do transporte coletivo as pessoas podem se deslocar de uma região a outra, utilizando um veículo com capacidade de muitos passageiros, otimizando o espaço e o fluxo do trânsito.

De acordo os dados da Agência Nacional de Energia, o combustível fóssil mais utilizado é o petróleo, sendo que, em 2011, 62% do petróleo consumido em todo o mundo destinou-se ao setor de transporte (DE ROCCO; HENKES, 2020). O boletim da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) publicado em junho de 2017, aponta que no ano de 2015 o consumo mundial de petróleo totalizou 95 milhões de barris/dia, sendo o Brasil o quinto maior consumidor, com aproximadamente 3,2 milhões de barris/dia (3,3% do total mundial) (ANP, 2017). Diante deste cenário, o país tem buscado alternativas para os derivados do petróleo como principal fonte de energia para os transportes, já que em 2011, segundo dados do Ministério de Minas e Energia, respondia por 30% do consumo nacional de energia.

Nesse sentido, o biodiesel ganha espaço no mercado, sendo uma opção para sua utilização em motores a diesel. Tal prática auxiliaria na diminuição do uso do petróleo, podendo ser uma solução para a dependência de muitos países quanto ao uso do mesmo (NEDER, 2022). O Brasil é o segundo maior produtor de Biodiesel, e a indústria espera produzir 4,5 bilhões de litros em 2017 um aumento de 20% comparado à 2016 (PINTO, 2020).

Uma das principais justificativas para a utilização de biodiesel no transporte urbano se dá pela substituição estratégica dos derivados do petróleo, além de reduzir as emissões líquidas de gases de efeito estufa, principalmente o CO₂, e possuir menor custo comparado ao petróleo (CONCEIÇÃO *et al.*, 2022).

Dentre as diversas maneiras de produzir biodiesel, surge a mini usina BIOBOT20. Essa ferramenta é muito utilizada por pequenos produtores para refinar óleos vegetais através da transesterificação. O BIOBOT 20 tem capacidade de produção de 20 litros por hora. O processo de produção é dividido em três etapas: i) inicialmente o óleo é colocado dentro da câmara de reação para aquecimento e mistura; ii) na sequência o óleo é testado com o objetivo de verificar a quantidade de ácidos gordos livres, além de determinar a quantidade certa de catalisador de hidróxido de sódio necessário; e iii) por fim, são misturados quatro litros de metanol até o combustível ficar pronto

A partir desta perspectiva o artigo apresenta um modelo de simulação computacional para avaliação de cenários a partir do uso de biodiesel por uma empresa de transporte urbano, analisando o impacto financeiro, no transporte, em uma projeção de dez anos.

2 BIODIESEL

O biodiesel surgiu a partir de uma invenção na exposição mundial em Paris no ano de 1900. Na ocasião, o Dr. Rudolf Diesel apresentou aos presentes um motor diesel de injeção indireta utilizando óleo de amendoim como combustível (OLIVEIRA, 2020). Nessa época, segundo Mafuani (2022), motores com essa característica, eram alimentados por petróleo filtrado, óleos vegetais e, até mesmo, óleo de peixe. Contudo, os estudos sobre o biodiesel foram esquecidos até o momento em que os países tiveram que pensar no desenvolvimento de fontes alternativas de energia que pudessem substituir, em parte ou totalmente, a primazia dos combustíveis fósseis (HAGE; NAVARRO, 2022). Outro fator importante foi o Protocolo de Kyoto, que tem como objetivo promover a redução sistemática na emissão de gases causadores do efeito estufa.

O combustível secular (biodiesel) é uma alternativa aos combustíveis derivados do petróleo, emitindo menos gases poluidores e atualmente está sendo testada em países como a Argentina, Estados Unidos, Malásia, Alemanha, França entre outros (TAVARES; SILVA, 2008).

O biodiesel é definido, segundo a lei nº 11.097 de 13 de setembro de 2005, como um biocombustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna com ignição por compressão ou para geração de outro tipo de

energia, que possa substituir parcial ou totalmente o combustível fóssil. É obtido através de processos, tais como o craqueamento, esterificação, ou pela transesterificação, processo mais utilizado para a sua produção. Também possuem viscosidade e características de combustão semelhante as do diesel de petróleo, sendo tais características adquiridas através da reação química entre triglicerídeos ou ácidos graxos e um álcool de pequena cadeia carbônica (geralmente, metanol ou etanol).

Segundo Freitas (2022), o conceito de biodiesel adotado pela ANP, é de um combustível natural, usados em motores diesel, produzido através de fontes renováveis e que atende a especificações da Resolução ANP nº 14, de 11 de maio de 2011. Ainda, pode ser definido como combustível composto de *alquil* ésteres de ácidos graxos de cadeia longa, derivados de óleos vegetais ou de gorduras animais, conforme a especificação contida no Regulamento Técnico ANP nº 4 de 2012, anexo da resolução ANP nº 14/2012 (BRASIL, 2008).

Seguindo a linha de pesquisa da ASTM (*American Society for Testing and Materials*), Crestana (2008) e da EMBRAPA, considera-se o biodiesel quimicamente constituído por ésteres *monoalquílicos* de ácidos graxos de cadeia longa, derivados de gorduras naturais. O Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT), representado por Cristo e Ferreira (2006) corrobora descrevendo o biodiesel como um combustível renovável, biodegradável, substituindo o óleo diesel mineral.

Um dos fatores que diferem este combustível do diesel mineral se dá pelo fato do mesmo não possuir enxofre, além de não ser corrosivo e, o mais importante, não contribuir para o aumento do efeito estufa.

O biodiesel é isento de enxofre e compostos aromáticos. Essas substâncias, quando presentes em qualquer combustível, são altamente poluentes, apesar das vantagens de aumentar sua lubrificidade (como o enxofre no diesel). Outro fator importante a ser considerado envolve o ponto de combustão adequado em relação ao alto teor de cetano presente no biodiesel. Seu índice alto indica que o combustível tem boa qualidade de ignição, ou seja, o combustível apresenta um tempo de retardo de ignição menor, ou seja, o tempo entre a injeção do combustível no cilindro e a explosão. Outra propriedade positiva do biodiesel está relacionada à sua toxicidade, ou seja, à baixíssima emissão de substâncias venenosas ou tóxicas (MARIANO, 2021).

Conforme Rocha (2020) os motores a diesel que utilizam alguma mistura de biodiesel, possuem uma vida útil aumentada, nesses casos o biodiesel funciona como ótimo lubrificante para o motor e o risco de explosão é muito baixa, devido ao fato do biodiesel precisar de uma fonte de calor acima de 150°C para que ocorra um risco de explosão o que facilita o transporte e

armazenamento do produto.

Por ser constituído de carbono neutro, as plantas capturam todo o CO2 emitido pela queima do biodiesel e separam o CO2 em carbono e oxigênio, neutralizando a emissão de gases poluentes no ambiente. A cada 1 tonelada de biodiesel usado corresponde a uma redução de 2,5 toneladas de CO2 emitidos na atmosfera (MURTA, 2022). O **Quadro 1** resume as vantagens da utilização do biodiesel.

Quadro 1: Vantagens da utilização do biodiesel

Características	Propriedades Complementares
Características químicas apropriadas	Livre de enxofre e compostos aromáticos, alto número de cetanos, ponto de combustão apropriado, excelente lubrificidade, não tóxico e biodegradável.
Ambientalmente benéfico	Nível de toxicidade compatível ao sal ordinário, com diluição tão rápida quanto a do açúcar (Departamento de Agricultura dos Estados Unidos).
Menos poluente	Reduz sensivelmente as emissões de: (a) partículas de carbono (fumaça), (b) monóxido de carbono, (c) óxidos sulfúricos e (d) hidrocarbonetos policíclicos aromáticos
Economicamente competitivo	Complementa todas as novas tecnologias do diesel com desempenho similar e sem a exigência da instalação de uma infraestrutura ou política de treinamento.
Reduz aquecimento global	O gás carbônico liberado é absorvido pelas oleaginosas durante o crescimento, o que equilibra o balanço negativo gerado pela emissão na atmosfera.
Economicamente atraente	Permite a implementação do salário das classes de baixa renda.
Regionalização	Pequenas e médias plantas para produção de biodiesel podem ser implantadas em diferentes regiões do país, aproveitando a matéria-prima disponível em cada local.

Fonte: Fernandes et al. (2009, p. 89)

3 DINÂMICA DE SISTEMAS

A Dinâmica de Sistemas é uma metodologia relacionada ao pensamento sistêmico, que busca estudar as estruturas dos sistemas organizacionais e sociais por meio da representação das relações causais entre os seus elementos e por meio do estudo de sua evolução ao longo do tempo (QUILICE et al., 2022).

Bueno, (2013) desenvolveu um método para rastrear os efeitos de ações isoladas no comportamento de variáveis inter-relacionadas em loops de feedback, onde a relação entre causa e efeito é muitas vezes distanciada no tempo, ou seja, onde as variáveis são frequentemente correlacionadas com *lag*, não capturado em nossos modelos mentais.

Figueiredo (2009) afirma que a dinâmica de sistemas considera que a análise de uma situação pode realizada através de um ponto de vista externo ao sistema, e que a estrutura e os processos dinâmicos podem ser recriados em diagramas com utilização de simbologia e modelos matemáticos apropriados. O autor cita as principais vantagens na utilização desta metodologia: a) Investigar as relações entre macro e microestruturas e seus

efeitos sobre o comportamento do sistema; b) Modelar e resolver problemas reais, incorporando fatores biológicos, físicos e econômicos; c) Melhorar o desempenho de um sistema via adição de “insights” ou aprendizagem, aliado ao melhor uso dos recursos; d) Estudar os fluxos de material, informação e dinheiro dentro de estruturas econômicas; e) Não ter um limite dos problemas que possa abranger (FIGUEIREDO, 2009).

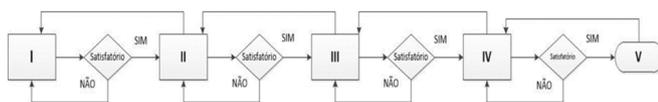
Conforme Perissé (2020) o que a dinâmica de sistemas tenta fazer é compreender a estrutura de funcionamento dos sistemas, e assim, tentar prever, antecipar o comportamento que os sistemas produzem. O autor afirma que, de acordo com a literatura existente, os sistemas podem ser modelados tanto de forma qualitativa como quantitativa, o que difere são os instrumentos utilizados, sendo que as descrições verbais e os diagramas causais são utilizados nas formas qualitativa, enquanto os diagramas de estoque, fluxo e as equações constituem as quantitativas de representar a dinâmica de sistemas (PERISSÉ, 2020).

Desta forma, a metodologia de dinâmica de sistemas, através de diagramas de estoque, fluxo e equações, permite quantificar as relações entre os elementos do sistema e estudar o comportamento destes sistemas ao longo do tempo, auxiliando na tomada de decisões. Em função disso, o próximo capítulo apresentará o modelo computacional com utilização da metodologia de dinâmica de sistemas, contemplando as variáveis que interferem no problema de pesquisa, bem como os seus fluxos, conectores, auxiliares e estoque.

4 METODOLOGIA

Para o presente artigo adotou-se a metodologia apresentada por Law (2015) para modelagem e simulação de sistemas, a qual é constituída pelas etapas representadas na **Figura 1**.

Figura 1: Fluxograma das etapas de aplicação do método de pesquisa



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

A etapa (I) representa o estudo exploratório em artigos científicos, relatórios técnicos, entrevistas com *stakeholders* e observações do ambiente onde os dados foram coletados. Através desses dados, o problema de pesquisa foi especificado e estruturado. As pesquisas exploratórias têm como principal finalidade desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias, tendo em vista a formulação de problemas mais precisos ou

hipóteses pesquisáveis para estudos posteriores (GIL, 2010).

A etapa (II) apresenta o desenvolvimento da solução, através da construção de modelos formais capazes de representar o problema (definição das variáveis e seus relacionamentos). A implementação computacional da solução (etapa [III]), com o auxílio do simulador Vensim (VENTANA SYSTEMS, 2016), a etapa (IV) responsável pela verificação e validação (v&v) da solução, através de testes em laboratório e análise do comportamento histórico (com os dados que foram possíveis), para verificar se os resultados obtidos representam parte da realidade observada que neste caso foram acompanhados através de entrevistas com gestores das áreas. E a etapa (V) onde foram expostas as diferenças entre as possibilidades existentes.

Para este estudo utilizou-se a Dinâmica de Sistemas, definido por Ford (2009) como uma combinação de estoques e fluxos que utilizam uma estrutura computacional para serem simulados. Para tanto, valeu-se da abordagem de Andrade *et al.* (2006) que descreve a modelagem computacional como uma soma entre o trabalho qualitativo (mapa sistêmico), que tem por objetivo analisar e capturar os dados, e um modelo quantitativo (técnicas do campo da Dinâmica de Sistemas). A modelagem em Dinâmica de Sistemas consiste em representar os processos de um sistema. Para seu desenvolvimento, é necessário reconhecer os fluxos que convertem recursos em diferentes estados, o que implica conhecer o seu mapa sistêmico desenvolvido.

5 DESENVOLVIMENTO DO MODELO DE SIMULAÇÃO

O modelo computacional desenvolvido pretendeu proporcionar aos gestores da empresa estratégias para diminuir os custos do transporte. As decisões, a partir dos resultados gerados pelos modelos, poderão envolver a adoção de maior percentual de biodiesel misturado ao diesel, ou a própria geração deste combustível através da mini usina BIOBOT20.

Para a definição das variáveis componentes do modelo, foram utilizados: observações, por parte dos pesquisadores no processo de logística de alguns setores da empresa, entrevistas com gerentes, fiscais, motoristas e mecânicos, além de pesquisas bibliográficas. O modelo foi concebido buscando simplificar a interação usuário-modelo, para que análises do tipo *what-if* fossem de simples execução. O tempo de execução do modelo será de 10 anos (2018 até 2027).

Os custos relativos à produção do biodiesel através do BIOBOT 20 levam em consideração o processo total da produção. Quatro litros de metanol necessários custam em média US\$ 3,50 e o hidróxido de sódio é executado por US\$ 0,50. O óleo vegetal é basicamente livre, portanto, um rendimento de 15 litros vai acabar

num total de US\$ 1 por galão. Preço mais baixo que os do mercado atual, trazendo ao mercado uma nova solução para redução de custos na produção de biodiesel, o BIOBOT pode ajudar a alimentar a revolução do transporte alternativo (BIOBOT, 2023).

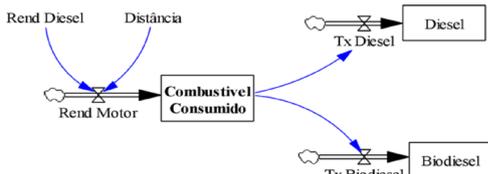
O combustível utilizado para a realização da coleta varia entre o Diesel comum e o Diesel S10, no qual a partir de 2016 o Conselho Nacional de Política Energética aprovou o índice de 7% de biodiesel no diesel. Até 2019, esse índice poderá chegar a 15%, dependendo dos testes em motores a serem realizados (PINTO, 2020). Desta forma, para cada litro de diesel B5 deverá ser adicionado 70 (setenta) ml do biodiesel produzido. Além da economia gerada pela redução da compra de diesel para a utilização nos veículos da coleta, existem outras vantagens adicionais que poderão ser obtidas pela utilização do biodiesel, uma delas é a redução do impacto ambiental resultante do descarte inapropriado, já que a utilização do biodiesel auxilia na diminuição da emissão do dióxido de carbono na atmosfera.

O modelo "CombustívelTransporte" está representado com suas interações na Figura 2. Para variar a quantidade de diesel e biodiesel nos cenários projetados, gerou-se duas variáveis de estoque ("DieselTotal", "BiodieselTotal"), onde a média de cada combustível foi inserida através das variáveis de fluxo ("MédiaDiesel" e "MédiaBiodiesel"), ambas são as variáveis de saída do modelo projetado.

Estoques e fluxos são os pontos centrais de um de uma Dinâmica de Sistemas, uma vez que os estoques são níveis ou acumuladores e caracterizam o estado do sistema e os provém com memória. Nesse componente acontecem os atrasos com a acumulação da diferença entre os fluxos de entrada e os fluxos de saída e somente por meio destes fluxos a quantidade acumulada nos estoques pode ser alterada.

Como a empresa possuía diferentes modelos de ônibus e consequentemente diversos modelos de motor o rendimento por quilometro variou e o consumo, em litro, do diesel e biodiesel foram diferentes. Assim, criou-se duas variáveis de estoque chamadas "DieselConsumido" e "BiodieselConsumido". As entradas destas variáveis são duas variáveis de fluxo, respectivamente chamadas de "RendMotorDiesel" e "RendMotorBiodiesel". As variáveis de fluxo recebem seus valores de entrada através de duas variáveis auxiliares: "RendDiesel" e "RendBioiesel". A Figura 2 representa este modelo.

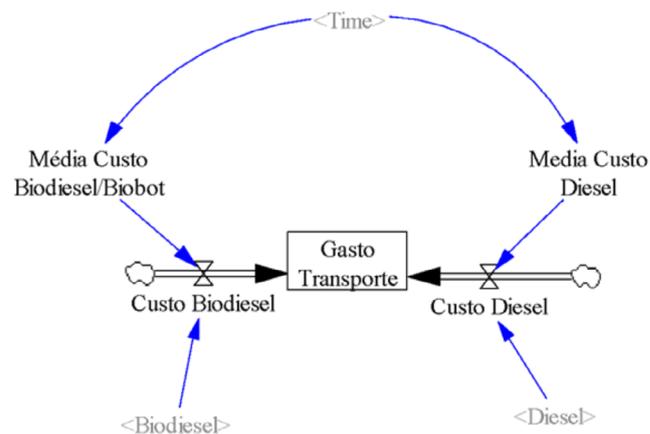
Figura 2: Modelo Combustível Transporte



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

Para possibilitar a análise econômica do modelo, gerou-se o modelo "CustoOperação". A saída deste modelo está representada pela variável de estoque "CustoTransporte" e a mesma recebe em sua entrada quatro variáveis de fluxo ("CustoDiesel", "CustoBiodiesel", "Manutenção", "Usuário"), que por sua vez recebem seus valores a partir das variáveis auxiliares "MédiaCustoDiesel", "MédiaCustoBiodiesel/BIOBOT", "MédiaManutenção", "CustoPassagem" e "Passageiros". Duas shadow variables (variáveis já criadas em outro modelo) também fazem parte deste modelo, são elas: "DieselConsumido" e "BiodieselConsumido". A Figura 3 representa este modelo.

Figura 3: Modelo Combustível Transporte



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

O tempo (variável "time") no modelo é pré-estabelecido, com isso os estoques só são alterados por meio de seus fluxos, já os fluxos são determinados pelos estoques, pelo fato do mesmo ser a estrutura principal da informação.

6 RESULTADOS

Segundo Parreira, Neto, Corrêa (2021) um modelo deve ser baseado em uma análise e em alguma escala de tempo pré-determinada, onde existam tempo suficiente para tentar avaliar todas as opções de saída do modelo desenvolvido. Assim o experimento na prática tenderá a se encaixar melhor na realidade. O autor ainda ressalta a necessidade de replicação, isto é, o modelo deve possibilitar sua aplicação em mais de um ambiente de estudo.

No Brasil, as empresas utilizaram pela primeira vez a análise por cenários entre os anos de 1980 e 1987. Empresas como a Petrobrás e a Eletrobrás possuíam projetos de longo período e necessitavam de uma análise em grande espaço de tempo. Também no final dessa década, o trabalho elaborado pelo BNDES em 1989, de conteúdo mais econômico, teve grande impacto e desencadeou grande discussão política sobre os cenários do Brasil

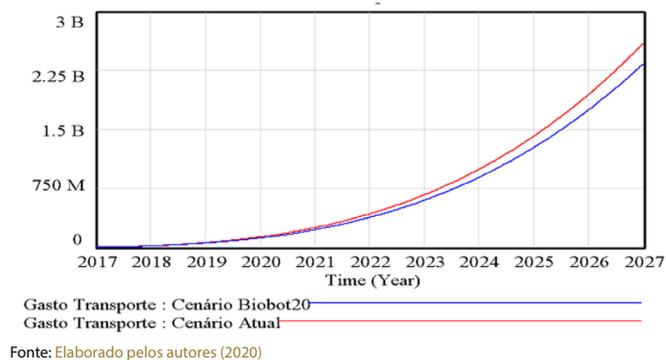
(SILVA, 2019.).

Neste artigo geraram-se dois cenários, assim o modelo foi executado em um computador com processador Pentium Core i5 e 8 Gb de memória RAM. O tempo de execução da simulação foi na ordem de milionésimos de segundos. O horizonte de tempo simulado no experimento foi de 10 (dez) anos, porém a configuração dessa variável fica a cargo do projetista/usuário, pois a mesma depende da análise a ser feita.

A atual estratégia adotada pela empresa tem por principal objetivo utilizar rotas que utilizem a menor quantidade de combustível e suas paradas tenham grande alcance para a população local. Entretanto os problemas enfrentados com o trânsito e ruas esburacadas fazem com que o rendimento do motor seja inconstante, não possibilitando o controle do orçamento médio diário.

O modelo simulado apresentou o cenário com a adesão do BIOBOT20 com o melhor desempenho que o cenário atual, apesar de sua similaridade nos primeiros 5 anos, como demonstrado na **Figura 4**. Nos 10 anos totalizados na simulação o Cenário Biobot20 apresentou uma redução de aproximadamente vinte milhões de reais nos custos com o transporte.

Figura 4: Gasto Transporte



Como exposto na **Figura 4**, a estratégia depende de tempo para obter êxito, a tomada de decisão da aplicação deste cenário poderá acarretar grandes benefícios para a empresa, como a geração de novos empregos, melhoria em sua frota, além de apresentar uma inovação na rede de transporte do município estudado.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O principal objetivo nesta pesquisa foi o desenvolvimento a verificação, e o experimento de um modelo de simulação computacional para avaliação de cenários para a geração de

biodiesel em uma empresta de transporte urbano a qual não adota esta estratégia. Sendo assim, a contribuição foi a entrega de um modelo que poderá ser aplicado em empresas de transporte urbano que utilizam diesel em seus veículos de transporte.

Para o desenvolvimento do modelo de simulação levou-se em consideração o conceito que modelos de Dinâmica de Sistemas compostos por variáveis de estoque, fluxo, variáveis auxiliares e conectores. Um dos objetivos centrais da metodologia é fornecer um modelo que consiga simular o comportamento real, ou seja, que a fonte dos problemas em um sistema seja uma parte inerente do modelo desenvolvido.

Deste modo, a metodologia de Dinâmica de Sistemas auxiliou a mapear as estruturas do sistema desenvolvido, procurando examinar sua inter-relação em contexto amplo. Através desta simulação a dinâmica aplicada buscou compreender como o sistema em foco evoluiu ao longo do tempo e como as mudanças em suas partes afetavam o seu comportamento. A partir dessa compreensão, foi possível diagnosticar e prognosticar o sistema, além de possibilitar simular mais cenários no tempo.

Foram gerados dois cenários, utilizando dados coletados através de entrevistas com *stakeholders* e também por meio de revisão bibliográfica. Os resultados obtidos foram condizentes com a realidade e as taxas utilizadas foram desenvolvidas pelos projetistas do modelo para realização deste estudo. Cabe ressaltar que os cenários foram gerados para esse experimento, porém o modelo pode ser configurado conforme as necessidades de quem for utilizá-lo, ou seja, é um modelo reconfigurável e aberto.

Os resultados apresentados foram obtidos através de simulações feitas utilizando o *software* Vensim. Observou-se que as reduções do impacto financeiro gerado para um cenário de 10 anos justificam a aplicação dos resultados gerados pelo modelo. Logo, a partir dos resultados gerados pela simulação, os gestores poderão definir as políticas de compras de papel levando em consideração a sustentabilidade ambiental no processo decisório. Como trabalhos futuros, sugere-se expandir o modelo a outras empresas e, também, considerar na avaliação os benefícios sociais que podem ser gerados, como a geração de emprego.

Referências

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.

ANP. **Boletim Anual de Preços 2016**: preços do petróleo, gás natural e combustíveis nos mercados nacional e internacional/ Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Rio de Janeiro: ANP, 2017.

BIOBOT. Biobot Bio Diesel Processor. 2023. Disponível em: <<http://www.biobot.org.uk/>>.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de saneamento**. 5. ed. rev. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2008.

BUENO, N. P. Identificando mudanças de regimes sistêmicos em processos econômicos: um procedimento baseado na abordagem de dinâmica de sistemas. **Economia e Sociedade**, Campinas, v. 22, n. 1 (47), p. 77-106, abr. 2013. Doi: 10.1590/S0104-06182013000100003

CONCEIÇÃO, G. W. da *et al.* **Sustentabilidade e o transporte urbano de passageiros na cidade do Rio de Janeiro**: um modelo que promova utilização de fontes energéticas alternativas com impacto no desempenho das empresas do segmento. 2022.

CRESTANA, S. O papel da Embrapa na produção de biocombustíveis. In: REUNIÃO ANUAL DA SBPC, 60., 2008, Campinas. **Anais...** São Paulo, 2008.

CRISTO, C. M. P. N.; FERREIRA, José Rincon. **O futuro da indústria**: biodiesel-coletânea de artigos. Brasília: MDIC-STI/IEL, 2006.

DE ROCCO, G. K.; HENKES, J. A. Biocombustíveis sustentáveis para a aviação no Brasil. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 9, n. 4, p. 191-226, 2020.

FERNANDES, R. K. M.; PINTO, J. M. B.; MEDEIROS, O. M.; PEREIRA, C. A. Biodiesel a partir de óleo residual de fritura: alternativa energética e desenvolvimento sócio-ambiental. In: XXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2018, Rio de Janeiro. **A integração de cadeias produtivas com a abordagem da manufatura sustentável**. Rio de Janeiro, 2008.

FIGUEIREDO, J. C. B. Estudo da difusão da tecnologia móvel celular no Brasil: uma abordagem com o uso de Dinâmica de Sistemas. **Produção**, v. 19, n. 1, p. 230-245, jan./abr. 2009.

FORD, A. **Modeling the environment**. [S.l.]: Island Press, 2009.

FREITAS, E. S. de C. **Avaliação do potencial econômico, ambiental e tecnológico da aplicação de altos teores de biodiesel de óleo e gordura residual no diesel utilizado em uma frota veicular do setor de mineração**. 2022.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

HAGE, J. A. A.; NAVARRO, S. C. S. O Conflito Norte-Sul Como Produto Das Assimetrias Energéticas Verificadas Nas Sociedades De Massa. **Mundo e Desenvolvimento: Revista do Instituto de Estudos Econômicos e Internacionais**, v. 6, n. 7, p. 90-117, 2022.

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

LOJASBIODISEL. Mapa das Usinas de Biodiesel 2016. Disponível em: <<https://loja.biodieselbr.com/produto/mapa-usinas-biodiesel-2016/>>. Acesso em: maio 2023.

MAFUANI, F. A. Políticas Públicas De Incentivo Às Energias Renováveis E A Sua Viabilidade Para A Inclusão Social. **Revista Científica Acertte**, v. 2, n. 2, p. e2258-e2258, 2022.

MARIANO, T. **Síntese de catalisadores à base de grafeno sistematicamente modificados para eletrocatalise**. 2021.

MURTA, A. L. S. The use of biodiesel to reduce co2 emissions caused by the urban bus fleet of Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Transportes**, v. 2, n. 2, p. 84-127, 2022.

NEDER, T. N. **Desafios e perspectivas da transição na indústria automotiva**. 2022.

OLIVEIRA, F. C. de. Comparação de impactos ambientais do biodiesel produzido a partir do óleo residual de fritura via rotas etílica e metílica. 2020. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

PARREIRA, Carla Cristina Araújo; NETO, Juan Canellas Bosch; CORRÊA, Breno Henrique Booz Carvalho. Modelagem e simulação dinâmica de um reator nuclear por fissão: uma revisão. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 7, n. 3, p. 12184-01-15e, 2021.

PERISSÉ, M. C. **Dinâmica de sistemas**: seus enunciados básicos. 2020.

PINTO, Antonio Alves. **Uso de biodiesel de soja em trator agrícola**. 2020.

QUILICE, T. F. *et al.* **Posicionamentos dos atores em transições para a sustentabilidade**: mudanças nas práticas discursivas. 2022.

ROCHA, M. A. **Estudo do avanço de injeção de biodiesel em um motor dual de ignição por compressão utilizando gás natural**

e biodiesel. 2020.

SILVA, Sandro Pereira. **Dimensão político-relacional das políticas de mercado de trabalho no Brasil:** a agenda deliberativa do CODEFAT. 2019.

TAVARES, B. M.; SILVA. S. R. R. Biodiesel: fonte de combustível limpo atuando como rica contribuição estratégica, social e ecológica na região de Lins. Lins/SP. 103 p. Monografia. Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – UNISALESIANO, 2008.

VENSIM – Ventana Simulations (2014), **Vensim simulation software.** Disponível em:<<https://vensim.com/>>. Acesso em: 3 fev. 2016.

VENTANA SYSTEMS. **Vensim Simulation Software.** Disponível em: <<https://vensim.com/>>. Acesso em: 3 fev. 2016.