

MODELO DE DINÂMICA DE SISTEMAS PARA ANALISAR OS EFEITOS DE ESTRATÉGIAS CIRCULARES NO ECOSISTEMA DE RECUPERAÇÃO DE VALOR DE GARRAFAS DE VIDRO

Victor Hugo Magno de Mattos

Camila Castro e Raphael Cobra

Profa. Dra. Janaina Mascarenhas Hornos da Costa

Escola de Engenharia de São Carlos – EESC USP

victor.magno@usp.br

Objetivos

O objetivo dessa pesquisa foi criar um modelo baseado em Dinâmica de Sistemas para simular e analisar os impactos de estratégias circulares na cadeia de vida das garrafas de vidro. O modelo visa oferecer uma visão dos benefícios e desafios das práticas circulares, tais como a reutilização de garrafas, o aumento da taxa de reciclagem e a implementação de tecnologias mais eficientes no processo de reciclagem.

Métodos e Procedimentos

Os métodos incluíram revisão sistemática da literatura, que permitiu coletar dados relevantes e compreender os principais estoques e fluxos do ecossistema de embalagens de vidro, principalmente do relatório da ABIVIDRO, 2022. O modelo foi desenvolvido utilizando o software Vensim, Seguindo a abordagem de Sterman (2000) e Guzzo (2022) para uma modelagem robusta em Dinâmica de Sistemas onde foram definidos estoques e fluxos representando as principais variáveis do sistema, como o volume de matéria-prima extraída, o vidro reciclado e o vidro enviado para aterro. Foram utilizados dados reais coletados de cooperativas e empresas de Araraquara-SP, bem como informações da

literatura. O período analisado abrange de 2018 a 2020, e o modelo foi calibrado com base nesses dados. A metodologia da Dinâmica de Sistemas permitiu a criação de cenários alternativos para simular a implementação de diferentes estratégias circulares no ecossistema, como o aumento do número de trabalhadores, a adição de caminhões, campanhas de conscientização, aumento da proporção de garrafas reutilizáveis e a implementação de tecnologias avançadas. Sendo os cenários simulados descritos a seguir:

S1- BAU: Cenário atual, de calibração

S2 - More Workers: Houve um aumento de 200 funcionários

S3 – More Trucks: Adição de 10 novos caminhões

S4 – Awareness: Incorporação de campanhas de conscientização

S5 – More Reuse: Aumento da proporção de garrafas reutilizáveis

S6 – TechBosst: uma nova tecnologia é introduzida dentro de uma cooperativa, aumentando a eficiência da reciclagem em até 20 vezes

S7 – More Workers + Awareness: Combinação das estratégias dos S2 e S4

S8 – More Reuse + Awareness: Combinação das estratégias dos S4 e S5.

Resultados

As simulações dos cenários mostraram que o aumento da proporção de garrafas reutilizáveis e a implementação de novas tecnologias resultaram em altas reduções tanto na quantidade de matéria-prima extraída quanto nas emissões de CO₂. Por exemplo, o cenário "More Reuse" reduziu 78,06% a quantidade de matéria-prima extraída 78,27% as emissões de CO₂. O cenário "TechBoost", que introduziu uma tecnologia inovadora, praticamente eliminou a necessidade de novos materiais e aterro, resultando em uma redução de 99,65% de matéria-prima extraída e de 92,23% de CO₂ emitidas. Em termos econômicos, o reuso mostrou-se altamente eficaz na redução de custos, enquanto a tecnologia trouxe melhorias significativas, embora tenha apresentado custos energéticos relativamente mais elevados. Assim como indicam os gráficos representados na *Figura 1*.

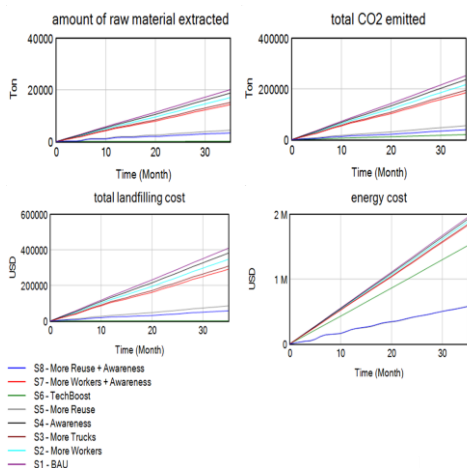


Figura 1: Gráficos das principais variáveis com resultados das simulações dos cenários

Conclusões

As estratégias circulares demonstraram potencial para contribuir com a sustentabilidade ambiental e reduzir custos no ciclo de vida das garrafas de vidro. O aumento da reutilização de

garrafas e a implementação de novas tecnologias mostraram-se como boas opções. No entanto, este estudo também ressalta a importância de considerar outras variáveis adicionais que podem impactar os resultados, como os custos totais de fabricação e os impactos do transporte. Pesquisas futuras podem abordar essas questões, proporcionando uma visão mais completa dos custos e dos benefícios das estratégias circulares.

Agradecimentos

Agradeço à minha orientadora, Janaina, e aos contribuintes, Raphael e Camila, pelas valiosas contribuições e orientações técnicas, fundamentais para o desenvolvimento deste projeto.

Referências

- ABIVIDRO. (2022). Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica da Logística Reversa dos Vasilhames de Vidro. Relatório publicado em fevereiro de 2022.
- Guzzo, D., Pigosso, D. C. A., Videira, N., & Mascarenhas, J. (2022). A system dynamics-based framework for examining Circular Economy transitions. *Journal of Cleaner Production*, 333. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129933>
- Sterman, J. D. (2000). *Business Dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world*. Irwin McGraw-Hill.