



SOFTWARE DE APOIO AO SISTEMA DE GESTÃO AMBIENTAL NAS CADEIAS DE SUPRIMENTOS SUSTENTÁVEIS

MILTON AUGUSTO BARBOSA; DÉBORA ZUMKELLER SABONARO; CAYO DIEBE

RESUMO

Algumas pesquisas sobre o tema sustentabilidade, apresentam dados revelando que grande parte dos impactos gerados ao meio ambiente são em função dos aspectos operacionais das Cadeias de Suprimentos (CS) das empresas e consequentemente do consumismo dos produtos e serviços. A operação das (CS) levam ao consumo dos recursos naturais, a emissão de gases poluentes, a degradação do meio, aos impactos do aquecimento global e nas mudanças climáticas do planeta terra. Assim, para manter os pilares ambiental, social e econômico equilibrados, a Agenda de 2030 propõe debater ações inovadoras que possam minimizar os aspectos ambientais aplicando conceito de economia circular (EC) para conter o avanço dos impactos ambientais. Inovando, esse trabalho tem objetivo de apresentar um software facilitador para mapear os aspectos e impactos ambientais, atribuir suas severidades e gerenciar ações para produção e consumo circular das Cadeias de Suprimentos Sustentáveis. A metodologia foi: I-Parte Pesquisa bibliográfica para conceituar o tema do trabalho, II-Parte a concepção e desenvolvimento de um software facilitador para o Sistema de Gestão Ambiental (SGA) com ações circulares em (EC) nas (CS) e III-Parte um teste de validação para aplicação do software. A validação e teste do software foi realizado com um estudo de caso em uma empresa que produz expositores de produtos alimentícios. A resposta do responsável do (SGA) indica uma viabilidade de uso do software para mapear a cadeia de suprimentos dos aspectos e impactos ambientais e as ações circulares exigidas pelo cliente que foram aplicadas para desenvolvimento de um novo produto na empresa.

Palavras-chave: Aspectos. Impactos. Software. Sustentabilidade. Tecnologia.

1 INTRODUÇÃO

As empresas estão sendo cobradas pelas organizações, stakeholders e por seus consumidores uma consciência de sustentabilidade, visto as ações da Agenda 2030 da ONU e os movimentos ESG e ISO14001.

E, o mapeamento ambiental da Cadeia de Suprimentos Sustentável empresarial é necessário para tomadas de ações circulares sistêmicas em Gestão Ambiental

Porém, em função da complexidade de algumas Cadeias de Suprimentos, para operacionalizar a gestão do mapeamento ambiental (*VSM- Value Stream Mapping*) nas empresas, se faz necessário o uso da tecnologia da informação para análise de aspectos e impactos ambientais, criando a oportunidade de tomada de ações circulares estratégicas para alcançar resultados da sustentabilidade absoluta.

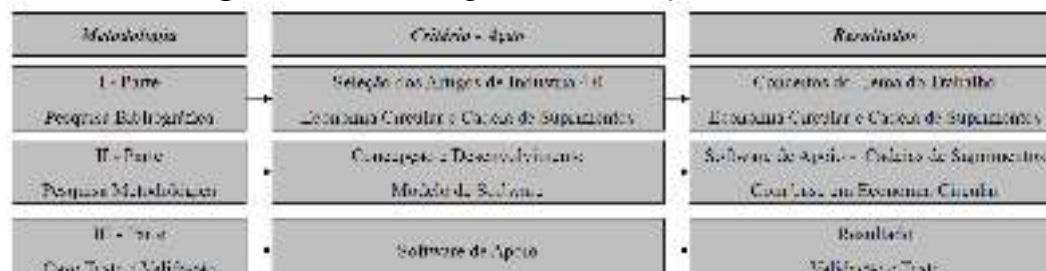
A proposta do modelo do software é levantar os aspectos e impactos ambientais em toda cadeia de suprimentos de uma empresa, desde a entrada de recursos, durante o processo e a saída do produto fim de vida no consumidor final. O software permite atribuir uma severidade ao impacto ambiental gerador de poluição de solo, água e ar e gerenciar ações com conceito de economia circular para mitigar a poluição e melhorar os indicadores ambientais da organização. Assim, a proposta do software é gerenciar a melhoria contínua do Sistema de Gestão

Ambiental (SGA) e ou *Environmental Social Governance* (ESG) com base nos pilares da Economia Circular (EC) nas Cadeias de Suprimentos Sustentáveis (CSS) das organizações.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida em três partes, sendo a (I parte) uma pesquisa bibliográfica em artigos para conceituar o trabalho, a (II parte) uma pesquisa metodológica para desenvolver o modelo do software de apoio a (CS) e a (III parte) a um estudo de caso de validação e teste para aplicação de software.

Figura 1 – Metodologia – Critério Ação - Resultados



A opção foi uma pesquisa bibliográfica em artigos científicos (VERGARA, 2009, p. 46) porque ainda é recente as propostas de aplicação prática das tecnologias da I4.0 em Economia Circular (EC) nas Cadeias de Suprimentos e por questões de ter uma abrangência mundial das aplicações relatadas em pesquisas científicas.

Utilizou as palavras separadas *Industry 4.0 and Economy Circular and Supply Chain* para pesquisa buscando em título, resumo e palavras chaves para direcionar análises de I4.0 na área ambiental.

Para critério de seleção dos artigos, foi considerado a tendência e uso de tecnologia da I4.0 aplicadas com base em pilares da EC na Cadeia de Suprimentos, com leitura dos resumos, importância das citações, com estudos de casos, aplicações empíricas e conteúdo aderido ao tema em revistas da área Ambiental, Sustentabilidade, Software, Computação, Produção Sustentável.

Na I-Parte da pesquisa bibliográfica, selecionou e realizou a leitura dos resumos para seleção dos artigos que tinham uma relação do uso das tecnologias da I4.0 aplicadas com base em pilares da EC na Cadeia de Suprimentos, artigos esses que foram utilizados para conceituar este trabalho.

Na II- Parte, com base conceitual do tema, foi aplicado uma pesquisa metodológica com ação (VERGARA, 2009, p. 45) para proposta de um modelo de software a ser aplicado por partes interessadas das empresas para conseguir a sustentabilidade futura do planeta.

Na III Parte, após a criação do modelo de software, foi aplicado uma pesquisa estruturada para validação e teste da aplicação do software em uma empresa que fabrica expositores para produtos alimentícios processados com o responsável do (SGA).

3 RESULTADOS

Os resultados serão apresentados em três partes de acordo com a sequência da metodologia da pesquisa.

3.1 – Conceitos sobre o Tema do Trabalho

O desenvolvimento seguiu etapas de pesquisas bibliográficas de Tecnologias da I4.0 com base em Economia Circular nas Cadeias de Suprimentos Sustentáveis (CS). Na sequência criação e validação de um software aplicável ao conceito para gestão de dados de aspectos e impactos ambientais e sua severidade.

Segundo BAG (2022), a economia circular traz um conceito que permite a utilização otimizada de recursos para obter uma sustentabilidade futura.

Segundo (ARFELIS, 2022, p. 1), “Uma economia circular é restauradora e regenerativa por design. Isso significa que os materiais fluem constantemente em um sistema de circuito fechado, em vez de serem usados uma vez e depois descartados.”

Segundo (DELPLA, 2022, p. 1), “O aumento da competição econômica global e a crescente importância das questões ambientais forçam os fabricantes a considerar a implementação de cadeias de suprimentos de circuito fechado, garantindo a recuperação de produtos em fim de vida para reciclagem ou reutilização, porém estão sujeitos a muitas incertezas em seus fluxos, dadas as condições variáveis dos produtos fim de vida.”

Segundo (GHOREISHI, 2022, p.1), “No mundo da economia circular (EC), o design é uma ferramenta vital para transformar resíduos em riqueza, para aprimorar a reciclagem de materiais para novos produtos (por exemplo, design para modularidade, design para desmontagem, etc.).”

Segundo (MANAVALAN, 2019, p. 477), “O foco nos 6Rs, como Recuperar, Reutilizar, Remanufaturar, Reciclar, Redesenhar e Reduzir destaca as oportunidades disponíveis na transformação da economia linear para a economia circular, que melhora os direcionadores sociais, econômicos e ambientais da organização.”

A economia circular apresenta os princípios de destino do que é produzido e como é descartado, estende a vida útil do produto desde a concepção de criação, permite reparos e manutenções para nova forma de consumo, aumenta a reciclagem dos componentes e materiais, otimizam os processos produtivos utilizando resíduos como recursos, utiliza água na forma consciente e utilização de energias renováveis, criando uma expectativa social de saúde e bem estar para a humanidade, otimizando resultados econômicos da empresa.

Uma cadeia de suprimentos básica é definida por fornecedor, empresa, foco e cliente, que resume a operacionalização da empresa e pode ser planejado o SGA em seus procedimentos organizacionais, para melhorar a sustentabilidade aplicando os conceitos de EC.

Um mapeamento de uma cadeia de suprimentos, denominada de *Value Stream Mapping* (VSM), mais simples ou mais detalhado contribui muito para uma análise ambiental e econômica, pois indica os valores monetários positivos e negativos de todos os processos, inclusive os aspectos e impactos ambientais.

Para auxiliar o procedimento declaratório de entrada de recursos e saída de resíduos, subprodutos e produtos fim de vida pode usar um fluxograma de cada segmento de produto/serviço que permite um mapeamento mais detalhado para melhoria contínua do SGA. O levantamento de aspectos e impactos ambientais utilizando de VSM nas etapas das cadeias de suprimentos oportuna a gestão de melhoria dos indicadores ambientais da organização e automaticamente melhorando a sustentabilidade da empresa.

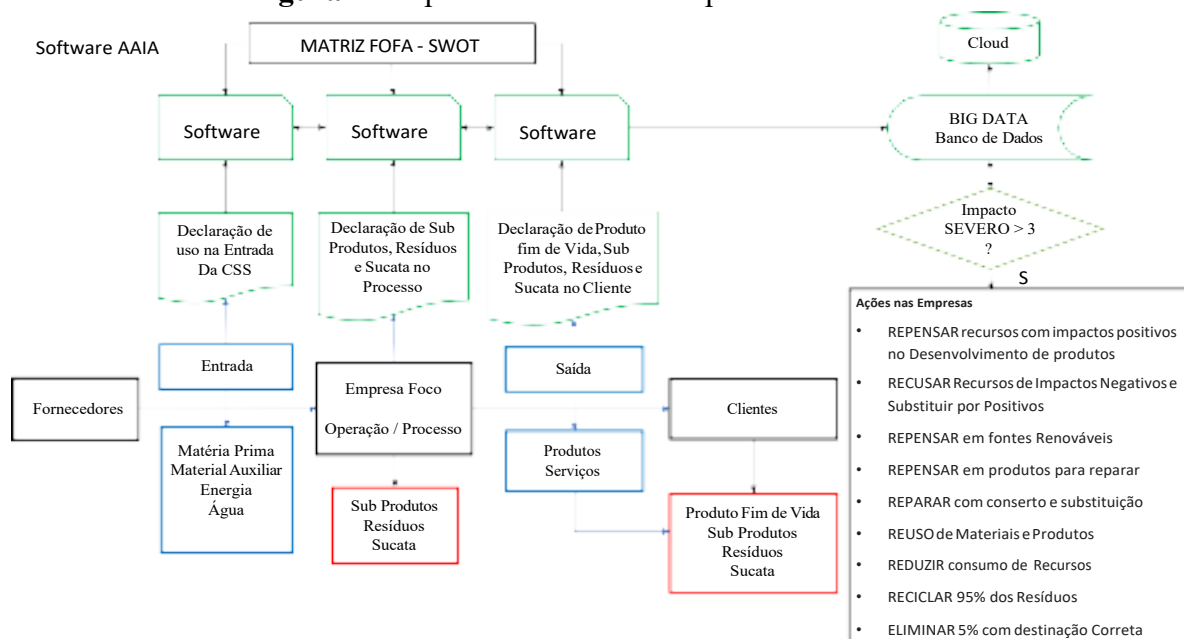
3.2 – Concepção e desenvolvimento do Software de Apoio

No software são declarados os aspectos e impactos ambientais na etapa de entrada, durante o processo e na saída. São declarados Recursos, Matéria prima, subprodutos, resíduos, sucatas e produto fim de vida e atribuído a severidade do impacto ao meio ambiente por poluição ou degradação.

Os dados são registrados no banco de dados e severidade maior que três (3), é necessária uma ação com base nos conceitos de economia circular possibilitando a melhoria contínua dos indicadores ambientais da organização.

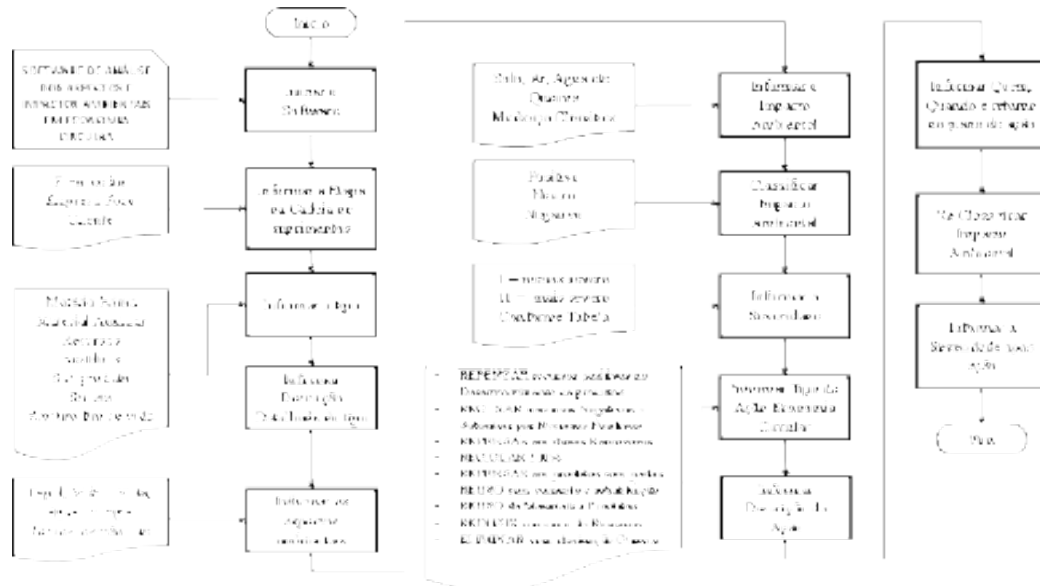
A Figura 2, demonstra o mapeamento da Cadeia de Suprimentos Sustentável, criando a possibilidade de identificar os aspectos e impactos ambientais, a severidade e as possíveis ações com apoio de software de gestão com uso de Banco de Dados.

Figura 2. Mapeamento da CSS e Apoio de Software



O fluxograma, da figura 3, demonstra a análise e planejamento das etapas operacionais do mapeamento da cadeia de suprimentos, seus aspectos e impactos ambientais, as severidades e as ações necessárias a serem inseridas no software de apoio.

Figura 3. Fluxograma operacional do software



Para utilização do software, um time multidisciplinar da empresa realiza o mapeamento da cadeia de suprimentos sustentáveis identifica os fornecedores de entrada das empresas, os recursos e os materiais utilizados. No processo interno da empresa identifica os resíduos e subprodutos que sobram e na saída nos clientes os produtos fim de vida, resíduos e subprodutos.

Após a identificação a equipe multidisciplinar define os aspectos ambientais e classifica os impactos ambientais de acordo com a severidade impactante ao meio ambiente.

O Quadro 1 (a), representa uma prototipação do levantamento de aspectos e impactos ambientais e suas severidades e o Quadro 1 (b) o plano de ações. O protótipo do software foi criado em planilha de Excel e a validação para registro em linguagem de programação e Banco

de dados.

Quadro 1(a). Registros do Banco de Dados – Levantamento de Aspectos e Impactos e Severidade Fonte: Barbosa, M.A. (2023)

ETAPA CS	Atividade Serviço	Tipo de Recurso	DESCRIÇÃO do Recurso	Aspecto Ambiental	Impacto Ambiental	Classificação do Impacto	Severidade / do Impacto
Entrada	UNHA A	Energia	Energia hidroelétrica	Consumo de Energia	Represas inundações	Neutralizado	🟡 5
Entrada	tratamento térmico	Energia	Carvão	Emissão Atmosféricas	Destruição Camada Ozônio	Negativo	🔴 10

Quadro 1(b) . Registros do Banco de Dados – Ações Circulares e Reclassificação Severidade

Ação da Economia Circular	Descrição da Ação Circular	Quem (Responsável Setor)	Quando data (xx/xx/xxxx)	Retorno	Re Classificação	Severidade de F do Impacto
Repensar	Alteração da matriz energética 50% para energia renovável solar	Diretoria, Facilite	31/12/2026	Ambiental, Social e Económico	Positivo	🟢 1
Recusar	Transformar em Energia renovável	Diretoria, Facilite	30/12/2025	Ambiental, Social e Económico	Positivo	🟢.....1

Fonte: Barbosa, M.A. (2023)

Essa classificação permite uma análise desses indicadores e as ações com base nos pilares da Economia Circular (EC) repensando o desenvolvimento de produtos, recursos e materiais, recusando o uso de impactos severos, reduzindo o uso, remanufatura, consertos, reuso, aluguel, compartilhamento e reciclagem.

O software de apoio aos SGA com levantamento de Aspectos e impactos ambientais com ações baseadas em Economia Circular nas cadeias de Suprimentos Sustentáveis, contribui para melhora contínua dos indicadores de sustentabilidade das organizações.

3.3 – Resultado da Validação e Teste do Software

A validação e teste do software foi realizado em uma empresa que fabrica expositores de produtos processados que serão comercializados. O cliente dessa empresa exigiu que para o desenvolvimento de um novo produto fosse mapeada a cadeia de suprimentos no aspecto ambiental.

O responsável pelo da empresa, (SGA) utilizou em teste o software de apoio ao Sistema de Gestão Ambiental nas Cadeias de Suprimentos sustentáveis deste produto de acordo com a exigência de seu cliente quanto a pilares de Economia Circular e respondeu uma pesquisa estruturada conforme tabela 2

Tabela 2 – Perguntas e Respostas da Validação e Teste do Software

Pergunta sobre o Software	Resposta do Responsável da Validação e Teste
1 - Formação, Especialista, Função	Engenheira Civil, Gestão de projetos, Engenharia de processos e Qualidade, Gerente de Qualidade

2- O Software AAIA pode ser aplicável para suporte no Sistema de Gestão Ambiental da ISO 14001:2015 nos requisitos (6.1.1, 6.1.2, 6.1.3, 6.1.4 ; 10.2 e 10.3) de levantamento de riscos e oportunidades dos aspectos e impactos ambientais e suas ações corretivas e melhoria?	Sim, o software é aplicável para os requisitos da norma ISO 14001 relacionados ao levantamento de riscos e oportunidades dos aspectos e impactos ambientais, bem como às ações corretivas e de melhoria.
3- O Software pode ser aplicável no pilar ambiental do ESG (environmental) para levantamento de aspectos, impactos e ações ambientais para excelência de Sustentabilidade nas Cadeias de Suprimentos?	Sim, o software é aplicável no contexto do pilar ambiental do ESG e pode ser utilizado para a implementação de ações ambientais visando à excelência em sustentabilidade nas cadeias de suprimentos. Ele auxilia as organizações na identificação e gestão dos impactos ambientais, na implementação de medidas corretivas e na promoção de uma cultura de sustentabilidade em toda sua rede de fornecedores e parceiros comerciais
4- Conhece ou aplicou outro Software de levantamento de aspectos, impactos ambientais com ações no conceito dos pilares da economia circular para excelência em sustentabilidade das cadeias de suprimentos? Existe a possibilidade de ser indicado para utilização e ou adaptado nas empresas?	Conheço outras planilhas, porém não contêm o pilar de economia circular. Certamente existe a possibilidade de indicar a utilização do software, pois tive uma experiência muito produtiva na utilização
5- Na sua opinião o software contribui com as organizações para a melhoria dos indicadores ambientais e sustentabilidade das Cadeias de Suprimentos a longo prazo?	Sim, pode desempenhar um papel importante ao fornecer suporte e insights para as organizações que buscam melhorar seu desempenho ambiental a longo prazo.
6- Quais as dificuldades e complexidades para as organizações aplicarem o software no SGI e melhoria dos indicadores ambientais nas Cadeias de Suprimentos? Contribua com sugestões para melhoria do software e aplicabilidade.	Se continuar no Excel, tudo bem, porém, se utilizar outros softwares, é importante pensar na complexidade da integração. APIs flexíveis facilitariam a integração do software com outros sistemas utilizados pela organização. Se implementarem requisitos legais, é necessário o monitoramento de tendências regulatórias e atualizações regulares do software para garantir sua relevância e eficácia a longo prazo.

Ainda, no desenvolvimento do produto de acordo com a exigência do conceito de economia circular pelo cliente, uma resposta a ser considerada foi que:

“Durante o desenvolvimento do projeto, a exigência do nosso cliente era clara: cumprir rigorosamente os requisitos ambientais com foco na economia circular e sustentabilidade. O software Análise de Aspectos e Impactos Ambientais tornou-se nosso aliado crucial nesse processo. Ele nos ajudou a identificar e avaliar minuciosamente os aspectos e impactos ambientais em toda a cadeia de suprimentos. Com o suporte do software, conseguimos implementar medidas corretivas de maneira eficiente, gerenciar riscos e aproveitar oportunidades ambientais de forma contínua. Graças a essa ferramenta, superamos as expectativas ambientais do cliente, garantindo que cada etapa do processo promovesse a

sustentabilidade e refletisse nosso compromisso com a excelência ambiental.” (Responsável por Teste, 2024)

4 CONCLUSÃO

O Software Declaratório Ambiental é aplicado para levantar os aspectos e impactos ambientais das cadeias de suprimentos das empresas e atribuir a severidade que o impacto causa ao meio ambiente. Essas severidades devem ser analisadas e são aplicadas ações com base nos pilares da economia circular para mitigar os riscos de impactos para conservação sustentável.

O uso do software é uma ferramenta de gestão ambiental para promover a melhoria contínua da sustentabilidade empresarial, governamental e social, e os dados podem vir a serem compartilhados e transparentes entre partes interessadas em função do cumprimento de metas globais de sustentabilidade.

O software pode ser melhorado de acordo com cada sistema organizacional das empresas, mas foi testado e validado em uma empresa que aplicou o conceito para desenvolvimento de um produto considerando os pilares da economia circular em sua Cadeia de Suprimentos.

Resumindo, o uso do programa oferece a oportunidade inovadora de melhoria contínua da sustentabilidade das organizações para operação em Economia Circular nas Cadeias de Suprimentos Sustentáveis.

REFERÊNCIAS

ARFELIS, S. . R. J. E. A. Architecture Development to Incorporate Industry 4.0 Solutions to Plastics Management: Circular Economy. **Lecture Notes in Networks and Systems**, p. 121-127, 2022. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/356423082_Architecture_Development_to_Incorporate_Industry_40_Solutions_to_Plastics_Management_Circular_Economy>.

BAG, S. . E. A. Relationships between industry 4.0, sustainable manufacturing and circular economy: proposal of a research framework. **International Journal of Organizational Analysis**, p. 864-898, 2022. Disponível em: <<https://doi-org.ez338.periodicos.capes.gov.br/10.1108/IJOA-04-2020-2120>>.

BARBOSA, M. A. **Dissertação Mestrado PPG em Processos Tecnológicos e Ambientais**. Sorocaba: Universidade de Sorocaba, 2015.

DELPLA, V. E. A. Circular manufacturing 4.0: towards internet of things embedded closed-loop supply chains. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 2022. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-021-08058-3>>.

GHOREISHI, M. E. A. The Case of Fabric and Textile Industry: The Emerging Role of Digitalization, Internet-of-Things and Industry 4.0 for Circularity. **Lecture Notes in Networks and Systems**, p. 189-200, 2022.

MANAVALAN, E. . E. A. An analysis on sustainable supply chain for circular economy. **Procedia Manufacturing**, p. 477-484, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.04.059>>.

VERGARA, S. C. **Começando a definir a metodologia. Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. 11. ed. São Paulo: Atlas, 2009.