



De 11 a 14 - NOVEMBRO DE 2024

**Inteligência Artificial
na Gestão de Operações:**
Limitações e possibilidades



ANÁLISE DOS IMPACTOS DAS TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO NO MEIO AMBIENTE E ESTRATÉGIAS PARA MINIMIZAÇÃO

YASMIN DINIZ DE OLIVEIRA – yasmin.diniz-oliveira@unesp.br
COLÉGIO TÉCNICO INDUSTRIAL - UNESP - BAURU-FEB

PAULA DE CAMARGO FIORINI - paula.fiorini@unesp.br
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP - BAURU-FEB

ÁREA: 9. ENGENHARIA DA SUSTENTABILIDADE

SUBÁREA: 9.1 – GESTÃO AMBIENTAL

PALAVRAS-CHAVE: IMPACTOS AMBIENTAIS; EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS;
DESCARTE DE REEE; COMPUTAÇÃO VERDE; SUSTENTABILIDADE.

AGRADECIMENTO: AO CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO
CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO (CNPQ) PELO FINANCIAMENTO DESTES TRABALHOS
POR MEIO DO PROGRAMA INSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E
TECNOLÓGICA PARA O ENSINO MÉDIO (PIBIC JÚNIOR).

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, se reconhece que as tecnologias da informação (TI) têm um papel crucial no desenvolvimento sustentável, oferecendo oportunidades significativas para melhorar a eficiência e reduzir custos. No entanto, essas mesmas tecnologias também apresentam desafios ambientais consideráveis. De acordo com Watson et al. (2010), as más práticas ambientais associadas à produção, uso e descarte das TI resultam em desperdícios significativos, incluindo ineficiência energética, geração de resíduos e emissões prejudiciais. Dessa forma, há uma crescente preocupação com o aumento da demanda energética para suportar a infraestrutura digital e os impactos da TI nas emissões globais de gases de efeito estufa (Sunardi et al., 2019).

Nesse contexto, surge o campo da computação verde, que visa mitigar os impactos ambientais das TI, promovendo práticas mais sustentáveis ao longo de seu ciclo de vida (Raja, 2021). Este trabalho teve o objetivo de analisar os impactos negativos das tecnologias da informação no meio ambiente, buscando identificar também as estratégias para minimização desses efeitos durante a produção, o uso e o descarte desses dispositivos computacionais.

2. MÉTODO DE PESQUISA

A presente pesquisa teve caráter exploratório-descritivo e adotou a abordagem de pesquisa qualitativa, utilizando como método a revisão sistemática da literatura para alcançar seus objetivos. Segundo Thomé et al. (2016), uma revisão sistemática da literatura não apenas sintetiza o conhecimento existente sobre um tema, mas também proporciona uma visão crítica e fundamentada sobre a problemática investigada. Esta metodologia foi escolhida por sua capacidade de estruturar e avaliar criticamente estudos relevantes sobre os impactos ambientais das TI e as estratégias para mitigação desses impactos. Inicialmente, realizou-se uma busca nos bancos de dados Periódicos CAPES e Google Acadêmico, utilizando palavras-chave específicas relacionadas à TI verde, resíduos eletrônicos e impactos ambientais. Para isso, foi elaborado um protocolo de revisão de literatura (Quadro 1), definindo os critérios de inclusão e exclusão dos artigos, bem como os campos de classificação para extração dos dados. Os critérios de inclusão foram aplicados para garantir que os estudos selecionados abordassem aspectos relevantes como o ciclo de vida dos produtos eletrônicos, seus impactos na saúde e no meio ambiente, e propostas de soluções sustentáveis. Ao final, foram selecionados 14 artigos para leitura integral e extração das informações discutidas a seguir.

QUADRO 1 - Protocolo da revisão de literatura

Bases de dados utilizadas	Periódicos CAPES Google acadêmico
Palavras-chave e suas combinações	TI verde, resíduos eletroeletrônicos e impactos ambientais e na saúde humana, impactos ambientais na fabricação e uso de eletrônicos.
Critérios de inclusão (durante a seleção nas bases)	1. Artigos de periódicos ou de conferências 2. Abordar elementos de resíduos eletrônicos, discutindo como esses materiais afetam o meio ambiente e/ou saúde humana ou 3. Abordar estratégias para uma gestão mais sustentável, visando evitar o descarte inadequado de tecnologias.
Critérios de exclusão (durante a leitura dos artigos)	1. Não abordar estratégias para mitigar o descarte inadequado de resíduos eletroeletrônicos, bem como não discutir suas composições e os consequentes impactos ambientais. 2. Artigos não escritos em português
Campos para classificação (extração dos dados)	• Objetivo do artigo • Principais conceitos • Descrição do método de pesquisa • Resumo dos resultados encontrados • Impacto negativo da TI no meio ambiente ou saúde humana • Estratégias de minimização do impacto ambiental da tecnologia

3. RESULTADOS

Os impactos das tecnologias da informação no meio ambiente e na saúde humana são cada vez mais evidentes, especialmente com o crescimento do lixo eletrônico. O descarte inadequado desses resíduos, que contêm metais pesados como chumbo, cádmio, cobalto, manganês e mercúrio, tornou-se uma preocupação global. A cada ano, novas tecnologias surgem, diminuindo a durabilidade de alguns dispositivos eletrônicos e, consequentemente, elevando significativamente a quantidade de lixo eletrônico descartado de maneira inadequada. Segundo Vieira, Soares e Soares (2009), o Resíduo de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE) é conceituado como todo ou qualquer produto que possua origem tecnológica, tornando-se obsoleto ou inservível, sendo descartado ou jogado no lixo.

Nesse contexto, é crucial destacar que os efeitos adversos da TI estão estreitamente ligados à presença de metais pesados em sua composição, tais como arsênio, cádmio, chumbo, cloreto de amônia, manganês, mercúrio, prata, germânio e zinco (Richter et al., 2022). O acúmulo de resíduos eletrônicos contamina o solo, a água e o ar, prejudicando a biodiversidade. Além disso, os metais pesados, ao entrarem na cadeia alimentar, podem causar doenças graves em humanos, como problemas neurológicos e renais (De Lavor et al., 2023; Júnior et al., 2020; Richter et al., 2022). O uso excessivo de dispositivos eletrônicos também está relacionado ao aumento das emissões de gases de efeito estufa. O consumo elevado de energia para a produção e uso desses aparelhos contribui para o aquecimento global. Assim, adotar práticas de consumo consciente e investir em tecnologias mais eficientes se torna cada vez mais crucial. O Quadro 2 resume os impactos identificados.

QUADRO 2 – Resumo dos principais impactos da TI no meio ambiente

Impactos da TI	Etapa	Autores
Extração de matéria-prima não-renovável da natureza, reduzindo as reservas e levando ao esgotamento de recursos naturais	Fabricação	Richter et al. (2022), Júnior et al. (2020)
Emissão de gases de efeito estufa devido ao consumo excessivo de energia elétrica de fontes não renováveis durante o uso dos equipamentos	Uso	Lunardi et al. (2011)
Poluição resultante da fabricação dos equipamentos eletroeletrônicos devido aos resíduos de metais pesados advindos das fábricas	Fabricação	Lunardi et al. (2011)
Descarte inadequado de REEE gera a contaminação da natureza por meio de metais pesados (alumínio, chumbo, cobalto, mercúrio, cádmio, manganês, zinco, entre outros) presentes em sua composição	Pós-uso	Richter et al. (2022)
Descarte incorreto de REEE pode afetar a saúde humana por meio do contato com metais pesados, gerando uma série de disfunções e efeitos adversos na saúde	Pós-uso	De Lavor et al. (2023), Júnior et al. (2020), Richter et al. (2022)

Para minimizar os impactos adversos da TI no meio ambiente, é fundamental que governos, empresas e sociedade civil trabalhem juntos para implementar estratégias eficazes na gestão dos resíduos eletrônicos (Quadro 3). Isso inclui o desenvolvimento de políticas públicas, investimentos em infraestrutura de reciclagem e a promoção de práticas de consumo sustentável (Lunardi et al., 2014; Rocha et al., 2017). Com um esforço conjunto, seria possível minimizar os impactos negativos das tecnologias e garantir um futuro mais saudável e sustentável (Pereira et al., 2023).

QUADRO 3 – Estratégias identificadas para minimização dos impactos ambientais da TI

Estratégias	Níveis	Etapa	Autores
Estímulo à doação de equipamentos obsoletos, ajudando a prolongar sua vida útil, evitando descartes prematuros e estimulando sua reutilização por outras pessoas.	Empresarial, governamental e individual	Uso e pós-uso	Lunardi et al. (2014)
Incentivo à entrega do equipamento antigo na compra de um novo, favorecendo a prática da logística reversa e a recuperação de materiais.	Empresarial	Fabricação e pós-uso	Lunardi et al. (2014)
Reutilização e reciclagem ambientalmente corretas, reduzindo a demanda por matéria-prima virgem e minimizando a poluição associada à extração.	Empresarial	Pós-uso	Rocha et al. (2017)
Responsabilização da empresa pelo descarte adequado e incentivo ao desempenho ambiental, promovendo a implementação de políticas de gestão de resíduos eletrônicos, a reciclagem e reutilização dos dispositivos.	Governamental	Pós-uso	Rocha et al. (2017), De Almeida et al. (2015)
Mudanças legislativas, por meio de regulamentações mais rigorosas para garantir práticas adequadas de descarte, reciclagem e reuso dos equipamentos.	Governamental	Fabricação e pós-uso	Richter et al. (2022)
Conscientização pública e promoção do consumo consciente, ressaltando a necessidade de campanhas educativas para informar o público sobre a importância do descarte adequado e estímulos a prática dos três R's (Reduzir, Reutilizar e Reciclar).	Governamental, empresarial e individual	Uso e pós-uso	Richter et al. (2022), De Lavor et al. (2023)
Incentivo à responsabilidade compartilhada, enfatizando a colaboração entre produtores, comerciantes e consumidores, com acordos para promover reciclagem e reduzir o impacto ambiental do descarte de REEE	Empresarial, governamental e individual	Fabricação, uso e pós-uso	Pereira et al. (2023)
Inovação tecnológica alinhada à sustentabilidade, incentivando parcerias para obtenção de melhor desempenho ambiental e melhorando as tecnologias como um todo.	Empresarial	Fabricação	Júnior et al. (2020)

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo inicialmente delineado de analisar os impactos da TI no meio ambiente e identificar estratégias para mitigar esses impactos ambientais foi alcançado, por meio da realização de uma revisão da literatura. As principais contribuições da pesquisa abordam um resumo dos impactos da TI no meio ambiente relatados na literatura e uma série de estratégias essenciais para mitigá-los. Dessa forma, os resultados desta pesquisa têm o potencial de serem úteis para uma variedade de públicos, incluindo dirigentes de empresas, entidades governamentais, pesquisadores das áreas de tecnologia, engenharia de produção, gestão ambiental, entre outras.

É importante ressaltar também as limitações do estudo, que estão relacionadas à quantidade de artigos utilizados como base e a restrição ao idioma português. Notou-se que os impactos ambientais são investigados principalmente na etapa de pós-uso e descarte da TI, assim, sugere-se para futuras investigações uma análise mais abrangente dos impactos associados ao uso e fabricação desses equipamentos.

REFERÊNCIAS

- DE LAVOR, B.C. et al. Mitigação dos impactos gerados pelo descarte inadequado dos resíduos eletrônicos. **Revista FAGENIUS**, 2023.
- DE ALMEIDA, M.A. et al. Destinação do lixo eletrônico: impactos ambientais causados pelos resíduos tecnológicos. **Revista Científica e-Locução**, v. 1, n. 07, p. 17-17, 2015.
- JÚNIOR, A. P. et al. Evolução e aplicação da tecnologia da informação e comunicação, os impactos ambientais e a sustentabilidade. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 1, p. 3628-3666, 2020.
- LUNARDI, G. L. et al. Tecnologia da informação e sustentabilidade: levantamento das principais práticas verdes aplicadas à área de tecnologia. **Revista Interinstitucional de Psicologia**, v. 4, n. SPE, p. 159-172, 2011.
- PEREIRA, R. T. et al. Análise da aplicação de tecnologias mais limpas na gestão dos Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE). **Exacta**, 2023.
- RAJA, S. P. Green computing and carbon footprint management in the IT sectors. **IEEE Transactions on Computational Social Systems**, v. 8, n. 5, p. 1172-1177, 2021.
- RICHTER, M. F. et al. Resíduos eletrônicos: Efeitos na saúde humana, impacto ambiental e potencial econômico. **Holos**, v. 5, 2022.
- ROCHA, A et al. Obsolescência programada de produtos eletroeletrônicos: dimensão social, ambiental econômica. **South American Development Society Journal**, v. 3, n. 07, p. 50-67, 2017.
- SUNARDI, R.F. et al. Economic and environmental benefits of practicing green computing in the corporate sector in Indonesia. **Environmental Practice**, v. 21, n. 2, p. 50-56, 2019.
- THOMÉ, A.M.T. et al. Conducting systematic literature review in operations management. **Production Planning & Control**, p. 408-420, 11 jan. 2016.
- WATSON, R. T. et al. Information systems and environmentally sustainable development: energy informatics and new directions for the IS community. **MIS quarterly**, p. 23-38, 2010.