



ConBRepro

XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



IA nas Engenharias

29 nov. a 01
de dezembro 2023

Desafios e Perspectivas na Gestão de Resíduos Urbanos: O Caso do Tocantins

Magda Cristina Ferreira de Araujo Gomes

IFTO / UTFPR – PPGEP

Maria Aparecida Silva Viana

IFTO / UTFPR – PPGEP

Regina Negri Pagani

UTFPR – PPGEP

Joao Luiz Kovaleski

UTFPR – PPGEP

Eliane Fernandes Pietrovski

UTFPR – PPGEP

Resumo: A sustentabilidade é uma preocupação globalmente reconhecida e, atualmente, se dispõe de conhecimentos tecnológicos abrangentes para diversos métodos de reciclagem de plástico. No entanto, a implementação desses métodos é extremamente desigual, devido a considerações de previsões e custos. O presente estudo busca analisar quais são os principais obstáculos enfrentados na gestão de resíduos urbanos no estado do Tocantins. A metodologia utilizada foi uma abordagem qualitativa e quantitativa, realizada por meio de uma revisão bibliográfica de produções nacionais e internacionais que abordam sobre o tema. As bases de dados utilizadas na pesquisa foram: Science Direct e Scopus. Os resultados demonstram que existem muitos benefícios na mesma proporção que os desafios no que diz respeito à reciclagem de plástico, uma vez que as tecnologias da indústria 4.0 são muito incipientes no Brasil para sua realização.

Palavras-chave: Cidades Inteligentes, Reciclagem, Indústria 4.0

Challenges and Opportunities in Plastic Recycling in Tocantins: An Industry 4.0 Perspective

Abstract: Sustainability is a globally recognized concern and, currently, comprehensive technological knowledge is available for various plastic recycling methods. However, implementation of these methods is extremely uneven due to forecasting and cost considerations. The present study seeks to analyze the main obstacles faced in urban waste management in the state of Tocantins and how industry 4.0 technologies can be applied in a sustainable way to overcome these challenges. The methodology used was a qualitative and quantitative approach, carried out through a bibliographical review of national and international productions that address the topic. The databases used in the research were: Science Direct and Scopus. The results demonstrate that there are many benefits in the same proportion as the challenges with regard to plastic recycling, since Industry 4.0 technologies are too incipient in Brazil to be implemented.

Keywords: Smart Cities, Recycling, Industry 4.0

1. Introdução

As Cidades Inteligentes podem ser definidas como um modelo urbano que, por meio da implementação de tecnologias inovadoras, incluindo Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) e a promoção de uma tomada de decisão participativa tem objetivo de melhorar os serviços e infraestruturas urbanas, resultando na melhoria da qualidade de vida e no bem-estar dos residentes (CORSI *et al.*, 2021).

A industrialização de uma região desempenha um papel crucial no fomento do seu desenvolvimento, pois gera novos postos de trabalho, eleva o padrão de renda dos residentes e contribui para o crescimento econômico local, resultando em melhorias substanciais na qualidade de vida. Esses benefícios se alinham harmoniosamente com os princípios das cidades inteligentes, onde o conceito de Indústria 4.0 desempenha um papel central. Por meio da interseção dos pilares tecnológicos, como *Internet das Coisas* (IoT), *Big Data* e outros, a Indústria 4.0 se integra perfeitamente com o desenvolvimento, criando um ambiente propício para o progresso econômico, a sustentabilidade ambiental e a melhoria contínua do bem-estar dos habitantes locais.

A Confederação Nacional da Indústria (CNI) publicou uma Sondagem Especial em 2022 sobre a Indústria 4.0 no Brasil. De acordo com a CNI, a indústria brasileira demonstra uma digitalização crescente em comparação ao ano de 2017. No ano de 2021, cerca de 69% das empresas do setor industrial já incorporaram pelo menos uma tecnologia digital de uma lista composta por 18 aplicações diferentes. Em contrapartida, em 2016, apenas 48% das empresas utilizavam alguma forma de tecnologia digital, com uma lista de 10 opções disponíveis (CNI, 2022).

Levando em consideração os dados apresentados, o objetivo geral desta pesquisa busca analisar quais são os principais obstáculos enfrentados na gestão de resíduos urbanos no estado do Tocantins, promovendo eficiência na gestão de resíduos e contribuindo para a promoção da sustentabilidade ambiental na região.

A metodologia para a produção desta publicação foi a análise bibliográfica de produções acadêmicas que versam sobre a temática utilizando a *Methodi Ordinatio*.

2. Metodologia

O presente estudo caracteriza-se como uma revisão sistemática da literatura. Na construção do *corpus* de pesquisa foi utilizado o *Methodi Ordinatio* (Pagani *et al.*, 2022; Pagani; Kovaleski; Resende, 2015). A aplicação aconteceu em nove etapas:

- Etapa 1 - Estabelecimento da intenção de pesquisa
Nesta etapa foram identificados os descritores e as combinações mais adequadas para responder a pergunta: Quais são os principais obstáculos enfrentados na gestão de resíduos urbanos no estado do Tocantins?
- Etapa 2 - Os descritores e as combinações identificados na etapa 1 foram testados nas bases Scopus e Science Direct. Na etapa foi utilizado o *software* Mendeley para a remoção de artigos duplicados.
- Etapa 3 - As bases testadas na Etapa 2 foram aprovadas por apresentarem volume significativo de publicações com os descritores pesquisados e apresentarem disponibilidade ampla de acesso aos materiais publicados. Foi definida para a pesquisa a combinação "polyethylene production process" OR "plastic recycling" AND "technology transfer" OR "industry 4.0". Não foi realizado o recorte temporal.

- **Etapa 4** - A pesquisa resultou em um total bruto de 17 artigos (Science Direct - n=04; Scopus - n=13). O resultado foi considerado satisfatório, não havendo a necessidade da ampliação de bases. Foi utilizado o *software* Mendeley como gerenciador das referências para a coleta e armazenamento dos dados.
- **Etapa 5** - Nesta etapa foram eliminados os trabalhos duplicados, apresentados em conferências que não possuem fator de impacto, livros ou capítulos de livros e cujo título não apresentava aderência com o tema do presente estudo. Na etapa foram utilizados, em sequência, os *softwares* Mendeley e JabRef para a construção do portfólio. Após a aplicação dos procedimentos de filtragem, chegou-se em 14 artigos.
- **Etapa 6** - Com o uso da planilha RankIn, disponibilizada pelos autores do Methodi Ordinatio, foi identificado o fator de impacto das publicações (*last year* JCR ou SJR). O número de citações foi levantado no Google Scholar (<http://scholar.google.com>) em 15 de setembro de 2023, a partir dos *links* disponibilizados na planilha RankIn.
- **Etapa 7** - A ordenação dos estudos levantados aconteceu com o uso da equação InOrdinatio (Pagani *et al.*, 2015; Pagani *et al.*, 2022).

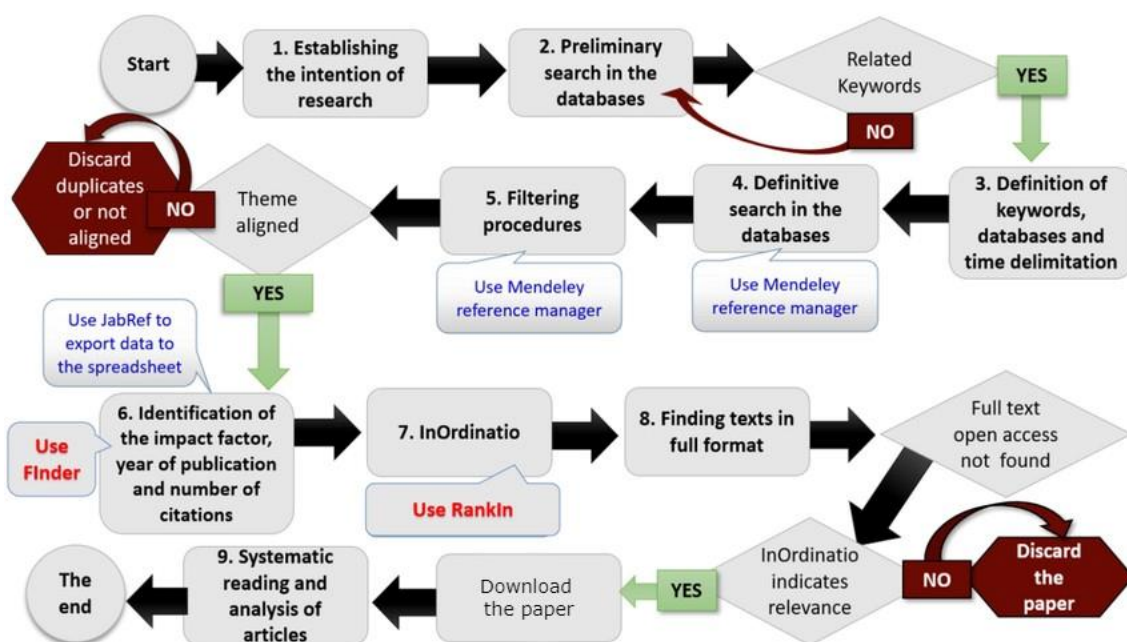
$$\text{InOrdinatio}2.0 = \{[\Delta^*(\text{IF})] - [\lambda^*(\text{ResearchYear} - \text{PubYearCitedHalfLife})] + \Omega^*[\text{Ci}(\text{ReseachYear} + 1) - \text{PubYear}]\} (1)$$

Na pesquisa, o valor atribuído foi 10 a todas as variáveis da equação.

- **Etapa 8** - A localização dos trabalhos foi feita diretamente no site da revista através do Portal de Periódicos da CAPES, com o acesso CAFe.
- **Etapa 9** - Nesta etapa foi realizada a leitura dos artigos selecionados. Foram excluídos, após a leitura, os artigos que não proporcionavam elementos para responder à pergunta de pesquisa.

As etapas, de forma sinóptica, estão representadas na Figura 1.

Figura 1 – Etapas da Methodi Ordinatio e a utilização das TICs em cada etapa



Fonte: Adaptado de Pagani *et al.* (2022)

3. Referencial Teórico

O desenvolvimento econômico e o crescimento aumentaram a procura e a dependência dos plásticos e a produção e o consumo globais de plásticos aumentaram dramaticamente nas últimas décadas. A maior parte dos plásticos produzidos a cada ano é usada em produtos de curta duração que são descartados um ano após a fabricação (TSUCHIMOTO; KAJIKAWA, 2022). A gestão desses resíduos é um grande desafio para os pesquisadores ambientais. Produtos plásticos como garrafas de água, recipientes, caixas de embalagem, sacos, etc. estão sendo amplamente utilizados (SAMBHI; DAHIYA, 2020).

A Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) divulga todos os anos o Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil. Como destaque positivo, o Panorama de 2022 apresentou um sinal encorajador de redução na produção de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) em todo o país, um desenvolvimento de especial relevância, uma vez que a redução na geração desses resíduos é a prioridade mais alta na regulamentação de medidas a serem inovadoras no setor (ABRELPE, 2022).

A geração de resíduos sólidos no Norte do Brasil foi de 6.173.684 toneladas, que em comparação com o ano de 2021 reduziu aproximadamente 0,05%, equivalente a 3.335 toneladas. Quase 34% dos municípios da região Norte do país, região em que o Tocantins está inserido, ainda não possui iniciativas de coleta seletiva. Um número grande em comparação à região mais desenvolvida do país, Sudeste, com 8,8% das cidades que ainda não possui tal iniciativa (ABRELPE, 2022). E para que a reciclagem de plásticos seja efetiva, a necessidade de ter uma coleta seletiva eficaz é extremamente necessária.

A saber, a reciclagem de plásticos é um processo onde existe a entrada de um determinado resíduo e ao final a saída de um produto para ser utilizado na Indústria. Lee e Liew (2021) afirmam que a reciclagem é uma das muitas soluções propostas para mitigar o impacto negativo a longo prazo na sociedade e no ambiente. Além disso, a reciclagem de plásticos pode reduzir a quantidade de resíduos plásticos que acabam em aterros sanitários, oceanos e outros locais indesejados, reduzindo assim a poluição e os danos ambientais.

A reciclagem está intrinsecamente ligada ao modelo de economia circular, de modo a trazer vários benefícios, incluindo a redução de custos, a melhoria da eficiência de recursos, a redução de resíduos e a minimização do impacto ambiental. A economia circular também pode criar novas oportunidades de negócios e inovação, como a criação de novos produtos e serviços a partir de resíduos e subprodutos (TSENG *et al.*, 2022).

Dentre os muitos benefícios, a reciclagem é considerada uma das soluções mais amigas do ambiente, além de possuir um grande potencial econômico pela sua concretização numa economia circular, onde os materiais são reutilizados e reciclados em vez de serem descartados após o uso inicial (LEE E LIEW, 2021),

Graser e Hoock (2018) citam alguns desafios da reciclagem de plástico, como a necessidade de desenvolver processos de separação e acondicionamento mais baratos e eficientes, a melhoria da qualidade da separação e da classificação dos materiais reciclados, a redução dos custos de transporte e a maximização da criação de valor usando plásticos reciclados no nível mais alto possível. Além disso, a reciclagem de plástico pode ser desafiadora devido à grande variedade de tipos de plásticos e à necessidade de separá-los e classificá-los adequadamente para reciclagem. A contaminação dos materiais reciclados também pode ser um desafio, bem como a falta de infraestrutura adequada para coleta, triagem e reciclagem de plásticos em algumas regiões.

Em vias de tecnologia, um estudo apresenta uma abordagem computacional que se revela de grande utilidade na otimização de intervalos de processo, trazendo melhorias na qualidade do produto no contexto da tecnologia analítica de processos e iniciativas de

qualidade por design. Essa abordagem demonstra sua capacidade de identificar condições operacionais ideais para processos industriais em grande escala. Apresenta ainda que tal abordagem pode ajudar a apoiar a implementação de tecnologia analítica de processos e iniciativas de qualidade por meio de design na indústria, que visam garantir consistentemente qualidade e valor aos processos e produtos (RUIZ *et al.*, 2018). Uma vez que a reciclagem se depara justamente com a inconveniente comparação entre o material virgem e o reciclado, essa tecnologia auxilia a desempenhar um papel mais qualificado.

Em termo de industrialização e constituição, o estado do Tocantins além de ser o mais novo estado brasileiro também é o que tem menor percentual de participação no número de estabelecimentos industriais do Brasil (CNI, 2022). Em 1988 foi constituído e no ano de 2022, segundo o censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), atingiu a população de 1.511.459 pessoas, tendo uma densidade demográfica de 5,45 habitantes por quilômetro quadrado. As três maiores cidades do Tocantins, em termos de população, são Palmas, Araguaína e Gurupi, que contam com 302.692 hab., 171.301 hab. e 85.126 habitantes, respectivamente (IBGE, 2023).

No que diz respeito à industrialização, as maiores cidades com maiores números de indústrias também são Palmas, Araguaína e Gurupi. Segundo a Federação das Indústrias do estado do Tocantins (FIETO), 52% das indústrias estão concentradas nas 3 cidades, conforme Tabela 1.

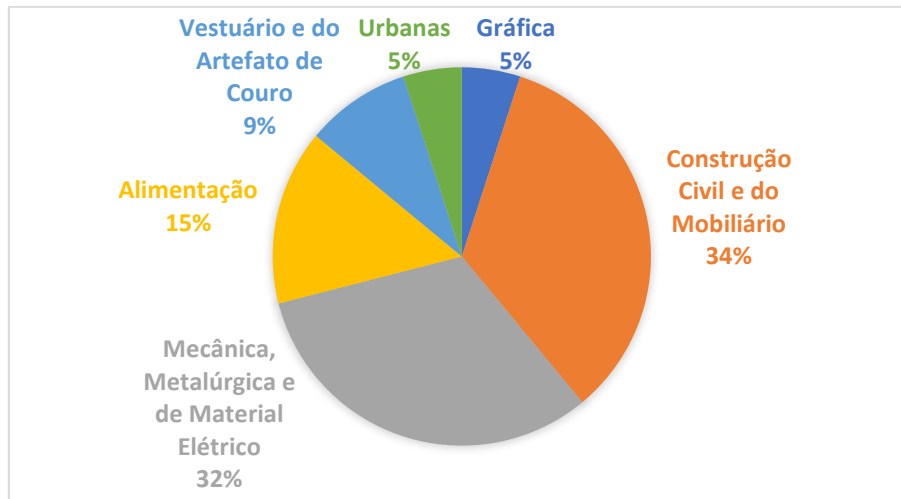
Tabela 1 – Concentração das Indústrias nas 3 maiores cidades do Tocantins

Palmas	874 Indústrias
	42% Indústrias da Construção Civil e do Mobiliário
	50% são Micro Empresas
Araguaína	400 Indústrias
	34% Indústrias Mecânicas, Metalúrgica e de Material Elétrico
	52% são Micro Empresas
Gurupi	267 Indústrias
	34% Indústrias Mecânicas, Metalúrgica e de Material Elétrico
	50% são Micro Empresas

Fonte: FIETO (2023)

A indústria movimenta 4,4 bilhões do Produto Interno Bruto (PIB) do Tocantins, representando 0,3% do PIB nacional. São contempladas 2.983 indústrias ativas, gerando emprego para um pouco mais de 34 mil trabalhadores (FIETO, 2023). Na Figura 2 verifica-se os principais setores do estado dentro do segmento da indústria.

Figura 2 – Setores da Indústria no Tocantins



Fonte: FIETO (2023)

Para fins de implementação da tecnologia, o custo elevado é extremamente reconhecido como a principal barreira interna à adoção de tecnologias digitais, uma constatação válida para empresas de todos os portes, com cerca de 66% apontando essa questão como uma preocupação central. Logo após o desafio do alto custo, as seguintes barreiras internacionais empatam em importância: a estrutura e cultura organizacional, a falta de clareza na determinação do retorno sobre o investimento e a deficiência de conhecimento técnico relacionado às tecnologias digitais. Aproximadamente um quarto das indústrias identifica cada uma dessas barreiras como um dos três principais obstáculos internos que dificultam a adoção das tecnologias digitais (CNI, 2022).

4. Resultados

Contextualizando o portfólio dos artigos retornados pelas bases de dados, quando se trata da palavra reciclagem de plásticos, por ser muito ampla, retornou várias pesquisas que abrangem outros aspectos, o que não contextualizou com o trabalho, sendo necessário efetuar a exclusão dos artigos e considerado buscar em dados públicos além da opção de artigos. A Tabela 2 apresenta o resultado final da seleção de artigos.

Tabela 2 - Seleção de artigos sobre processo de reciclagem de plásticos após a ordenação dos artigos por meio do In Ordinatío

Ranking	Authors	Article	Journal	FI	Year	Ci	InOrdinatio
1	Lee, A. and Liew, M.S.	Tertiary recycling of plastics waste: an analysis of feedstock, chemical and biological degradation methods	Journal of Material Cycles and Waste Management	5,3	2021	78	310,3684211

2	Tseng, M.-L., Ha, H.M., Tran, T.P.T., Bui, T.-D., Chen, C.-C. and Lin, C.-W.	Building a data-driven circular supply chain hierarchical structure: Resource recovery implementation drives circular business strategy	Business Strategy and the Environment	11,9	2022	26	247,6842105
3	Ruiz, S., Ortiz, M., Sarabia, L. and Sánchez, M.	A computational approach to partial least squares model inversion in the framework of the process analytical technology and quality by design initiatives	Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems	6,4	2018	10	74,0877193
4	Tsuchimoto, I. and Kajikawa, Y.	Recycling of Plastic Waste: A Systematic Review Using Bibliometric Analysis	Sustainability (Switzerland)	5	2022	5	73,68421054
5	Sambhi, S. and Dahiya, P.	Reverse vending machine for managing plastic waste	International Journal of System Assurance Engineering and Management		2020	5	8,552631586

Fonte: Autoria própria (2023)

A publicação que retornou o maior *InOrdinatio* expõe muito bem as opções para destinação adequada dos resíduos, citando-os ao longo do artigo. E todos os artigos lidos trata sobre a grande problemática do meio ambiente em relação ao descarte incorreto dos resíduos e suas consequências.

5. Conclusões

O estado do Tocantins é carente no que diz respeito à destinação adequada de resíduos sólidos para a indústria da reciclagem, e pode-se afirmar que o Tocantins está aquém da realidade global no que diz respeito à tecnologia da indústria 4.0. Para solucionar tal problemática não basta ter boa vontade se não houver uma gestão eficiente que facilita a transferência dos resíduos domésticos para a indústria da reciclagem. A principal barreira está no fomento das ações de conscientização a nível estadual.

A destinação adequada dos resíduos é um tema de extrema importância no cenário atual, e seus impactos abrangem diversas esferas, desde a preservação do meio ambiente até a promoção da saúde pública e o desenvolvimento sustentável. A reciclagem de resíduos pode economizar recursos naturais, reduzir a demanda por matéria prima e diminuir a emissão de gases de efeito estufa associados à produção de novos materiais.

A gestão eficaz de resíduos é um desafio que requer uma abordagem abrangente e colaborativa, como promover políticas governamentais abrangentes, que aborde a gestão de resíduos urbanos de forma integrada e eficiente, bem como fomentar parcerias público-privadas para desenvolver infraestruturas e tecnologias que facilitem a gestão de resíduos ao mesmo tempo em que ocorra a sensibilização pública e a educação ambiental, principalmente nas escolas.

Em resumo, este estudo desempenha um papel crucial ao destacar os desafios na gestão de resíduos urbanos no Tocantins, ressaltando a complexidade do cenário atual e, ao mesmo tempo, identificando caminhos para soluções sustentáveis. Embora existam desafios significativos, há oportunidades para melhorar a gestão de resíduos urbanos e criar um futuro mais sustentável para o estado do Tocantins

Agradecimentos

Agradecemos o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior do Brasil (CAPES), o Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP), o Instituto Federal do Tocantins (IFTO), e a UTFPR pelo apoio na realização do trabalho.

Referências

- ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2022**. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/panorama/>>. Acesso em: 15 set. 2023
- BRASIL, IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico, 2022**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>> Acesso em: 15 set. 2023.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, Sondagem especial - Ano 21, n. 83: **Indústria 4.0: cinco anos depois**. (Abril 2022) / Confederação Nacional da Indústria. – Brasília: CNI, 2022.
- CORSI, A.; SOUZA, F.F.; PAGANI, R.N., KOVALESKI, J.L. Smart Cities: Uma análise quantitativa de seus indicadores. In: ConBREpro. Ponta Grossa. **Anais...** Ponta Grossa: UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2021, 01 a 03 de dezembro de 2021.
- FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO TOCANTINS, **Guia Industrial do Tocantins**. Disponível em: <<http://guiaindustrial.fieto.com.br>> Acesso em: 15 set. 2023.
- GRASER, Klemens; HOOCK, Reinhard. **Material Choice and Design of Automotive Plastic Parts Under the Aspects of Recycling**. SAE Technical Paper, 2018.
- LEE, Alicia; LIEW, Mei Shan. Tertiary recycling of plastics waste: an analysis of feedstock, chemical and biological degradation methods. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 23, n. 1, p. 32-43, 2021.
- PAGANI, R. N.; KOVALESKI, J. L.; RESENDE, L. M. Methodi Ordinatio: a proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication. **Scientometrics**, v. 105, n. 3, p. 2109–2135, 2015.
- PAGANI, Regina Negri *et al.* Methodi Ordinatio 2.0: Revisited under statistical estimation, and presenting Flinder and RankIn. **Quality & Quantity**, p. 1-40, 2022.

RUIZ, S. et al. A computational approach to partial least squares model inversion in the framework of the process analytical technology and quality by design initiatives. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, v. 182, p. 70-78, 2018.

SAMBHI, Shilpa; DAHIYA, Preeti. Reverse vending machine for managing plastic waste. **International Journal of System Assurance Engineering and Management**, v. 11, p. 635-640, 2020.

TSENG, Ming-Lang et al. Building a data-driven circular supply chain hierarchical structure: Resource recovery implementation drives circular business strategy. **Business Strategy and the Environment**, v. 31, n. 5, p. 2082-2106, 2022.

TSUCHIMOTO, Ichiro; KAJIKAWA, Yuya. Recycling of Plastic Waste: A Systematic Review Using Bibliometric Analysis. **Sustainability**, v. 14, n. 24, p. 16340, 2022.