



## AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA EM CENÁRIOS DE GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM HUMAITÁ, ESTADO DO AMAZONAS

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.6.23.IV-017>

Beatriz Hanada Menichelli (\*), Benone Otávio Souza de Oliveira, Gerson Araújo de Medeiros

\* Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba, Universidade Estadual Paulista (UNESP), [beatriz.hanada@unesp.br](mailto:beatriz.hanada@unesp.br).

### RESUMO

Na Amazônia, cerca de 80% dos municípios descartar seus resíduos em lixões a céu aberto, desafiando órgãos governamentais para encontrar alternativas para a sua gestão. Neste contexto, a metodologia de Avaliação Ciclo de Vida (LCA) tem sido usada para analisar o impacto ambiental dos cenários dos sistemas de gestão dos resíduos sólidos urbanos (RSU). O objetivo do presente trabalho foi analisar cenários de gestão de resíduos sólidos, com base na metodologia LCA, no município de Humaitá, estado de Amazonas, incluindo a coleta de resíduos de comunidades indígenas. A LCA seguiu o modelo proposto pela ISO 14040 e 14044 e foi realizada usando o Software Simapro. A categoria de impacto ambiental avaliada correspondia à emissão de gases de efeito estufa (GEE), expressas em CO<sub>2</sub>eq. Três cenários foram avaliados: a) Cenário base (CB): correspondia à coleta de resíduos da cidade de Humaitá, transporte e disposição em aterro sanitário; b) Cenário C1: correspondia a CB com a inclusão da coleta de resíduos gerados em áreas indígenas; c) Cenário C2: correspondia ao C1, excluindo os resíduos orgânicos, que seriam destinados à compostagem. Os resultados permitiram concluir que a inclusão da coleta de resíduos sólidos de reservas indígenas aumentariam as emissões de GEE em 4%.

**PALAVRAS-CHAVE:** terras indígenas, Amazônia, gestão ambiental.

### ABSTRACT

In the Amazon, around 80% of the municipalities dispose of their waste in open-air dumps, challenging government agencies to find alternatives for its management. In this context, the Life Cycle Assessment (LCA) methodology has been used to analyze the environmental impact of municipal solid waste (MSW) management system scenarios. The objective of this research was to analyze municipal solid waste management scenarios, based on the LCA methodology, in the municipality of Humaitá, state of Amazonas, including the collection of waste from indigenous communities. The LCA followed the model proposed by ISO 14040 and 14044 and was performed using the Simapro software. The environmental impact category assessed corresponded to greenhouse gas (GHG) emissions, expressed in CO<sub>2</sub>eq. Three scenarios were evaluated: a) Base scenario (CB): which corresponded to the collection of waste from the urban area of Humaitá, transport, and disposal in a sanitary landfill; b) Scenario C1: which corresponded to CB with the inclusion of the collection of waste generated in indigenous areas; c) Scenario C2: corresponded to C1, excluding organic waste, which would be destined for composting. The analysis of the inventories of each scenario led to the conclusion that including the collection of solid waste from indigenous reserves would increase GHG emissions by 4%.

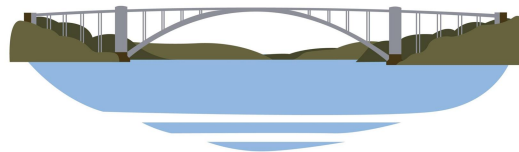
**KEY WORDS:** indigenous lands, Amazon, environmental management.

### INTRODUÇÃO

Com o crescimento populacional e o desenvolvimento econômico, a geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) vem aumentando consideravelmente em termos globais. O sistema econômico atual segue um princípio de que o desenvolvimento está atrelado com a urbanização, industrialização e ao crescimento do consumo de bens de capital, atividades responsáveis por intensificar a taxa de geração de RSU (MANCINI et al., 2021). A elevação nas taxas de produção dos resíduos também está diretamente relacionada com a ampliação de problemas ambientais envolvendo a poluição de águas superficiais e subterrâneas, de solo e ar, podendo oferecer riscos, inclusive, à saúde humana. (PAES et al., 2020a).

De acordo com o diagnóstico do manejo dos resíduos sólidos urbanos dos municípios brasileiros, realizado pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), o Brasil coletou, em 2019, cerca de 64 milhões de toneladas de RSU ou 0,99 kg.(habitante.dia)<sup>-1</sup> (SNIS, 2019).

Apesar da prioridade dada à recuperação dos resíduos sólidos, no Brasil, a principal destinação dos RSU são os aterros sanitários (60%), seguidos dos lixões e aterros controlados (25%), sendo recuperados somente 2,2% em estruturas de



triagem (MANCINI et al., 2021). Todavia, na Amazônia se observam os piores indicadores de resíduos sólidos do Brasil, pois mais de 80% dos municípios avaliados dispõem os RSU em lixões a céu aberto e aterros controlados (OLIVEIRA & MEDEIROS, 2019). Deve-se acrescentar os aspectos territoriais e demográficos, tais como baixa densidade populacional, estrutura de logística precária e incipiente parque industrial, além do regime pluviométrico que limitam, nessa região, a implantação de alternativas de gestão integrada de RSU preconizadas pela Lei 12.305/2010 (OLIVEIRA et al., 2021). Tal realidade emerge desafios para a tomada de decisão na gestão dos resíduos sólidos urbanos na Amazônia, pela complexidade dos impactos ambientais, sociais, culturais e políticos envolvidos.

Nesse contexto, a metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) surge como uma ferramenta para modelar e quantificar impactos de diferentes cenários para a gestão dos RSU, pois permite a quantificação dos impactos ambientais gerados desde o berço (extração de matérias primas) ao túmulo (disposição final). Essa técnica tem sido utilizada e recomendada para estudos relacionados à comparação entre alternativas de tratamento de RSU (PAES et al., 2020a), na comparação de cenários de gestão de resíduos sólidos (PAES et al. 2020b) e impacto dos resíduos sólidos em programas educativos (DUTRA et al., 2019).

### OBJETIVOS

O presente trabalho teve por objetivo analisar cenários de gestão dos resíduos sólidos urbanos na Amazônia, baseados na técnica da Avaliação de Ciclo de Vida, por meio de um estudo de caso no município de Humaitá, estado do Amazonas, incorporando a coleta em áreas indígenas.

### METODOLOGIA

#### 1. Cenários propostos para a gestão dos resíduos sólidos urbanos de Humaitá

Os cenários propostos de gestão dos RSU seguiram as recomendações de especialistas, em pesquisa prévia realizada por Oliveira et al. (2021). Para este trabalho foram propostos três cenários, conforme a descrição a seguir:

##### 1.1. Cenário base

Modelou-se o sistema de gestão de RSU presente em Humaitá, o qual consiste de coleta, transporte e disposição em aterro. Nesse cenário se coleta 5.412 t.ano<sup>-1</sup> de resíduos sólidos (secos e orgânicos), sem separação prévia, por meio de dois caminhões compactadores de 5 m<sup>3</sup> (OLIVEIRA et al., 2022). A coleta abrange somente a mancha urbana do município, a uma frequência de coleta de 6 dias por semana nas áreas residenciais, e todos os dias nas áreas comerciais.

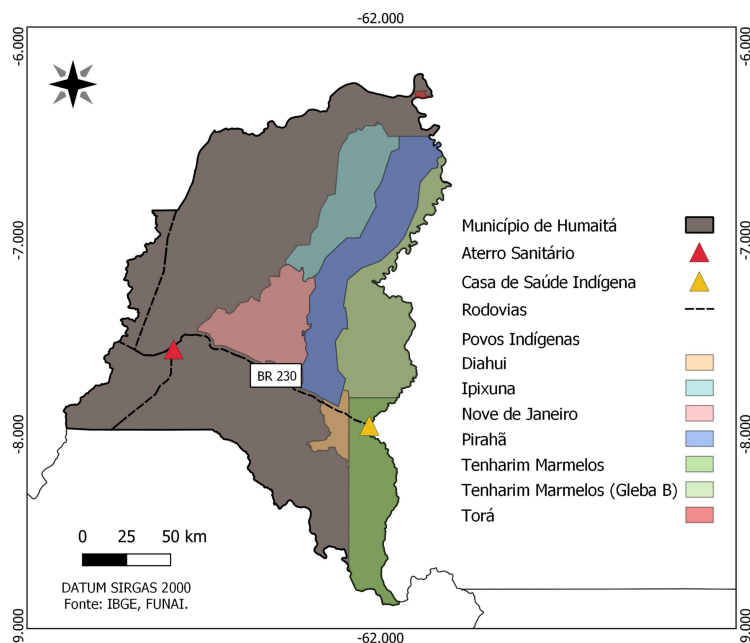
##### 1.2. Cenário C1

Esse cenário corresponde ao base com a inclusão da coleta dos resíduos gerados em áreas indígenas, e posterior disposição no aterro sanitário. A estimativa da geração dos resíduos na área indígena foi baseada na pesquisa de Vélez et al. (2019), realizada na Amazônia equatoriana, pois não existe qualquer registro na região de Humaitá.

As áreas consideradas corresponderam aos territórios ocupados pelas etnias Diahui, Ipixuna, Nove de Janeiro, Pirahã, Tenharins Marmelos, Tenharins e Torá, conforme dados disponibilizados pela Fundação Nacional do Índio (FUNAI) no domínio do Ministério da Justiça e Segurança Pública (BRASIL, 2021). O local selecionado para a coleta dos resíduos gerados nestas áreas foi a Casa de Saúde Indígena, a 150 km da mancha urbana de Humaitá e inserido no território do povo Tenharim (Figura 1). Esse posto atende indivíduos de várias etnias do entorno e, naturalmente, é um local de fluxo dos indígenas da região. A baixa densidade demográfica (0,14 hab.km<sup>-2</sup>, conforme ISA, 2022), a infraestrutura logística precária, e dispersão espacial dos povos residentes no município levou à definição de uma coleta semanal.

##### 1.3. Cenário C2 (Separação de resíduos sólidos orgânicos e secos)

No cenário C2 repete-se o sistema de coleta do cenário C1, entretanto, somente os resíduos sólidos secos das áreas indígenas seriam destinados ao aterro sanitário, enquanto a parte orgânica seria enviada à compostagem domiciliar. Conforme composição gravimétrica realizada por Vélez et al. (2019), os resíduos orgânicos correspondem a 75% da geração das comunidades indígenas da Amazônia. A compostagem familiar foi proposta pela falta de um sistema de coleta, separação e unidade de compostagem no município (OLIVEIRA & MEDEIROS, 2020).



**Figura 1: Demarcação de terras indígenas em Humaitá e localização do aterro sanitário e local de coleta dos resíduos sólidos secos gerados na área indígena, denominado Casa de Saúde Indígena**

## 2. Avaliação de Ciclo de Vida (ACV)

O presente estudo seguiu o modelo proposto pela ISO 14040 e 14044, composto pelas seguintes fases: definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impactos e, por fim, a interpretação dos resultados. A simulação da ACV do cenário base e aqueles propostos foi realizada pelo software SimaPro, versão 9.2. O objetivo do estudo foi avaliar as emissões de CO<sub>2</sub>eq, causados pelos cenários propostos de gestão de RSU de Humaitá.

O escopo compreendeu todas as etapas de gerenciamento de resíduos no município de Humaitá, tais como: geração, transporte, tratamento e disposição final, bem como os balanços de massa, energia e emissões. A função do sistema segue a proposta de gerenciar as atividades necessárias à coleta, transporte, triagem, tratamento e disposição final de 5.412 t ano<sup>-1</sup> dos RSU gerados no município de Humaitá, estado do Amazonas, Brasil. A fronteira do sistema correspondeu ao modelo cradle-to-grave (berço ao túmulo), composto pelas fases de coleta, transporte e disposição final, associados a geração de lixiviado, consumo de combustível e emissões atmosféricas.

### 2.1. Inventário do Ciclo de Vida (ICV)

O Inventário do Ciclo de Vida (ICV) foi elaborado com base no banco de dados Ecoinvent 3 e em dados secundários obtidos a partir de uma parceria de pesquisa entre a Universidade Estadual Paulista (Unesp) e a Universidade Federal do Amazonas (UFAM). Esses dados contemplavam as principais entradas (combustível, eletricidade, resíduos sólidos gerados na área urbana e terras indígenas) e saídas (emissões atmosféricas e lixiviado) do sistema de gestão de RSU de Humaitá. Informações sobre o transporte e coleta, a rota e distâncias percorridas pelos caminhões foram levantadas por Souza et al. (2018).

A coleta regular de resíduos abrangia toda a área urbana da cidade, entretanto, a população rural e indígena não era contemplada devido às distâncias envolvidas, distribuição e condições das estradas. Cerca de 31% da população de Humaitá não tem acesso à coleta de resíduos sólidos (OLIVEIRA et al., 2021).

A composição gravimétrica dos RSU foi levantada por Oliveira et al. (2022). Segundo esses autores, Humaitá gerava de 14,83 t.dia<sup>-1</sup> de RSU (5.412 t.ano<sup>-1</sup>) ou 0,4 kg.dia<sup>-1</sup> per capita. Predominava a matéria orgânica (44%), seguida de materiais plásticos (16%) e papelão (10%). Nas terras indígenas foi assumida uma geração diária de 0,26 kg.habitantes<sup>-1</sup> (VÉLEZ et al., 2019). Nessas áreas, cerca de 75% dos resíduos são orgânicos e 18% são considerados reaproveitáveis, como metais, plásticos e papelão.

### 2.2. Avaliação dos Impactos do Ciclo de Vida

Na avaliação dos impactos do ciclo de vida do cenário base foi utilizado o método ReciPe Midpoint (H) versão 1.05 (RIPA et al., 2017). A categoria de impacto ambiental emissões de CO<sub>2</sub>eq foi a escolhida para avaliar o impacto ambiental de cada cenário.



### RESULTADOS

A Tabela 1 apresenta uma comparação dos três cenários avaliados, considerando-se a categoria de impacto emissões de CO<sub>2</sub>eq. O cenário C1 apresentou as maiores emissões de gases de efeito estufa (GEE), pois a coleta de resíduos das áreas indígenas representa um aumento anual da distância percorrida de 14.400 km e, conseqüentemente, do consumo de combustíveis (5,37 t de óleo diesel), em relação ao cenário base.

**Tabela 1. Emissão anual de gases de efeito estufa nos cenários de gestão dos resíduos sólidos urbanos na cidade de Humaitá, estado do Amazonas.**

Cenário	Unidade	Contribuição
Base	kg CO <sub>2</sub> eq	1.537.130
C1	kg CO <sub>2</sub> eq	1.601.340
C2	kg CO <sub>2</sub> eq	1.555.780

Essa mudança na rota de coleta dos RSU levou a um aumento de 4% nos impactos das emissões de GEE. Todavia, deve-se considerar que existe uma redução das emissões diretas causada pela queima dos resíduos, uma prática comumente utilizada em comunidades indígenas (CRUZ et al., 2023).

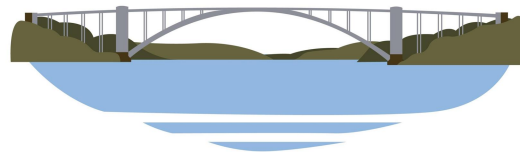
Quando comparados os cenários C1 e C2, observa-se uma redução de 2,85% nas emissões de CO<sub>2</sub>eq. Dada a composição gravimétrica dos resíduos gerados em área urbana e em terras indígenas, cuja parcela de resíduos orgânicos é de 44% e 75%, respectivamente, uma alternativa seria a compostagem. Essa recomendação é fundamentada em consulta realizada junto a especialistas por Oliveira et al. (2021). Segundo esses autores, cerca de 70% dos especialistas consideraram a compostagem como uma alternativa potencial para o tratamento de RSU na sub-região da Amazônia Ocidental. Todavia, os baixos níveis de separação de resíduos, a necessidade de manutenção e operação de unidades de compostagem, a ausência de mercado e a falta de investimentos limitam a compostagem em larga escala (OLIVEIRA et al., 2021). Desta forma, a compostagem domiciliar poderia se tornar uma alternativa descentralizada de gestão dos resíduos sólidos urbanos, promovendo a redução do volume de resíduos orgânicos destinados ao sistema de coleta municipal de resíduos (PAES et al., 2020).

### CONCLUSÕES

Dada a complexidade dos fatores limitantes ao desenvolvimento de uma infraestrutura adequada para o sistema de gestão de resíduos sólidos na região de Humaitá, assim como grande parte da região norte, a implementação de sistemas de compostagem, coletivos ou individuais, pode ser uma excelente alternativa para a redução do volume de resíduos gerados. Além de contribuir para a redução das cargas realizadas pelas coletas, diminuição das emissões de gases do efeito estufa e direcionamento adequado aos resíduos orgânicos, o material resultante do processo de compostagem pode ser reaproveitado nas áreas rurais ou parques urbanos.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL. Ministério da Justiça e Segurança Pública, 2021. **Geoprocessamento e Mapas**. Disponível em: <https://www.gov.br/funai/pt-br/atuacao/terras-indigenas/geoprocessamento-e-mapas> . Acesso: 20 nov. 2022.
- CRUZ, M.B.; SAIKAWA, E.; HENGSTERMANN, M. et al. Plastic waste generation and emissions from the domestic open burning of plastic waste in Guatemala. **Environmental Science: Atmospheres**, v.3, p.156-167, 2023. <https://doi.org/10.1039/d2ea00082b>
- DUTRA, A.C.; MEDEIROS, G.A.; GIANELLI, B.F. valiação do ciclo de vida como uma ferramenta de análise de impactos ambientais e conceito aplicados em programas educativos. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v.51, p.15-27, 2019. <https://doi.org/10.5327/Z2176-947820190399>
- ISA Instituto Sócio Ambiental. Disponível em: <https://www.socioambiental.org/>. Acesso: 08 março 2023.
- MANCINI, S.D.; MEDEIROS, G.A.; PAES, M.X. et al. Circular economy and solid waste management: challenges and opportunities in Brazil. **Circular Economy and Sustainability**, v.1., p.1-22, 2021. <https://doi.org/10.1007/s43615-021-00031-2>



6. OLIVEIRA, B.O.S.; MEDEIROS, G.A.; MANCINI, S.D.; PAES, M.X. ; GIANELLI, B.F. Eco-efficiency transition applied to municipal solid waste management in the Amazon. **Journal of Cleaner Production**, v.373, p.133807, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133807>.
7. OLIVEIRA, B.O.S.; MEDEIROS, G.A.; PAES, M.X. ; MANCINI, S.D. Integrated municipal and solid waste management in the Amazon: addressing barriers and challenges in using the Delphi Method. **International Journal of Environmental Impacts: Management, Mitigation and Recovery**, v. 4, p. 49-61, 2021. <https://doi.org/10.2495/EI-V4-N1-49-61>.
8. OLIVEIRA, B.O.S.; MEDEIROS, G.A. Municipal solid waste management in the Amazon: environmental, social, and economic problems, gaps, and challenges. In: Juan Casares. (Org.). **WIT Transactions on Ecology and the Environment**. 1ed.Southampton: WIT Press, v. 245, p. 9-20. 2020.
9. OLIVEIRA, B.O.S.; MEDEIROS, G.A. Evolução e desafios no gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos nos estados da região norte, Brasil. **Revista Valore**, v. 4, p. 749-761, 2019. <https://doi.org/10.22408/revva412019211749-761>
10. PAES, M.X.; MEDEIROS, G.A.; MANCINI, S.D. et al. Municipal solid waste management: Integrated analysis of environmental and economic indicators based on life cycle assessment. **Journal of Cleaner Production**, v. 254, p. 119848, 2020a. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119848>
11. PAES, M.X.; MEDEIROS, G.A.; MANCINI, S.D. et al. Transition towards eco-efficiency in municipal solid waste management to reduce GHG emissions: The case of Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 262, p. 121370, 2020b <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.12137>.
12. RIPA, M.; FIORENTINO, G.; VACCA, V.; ULGIATI, S. The relevance of site-specific data in Life Cycle Assessment (LCA). The case of the municipal solid waste management in the metropolitan city of Naples (Italy). **Journal of Cleaner Production**, v.142, p.445-460, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.149>
13. SNIS - National System of Information on Sanitation. **Solid Waste Management Inventory**. Brasil, Brasília, DF. 2019. <http://www.snis.gov.br/diagnostico-residuos-solidos/diagnostico-rs-2017>. (Accessed 28 March 2019)
14. SOUZA, H.V.G.; OLIVEIRA, B.O.S.; QUERINO, J.K.A.S. ; MIRANDA, I.L.S.; NINA, A.J.L.R. Análise das rotas de coleta de resíduos sólidos no município de Humaitá-AM. In: ABREU, B.R.; LEITE, J.C.; SOUZA, J.S. (Org.). **Tópicos especiais em meio ambiente**. São Paulo: Alexa Cultural, 2018, v. I, p. 01-176.
15. VÉLEZ, A.G.; PEÑAFIEL, P.A.; HEREDIA, M.; BARRENO, S.N.; CHÁVEZ, J.F. Propuesta de sistema de gestión de residuos sólidos domésticos en la comunidad Waorani Gareno de la Amazonía ecuatoriana. **Ciencia y Tecnología**, [S. l.], v. 12, n. 2, p. 33–45, 2019. DOI: 10.18779/cyt.v12i2.324