**AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA COMO TÉCNICA DE APOIO À DECISÃO NA  
GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO SUL DO AMAZONAS****Benone Otávio Souza de Oliveira\***, **Gerson Araújo de Medeiros**

\*Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Ciência e Tecnologia; e-mail: benone.oliveira@unesp.br

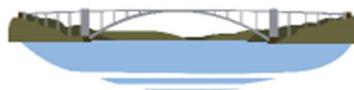
**RESUMO**

O crescimento acelerado das cidades brasileiras, em consonância com a rápida industrialização, urbanização e crescimento populacional, acarretam o aumento exponencial da geração de resíduos sólidos urbanos, além disto, provocam problemas ambientais e sanitários. Diante desses problemas, a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) desponta como uma alternativa de suporte à tomada de decisões para gestão de resíduos sólidos urbanos, no entanto, ainda são escassos estudos de ACV relacionados à gestão de RSU, em áreas de vulnerabilidade ambiental, social e econômica, como na região Amazônica. Deste modo, o trabalho objetiva realizar o inventário do atual sistema de gestão dos resíduos sólidos urbanos da cidade de Humaitá e avaliar os seus impactos ambientais utilizando a técnica de avaliação do ciclo de vida (ACV). Para avaliação do ciclo de vida será utilizado o software Simapro 8.5 com banco de dados da Ecoinvent. Com este trabalho, espera-se que seja proporcionada uma visão mais ampla do sistema de gerenciamento integrados dos resíduos sólidos urbanos (SGRSU) no município de Humaitá e que sirva de base para outros municípios da região. Nesta perspectiva, conclui-se que a utilização de avaliação de ciclo de vida (ACV) pode ser utilizada na tomada de decisões pelo poder público municipal, permitindo definir alternativas e modelos de gerenciamento de RSU através de cenários propostos que atendam o que se preconiza na Política Nacional de Resíduos Sólidos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Avaliação de ciclo de vida, Gestão de resíduos sólidos urbanos, Amazônia.**ABSTRACT**

The growth accelerated of cities Brazilian, in consonance with the rapid industrialization, urbanization and growth population, lead to an increase exponential in the generation of waste solid urban, besides causing problems environmental and sanitary. In view of these problems, the Life Cycle Assessment (LCA) emerges as an alternative to support decision making for management waste solid urban, however, there are still few studies of LCA related to management of MSW, in areas of vulnerability environmental, social and economic, as in the region Amazon. That way, the work objective is to carry out an inventory of the current system management waste solid urban of the city of Humaitá and to evaluate its impacts environmental using the technique life cycle assessment (LCA). To life cycle assessment will be used the software Simapro 8.5 with Ecoinvent database. With this work, it is expected that a broader view of the system integrated management waste solid urban (SGRSU) in the municipality of Humaitá and that it will serve as a basis for other municipalities in the region. In this perspective, it is concluded that the use of life-cycle assessment (LCA) can be used in decision-making by municipal public authorities, allowing to define alternatives and models of management MSW through proposed scenarios that meet the Policy National on Solid Waste.

**KEY WORDS:** Life cycle assessment, Management waste solid urban, Amazon.



## INTRODUÇÃO

O crescimento acelerado das cidades brasileiras, em consonância com a rápida industrialização, urbanização e crescimento populacional, acarretam o aumento exponencial da geração de resíduos sólidos urbanos, além disto, provocam problemas ambientais, como por exemplo, a poluição do solo, ar, águas superficiais e subterrâneas, proliferação de doenças e problemas sanitários principalmente para os catadores que residem em locais de disposição de RSU (FERRONATO et al., 2018; LIMA et al., 2018; COLVERO et al., 2017; ALFAIA et al., 2017; RIPA et al., 2017; POLETTO et al., 2016; GUERRERO; MAAS; HOGLAND, 2013).

O agravamento da degradação ambiental provenientes pela geração excessiva dos RSU torna-se um desafio de grande proporção no que tange sua gestão adequada (AL-KHATIB et al., 2010), além disso, estes problemas podem ser potencializados pela falta de planejamento urbano, falta de mão de obra qualificada, restrições financeiras, aspectos culturais e socioeconômicos, política, governança e institucionais (RIPA et al., 2017; REBEHY et al., 2017; GUERRERO; MAAS; HOGLAND, 2013; TURAN et al., 2009).

Diante dos problemas gerados pela má gestão dos resíduos sólidos urbanos no Brasil, foram estabelecidos no âmbito do ordenamento jurídico nacional, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº. 12.305/2010), que proíbe a disposição em lixões a céu aberto e, destaca a importância da redução, reutilização, reciclagem, tratamento e eliminação adequada dos RSU (BRASIL, 2010).

Neste viés, estimativas oficiais do Sistema Nacional de Informação de Saneamento (SNIS), indicaram uma geração diária de aproximadamente 166 mil toneladas por dia de RSU, no ano de 2017. Desse total 63% foram dispostos em aterros sanitários, e 17,8% em lixões e aterros controlados sem qualquer tratamento causando assim impactos ambientais e sociais, além disso, 1,65% foram tratados e recuperados em unidades de triagem e reciclagem, e 17,55% estavam sem informação (SNIS, 2019).

Destaca-se, que para o sucesso dos modelos de gestão, as etapas de coleta até o tratamento e disposição final devem englobar sistemas integrados (MANNARINO, 2016). Nesta perspectiva, a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) desponta como uma alternativa de suporte à tomada de decisões para gestão de RSU (LAURENT et al., 2014).

Essa abordagem tem crescido rapidamente e tem se destacado com várias publicações a nível mundial, como no Brasil (PAES et al., 2018), China (CHEN; CHRISTENSEN, 2010), Europa (GENTIL; CLAVREUL; CHRISTENSEN, 2009), Espanha (FERNANDEZ-NAVA et al., 2014), Portugal (HERVA; NETO; ROCA, 2014), Índia (SHARMA; CHANDEL, 2017), Itália (RIPA et al., 2017), Palestina (AL-KHATIB et al., 2010), Turquia (BANAR; COKAYGIL; OZKAN, 2009), Malásia (SAHERI et al., 2012).

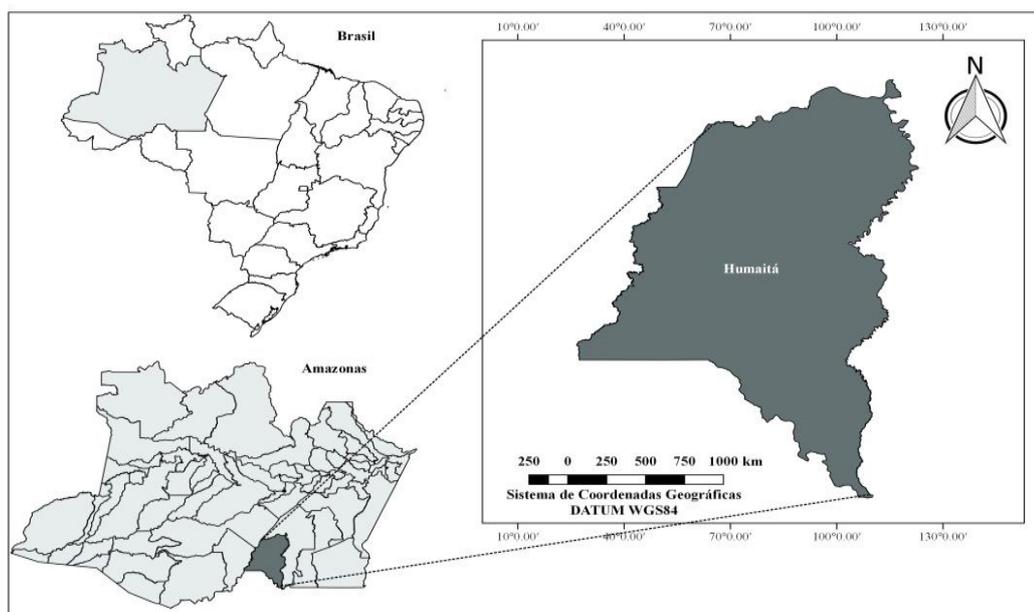
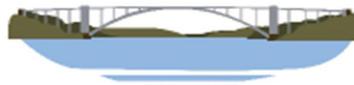
Apesar disso, ainda são escassos estudos de ACV relacionados à gestão de RSU, em áreas de vulnerabilidade ambiental, social e econômica, como na região Amazônica, assim, levanta-se o desafio para se avaliar os melhores cenários de gestão de resíduos sólidos urbanos da cidade de Humaitá e avaliar os seus impactos ambientais utilizando a técnica de avaliação do ciclo de vida (ACV).

## OBJETIVOS

O trabalho objetiva realizar o inventário do atual sistema de gestão dos resíduos sólidos urbanos da cidade de Humaitá e avaliar os seus impactos ambientais utilizando a técnica de avaliação do ciclo de vida (ACV).

## METODOLOGIA

O município de Humaitá, no estado do Amazonas, situa-se sob as coordenadas geográficas 07°30'22'' S e 63°01'15'' W com aproximadamente 90 metros acima do nível do mar, às margens do rio Madeira, afluente do rio Amazonas (Figura 1). A cidade está localizada a uma distância aproximada de 700 km da cidade de Manaus, capital do estado do Amazonas, sendo o seu acesso mais viável somente pelo rio Madeira. No período de estiagem existe a possibilidade do acesso via terrestre (rodovia BR-319), todavia o estado de conservação dessa rodovia torna o deslocamento precário. Humaitá tem aproximadamente 54.000 habitantes, uma densidade demográfica de 1,34 hab./km<sup>2</sup> e um produto interno bruto (PIB) de R\$ 8.778,41 per capita (IBGE, 2018).



**Figura 1: Localização do município de Humaitá, Amazonas. Fonte: Autor do Trabalho.**

O processo metodológico de ACV foi preconizado pelo modelo proposto da ISO 14044 (ISO, 2009), descritas conforme os seguintes tópicos (definição do objetivo e escopo; função e unidade funcional (UF); sistema de produto e fronteira do sistema; Análise do inventário (ICV); Avaliação dos impactos do ciclo de vida (AICV) e Interpretação dos resultados).

Logo o objetivo da ACV foi identificar problemas ambientais e determinar os impactos do sistema de gestão de resíduos sólidos em Humaitá-Amazonas durante o ano de 2017. Para a definição do escopo analisou-se e quantificaram-se todas as etapas de gerenciamento de resíduos, como por exemplo: geração, transporte, tratamento e disposição final, considerando todos os balanços de materiais, energia e emissões.

Na etapa seguinte a função do estudo foi definida como a ação de: “Gerenciar as atividades necessárias à coleta, transporte, triagem, tratamento e disposição final de 14,83 toneladas/dia de RSU no município de Humaitá”. Assim, o sistema do produto na abrangência *cradle-to-gate* compõe-se das fases de geração, coleta, transporte e disposição final em um aterro, como também se associou a geração de eletricidade, lixiviado, consumo de combustível, geração de metano e a construção do aterro sanitário.

Na etapa de análise do inventário (ICV), onde envolve a quantificação das entradas e saídas pertinentes ao sistema. Logo, os dados de emissões nos processos de transporte, triagem, tratamento e disposição final dos RSU, tais como as emissões para água e ar, foram baseados em dados secundários de literatura científica e órgãos oficiais, incluindo Yay (2015); Saheri et al. (2012); IPCC (1996); Conama (2009); Gomes et al. (2015); Belboom et al. (2013); Bovea et al. (2010).

Nesta mesma etapa (ICV) foi utilizado o software SimaPro 8.5.2 com banco de dados da Ecoinvent 3, e para a elaboração dos cenários utilizou-se os dados primários e secundários, para as principais entradas (resíduos, energia, materiais) e saídas (emissões e resíduo sólido final) do sistema de gestão de RSU. Utilizou-se também o banco de dados da Ecoinvent para modelar a disposição final dos RSU em aterro (construção e tratamento de resíduos sólidos urbanos), transporte (coleta/caminhão) e tratamentos via reciclagem e compostagem.

Para avaliação dos impactos do ciclo de vida foi utilizado o método CML-IA baseline V3.04/EU25, por meio das seguintes categorias: Potencial de Aquecimento Global: expresso em kg de CO<sub>2</sub> eq., acidificação: expresso em kg de SO<sub>2</sub> eq., eutrofização: expresso em kg de PO<sub>4</sub> eq., toxicidade humana: expresso em kg de DB eq. A escolha destas categorias, foi baseada na representatividade do método e na possibilidade de comparação dos resultados e impactos com outros estudos.

Na fase de interpretação dos resultados e onde se verificará as confirmações das análises (ICV e do AICV), através do objetivo e escopo traçado.

## RESULTADOS

Com este trabalho, espera-se que seja proporcionada uma visão mais ampla do sistema de gerenciamento integrados dos resíduos sólidos urbanos (SGRSU) no município de Humaitá e região sul do estado do Amazonas e que



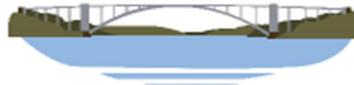
sirva de base para outros municípios da região. Até o momento, realizou-se a caracterização e triagem dos RSU, busca de dados secundários na literatura científica, e inserção de dados no software simaPro. A partir deste ponto, pretende-se modelar o cenário base (atual) do sistema de gerenciamento no município, e propor cenários com estratégias tecnológicas (compostagem, reciclagem, incineração, tratamento mecânico e biológico, e construção de aterro sanitário) que atendam as características da Amazônia. Além disso, serão quantificados os impactos ambientais do cenário atual e dos propostos.

## CONCLUSÕES

Nesta perspectiva, conclui-se que a utilização de avaliação de ciclo de vida (ACV) pode ser utilizada na tomada de decisões pelo poder público municipal, permitindo definir alternativas e modelos de gerenciamento de RSU através de cenários propostos que atendam o que se preconiza na Política Nacional de Resíduos Sólidos, como por exemplo: a maximização da reciclagem, compostagem ou outra tecnologia.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 14044:2009 Versão Corrigida: 2014: **Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e Orientações**. Brasil, 2009.
2. ALFAIA, R. G. S. M.; COSTA, A. M.; CAMPOS, J. C. Municipal solid waste in Brazil: A review. **Waste Management & Research**, v.37, n.12, p.1195-1209, 2017.
3. AL-KHATIB, I. A.; MONOU, M.; SALAM, A.; ZAHRA, A.; SHAHEEN, H. Q.; KASSINOS, D. Solid waste characterization, quantification and management practices in developing countries. A case study: Nablus district – Palestine. **Journal of Environmental Management**, v.91, p.1131–1138, 2010.
4. BANAR, M.; COKAYGIL, Z.; OZKAN, A. Life cycle assessment of solid waste management options for Eskisehir, Turkey. **Waste Management**, v.29, p.54–62, 2009.
5. BELBOOM, S.; DIGNEFFE, J. M.; RENZONI, R.; GERMAIN, A.; LEONARD, A. Comparing technologies for municipal solid waste management using life cycle assessment methodology: a Belgian case study. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v.18, p.1513–1523, 2013.
6. BOVEA, M. D.; IBÁÑEZ-FORÉS, V.; GALLARDO, A.; COLOMER-MENDOZA, F. J. Environmental assessment of alternative municipal solid waste management strategies. A Spanish case study. **Waste Management**, v.30, p.2383–2395, 2010.
7. BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. 2010.
8. CHEN, D.; CHRISTENSEN, T. H. Life-cycle assessment (EASEWASTE) of two municipal solid waste incineration technologies in China. **Waste Management & Research**, v.28, n.6, p.508–519, 2010.
9. COLVERO, D. A.; ALMEIDA, M. G.; GOMES, A. P.; PFEIFFER, S. C. Aterro sanitário de Goiânia: uma identidade territorial e a vulnerabilidade e exclusão social da população do seu entorno. **Revista Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal**, v.14, n.2, p.03-20, 2017.
10. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 415/2009**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=615>>. Acesso em 20 de novembro de 2018.
11. FERNANDEZ-NAVA, Y.; DEL RIO, J.; RODRIGUEZ-IGLESIAS, J.; CASTRILLON, L.; MARANON, E. Life cycle assessment of different municipal solid waste management options: a case study of Asturias (Spain). **Journal of Cleaner Production**, v.81, p.178-189, 2014.
12. FERRONATO, N.; PORTILLO, M. A. G.; LIZARAZU, E. G. G.; TORRETTA, V.; BEZZI, M.; RAGAZZI, M. The municipal solid waste management of La Paz (Bolivia): Challenges and opportunities for a sustainable development. **Waste Management & Research**, v.36, n.3, p.288-299, 2018.
13. GENTIL, E.; CLAVREUL, J.; CHRISTENSEN, T. H. Global warming factor of municipal solid waste management in Europe. **Waste Management & Research**, v.27, p.850–860, 2009.
14. GOMES, L. P.; KOHL, C. A.; SOUZA, C. L. L.; REMPEL, N.; MIRANDA, L. A. S.; MORAES, C. A. M. Avaliação ambiental de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos precedidos ou não por unidades de compostagem. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.20, n.3, p.449-462, 2015.
15. GUERRERO, L. A.; MAAS, G.; HOGLAND, W. Solid waste management challenges for cities in developing countries. **Waste Management**, v.33, p.220-232, 2013.
16. HERVA, M.; NETO, B.; ROCA, E. Environmental assessment of the integrated municipal solid waste management system in Porto (Portugal). **Journal of Cleaner Production**, v.70, p.183-193, 2014.
17. IBGE (2018). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Panorama do município de Humaitá**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/am/humaita/panorama>. Acesso em 31 de agosto de 2018.



18. LAURENT, A.; BAKAS, I.; CLAVREUL, J.; BERNSTAD, A.; NIERO, M.; GENTIL, E.; HAUSCHILD, M. Z.; CHRISTENSEN, T. H. Review of LCA studies of solid waste management systems e Part I: lessons learned and perspectives. **Waste Management**, v.34, p.573-588, 2014.
19. LIMA, P. M.; COLVERO, D. A.; GOMES, A. P.; WENZEL, H.; SCHALCH, V.; CIMPAN, C. Environmental assessment of existing and alternative options for management of municipal solid waste in Brazil. **Waste Management**, v.78, p.857-870, 2018.
20. MANNARINO, C. F.; FERREIRA, J. A.; GANDOLLA, M. Contribuições para a evolução do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos no Brasil com base na experiência Européia. **Revista Sanitária e Ambiental**, v.21, n.2, p.379-385, 2016.
21. PAES, M. X.; MANCINI, S.D.; MEDEIROS, G.A.; BORTOLETO, A.P.; KULAY, A.L. Life cycle assessment as a diagnostic and planning tool for waste management: a case study in a Brazilian municipality. **The Journal of Solid Waste Technology and Management**, v.44, p. 259-269, 2018.
22. POLETO, M.; MORI, P. R.; SHNEIDER, V. E.; ZATTERA, A. J. Urban solid waste management in Caxias do Sul/Brazil: practices and challenges. **Journal of Urban and Environmental Engineering**, v.10, n.1, p.50-56, 2016.
23. REBEHY, P. C. P. W.; COSTA, A. L.; CAMPELLO, C. A. G. B.; ESPINOZA, D. F.; JOÃO NETO, M. Innovative social business of selective waste collection in Brazil: Cleaner production and poverty reduction. **Journal of Cleaner Production**, v.154, p.462-473, 2017.
24. Revised IPCC, **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventory**, v.3-Reference Manual, Cap. 6-Waste, 1996.
25. 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.
26. SAHERI, S.; MIR, M. A.; BASRI, N. E. A.; MAHMOOD, N. Z. B.; BEGUM, R. A. Life Cycle Assessment for Solid Waste Disposal Options in Malaysia. **Polish Journal of Environmental Studies**, v.21, n.5, p.1377-1382, 2012.
27. SHARMA, B. K.; CHANDEL, M. K. Life cycle assessment of potential municipal solid waste management strategies for Mumbai, India. **Waste Management & Research**, v.35, n.1, p.79-91, 2017.
28. SNIS - Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico. **Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos, 2017**. Brasil, Brasília, DF, 2019. Disponível em <http://www.snis.gov.br/diagnostico-residuos-solidos/diagnosticors-2017>. Acesso em 28 de março de 2019.
29. TURAN, N. G.; CORUH, S.; AKDEMIR, A.; ERGUN, O. N. Municipal solid waste management strategies in Turkey. **Waste Management**, v.29, p.465-469, 2009.
30. YAY. A. S. E. Application of life cycle assessment (LCA) for municipal solid waste management: a case study of Sakarya. **Journal of Cleaner Production**, v.94, p.284-293, 2015.