

## LEVANTAMENTO DE ESTUDOS SOBRE A AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA EM SISTEMAS DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Allison Fernando Back<sup>1</sup> ([allback.afb@gmail.com](mailto:allback.afb@gmail.com)), Andressa de Oliveira Silveira<sup>1</sup>  
([andressa.silveira@ufsm.br](mailto:andressa.silveira@ufsm.br))

1 UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA – UFSM, DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA  
SANITÁRIA E AMBIENTAL

### RESUMO

Os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) podem proporcionar diversos riscos ao ambiente e à saúde humana quando gerenciado e conseqüentemente disposto de forma inadequada. A Política Nacional dos Resíduos Sólidos estabelece que a destinação dos resíduos ocorra de maneira ambientalmente adequada, respeitando a ordem de prioridades e dispendo somente rejeitos nos aterros. Para isso, o sistema de gerenciamento de RSU deve ser analisado de modo integrado e holístico, a fim de buscar melhorias nos aspectos ambientais dos processos que o envolvem. A ferramenta que vem ganhando destaque para esse fim é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), a qual busca analisar e quantificar os possíveis impactos ambientais de um produto, processo ou serviço. Dentro deste contexto, o presente trabalho consiste no levantamento de estudos que aplicaram a ACV em sistemas de gerenciamento de RSU. A pesquisa foi conduzida na base de dados Scopus, sendo a busca limitada por palavras-chaves específicas e artigos publicados no período de 2010 a 2016. Conforme os critérios de inclusão/exclusão foram selecionados 80 estudos de ACV dos quais apenas 4 tiveram participação brasileira. A análise de alguns artigos demonstrou a gama de aplicação em sistemas de gerenciamento de RSU que a ACV apresenta, evidenciando a importância que a ferramenta possui para auxiliar no apoio a decisões mais sustentáveis.

**Palavras-chave:** Gerenciamento integrado, Apoio à decisão, Revisão da literatura.

## SURVEY OF STUDIES ON THE LIFE CYCLE ASSESSMENT IN MUNICIPAL SOLID WASTE MANAGEMENT SYSTEMS

### ABSTRACT

The Municipal solid waste (MSW) can provide a number of risks to the environment and to the human health when managed and consequently disposed inappropriately. The National Solid Waste Policy establishes that the destination of waste in an environmentally appropriate way occurs respecting the order of priorities and disposing only residual waste in landfills. For this, the MSW management system should be analyzed in a holistic and integrated way, in order to seek improvements in environmental aspects of processes that involve it. The tool that has been gaining highlight for this purpose is the Life Cycle Assessment (LCA), which makes it possible to analyze and quantify the possible environmental impacts of a product, process or service. Within this context, the present work consists in the survey of studies on the application of LCA in MSW management systems. The survey was conducted in the Scopus database, being the search limits for specific keywords and articles published in the period from 2010 to 2016. As the inclusion/exclusion criteria were selected 80 of LCA studies of which only 4 had Brazilian participation. The analysis of some articles demonstrated the range of application in MSW management systems that the LCA presents, highlighting the importance that the tool has to assist in supporting more sustainable decisions.

**Keywords:** Integrated management, Decision support, Literature review.

## 1. INTRODUÇÃO

Os resíduos sólidos apresentam características físicas, químicas e biológicas que podem variar desde sua geração até a sua destinação final. Durante o processo de geração, fatores econômicos, sociais, geográficos, culturais, tecnológicos e legais afetam tanto a quantidade quanto a composição, trazendo assim complexidade e diversidade para os resíduos. Além disso, dependendo da forma como for gerenciado, os resíduos podem ter suas características alteradas de maneira que, em alguns casos, os riscos para o meio ambiente e a saúde pública são potencializados (ZANTA et al., 2006). No processo de destinação dos resíduos ocorre a transferência de substâncias contidas nos mesmos para o ambiente, as quais acabam por causar impactos, como por exemplo, a poluição das águas subterrâneas pelo lixiviado em aterros, a qualidade do ar afetada por emissões atmosféricas provenientes da incineração, entre outros (CHRISTENSEN, 2011).

Quando os resíduos sólidos têm sua origem no ambiente urbano, podem ser classificados como Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) se apresentarem como constituintes os resíduos domiciliares provenientes das atividades domésticas e os resíduos da limpeza urbana provenientes das atividades de varrição, limpeza de logradouros e vias públicas, entre outros serviços de limpeza pública. O poder público municipal pode equiparar os resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços aos resíduos domiciliares quando esses forem caracterizados como não perigosos e possuírem composição e volume equivalentes (BRASIL, 2010).

No Brasil foram coletados cerca de 64,4 milhões toneladas de RSU no ano de 2014, tendo a média de coleta per capita de 1,05 kg/hab./dia. Deste total de resíduos coletados, apenas 52% foram dispostos em aterros sanitários e 2,9% encaminhados para unidades de triagem e de compostagem, restando então 13,1% e 12,4% que foram dispostos, respectivamente, em aterros controlados e lixões. O restante dos resíduos, 19,6%, não possui informações sobre a destinação, embora se acredite que dois terços desses acabam sendo encaminhada para lixões (SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2016). Desta forma, aproximadamente 38,6% dos RSU coletados tem sua disposição final de forma inadequada de acordo com o que está estabelecido na Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) (BRASIL, 2010).

A PNRS, instituída pela Lei nº 12.305/2010, estabelece que os resíduos sólidos devam ter sua disposição final ambientalmente adequada na forma de rejeitos quando todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis forem esgotadas. Além disso, a Lei apresenta em seu art. 7º, como objetivos fundamentais, a proteção da saúde pública e da qualidade ambiental e a ordem de prioridade dos resíduos sólidos. Mas também são apresentados objetivos que visam melhorias e aprimoramentos nos processos de gerenciamento, como por exemplo, a adoção e desenvolvimento de tecnologias limpas como forma de minimizar impactos ambientais (BRASIL, 2010).

Para Tchobanoglous et al. (2002), a complexidade do gerenciamento de resíduos sólidos está em envolver diversas tecnologias e áreas do conhecimento. As tecnologias empregadas em todas as etapas (geração, manejo, armazenamento, coleta, transferência, transporte, processamento e disposição), além de economicamente viáveis, devem ser realizadas dentro de diretrizes legais e sociais com o intuito de proteger a saúde pública e o ambiente. Complementando isso, McDougall et al. (2001) explica que o sistema de gerenciamento de resíduos é construído por muitos processos relacionados e integrados e que os mesmos não deve ser abordados individualmente. Para isso, se faz necessário lidar com todo o fluxo de resíduos quando se busca comparar os desempenhos globais em termos ambientais e econômicos.

A ferramenta de gestão ambiental que, através de uma visão integrada e holística, busca a compreensão das interações com o ambiente que determinado sistema possui é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Ela visa avaliar os aspectos e impactos ambientais associados ao longo do ciclo de vida de um produto, onde produto também pode ser entendido como o processo ou serviço. O ciclo de vida consiste em todos os estágios consecutivos e interligados de um sistema de produto, desde a aquisição ou geração da matéria prima até a disposição final (ASSOCIAÇÃO

BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009a). A ferramenta de ACV é descrita pelas normas internacionais ISO 14040:2006 - *Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework* e ISO 14044: 2006 - *Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines* e apresentada no Brasil pela Associação Brasileira de Normas Técnicas através das normas NBR ISO 14040:2009 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009a) e NBR ISO 14044:2009 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009b) com versões corrigidas em 2014.

Em virtude da necessidade de encontrar alternativas mais sustentáveis para o gerenciamento de RSU, o alvo deste trabalho foi realizar o levantamento de estudos que aplicaram a ACV em sistemas de gerenciamento de RSU. Assim é possível mensurar a utilização da ferramenta e compreender como a mesma pode auxiliar no suporte à decisão para cumprir o estabelecido na PNRS.

## 2. OBJETIVOS

Identificar o número de estudos que aplicaram a ACV em sistemas de gerenciamento de RSU entre o período de 2010 a 2016, os principais periódicos internacionais e nacionais onde esses estudos foram publicados, a participação dos países nas pesquisas deste tema e buscar compreender os principais aspectos da ACV no gerenciamento de RSU.

## 3. METODOLOGIA

A pesquisa foi conduzida através da base de dados Scopus (Elsevier), sendo essa acessada através do Portal de Periódicos CAPES. A busca foi realizada com os seguintes termos e operadores booleanos no campo *article title, abstract, keywords*: ("*life cycle*" OR "*life cycle assessment*" OR "*life cycle analysis*" OR "*LCA*") AND ("*municipal waste*" OR "*municipal solid waste*" OR "*MSW*" OR "*urban waste*" OR "*urban solid waste*"). A busca foi limitada a artigos publicados no período de 2010 a 2016 em periódicos que apresentam estudos nos idiomas inglês e português. Os mesmo termos foram pesquisados em português, mas não foram obtidos resultados distintos da busca realizada com os termos em inglês. Os trabalhos encontrados passaram por um processo de refinamento que através de critérios de inclusão/exclusão tentou-se delimitar a seleção de estudos úteis para a realidade brasileira. Os critérios para inclusão/exclusão foram elaborados com base em outros estudos de revisão (LAURENT et al., 2014; LAZAREVIC et al., 2010; SCHOTT; WENZEL; JANSEN, 2016) e adaptados para melhor servir aos objetivos deste trabalho. Desta foram, os estudos foram selecionados por apresentarem as seguintes características:

I. Avaliaram sistemas de gerenciamento de RSU que consideram cenários e/ou alternativas de processamento para os resíduos. Ressaltando que foram excluídos os estudos que abordaram somente os aspectos secundários dos sistemas de gerenciamento, tais como a utilização de subprodutos (fertilizantes, cinzas de fundo, entre outros) provenientes do tratamento dos resíduos como matéria-prima em outro processo produtivo;

II. Consideraram toda a composição dos RSU das áreas estudadas e não somente as frações isoladas (orgânicas, recicláveis, residual, entre outras), ou seja, utilizaram como unidade funcional para estabelecer o fluxo de referências os RSU. Isto se justifica pela finalidade de tentar selecionar estudos que avaliaram sistemas de gerenciamentos equivalentes à realidade brasileira, onde a separação na fonte e/ou coleta seletiva não são completamente efetivas a ponto de se conseguir avaliar apenas as frações isoladas;

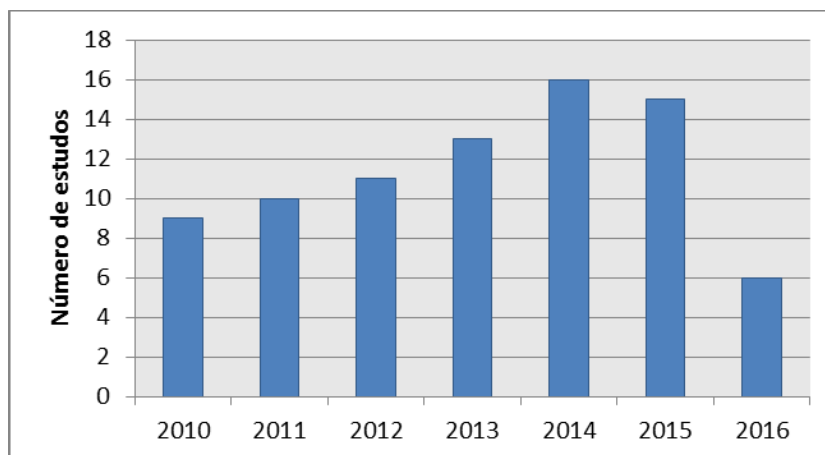
III. Apresentaram a fase de Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida (AICV), ressaltando que estudos que realizaram apenas o Inventário de Ciclo de Vida (ICV) foram excluídos. Destacando também que a fase de AICV deveria apresentar ao menos duas categorias de impactos ambientais, sendo excluídos os estudos que apresentarem apenas uma categoria, como por exemplo, somente as mudanças climáticas.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Panorama dos estudos selecionados

Com base no método de pesquisa e conforme os critérios de inclusão/exclusão foram selecionados um total de 80 estudos que aplicaram a ferramenta ACV no gerenciamento de RSU. Na figura 1 é apresentada a distribuição temporal em relação ao período pesquisado e para sua elaboração considerou-se o ano da publicação impressa.

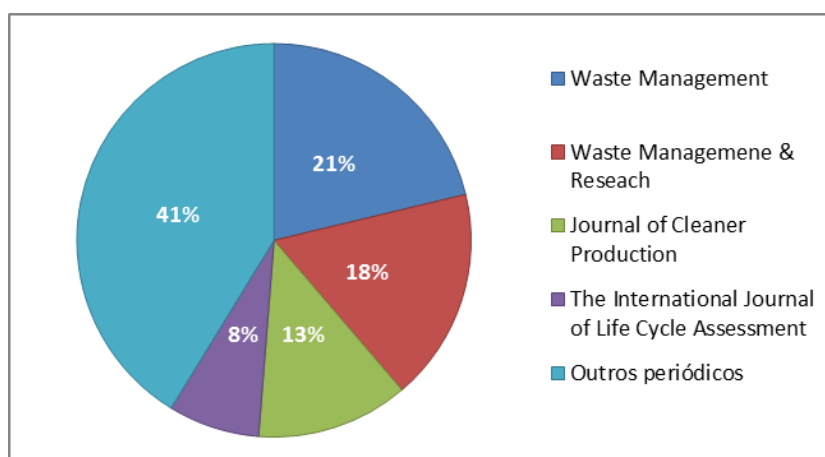
Figura 1 – Distribuição temporal dos estudos que aplicaram ACV em gerenciamento de RSU.



Fonte: Elaborado pelos autores.

O periódico com o maior número de publicações é *Waste Management*, com 17 estudos. No âmbito nacional, o único periódico que apresentou publicações no período foi *Engenharia Sanitária e Ambiental*, com 2 estudos (GOMES et al., 2015; REICHERT; MENDES, 2014), demonstrando que as publicações nessa tema ainda são incipientes em periódicos brasileiros. A figura 2 apresenta o volume de publicações nos principais periódicos.

Figura 2 – Volume de publicações por periódico dos estudos que aplicaram ACV em sistemas de gerenciamento de RSU.



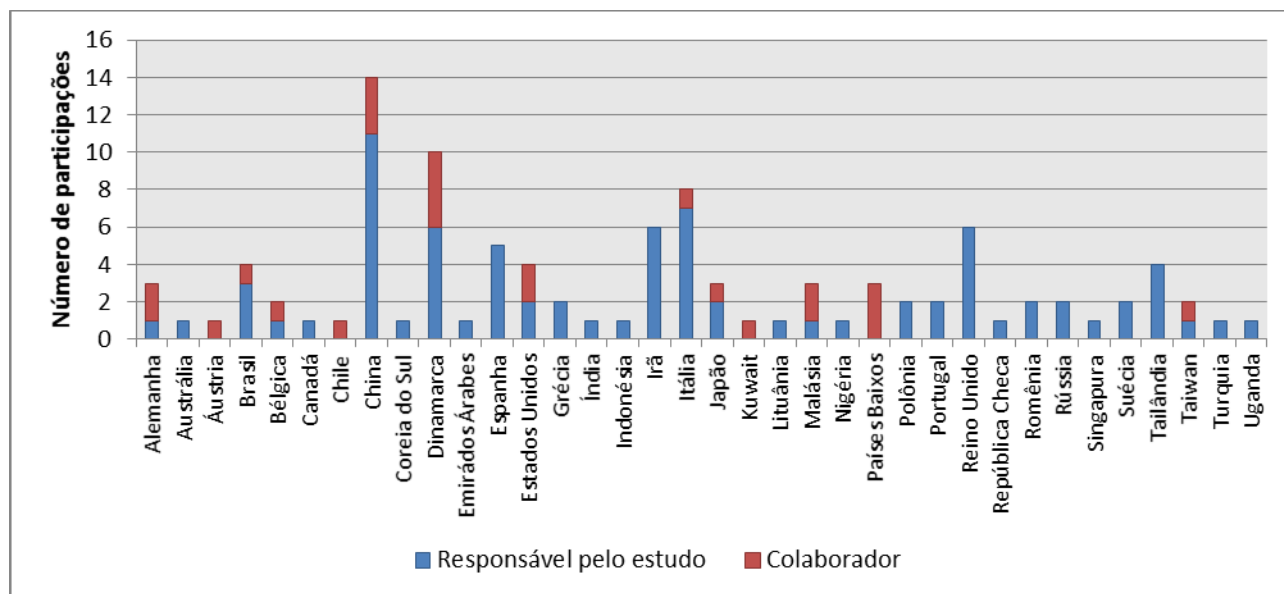
Fonte: Elaborado pelos autores.

Segundo a figura 2, as publicações de estudos de ACV já estão consideravelmente inseridas em periódicos focados em gerenciamento de resíduos e não somente em periódicos especializados

em ACV como, por exemplo, *The International Journal of Life Cycle Assessment*. Através disso, percebe-se que a ferramenta já apresenta relativa importância e é efetivamente aplicada no gerenciamento de RSU.

A figura 3 apresenta a participação de cada país através de seus pesquisadores. Para este levantamento considerou-se o autor correspondente como responsável pelo estudo e os demais como colaboradores. Assim, é possível identificar em quais países estão localizados os grupos de pesquisa que realizaram os estudos, porém os resultados não representam necessariamente a localização onde as ACV foram realizadas.

Figura 3 – Número de participações de cada país nos estudos que aplicaram a ACV em gerenciamento de RSU.



Fonte: Elaborado pelos autores.

A maioria dos países que participaram dos artigos estão inseridos na União Europeia (UNIÃO EUROPEIA, 2017), aproximadamente 42% das participações. Porém, países em desenvolvimento como China, Irã e Tailândia também apresentaram uma considerável quantidade de participações em estudos. Desses, a China foi o país que apresentou o maior número de participações, tendo a autoria de 11 dos 14 estudos em que participou. Por outro lado, o país que apresentou o maior número de colaborações foi a Dinamarca, sendo que alguns dos estudos foram em colaboração com a China (XING et al., 2013; YANG et al., 2014; ZHAO et al., 2011). A participação do Brasil em pesquisas publicadas no âmbito internacional foi através de 2 estudos (BEZAMA et al., 2013; LEME et al., 2014), sendo que um desses foi em colaboração com a Alemanha e o Chile. Desta forma, destaca-se que as pesquisas com este tema ainda são relativamente recentes no Brasil, já que o primeiro estudo que apresentou a participação de um pesquisador brasileiro foi publicado apenas em 2013.

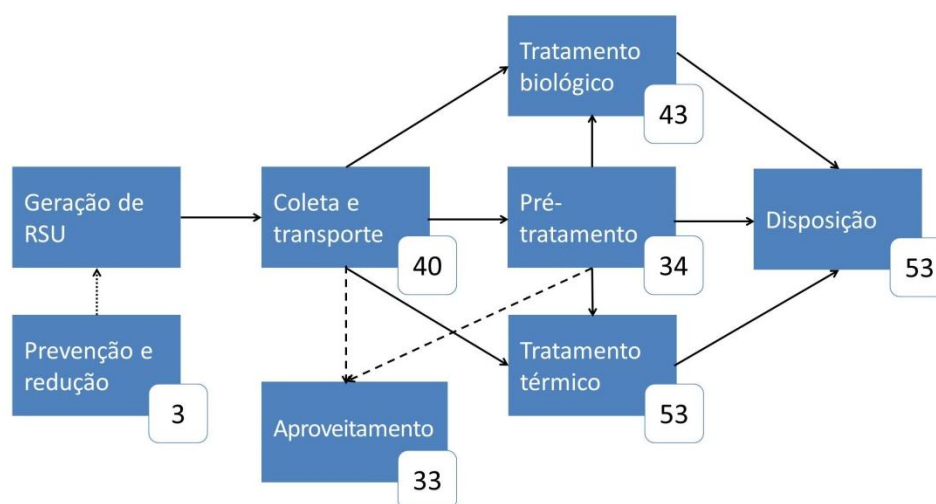
#### 4.2. ACV em sistemas de gerenciamento RSU

A elaboração de um estudo de ACV deve ser estruturada com as seguintes fases: definição do objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impacto e interpretação. A definição do objetivo e escopo constitui a primeira fase, onde basicamente se declara a aplicação pretendida e determina-se a abrangência e detalhamento do estudo de ACV (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009a). Os objetivos dos estudos selecionados neste levantamento variaram entre comparar cenários de sistemas de gerenciamento de RSU e avaliar os aspectos

ambientais de processos específicos. Entretanto, alguns estudos apresentaram também outros objetivos como o desenvolvimento de modelos, a comparação de modelos computacionais e os aspectos da ACV, mas sempre com aplicação em casos reais ou teóricos.

No escopo são descritos o sistema de produto, as funções do sistema, a unidade funcional e a fronteira do sistema. O sistema de produto representa o conjunto de processos que desempenham uma ou mais funções definidas e modelam o ciclo de vida de um produto (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009a). Os processos que englobaram os sistemas de produtos dos estudos são apresentados de forma sintetizada na figura 4 por meio de um fluxograma genérico de um sistema de gerenciamento de RSU. Cabe salientar que as setas são apenas para fins indicativos da ordem preferencial das atividades, já que alguns estudos limitaram-se a avaliação de processos isolados.

Figura 4 – Número de vezes que os processos foram considerados nos sistemas de gerenciamento de RSU avaliados.



Fonte: Elaborado pelos autores.

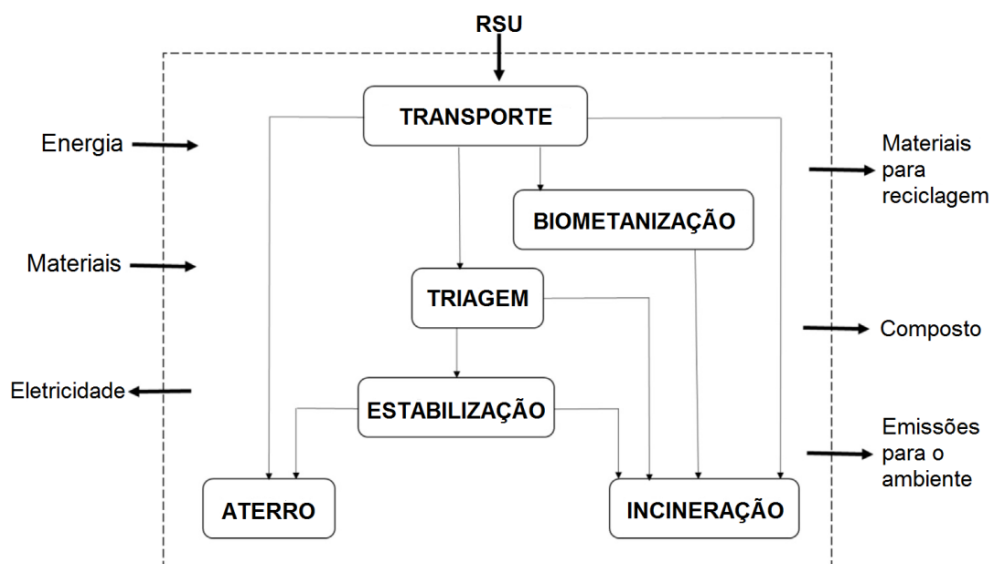
Analisando o fluxograma apresentado na figura 4, observa-se que o tratamento térmico foi o processo mais abordado, sendo a incineração a principal técnica empregada para o processamento dos resíduos, com 52 aparições nos estudos de ACV. Por outro lado, do total de estudos que continham tratamento biológico, a técnica de compostagem esteve presente em 34 dos estudos. Através da ACV têm-se a possibilidade de compreender as cargas ambientais que determinadas opções de tratamento de resíduos e, conseqüentemente, os produtos provenientes apresentam ao ambiente (ARAFAT; JIJAKLI; AHSAN, 2015; GUNAMANTHA; SARTO, 2012). A forma de aproveitamento mais presente nos estudos foi a reciclagem, estando presente em 30 estudos. A principal forma de disposição final dos resíduos foi o aterro, embora alguns dos estudos ainda possuíssem sistemas de gerenciamento onde os resíduos eram dispostos a céu aberto (MENIKPURA; GHEEWALA; BONNET, 2012; SHARMA; CHANDEL, 2016; ZHAO et al., 2011).

A unidade funcional tem como principal propósito fornecer uma referência pela qual as entradas e saídas do sistema serão relacionadas. Essa referência é necessária para estabelecer uma base comum para comparação de sistemas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009a). Como definido na pesquisa, os estudos foram selecionados por apresentarem como unidade funcional a massa de RSU. Entre os estudos a unidade funcional variou desde uma tonelada até a massa total gerada em determinado local ou recebida em planta de tratamento.

A fronteira do sistema delimita os processos a serem incluídos no sistema e seu nível de detalhamento. A escolha dos elementos do sistema a ser modelado depende da definição do objetivo e escopo do estudo, aplicação pretendida, público alvo, dos pressupostos adotados, das restrições de dados, entre outros (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009a).

Tal característica dificulta a análise comparativa das fronteiras de sistema empregadas nos trabalhos. A delimitação da fronteira de sistema causa grande influência nos resultados das ACVs, por exemplo, a ACV que considera na sua fronteira apenas os processos do gerenciamento pode ter resultados diferentes das que estendem as fronteira para atividades secundárias associadas ao mesmo, tais como gases do aterro, produto da compostagem, entre outros (GHINEA et al., 2012). Entretanto quando se compara cenários de gerenciamento, como forma de simplificação, os processos que acarretam em resultados equivalentes para ambos cenários podem ser excluídos da fronteira de sistema, como no caso do transporte para a planta de tratamento (HONG; LI; ZHAOJIE, 2010) ou a coleta utilizada na região (RAJAEIFAR et al., 2015). Outro aspecto observado em alguns estudos foi a “suposição da carga zero” (PIRES; CHANG; MARTINHO, 2011; RIGAMONTI; FALBO; GROSSO, 2013), a qual considera que os resíduos não carregam as cargas ambientais ascendentes ao sistema, visto que os resíduos serão os mesmos para todos os cenários. Na figura 5 é representado um exemplo de fronteira de sistema aplicada ao gerenciamento de RSU.

Figura 5 – Exemplo de fronteira de sistema aplicada ao gerenciamento de RSU.



Fonte: (FERNÁNDEZ-NAVA et al., 2014), adaptado pelos autores.

Na fase de análise de Inventário de Ciclo de Vida (ICV) é realizada a compilação e quantificação das entradas e saídas do sistema de produto (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009a). Esta fase é crucial, pois a qualidade de todo o estudo depende da representatividade, consistência, precisão e especificações geográficas dos dados coletados. O gerenciamento de RSU oferece complexidade para obtenção de informações devido à elevada variabilidade que pode ser introduzida pelas especificidades locais, tais como as características dos tratamentos, a composição dos resíduos, etc. (FIORENTINO et al., 2015). Nos estudos selecionados as fontes de dados mostraram-se bastante variadas, sendo os dados obtidos através de levantamentos nos locais, literatura e/ou banco de dados específicos de ACV. O banco de dados mais utilizado foi *Ecoinvent*, presente em cerca de 36 estudos, sendo basicamente aplicado como fonte de informações secundárias aos sistemas.

As associações dos dados de ICV com categorias de impacto específicas e indicadores de categoria consistem na fase de Avaliação de Impactos de Ciclo de Vida (AICV) e através dessa tenta-se identificar a significância dos impactos ambientais potenciais (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009a). Com esse intuito métodos de associação dos dados são normalmente utilizados, entre esses o método CML foi o que teve o maior emprego. De

forma geral as categorias de impactos com maior relevância foram *Aquecimento Global* e *Acidificação*, pois foram consideradas, respectivamente, em 75 e 68 trabalhos.

Os modelos computacionais de ACV podem auxiliar na coleta, organização e análise dos dados. Existem diversos modelos de ACV, que podem ser divididos entre modelos genéricos e específicos para aplicações em determinada área, como por exemplo, em sistemas de gerenciamento de resíduos (KULCZYCKA et al., 2015). O modelo genérico mais utilizado foi *SimaPro*, estando presente em 32 dos estudos. Enquanto, *EASEWASTE* foi o modelo específico mais utilizado, com emprego em 11 dos estudos. Um dos artigos ao comparar os dois modelos demonstrou a consistência que ambos apresentam para a avaliação de cenários, porém também identificou diferenças importantes nos resultados devido à forma de modelagem das emissões e aos bancos de dados dos modelos (TURCONI et al., 2011).

A ferramenta de ACV também pode auxiliar no apoio a decisões que beneficiem a ordem de prioridades do gerenciamento de resíduos sólidos estabelecida pela PNRS, ou seja, pode auxiliar na escolha de atividades de prevenção de geração de resíduos ou no incentivo à separação na fonte geradora. Através da ACV é possível demonstrar quando atividades de prevenção podem resultar em um desempenho ambiental superior em relação a outras opções de tratamento de resíduos e como políticas de prevenção acarretam no aumento dos benefícios ambientais (CLEARY, 2014). Porém, para a realização de ACV que abordam atividades de prevenção na geração de resíduos são necessários ajustes na unidade funcional e nas fronteiras do sistema em relação à metodologia tradicional (NESSI; RIGAMONTI; GROSSO, 2015). Da mesma forma, quando comparamos a coleta convencional com a coleta com separação na fonte dos RSU nota-se que a separação proporciona uma redução dos impactos ambientais. Por meio da separação, a reciclagem de materiais é favorecida, a qual é a principal razão pela menor carga ambiental, e técnicas que apresentam um melhor desempenho ambiental como os tratamentos térmico ou biológico podem ser utilizadas ao invés da disposição em aterros (CHI et al., 2015).

## 5. CONCLUSÃO

A ACV demonstrou-se uma ferramenta de grande importância para abordar os aspectos ambientais que englobam um sistema de gerenciamento de RSU. Com ela pode-se compreender melhor os impactos e assim buscar um melhor desempenho ambiental tanto para os processos quanto para o gerenciamento como um todo. Desta forma, pode auxiliar no cumprimento dos objetivos estabelecidos na PNRS ao proporcionar apoio às decisões mais sustentáveis no gerenciamento. Durante a pesquisa foram encontradas algumas limitações metodológicas, tais como conciliar conceitos e definições nacionais com internacionais, contudo comprovou-se a relevância da utilização da ACV e uma gama considerável de estudos que podem servir de base para pesquisas dentro da realidade brasileira foram selecionados.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14040: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2009a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14044: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e orientações. Rio de Janeiro, 2009b.

ARAFAT, H. A.; JIJAKLI, K.; AHSAN, A. Environmental performance and energy recovery potential of five processes for municipal solid waste treatment. *Journal of Cleaner Production*, v. 105, p. 233–240, out. 2015.

BEZAMA, A. et al. Life cycle comparison of waste-to-energy alternatives for municipal waste treatment in Chilean Patagonia. *Waste Management & Research*, v. 31, n. 10\_suppl, p. 67–74, out. 2013.



- BRASIL. Lei n. 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. Brasília, DF, 2010.
- CHI, Y. et al. Life cycle assessment of municipal solid waste source-separated collection and integrated waste management systems in Hangzhou, China. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, v. 17, n. 4, p. 695–706, 22 out. 2015.
- CHRISTENSEN, T. H. Introduction to Waste Management. In: CHRISTENSEN, T. H. (Editor). *Solid waste technology and management*. Chichester: John Wiley & Sons Ltda, 2011.
- CLEARY, J. A life cycle assessment of residential waste management and prevention. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 19, n. 9, p. 1607–1622, 18 set. 2014.
- FERNÁNDEZ-NAVA, Y. et al. 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, out. 2014.
- FIORENTINO, G. et al. Life Cycle Assessment of Mixed Municipal Solid Waste: Multi-input versus multi-output perspective. *Waste Management*, v. 46, p. 599–611, 2015.
- GHINEA, C. et al. Environmental Evaluation of Waste Management Scenarios – Significance of the Boundaries. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, v. 20, n. 1, p. 76–85, 2012.
- GOMES, L. P. et al. Avaliação ambiental de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos precedidos ou não por unidades de compostagem. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 20, n. 3, p. 449–462, 2015.
- GUNAMANTHA, M.; SARTO. Life cycle assessment of municipal solid waste treatment to energy options: Case study of KARTAMANTUL region, Yogyakarta. *Renewable Energy*, v. 41, p. 277–284, 2012.
- HONG, J.; LI, X.; ZHAOJIE, C. Life cycle assessment of four municipal solid waste management scenarios in China. *Waste Management*, v. 30, n. 11, p. 2362–2369, 2010.
- KULCZYCKA, J. et al. Life Cycle Assessment of Municipal Solid Waste Management – Comparison of Results Using Different LCA Models. *Polish Journal of Environmental Studies*, v. 24, n. 1, p. 125–140, 2015.
- LAURENT, A. et al. Review of LCA studies of solid waste management systems – Part I: Lessons learned and perspectives. *Waste Management*, v. 34, n. 3, p. 573–588, 2014.
- LAZAREVIC, D. et al. Plastic waste management in the context of a European recycling society: Comparing results and uncertainties in a life cycle perspective. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 55, n. 2, p. 246–259, 2010.
- LEME, M. M. V. et al. Techno-economic analysis and environmental impact assessment of energy recovery from Municipal Solid Waste (MSW) in Brazil. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 87, p. 8–20, jun. 2014.
- MENIKPURA, S. N. M.; GHEEWALA, S. H.; BONNET, S. Sustainability assessment of municipal solid waste management in Sri Lanka: Problems and prospects. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, v. 14, n. 3, p. 181–192, 2012.

MCDUGALL, F. R.; WHITE, P.; FRANKE, M.; HINDLE, P. Integrated solid waste management: a Life Cycle Inventory, 2. ed. Oxford: Blackell Science Ltda, 2001.

NESSI, S.; RIGAMONTI, L.; GROSSO, M. Packaging waste prevention activities: A life cycle assessment of the effects on a regional waste management system. *Waste Management & Research*, v. 33, n. 9, p. 833–849, set. 2015.

PIRES, A.; CHANG, N.-B.; MARTINHO, G. Reliability-based life cycle assessment for future solid waste management alternatives in Portugal. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 16, n. 4, p. 316–337, 24 maio 2011.

RAJAEIFAR, M. A. et al. Comparative life cycle assessment of different municipal solid waste management scenarios in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 51, p. 886–898, 2015.

REICHERT, G. A.; MENDES, C. A. B. Avaliação do ciclo de vida e apoio à decisão em gerenciamento integrado e sustentável de resíduos sólidos urbanos. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 19, n. 3, p. 301–313, set. 2014.

RIGAMONTI, L.; FALBO, A.; GROSSO, M. Improving integrated waste management at the regional level: The case of Lombardia. *Waste Management & Research*, v. 31, n. 9, p. 946–53, 2013.

SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS: diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos – 2014. Brasília: MCIDADES.SNSA, 2016

SCHOTT, A. B. S.; WENZEL, H.; JANSEN, J. LA C. Identification of decisive factors for greenhouse gas emissions in comparative life cycle assessments of food waste management – an analytical review. *Journal of Cleaner Production*, v. 119, p. 13–24, 2016.

SHARMA, B. K.; CHANDEL, M. K. Life cycle assessment of potential municipal solid waste management strategies for Mumbai, India. *Waste Management & Research*, 2016.

TCHOBANOGLIOUS, G.; KREITH, F.; WILLIAMS, M. E. Chapter 1 – Introduction. In: TCHOBANOGLIOUS, G.; KREITH, F. *Handbook of solid waste management*. 2. ed. New York: McGraw Hill, 2002.

TURCONI, R. et al. Life cycle assessment of waste incineration in Denmark and Italy using two LCA models. *Waste Management & Research*, v. 29, n. 10 Suppl, p. S78–S90, 2011.

UNIÃO EUROPEIA. Sobre a UE: Países. Disponível em: <[https://europa.eu/european-union/about-eu/countries\\_pt](https://europa.eu/european-union/about-eu/countries_pt)>. Acesso em: 31 mar. 2017.

XING, W. et al. Environmental impact assessment of leachate recirculation in landfill of municipal solid waste by comparing with evaporation and discharge (EASEWASTE). *Waste Management*, v. 33, n. 2, p. 382–389, 2013.

YANG, N. et al. Environmental impact assessment on the construction and operation of municipal solid waste sanitary landfills in developing countries: China case study. *Waste Management*, v. 34, n. 5, p. 929–937, maio 2014.

ZHAO, Y. et al. Environmental impact assessment of solid waste management in Beijing City, China. *Waste Management*, v. 31, n. 4, p. 793–799, 2011.

ZANTA, V. M.; MARINHO, DO REGO, M. J. M.; LANGE, L. C.; PESSIN, N. Resíduos sólidos, saúde e meio ambiente: impactos associados aos lixiviados de aterro sanitário. In: CASTILHO JÚNIOR, A. B. (Coord.). Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos com ênfase na preservação de corpos d'água: prevenção, geração e tratamento de lixiviados de aterros sanitários. Rio de Janeiro: ABES, 2006.