



Comparação de cenários de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos por meio da ACV no município de Garibaldi, RS

Cristina Mersoni¹, Geraldo Antônio Reichert²

¹Universidade de Caxias do Sul (crismersoni@yahoo.com.br)

²Universidade de Caxias do Sul (gareichert@cpovo.net)

Resumo

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) como uma técnica para avaliar os aspectos ambientais e impactos potenciais de um sistema, pode auxiliar na tomada de decisões de organizações governamentais e no planejamento do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos (RSU). O objetivo deste trabalho foi analisar cenários para o gerenciamento de RSU, por meio da ACV, considerando os impactos ambientais e contribuindo com informações que sirvam de apoio para melhorias na gestão dos resíduos no município de Garibaldi. Foram simulados cenários com diferentes tratamentos de resíduos e elaborado o Inventário do Ciclo de Vida utilizando o programa computacional IWM-2. Para a Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida foram utilizados indicadores e categorias de impacto ambiental. Os cenários com melhor segregação dos resíduos na origem, coleta seletiva, triagem, reciclagem e tratamento biológico da matéria orgânica apresentaram a maior redução de emissões líquidas e gaseosas com potencial de causar impactos ambientais. A reciclagem predominou como a prática que mais contribuiu para minimizar os impactos ambientais. A ACV possibilitou avaliar o desempenho ambiental de diferentes modelos para o gerenciamento dos RSU.

Palavras-chave: ACV. Resíduos sólidos urbanos. Indicadores ambientais.

Área Temática: Resíduos Sólidos

Comparison of municipal solid waste management scenarios using LCA in the city of Garibaldi, RS

Abstract

The Life Cycle Assessment (LCA) as a technique to assess the environmental aspects and potential impacts of a system can assist in making governmental decisions and planning of solid waste management (MSW). The objective of this study was to analyze scenarios for the MSW management through the LCA considering environmental impacts and contributing information to serve as a support for improvements in waste management in the municipality of Garibaldi. Scenarios were simulated with different treatments of waste and Inventory Lifecycle was developed using the computer program IWM-2. For the Evaluation of Life Cycle Impact indicators and environmental impact categories. The scenarios with better segregation of waste at source, separate collection, sorting, recycling and biological treatment of organic matter showed the greatest reduction in liquid and gaseous emissions with potential to cause environmental impacts. Recycling prevailed as the practice that contributed most to minimize environmental impacts. LCA made it possible to assess the environmental performance of different models for the management of MSW.

Key words: ACV. Municipal Solid Waste. Environmental indicators.

Theme Area: Solid Waste.



1 Introdução

A Lei Federal 12.305 (BRASIL, 2010), que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), estabeleceu como objetivos para o gerenciamento dos resíduos a não geração, a redução, a reutilização, a reciclagem, o tratamento e a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. Define como Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) os resíduos originários de atividades domésticas, de varrição, de limpeza de logradouros e vias públicas e dos demais serviços de limpeza urbana.

No aspecto legal, historicamente, o Brasil vive um momento em que há uma maior responsabilização dos municípios pelas obrigações na gestão dos resíduos sólidos urbanos. Metas como a eliminação e a remediação total dos lixões, a recuperação e o aproveitamento energético dos resíduos, forçam e desafiam os gestores a iniciar um novo processo de planejamento com ações que buscam soluções para o tratamento dos RSU.

Desta forma, a busca por soluções ambientalmente corretas apresenta-se como necessária para avançar na forma de tratamento dos resíduos e alcançar as metas propostas pela PNRS, principalmente em municípios com populações menores. De acordo com o diagnóstico para a elaboração do Plano Nacional de Resíduos Sólidos, as maiores deficiências na gestão de resíduos encontram-se em municípios de pequeno porte, com até 100 mil habitantes (BRASIL, 2012).

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) consiste em uma técnica utilizada para avaliar os aspectos ambientais e impactos potenciais de um sistema (ABNT, 2001). Considerando o ciclo de vida dos resíduos, este inicia no momento em que o resíduo é gerado até sua destinação final de retorno ao meio ambiente. Como uma técnica de gestão ambiental, a ACV pode auxiliar na tomada de decisões de organizações governamentais no planejamento estratégico, na definição de prioridades e de processos.

Rosa Neto (2007) afirma que o uso da ACV no gerenciamento de resíduos sólidos permite calcular os danos ambientais associados a um sistema e fornece dados detalhados de modo a auxiliar na tomada de decisões. McDougall et al. (2004) citam que a ACV possibilita construir fluxos de material, emissões e energia, apontando as áreas em que se pode executar melhorias quanto ao aspecto ambiental.

Integrando a ACV, o Inventário do Ciclo de Vida (ICV) é a fase que envolve a coleta de dados e a quantificação de entradas (material ou energia que entra no sistema) e saídas (material ou energia que deixa um sistema, como subprodutos ou como emissões), compreendendo o uso de recursos e as liberações para o ar, água e solo (ABNT, 2001). McDougall et al. (2001), para auxiliar na construção e análise do ICV, desenvolveram o programa computacional *Integrated Solid Waste Management* (IWM-2) que permite simular cenários de gestão de resíduos a partir de dados como geração, coleta, tratamento e disposição final, e identificar os impactos ambientais decorrentes dos modelos de gestão.

Xará (2001) exemplifica a aplicação da técnica da ACV na gestão de resíduos para avaliar os diferentes cenários de tratamento, desenvolver estratégias de gestão e avaliar as cargas ambientais associadas aos sistemas. Conforme as características, a ACV ajusta-se a realidade local permitindo deste modo planejar de forma objetiva.

Reichert (2013) utilizou a Avaliação do Ciclo de Vida em estudo sobre o gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos do município de Porto Alegre (RS), cujos resultados mostraram que o uso de técnicas estruturadas, como a ACV, auxiliam na construção de possíveis cenários futuros de gerenciamento de resíduos, permitindo a escolha por alternativas que atendam a Política Nacional de Resíduos Sólidos, especialmente quanto a otimização da reciclagem com o envio apenas de rejeitos para aterro sanitário.

Na busca por soluções que atendam situações reais, o presente trabalho tem por objetivo analisar cenários por meio da técnica de Avaliação do Ciclo de Vida, visando



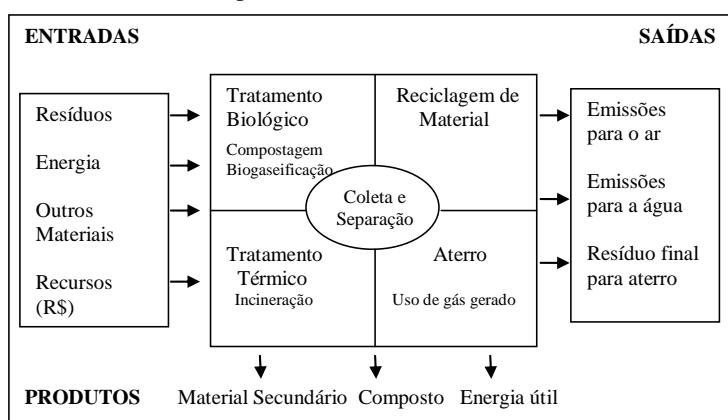
contribuir para a adoção de alternativas de melhorias do sistema de gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos, considerando o menor impacto ambiental, tendo como estudo o município de Garibaldi (RS).

2 Metodologia

O trabalho foi desenvolvido em quatro etapas principais. Primeiramente realizou-se a coleta de dados junto a Secretaria Municipal de Meio Ambiente do município de Garibaldi, onde foram obtidas informações quanto a população atendida, a quantidade de resíduos coletada e as etapas do sistema gerenciamento de RSU, tendo como referência o ano de 2013.

Para a determinação da composição gravimétrica dos resíduos foi utilizado o método de quarteamento, conforme metodologia descrita por Pessin et al. (2002). Na fase inicial, para o ICV, foram definidos os limites (fronteiras) do sistema e a unidade funcional (tonelada de resíduos por ano, t/a), conforme ilustrado de modo esquemático na Figura 1.

Figura 1 - Limites do sistema para o Inventário do Ciclo de Vida dos resíduos sólidos



Fonte: Adaptado de McDougall et al. (2004)

Como entradas para o sistema foram considerados os resíduos coletados, energia e outros materiais. Como saídas o consumo de energia, a geração de energia, emissões atmosféricas e líquidas, volume de rejeito para aterro e material recuperado.

A segunda etapa consistiu na sistematização dos cenários, estabelecendo a massa de resíduos gerenciada em cada fase do sistema. O Cenário 1Base representa o modelo de gerenciamento adotado no município de Garibaldi, abrangendo a coleta de resíduos seletivos e mistos, transporte, triagem dos resíduos seletivos, reciclagem de 11% (832 t/ano) dos resíduos seletivos coletados e disposição final em aterro sanitário (89%). O serviço de coleta de resíduos sólidos domiciliares atende 100% da área municipal.

Para o Cenário 2CTRAS, foi simulada uma melhoria da separação dos resíduos na origem, ou seja, a separação dos resíduos pelos geradores em seletivo (composto principalmente por embalagens, plásticos, papéis, vidros e metais diversos) e mistos (matéria orgânica, papel higiênico, fraldas, absorventes, rejeitos). Consequentemente, uma melhoria na unidade de triagem de resíduos seletivos, alcançando 35% (2.556 t/ano) de material encaminhado para a reciclagem da quantidade total de resíduos coletados no município, e 65% seriam encaminhados para aterro como rejeito.

No Cenário 3TRCAS, seguiu-se considerando a melhoria adotada no cenário anterior, com a reciclagem dos resíduos seletivos e, foi proposto a triagem de resíduos mistos e o tratamento biológico para a matéria orgânica por compostagem. Nesta simulação, 55% do material coletado seriam efetivamente reciclados, 13% emitidos como gases da biodegradação



e 32% de rejeito.

No Cenário 4TRDAS, foi proposto o tratamento da matéria orgânica por digestão anaeróbia seguida por compostagem. Deste modo, do total de resíduos coletados, 51% seriam reciclados, 17% representariam a emissão de gases da biodegradação e 32% de rejeito.

Na terceira etapa foi realizado o Inventário do Ciclo de Vida utilizando o programa computacional *Integrated Solid Waste Management* (IWM-2), versão 2.50-1, onde o sistema foi alimentado com informações sobre a quantidade e a composição dos resíduos coletados no município, consumo de energia e matérias-primas. Nesta etapa, considerou-se como início do ciclo de vida o momento em que o resíduo foi gerado, ou seja, disposto em contêiner ou cesto, até o momento em que retorna ao ambiente na forma de rejeito, material secundário, composto ou energia.

Por fim, seguiu-se para a Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV), onde a partir dos resultados do ICV foram realizados os cálculos por meio de fórmulas dos indicadores ambientais conforme descrito por Den Boer et al. (2005). As categorias de impacto ambiental avaliadas encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 - Categorias de impactos ambientais para AICV

Categoria de Impacto Ambiental	Substância emitida (resultado do ICV)	Resultado do indicador expresso em equivalente
Mudanças climáticas	CO ₂ ; N ₂ O; CH ₄	kg CO ₂ eq.
Acidificação	Amônia; NO _x ; SO ₂	kg SO ₂ eq.
Eutrofização	Amônia; NO _x Amônio; DQO; Nitrato; Fosfato	kg PO ₄ eq.

Fonte: Adaptado de Den Boer et al. (2005)

A partir dos resultados dos cálculos aplicados em cada categoria de impacto foram elaborados os gráficos para a comparação das etapas do gerenciamento de resíduos sólidos e dos cenários. Destaca-se que, os resultados nos gráficos que apresentam valores negativos indicam o menor impacto ou ganho ambiental (redução de emissões). E, os valores positivos apontam os impactos ambientais (emissões líquidas ou gasosas).

Além das categorias, com base em Reichert (2013), foi utilizado o indicador Uso de energia: equivalente energético em Giga Joule (GJ) líquido total do sistema de gerenciamento de resíduos sólidos nos cenários, cujo valor provém do Inventário realizado com o programa IWM-2.

Para a avaliação final dos cenários, foram identificados os que apresentaram o menor potencial de impacto ambiental, a menor disposição de resíduos em aterro sanitário e a maior recuperação de material, como apoio à tomada de decisão do modelo para o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos.

3 Resultados e Discussões

O ICV como uma das principais etapas da ACV de gerenciamento de resíduos sólidos, requer uma grande quantidade e qualidade de dados para garantir a confiabilidade dos resultados do estudo.

Os municípios comumente apresentam escassez de dados e ausência de registros que permitam a obtenção de informações precisas dos serviços de limpeza pública. No presente trabalho, foi possível utilizar dados do modelo de gerenciamento de resíduos adotado no município devido à sua sistemática e ao controle rigoroso do sistema, desde a coleta até a disposição final.

Com uma população estimada de 32.578 habitantes (IBGE, 2013), a cidade de Garibaldi possui serviço de coleta de resíduos sólidos urbanos que atende 100% da área



5º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

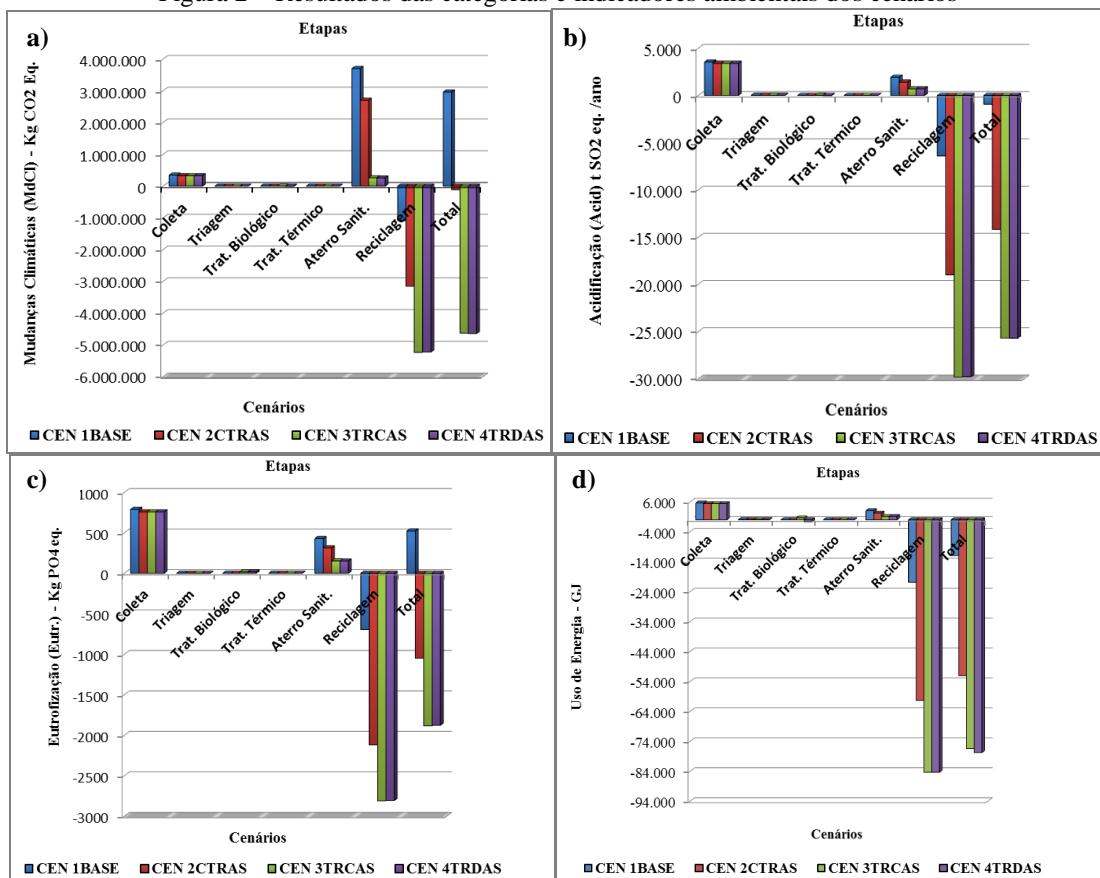
Bento Gonçalves – RS, Brasil, 5 a 7 de Abril de 2016

territorial (zonas urbana e rural). No ano de 2013, a quantidade total de resíduos coletada pelo sistema de coleta foi de 7.262 toneladas, apontando uma geração média de 223 kg/hab./ano.

Os resíduos coletados de forma seletiva são triados por uma Cooperativa de Catadores de Materiais Recicláveis. Na composição dos resíduos sólidos urbanos encontram-se basicamente: resíduos recicláveis (papel, papelão, plástico, metais, vidros), que representa 41,6% do total de resíduos coletados no sistema público; 23,0% de matéria orgânica (restos de alimentos, podas); e, 35,4% de rejeitos (papel higiênico, fraldas, outros resíduos não especificados ou contaminados).

Os resultados das categorias de impacto ambiental Mudanças Climáticas, Acidificação, Eutrofização e do indicador uso de energia são apresentados na Figura 2, para todos os cenários avaliados e por etapa.

Figura 2 – Resultados das categorias e indicadores ambientais dos cenários



Observando o resultado total da categoria Mudanças Climáticas (Figura 2.a), expresso em dióxido de carbono equivalente (kg CO₂ eq./ano), verifica-se que o Cenário 1Base apresentou a maior emissão de gases para a atmosfera que podem influenciar no aumento da temperatura média global.

No Cenário 2CTRAS (Figura 2.a), com a melhor separação dos resíduos, ocorreu uma redução em mais de 95% de emissões atmosféricas. Os Cenários 3TRCAS e 4TRDAS, com compostagem e digestão anaeróbia, apresentaram o melhor desempenho, com a menor emissão de gases, principalmente, de metano que provém da decomposição anaeróbia da matéria orgânica em aterro sanitário.

Observou-se que, em praticamente todas as etapas de gerenciamento de resíduos sólidos ocorre a liberação de gases para a atmosfera, o que pode influenciar nas mudanças



climáticas ao longo do tempo. No entanto, as etapas de reciclagem reduzem tais emissões, apresentando-se como uma prática benéfica ao meio ambiente.

Na categoria Acidificação (Figura 2.b), cujos resultados encontram-se expressos em dióxido de enxofre equivalente (kg SO₂ eq./ano), os valores totais revelaram-se negativos em todos os cenários. Verificou-se a menor emissão de gases nos Cenários 3TRCAS e 4TRDAS, onde além da reciclagem de resíduos seletivos, adotou-se sistema de tratamento por meio da compostagem e da digestão anaeróbia, respectivamente.

Destaca-se que, a Acidificação considera a emissão de gases que associados a outros elementos na atmosfera e dissolvidos na água da chuva, podem causar danos à vida aquática, por conferir acidificação ao meio.

Assim, analisando as etapas (Figura 2.b), a coleta apresentou a maior emissão de gases, fato que pode ser em razão da combustão de combustível (diesel) nos veículos coletores. A reciclagem foi a etapa que contribuiu com a redução de emissões (valores negativos), uma vez que, possibilita o retorno do material aos ciclos produtivos. Desta forma, minimizando o potencial de impacto ambiental do sistema de gerenciamento de resíduos.

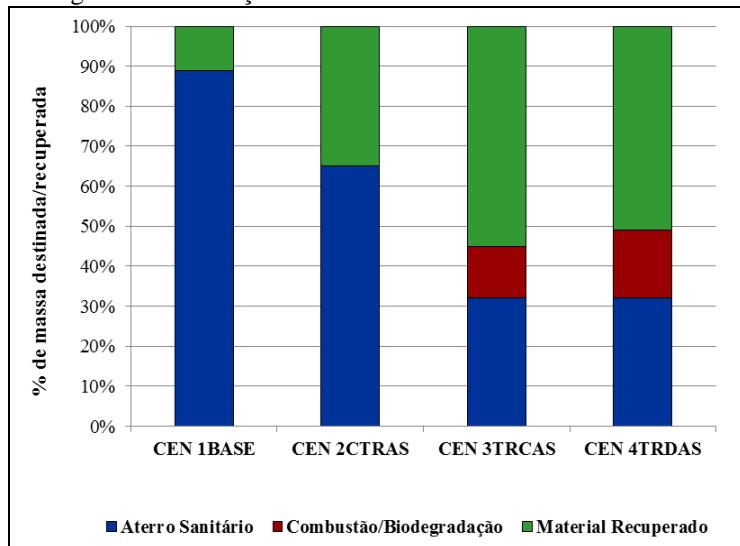
Na categoria Eutrofização (Figura 2.c), que expressa em fosfato equivalente (kg PO₄ eq./ano) as emissões líquidas e gasosas, observou-se que o Cenário 1Base apresentou o maior potencial de eutrofização e, os demais cenários apresentaram valores negativos, ou seja, com maior ganho ambiental.

A categoria Eutrofização considera principalmente a emissão de cargas de nutrientes e substâncias orgânicas que podem afetar os ecossistemas aquáticos devido a redução de oxigênio disponível no meio. Deste modo, quanto menor a quantidade de resíduos disposta em aterro sanitário e maior reciclagem, menor o potencial de eutrofização dos sistemas de gerenciamento de resíduos.

Quanto ao indicador Uso de Energia (Figura 2.d), que evidencia o equivalente energético líquido total do sistema, todos os cenários apresentaram valores negativos, apontando que a economia de energia é superior à energia consumida, destacando-se com maior ganho o Cenário 4TRDAS, onde a maior quantidade de material foi reciclada, seja por processos físico-químicos ou biológico.

Na Figura 3 são apresentados os resultados da destinação final dos resíduos, em porcentagem de massa recuperada ou reciclada por cenário. Entende-se por destinação final o receptor final da massa de resíduos no meio ambiente, podendo ser o aterro, a atmosfera ou o retorno do material ao mercado por meio da reciclagem.

Figura 3 - Destinação final da massa de resíduos nos cenários





De acordo com a Figura 3, observa-se que o cenário 1Base apresentou o menor índice de recuperação, apenas 11% do total coletado foi efetivamente reciclado. Os cenários 3TRCAS e 4TRDAS apresentaram a maior porcentagem de massa recuperada, devido a reciclagem e ao tratamento biológico. Nestes, 32% de massa foi encaminhada para aterro sanitário, representando uma redução de 36% em relação ao cenário 1Base.

Assim, de acordo com os resultados, o cenário 1Base apresentou o maior potencial de impacto ambiental em todos os indicadores. Os Cenários 3TRCAS e 4TRDAS apresentaram o melhor desempenho ambiental. Destaca-se que, nestes houve redução de material disposto em aterro sanitário e o maior retorno da matéria ao ambiente, na forma recuperada (produtos), ou por combustão ou biodegradação (gases, água).

A reciclagem foi a etapa que mais contribuiu para minimizar ou evitar os impactos ambientais nos sistemas de gerenciamento de resíduos em todos os cenários analisados. O aterro sanitário e a coleta foram as etapas que apresentaram o maior impacto ambiental.

Ainda, cabe ressaltar a importância da avaliação dos aspectos ambientais na adoção das tecnologias disponíveis, além da dimensão econômica, para o planejamento dos sistemas de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos, visto o potencial de impacto ao meio ambiente.

4 Conclusões

Com base nos resultados da pesquisa, utilizando a técnica da ACV, pode-se afirmar que a segregação dos resíduos na origem, a coleta seletiva, a triagem do material, a reciclagem e o tratamento biológico da matéria orgânica contribuíram para redução de emissões líquidas e gasosas com potencial de causar impactos ambientais.

Os cenários com sistemas de tratamento e com gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos associados às diferentes etapas possibilitaram o maior retorno da matéria ao ambiente e aos ciclos produtivos. Nestes cenários, alcançou-se a disposição final ambientalmente adequada somente de rejeitos, uma das metas da Política Nacional de Resíduos Sólidos.

A ACV propiciou avaliar o desempenho ambiental de diferentes cenários para o gerenciamento dos RSU, indicando os modelos com tecnologias capazes de reciclar efetivamente os resíduos, minimizando os impactos ambientais e servindo como apoio à tomada de decisão.

A reciclagem predominou, em todos os cenários avaliados, como a prática que mais contribuiu para minimizar, ou não gerar, impactos ambientais. Além de reduzir as emissões líquidas e gasosas, evita a retirada de novas matérias-primas da natureza, gerando produtos a partir dos resíduos.

A existência de registros sistemáticos de dados do sistema do gerenciamento de RSU, como no caso deste estudo, em um município considerado de pequeno porte, representa um avanço na gestão pública. Evidencia a importância da apropriação das informações pelos gestores públicos para viabilizar os estudos necessários ao desenvolvimento de novas tecnologias de gestão ambiental e de recuperação de resíduos.

Por fim, espera-se que este trabalho possa incentivar novos estudos nos municípios onde, por meio da técnica da ACV, adquiriam autoconhecimento para que novas ações sejam adotadas para melhorar o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos. Recomenda-se que as pesquisas contemplem além da avaliação ambiental, processos de recuperação de energia, a viabilidade econômica e o controle social.



5 Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR ISO 14040: Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura.** Rio de Janeiro, 2001.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 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. In: SENADO FEDERAL. **Legislação Republicana Brasileira.** Brasília, 2010.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos.** Brasília, DF: 2012. 106p.

DEN BOER, E.; DEN BOER, J.; BERGER, J; JAGER, J. **Waste management planning and optimization. Handbook of municipal waste prognosis and sustainability assessment of waste management systems.** Stuttgart: Ibidem-Verlart, 2005b, 306p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Cidades: Rio Grande do Sul - Garibaldi. Rio de Janeiro: IBGE, 2013.

MCDOUGALL, F. R.; WHITE, P.; FRANKE, M.; HINDLE, P. **Integrated Solid Waste Management:** a Life Cycle Inventory, 2 ed. Oxford: Blackell Science Ltda, 2001.

MCDOUGALL, F.R.; WHAITE, P.; FRANKE, M.; HINDLE, P. **Gestión Integral de Residuos Sólidos: inventario de ciclo de vida.** Primera edición traducida. Caracas: Procter & Gamble, 2004.

PESSIN, N. et al. Concepção e implantação de células piloto de aterramento de resíduos sólidos. In: JUNIOR, Armando Borges de Castilhos et al. (Org.). **Alternativas de Disposição de Resíduos sólidos Urbanos para Pequenas Comunidades** (coletânea de trabalhos técnicos). Rio de Janeiro: ABES, 2002. p. 13-17.

REICHERT, G. A. **Apoio à tomada de decisão por meio da avaliação do ciclo de vida em sistemas de gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos: o caso de Porto Alegre.** 2013. 301 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Porto Alegre, 2013.

ROSA NETO, E. **Uso do inventário do ciclo de vida como ferramenta auxiliar na tomada de decisões no sistema de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos em São Luiz Gonzaga – Rio Grande do Sul.** 2007. 72 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) – Universidade de Santa Cruz do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Santa Cruz do Sul, 2007.

XARÁ, S.; SILVA, M.; ALMEIDA, M.F.; COSTA, C. A aplicação da análise do ciclo de vida no planejamento da gestão integrada de resíduos sólidos urbanos. **Repositório Institucional.** Universidade Católica Portuguesa: Porto, 2001.