

III-071 – UTILIZAÇÃO DA ACV EM APOIO À DECISÃO EM GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS COM ENFOQUE NO DESEMPENHO AMBIENTAL

Cristina Mersoni⁽¹⁾

Bióloga. Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais da Universidade de Caxias do Sul (UCS).

Geraldo Antônio Reichert

Engenheiro Civil. Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Engenheiro do DMLU de Porto Alegre e Professor Adjunto da Universidade de Caxias do Sul (UCS).

Endereço⁽¹⁾: Rua Ernesto Alves, 335 – Bairro Vale dos Pinheiros - Garibaldi – RS – CEP: 95720-000 – Brasil – Tel: (54) 9995 3173 – e-mail: crismersoni@yahoo.com.br.

RESUMO

A busca por alternativas e técnicas que viabilizem melhorias nos sistemas de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos nas cidades brasileiras passou a ter uma maior relevância a partir da Política Nacional de Resíduos Sólidos. Neste contexto, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) tem-se apresentado como uma técnica para o planejamento e definição de modelos de gerenciamento integrado de resíduos sólidos. O presente trabalho tem como objetivo comparar e avaliar dois cenários de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos para o município de Garibaldi, RS, Brasil, utilizando como técnica a Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida, identificando aquele com o menor impacto ambiental quanto às emissões gasosas. Para tanto, utilizou-se o programa computacional IWM-2 para o inventário do ciclo de vida e indicadores ambientais para quantificar o impacto ambiental dos cenários quanto à emissão de substâncias para a atmosfera, a citar: mudanças climáticas, formação de foto-oxidantes e acidificação. De acordo com os resultados obtidos, a introdução de diferentes opções de tratamento de resíduos contribuiu para a redução de emissões gasosas com potencial de causar impactos ambientais. A técnica de ACV contribuiu para a identificação do potencial de impacto ambiental nas diferentes etapas do ciclo de vida dos resíduos, auxiliando na avaliação de modelos para a gestão pública de resíduos sólidos urbanos com enfoque no desempenho ambiental.

PALAVRAS-CHAVE: ACV, Resíduos sólidos urbanos, Indicadores ambientais.

INTRODUÇÃO

O tema resíduo passou a ocupar um espaço de destaque no Brasil a partir da Lei Federal 12.305/2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, estabelecendo a responsabilidade dos geradores e do poder público no gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos urbanos e incentivando ações conjuntas para a busca de soluções no tratamento dos resíduos (BRASIL, 2010).

No gerenciamento, as diferentes alternativas utilizadas para o manejo, transporte, tratamento e disposição final, apresentam potencial de geração de impactos ambientais resultantes das emissões gasosas, líquidas e dos resíduos finais das etapas do sistema (REICHERT, 2013).

Em relação às emissões gasosas, os resíduos sólidos urbanos são responsáveis por uma emissão de gases de efeito estufa em torno de 1,4 Gt de CO₂ equivalente/ano, dos quais a maior parte provém de aterros sanitários (STERN, 2006). No setor de tratamento, a disposição de resíduos é responsável por 84% das emissões de metano (CH₄), sendo o restante devido ao tratamento de esgoto (BRASIL, 2008).

Atualmente, medidas que buscam reduzir a emissão de gases, a fim de amenizar as mudanças climáticas globais e evitar possíveis impactos negativos ao meio ambiente, são temas debatidos a cada dia com mais frequência na sociedade, nos setores empresariais e governamentais.

A proposta para o Plano Nacional de Resíduos Sólidos contempla, entre as diretrizes e estratégias, a redução da geração de resíduos sólidos urbanos, desde a produção ao pós-consumo. Deste modo, busca alcançar todas as etapas do ciclo de vida dos produtos e contribuir para atenuar as mudanças climáticas, para preservar a biodiversidade e os demais recursos naturais (BRASIL, 2012).

Neste contexto, o gerenciamento dos resíduos sólidos deve ter por finalidade recuperar o valor do material descartado e reduzir os impactos sobre o meio ambiente por meio da seleção de opções adequadas para cada fração de resíduo (MOURAD et al., 2002).

Considerando a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), o Inventário do Ciclo de Vida (ICV) é uma importante ferramenta para a definição de modelos de gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos (REICHERT, 2007). Consiste na fase em que se desenvolve a coleta de dados, a quantificação de entradas e saídas de material e energia, permitindo compreender e avaliar o uso de recursos, as liberações para o ar, água e solo, associados ao sistema investigado (ABNT, 2001). Logo, o ICV é útil para avaliar a eficiência ambiental do sistema de gerenciamento de resíduos, apontando a melhor combinação entre as opções de tratamento disponíveis (MCDUGALL, 2000).

Assim, o presente estudo tem como objetivo comparar e avaliar dois modelos de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos para o município de Garibaldi, Estado do Rio Grande do Sul, Brasil, utilizando como técnica a Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida, identificando aquele com o menor impacto ambiental quanto às emissões gasosas.

METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido em quatro etapas principais: coleta de dados e definição do escopo, sistematização dos cenários para os modelos de gerenciamento de resíduos, Inventário do Ciclo de Vida (ICV) e Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV).

PRIMEIRA ETAPA: COLETA DE DADOS E ESCOPO

A coleta de dados foi realizada junto a Secretaria Municipal de Meio Ambiente do município de Garibaldi, onde foram obtidas informações quanto à população atendida pelo sistema de coleta de resíduos sólidos urbanos, número de domicílios e registros quantitativos dos resíduos recolhidos, 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), e foram identificadas as etapas do gerenciamento de resíduos no município para a construção dos cenários.

Na definição do escopo foram definidos os limites (fronteiras) do sistema estudado e a unidade funcional (tonelada de resíduos por ano, t/a). 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. Na Figura 1 estão ilustradas, de modo esquemático, as fronteiras do sistema para o Inventário do Ciclo de Vida dos resíduos.

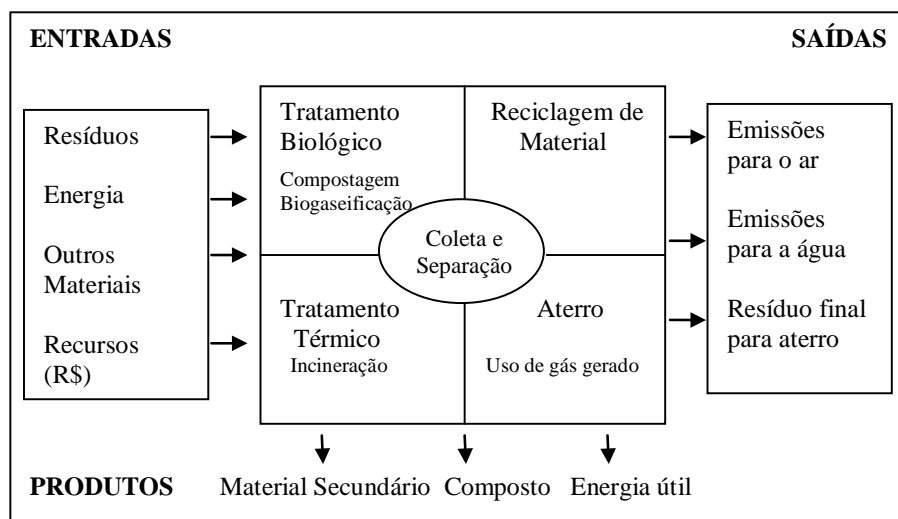


Figura 1: Limites do sistema para o Inventário do Ciclo de Vida dos resíduos sólidos

Fonte: Adaptado de McDougall et al. (2004)

As entradas para o sistema consistem em resíduos, energia, outros materiais e recursos financeiros. As saídas são os materiais reciclados, composto, energia útil, emissões para o ar e água, e material para aterro. Definidos os tratamentos para o sistema de gerenciamento, as entradas e as saídas são calculadas e os resultados expressos em: consumo de energia líquida, emissões atmosféricas e líquidas, volume de rejeito para aterro e material recuperado, composto (MCDUGALL, 2000).

No presente estudo foram consideradas como entradas os resíduos, a energia e outros materiais. Como saídas foram avaliados o material reciclado, composto e emissões para o ar.

SEGUNDA ETAPA: SISTEMATIZAÇÃO DOS CENÁRIOS

A segunda etapa consistiu na sistematização de dois cenários. O Cenário A (base) representa o modelo de gerenciamento atualmente adotado no município de Garibaldi, abrangendo a coleta de resíduos seletivos e mistos, transporte, triagem dos resíduos seletivos, reciclagem de 11% dos resíduos seletivos coletados e disposição final em aterro sanitário. Neste cenário, o serviço de coleta de resíduos sólidos domiciliares atende 100% da área municipal.

Para a sistematização do Cenário B foram consideradas as metas da proposta preliminar do Plano Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2012), integrando ao sistema de gerenciamento o processo de compostagem para os resíduos orgânicos ou biodegradáveis e, elevando o índice de reciclagem dos resíduos recicláveis.

Assim, o Cenário B contempla as seguintes etapas: coleta de resíduos seletivos e mistos, triagem para ambas as coletas, envio de material reciclável para a reciclagem, tratamento biológico (compostagem) para a matéria orgânica putrescível e disposição final do rejeito em aterro sanitário. No cenário, foi proposta uma otimização de material encaminhado para reciclagem equivalente a 42% do total de resíduos coletados no município e, 13% encaminhado para tratamento biológico.

Os resíduos seletivos são compostos predominantemente por embalagens, plásticos, papéis, vidros e metais diversos. Já os resíduos mistos são compostos por matéria orgânica putrescível, papel higiênico, rejeitos e outros materiais não recolhidos na coleta seletiva.

TERCEIRA ETAPA: INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA

De posse das informações obtidas no município e da sistematização dos cenários, iniciou-se a etapa de inventário de ciclo de vida utilizando como ferramenta o programa computacional *Integrated Solid Waste Management* - IWM-2.

Modelado por McDougall et al. (2001), o programa permite formar cenários a partir de dados de entrada como quantidade de resíduos gerenciados, número de habitantes e domicílios, demanda de energia (combustível, energia elétrica), tipo de coleta, tratamento e disposição final. E, como saída o programa apresenta o consumo total de energia, os materiais reciclados, composto, energia útil, emissões para o ar e água, e resíduos sólidos residuais.

QUARTA ETAPA: AVALIAÇÃO DE IMPACTO DO CICLO DE VIDA

Por fim, seguiu-se à Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida com a utilização de indicadores ambientais classificados por categoria de impacto. As categorias foram selecionadas visando quantificar o impacto ambiental dos cenários quanto à emissão de substâncias (gases) para a atmosfera, a citar: mudanças climáticas, formação de foto-oxidantes e acidificação.

Utilizando a metodologia descrita por Den Boer et al. (2005), seguiu-se para a classificação das substâncias emitidas para o ar e foi aplicado o cálculo matemático em cada categoria de impacto, cujos resultados foram expressos em termos de equivalentes, conforme apresentado na tabela 1. Os cálculos foram realizados por meio de planilhas eletrônicas em programa computacional Excel.

Tabela 1: Categorias de impacto e indicadores ambientais para AICV

Categoria de Impacto Ambiental	Substância emitida para a atmosfera	Resultado do indicador expresso em equivalente
Mudanças climáticas	CO ₂ , N ₂ O e CH ₄	Kg CO ₂ eq.
Formação de foto-oxidantes	CO, CH ₄ , NO _x , SO ₂	Kg C ₂ H ₄ eq.
Acidificação	Amônia, NO _x , SO ₂	Kg SO ₂ eq.

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

A partir dos resultados dos cálculos para cada categoria de impacto, foram elaborados os gráficos para a comparação dos Cenários A e B, para cada etapa do sistema, de acordo com os indicadores utilizados, buscando identificar o cenário que apresenta o menor impacto ambiental em relação às emissões atmosféricas.

Para melhor evidenciar o desempenho ambiental dos cenários avaliados, os resultados dos indicadores foram submetidos à normalização em termos de equivalentes populacionais (EP – habitantes), de acordo com metodologia sugerida por Guinée et al. (2001), sendo os valores divididos pelo número de habitantes do município de Garibaldi e o resultado final expresso em porcentagem da população.

Destaca-se que, os resultados nos gráficos que apresentam valores negativos indicam que há ganho ambiental (redução de emissões). E, os valores positivos apontam os impactos ambientais (emissões para o ar).

RESULTADOS

O município de Garibaldi apresenta uma população total estimada de 32.578 habitantes e 10.147 domicílios (IBGE, 2013). 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. Há a participação da Cooperativa de Catadores de Materiais Recicláveis que recebe todo o material proveniente da coleta seletiva.

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 município; 23% de matéria orgânica putrescível (restos de alimentos, podas); e, 35,4% de rejeitos (papel higiênico, fraldas, outros resíduos não especificados ou contaminados).

Os resultados para cada categoria de impacto encontram-se descritos a seguir.

RESULTADO DA CATEGORIA MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Na Figura 2 são apresentados os resultados referentes à categoria de impacto mudanças climáticas, expresso em kg CO₂ eq./ano, por etapa do sistema de gerenciamento de resíduos.

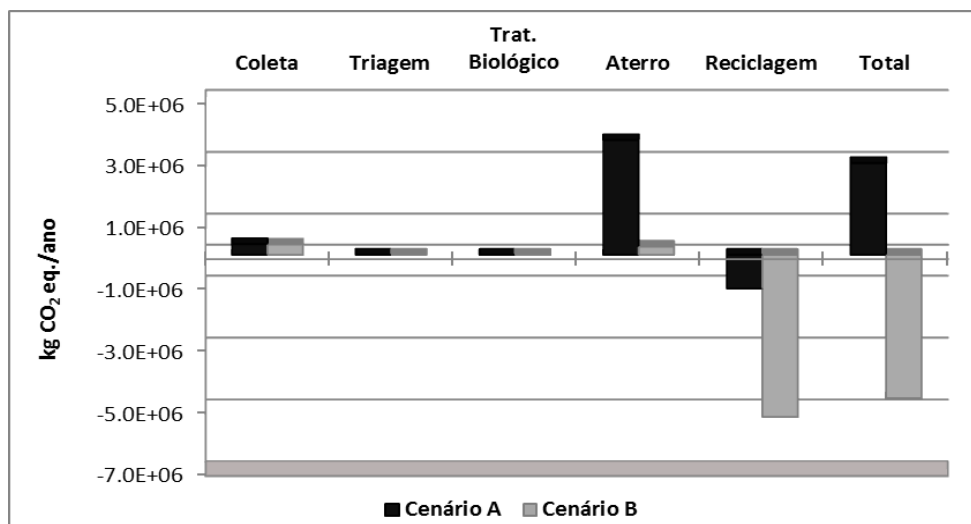


Figura 2: Resultados da categoria de impacto ambiental mudanças climáticas por etapa

Conforme se observa na Figura 2, no Cenário B ocorreu uma redução em mais de 50% no balanço total de emissões atmosféricas que podem causar o aumento da temperatura média global, consequentemente, influência nas mudanças climáticas. Neste cenário as etapas que mais contribuíram para minimizar os impactos ambientais por emissões gasosas foram a reciclagem, que apresentou o maior valor negativo, e o aterro sanitário, cuja quantidade de material disposto diminuiu devido ao tratamento biológico e a reciclagem.

Verifica-se que no Cenário A, modelo de gerenciamento adotado no município, a etapa que mais contribuiu com as emissões atmosféricas foi o aterro sanitário. Neste cenário, há uma maior quantidade de resíduos disposta em aterro, consequentemente maior é a geração de gases em relação ao Cenário B.

RESULTADO DA CATEGORIA FORMAÇÃO DE FOTO-OXIDANTES

Na Figura 3 são apresentados os resultados referentes à categoria de impacto formação de foto-oxidantes, expresso em etileno equivalente (Kg C₂H₄ eq./ano), por etapa do sistema de gerenciamento de resíduos.

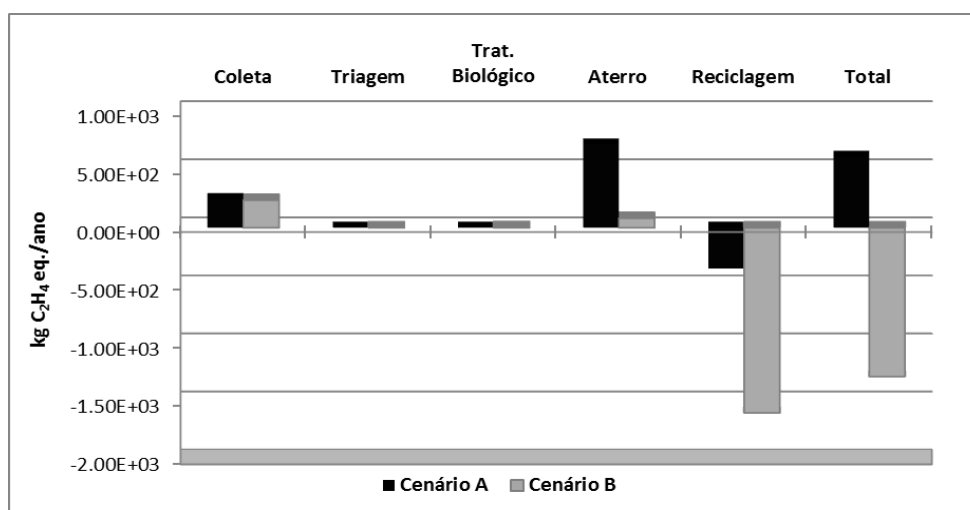


Figura 3: Resultados da categoria de impacto ambiental formação de foto-oxidantes por etapa

Considerando o balanço total de formação de foto-oxidantes, verifica-se na Figura 3 que o Cenário B apresentou uma redução na emissão de poluentes gasosos devido a menor quantidade de resíduos disposta em aterro.

Ainda, observando os cenários, as etapas de coleta, aterro sanitário e reciclagem foram as que mais contribuíram na emissão de gases nesta categoria de impacto. Na etapa de coleta, os veículos coletores são os responsáveis pela emissão de gases como CO, NO_x e SO₂, formados a partir da queima de combustíveis e lançados para a atmosfera. No aterro sanitário ocorre a formação de gases devido a decomposição do material, sendo que o Cenário A apresentou a maior emissão. A reciclagem apresentou valores negativos em ambos cenários, indicando a redução na emissão de gases.

RESULTADO DA CATEGORIA ACIDIFICAÇÃO

Na Figura 4 são apresentados os resultados referentes à categoria de impacto acidificação, expresso em dióxido de enxofre equivalente (kg SO₂ eq./ano), por etapa do sistema de gerenciamento de resíduos.

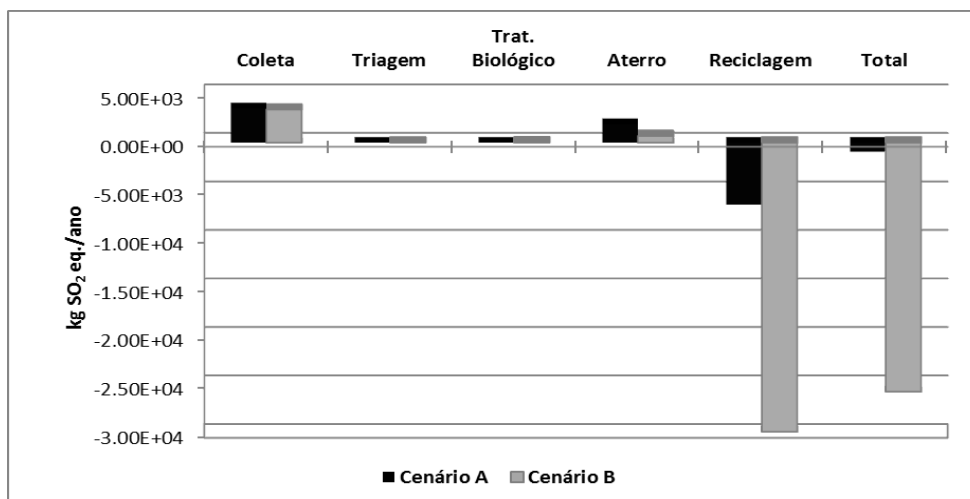


Figura 4: Resultados da categoria de impacto ambiental acidificação por etapa

Em relação a esta categoria de impacto, verifica-se na Figura 4 que o Cenário B foi o que apresentou o melhor desempenho, ou seja, menos contribuiu com emissões de substâncias gasosas com potencial de acidificação devido, principalmente, a etapa de reciclagem (maior quantidade de resíduos foi encaminhada para reciclagem).

As substâncias emitidas para o ar, principalmente na etapa de coleta dos cenários, quando dissolvidas na água da chuva podem acidificar o meio prejudicando animais e plantas. No balanço total, a etapa de reciclagem contribuiu para minimizar os possíveis impactos causados pelo modelo de gerenciamento de resíduos em ambos os cenários.

RESULTADO COMPARATIVO DOS CENÁRIOS POR CATEGORIA DE IMPACTO

Para melhor evidenciar o desempenho ambiental dos cenários avaliados, os resultados dos indicadores foram submetidos à normalização e expressos em número de habitantes para cada categoria de impacto, conforme apresentado na Figura 5.

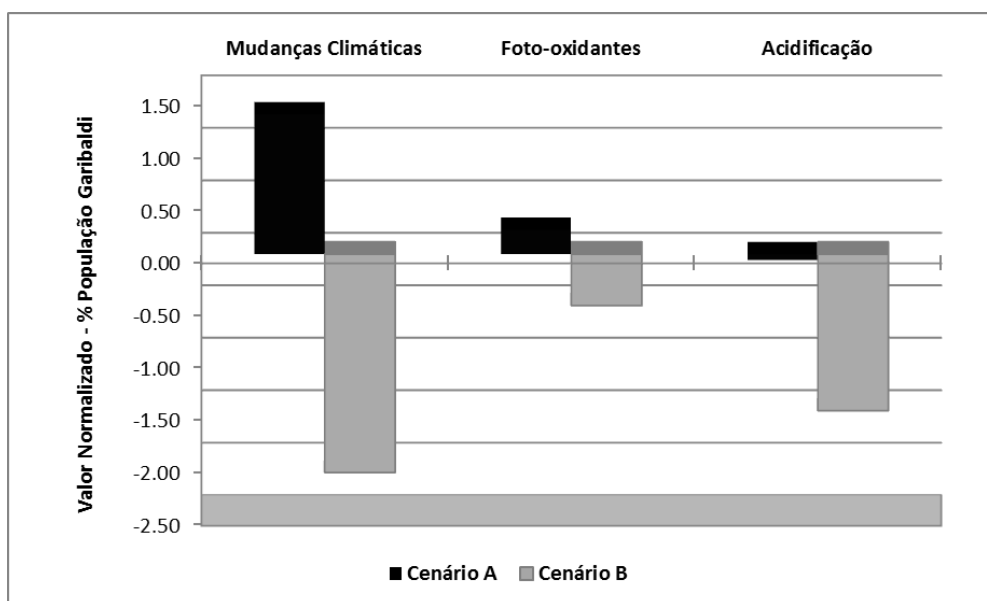


Figura 5: Resultado das categorias de impacto normalizado por cenário

De acordo com a Figura 5, verifica-se que o Cenário B, que contempla o tratamento biológico e a reciclagem, apresenta o melhor desempenho em todas as categorias de impacto avaliadas para o sistema de gerenciamento de resíduos sólidos.

Os valores normalizados evidenciam o Cenário B como o modelo de menor impacto ambiental (valores negativos), com reduzida emissão de substâncias para a atmosfera no balanço total do sistema de gerenciamento de resíduos. O Cenário A, como o modelo que apresenta o maior potencial de impacto ambiental.

Conforme técnica adotada, os resultados revelam os aspectos ambientais e os impactos potenciais associados ao gerenciamento dos resíduos, compreendendo todas as etapas a partir de um cenário atual. O uso da ACV, para a comparação dos cenários, auxilia na tomada de decisão quanto ao modelo a ser adotado em um sistema municipal de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos.

CONCLUSÕES

Com base nos resultados da pesquisa, comparando modelos para o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos, pode-se concluir que a introdução da compostagem e o aumento no índice de reciclagem dos resíduos coletados, conforme proposto no Cenário B, contribuíram positivamente para a redução de emissões gasosas com potencial de causar impactos ambientais.

As diferentes opções de tratamento utilizadas no gerenciamento dos resíduos contribuíram para minimizar os impactos ambientais.

A técnica de ACV possibilitou identificar o potencial de impacto ambiental nas diferentes etapas do ciclo de vida dos resíduos. Auxiliou na avaliação de possíveis modelos de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos para a gestão pública, com enfoque no desempenho ambiental.

A reciclagem mostrou-se como a etapa que mais contribuiu para diminuir os impactos ambientais associados ao gerenciamento de resíduos sólidos. Este resultado também foi apontado por Reichert e Mendes (2014).

Neste trabalho foram avaliados somente dois cenários com o uso de três indicadores. Porém, estudos utilizando a técnica de ACV podem avaliar mais cenários (5, 6 ou mais) e com um número maior de indicadores, formando assim uma base de dados com informações amplas para um processo de tomada de decisão com maior rigor técnico.

Também, para a tomada de decisão do melhor modelo a ser adotado, importante considerar outros aspectos ambientais como emissões para a água, o consumo de energia, os aspectos econômicos e sociais.

Destaca-se que, a presente pesquisa trouxe dados reais do sistema de gerenciamento de resíduos de um município de pequeno porte, cuja realidade se assemelha a uma grande maioria de municípios brasileiros.

O estudo evidenciou a importância da separação dos resíduos na origem e a necessidade de uma coleta seletiva efetiva, permitindo deste modo o encaminhamento para o tratamento sem perdas por mistura de material potencialmente reciclável com os demais resíduos ou rejeitos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Secretaria Municipal de Meio Ambiente do município de Garibaldi pelo apoio à pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR ISO 14040: Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2001.
2. BRASIL. Comitê Interministerial sobre mudança do clima. Plano Nacional sobre Mudança do Clima. Brasília, DF: 2008.
3. 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.
4. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, DF: 2012.
5. DEN BOER, E. et al. Waste management planning and optimization. Handbook of municipal waste prognosis and sustainability assessment of waste management systems. Stuttgart: Ibidem-Verlart, 2005, 306p.
6. GUINÉE, J.B. et al. Handbook on life cycle assessment: An operational guide to the ISO standards. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001.
7. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Cidades: Rio Grande do Sul - Garibaldi. Rio de Janeiro: IBGE, 2013.
8. MCDUGALL, F.R. Integrated Waste Management: LCA and its Practical Use Corporate Sustainable Development. In: Seminar “Lixo Municipal – Gerenciamento Integrado”, Anais ... São Paulo: Procter & Gamble Technical Centres/UK, 2000.
9. MCDUGALL, F. R. et al. Integrated Solid Waste Management: a Life Cycle Inventory, 2 ed. Oxford: Blackell Science Ltda, 2001.
10. MCDUGALL, F.R. et al. Gestión Integral de Residuos Sólidos: inventario de ciclo de vida. Primera edición traducida. Caracas: Procter & Gamble, 2004.
11. MCDUGALL, F.R. Integrated Waste Management Model IWM-2, Version 2.50-1. London (UK): Procter & Gamber, 2013.
12. MOURAD, A. L.; GARCIA, E.E.C.; VILHENA, A. Avaliação do ciclo de vida: princípios e aplicações. Campinas: CETEA/CEMPRE, 2002.

13. 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.
14. REICHERT, G.A. Potencial de utilização da ferramenta de inventário de ciclo de vida (ICV) na definição de modelos de gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24, 2007, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: ABES, 2007.
15. 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. Disponível em: < <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/87557> >. Acesso em: 26 fev. 2014.
16. 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 Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 19, n. 3, p. 301-313, jul./set. 2014.
17. STERN, N. Stern review: the economics of climate change. Londres: HM Treasury, 2006. Disponível em: <http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/destaques/sternreview_report_complete.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2015.