

# Avaliação ambiental de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos precedidos ou não por unidades de compostagem

*Environmental assessment of municipal solid waste landfill preceded or not by composting plants*

Luciana Paulo Gomes<sup>1</sup>, Claudia Adriana Kohl<sup>2</sup>, Caroline Lobato de Lima Souza<sup>3</sup>,  
Neuri Rempel<sup>4</sup>, Luis Alcides Schiavo Miranda<sup>5</sup>, Carlos Alberto Mendes Moraes<sup>6</sup>

## RESUMO

Neste estudo de caso, comparou-se o potencial impacto ambiental gerado por dois cenários representativos de duas formas diferentes de gerenciamento de resíduos domésticos: o primeiro com central de triagem e aterro sanitário, e o segundo com central de triagem, compostagem e aterro sanitário. A análise dos dados baseou-se nas fases de estudo de uma Análise do Ciclo de Vida: definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação dos potenciais impactos ambientais, interpretação dos resultados e avaliação crítica. Foram elaborados fluxogramas dos processos produtivos, delimitadas as fronteiras dos sistemas e elaborados os diagramas de blocos e as planilhas de aspectos e impactos ambientais. No inventário efetuado, percebe-se que os dados são favoráveis ao Cenário 2 (aterro sanitário precedido de compostagem) com relação à geração de resíduos e de emissões atmosféricas. No Levantamento dos Aspectos e Impactos Ambientais (LAIA) do Cenário 1 (com triagem de recicláveis secos, em que todos os rejeitos são encaminhados para o aterro sanitário), verificou-se que 22,2% dos aspectos e impactos ambientais foram avaliados como significativos (ou seja, classificados como "intoleráveis" ou "sérios"). No LAIA do Cenário 2, o resultado foi de 17,6% do total avaliado, cujos dados também são favoráveis a este Cenário. Em ambos os cenários, o aspecto significativo mais relevante foi relacionado às emissões atmosféricas geradas, identificadas nos processos de coleta e transporte de resíduos e de disposição final dos rejeitos.

**Palavras-chave:** aterro sanitário; compostagem; impacto ambiental.

## ABSTRACT

The present paper compared the potential environmental impact generated by two representative scenarios in two different ways of managing household waste: the first one considering a central sorting and sanitary landfill, and the second one considering a central sorting, composting and sanitary landfill. Data analysis was based on the phases of a Life Cycle Analysis: goal and scope definition, inventory analysis, evaluation of potential environmental impacts, interpretation of results and critical evaluation. Flowchart of processes was developed, boundaries of systems were defined, and it was elaborated block diagrams and spreadsheets of the environmental aspects and impacts. It was noticed in the inventory that the data are in favor of Scenario 2 (composting before sanitary landfill) regarding waste generation and atmospheric emissions. The assessment of Environmental Aspects and Impacts (AEAI) of Scenario 1 (sorting of recyclables, in which all waste is sent to landfill) showed that 22.2% of environmental aspects and impacts were assessed as significant (i.e. ranked as "unacceptable" or "serious"). The result of AEA I from Scenario 2 was 17.6% of total assessed, which data is also favorable to this Scenario. In both scenarios, the more relevant significant aspect was related to atmospheric emissions identified in the processes of collection and transportation of waste, and final disposition of rejects.

**Keywords:** landfill; composting; environmental impact.

<sup>1</sup>Doutora em Engenharia Civil. Professora Titular do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, área de Gerenciamento de Resíduos, da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS) - São Leopoldo (RS), Brasil.

<sup>2</sup>Gestora Ambiental. Mestre em Engenharia Civil pela UNISINOS - São Leopoldo (RS), Brasil.

<sup>3</sup>Bióloga. Mestre em Engenharia Civil pela UNISINOS - São Leopoldo (RS), Brasil.

<sup>4</sup>Químico. Mestre em Engenharia Civil pela UNISINOS - São Leopoldo (RS), Brasil.

<sup>5</sup>Pós-Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Professor Adjunto do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, área de Gerenciamento de Resíduos, da UNISINOS - São Leopoldo (RS), Brasil.

<sup>6</sup>Pós-Doutor em Ciência dos Materiais. Professor Titular do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, área de Gerenciamento de Resíduos, da UNISINOS - São Leopoldo (RS), Brasil.

**Endereço para correspondência:** Luciana Paulo Gomes - Avenida Unisinos, 950 - 93022-000 - São Leopoldo (RS), Brasil - E-mail: lugomes@unisinos.br

**Recebido:** 16/07/13 - **Aceito:** 28/01/15 - **Reg. ABES:** 120751

## INTRODUÇÃO

Atualmente, as alternativas consideradas ambientalmente adequadas para destinação/disposição de resíduos sólidos são: disposição em aterro, reutilização, reciclagem, compostagem, recuperação e aproveitamento energético (BRASIL, 2010). Segundo Prado Filho e Sobreira (2005), as Centrais de Triagem e Reciclagem (CTR) servem para separação dos materiais recicláveis presentes nos resíduos sólidos urbanos (RSU) e, geralmente, estão organizadas em forma de cooperativas. Esses materiais (papéis, metais, plásticos, vidros, etc.), em uma segunda etapa, normalmente desenvolvida fora das dependências da CTR, são reintroduzidos no processo industrial, a qual permite a reciclagem e/ou transformação desses resíduos em novos produtos.

Porém, diante do elevado percentual de matéria orgânica putrescível presente nos resíduos sólidos domésticos, também pode ser realizado, na área onde se localizam os aterros sanitários, o processo de compostagem, a fim de produzir um material com características semelhantes às de um fertilizante orgânico, que poderá possuir um alto valor agregado e servir como alternativa de fonte de renda para os cooperativados (PRADO FILHO e SOBREIRA, 2005). Nesse sentido, a compostagem é uma alternativa para o tratamento dos RSU e, conseqüentemente, ocorre a minimização da parcela a ser encaminhada ao aterro sanitário, o que também colabora para a redução da concentração da carga orgânica no lixiviado gerado e a redução da emissão de gases de efeito estufa para a atmosfera.

A crescente preocupação com os impactos ambientais, inclusive os potencialmente gerados por aterros sanitários, tem motivado a aplicação de instrumentos e métodos que auxiliem na compreensão e, logo, no controle e na redução desses impactos. É nesse contexto que a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) surge como um instrumento de avaliação dos impactos, a qual se constitui em uma técnica de apoio ao gerenciamento ambiental e ao desenvolvimento sustentável (LIMA, 2007).

Segundo Omoto (2005), no Brasil, os estudos de ACV são geralmente realizados academicamente ou por empresas multinacionais, os resultados são de difícil acesso e com base em *softwares* de arquitetura fechada. É no setor acadêmico que se observa o maior desenvolvimento da ACV no Brasil (LIMA, 2007).

Segundo Souza e Rubinger (2005), apesar da existência de padronização para a aplicação da ACV, várias questões desafiadoras ainda persistem, principalmente no que diz respeito à sua utilização em processos de gerenciamento de RSU. Nesse sentido, sugere-se como benefício pela aplicação da ACV o auxílio na escolha da alternativa mais adequada de tratamento, em que se consideram os impactos ambientais gerados e a eficiência energética dos sistemas.

Diante desse contexto, esse artigo avaliou o potencial impacto ambiental baseado nas fases da ferramenta de Análise do Ciclo de Vida, comparando dois cenários distintos. O Cenário 1, que representa o gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos, no qual apenas

uma parcela dos recicláveis secos (principalmente embalagens) não é encaminhada para o aterro sanitário e outro, o Cenário 2, com as mesmas características do 1, mas no qual uma unidade de compostagem para aproveitamento da matéria orgânica putrescível precede ao aterro sanitário.

## METODOLOGIA

A metodologia utilizada baseada na ACV dos dois cenários em estudo está dividida basicamente em cinco fases: definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação dos potenciais impactos ambientais, interpretação dos resultados e avaliação crítica.

Efetuarão-se dois levantamentos de dados, um na etapa de análise de inventário e outro que corresponde ao levantamento dos aspectos e impactos ambientais dos processos. Na primeira etapa, a qual se refere à análise do inventário, elaboraram-se os fluxogramas de processo dos dois cenários. Estabeleceu-se a unidade funcional dos sistemas em avaliação e definiram-se as fronteiras dos dois sistemas estudados. Depois disso, efetuou-se a coleta de dados e procedimentos de cálculos para quantificar as entradas e saídas relacionadas ao estudo. Para a avaliação quantitativa na etapa do inventário, apresentam-se, na seqüência, os dados assumidos no trabalho.

1. Para a coleta e o transporte dos RSU consideraram-se veículos com capacidade de 12 toneladas e desempenho de 1,3 km.L<sup>-1</sup>. Estabeleceu-se a distância média de 33 km por viagem (incluiu-se a rota de coleta e o transporte até o aterro sanitário) (SL AMBIENTAL, 2012).
2. Estipulou-se o transporte do composto acabado por meio rodoviário, em caminhões com 24 toneladas de capacidade de carga e desempenho de 2,5 km.L<sup>-1</sup> de óleo diesel (NEXTRANS, 2011).
3. Estabeleceu-se o valor de 100 km para a distância média entre o aterro sanitário e os centros consumidores do composto produzido, dado médio também empregado por McDougall *et al.* (2001).
4. Segundo Audibert e Fernandes (2012), um aterro sanitário gera 270 Nm<sup>3</sup> biogás.t<sup>-1</sup> resíduo aterrado. McDougall *et al.* (2001) indicam que sistemas de tratamento de resíduos constituídos por compostagem e aterro sanitário geram 50% a menos de volume de gases do que aqueles que não são operados com pátio de compostagem, já que parte da matéria orgânica é destinada para a biodegradação aeróbia e, portanto, deixa de gerar biogás no aterro. Neste estudo, utilizaram-se os valores de geração de 270 Nm<sup>3</sup> biogás.t<sup>-1</sup> resíduo aterrado em aterros e 135 Nm<sup>3</sup> biogás.t<sup>-1</sup> resíduo aterrado em aterros precedidos de compostagem.
  - Mc Dougall *et al.* (2001) também descrevem que a compostagem gera somente 20% do volume de gases de um aterro sem compostagem e que, desse valor, 32% é CO<sub>2</sub>. Com base nesses estudos, estipulou-se o valor de geração de 54 Nm<sup>3</sup> biogás.t<sup>-1</sup> na compostagem.

- Os estudos de Jucá *et al.* (2001), Real (2005) e Borba (2006) mostram que os valores dos gases CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> são muito variáveis e dependem das características tanto dos resíduos aterrados quanto das condições operacionais e ainda da região de implantação do sistema. Portanto, adotaram-se os valores de 50% de CO<sub>2</sub> e 50% de CH<sub>4</sub> para a geração de biogás em aterros sanitários. Utilizou-se a densidade dos gases de 0,716 kg.m<sup>-3</sup> de resíduos para o CH<sub>4</sub> e 1,530 kg.m<sup>-3</sup> de resíduos para o CO<sub>2</sub>, dados estes apoiados no trabalho de Ferrer e Alves (2006).
5. A geração de resíduos sólidos (lodo) do tratamento do lixiviado pode variar de 9 a 22 kg de resíduos para cada m<sup>3</sup> de lixiviado tratado (WEBER & HOLZ, 1991 *apud* MCDUGALL *et al.*, 2001). Neste trabalho, utilizou-se o valor de 15,5 kg.m<sup>-3</sup> (valor médio conforme a faixa anteriormente citada). As Tabelas 1 a 4 apresentam os demais dados e referências utilizados nesse trabalho.

Ainda na etapa de inventário realizou-se a classificação em relação a quatro categorias de impactos ambientais:

- o “aquecimento global”, por meio do levantamento das emissões atmosféricas do aterro, do transporte e da compostagem;
- a “redução de recursos naturais não renováveis”, por meio do consumo de óleo diesel;
- a “alteração da qualidade do solo e águas”, com o potencial de contaminação se o lixiviado gerado não for tratado; e
- a “geração de resíduos finais” nos dois cenários, por meio dos rejeitos aterrados e do lodo gerado no tratamento de lixiviado.

**Tabela 1** - Geração média de resíduos sólidos urbanos em São Leopoldo, Rio Grande do Sul.

Categorias dos RSU	Geração (%)	Literatura
Matéria orgânica putrescível	43,2	Adaptado de Schneider (2012)
Plásticos	19,7	
Papéis e embalagens longa vida	20,5	
Vidros	1,4	
Metais	2,5	
Materiais moderadamente e dificilmente degradáveis	6,8	
Contaminantes químicos e outros	0,0	
Contaminantes biológicos	5,9	

RSU: resíduos sólidos urbanos.

**Tabela 2** - Emissões atmosféricas do transporte.

Emissões	kg emissões/km gerados na coleta de resíduos	Literatura
CO	0,025	Economy and Energy (2001)
CO <sub>2</sub>	1,210	
HC	0,006	
NO <sub>x</sub>	0,033	Silva e Kulay (2000)
SO <sub>2</sub>	0,003	
MP	0,016	

Na segunda etapa, efetuou-se um levantamento dos aspectos e impactos ambientais, a fim de verificar qual cenário apresenta o maior potencial de impacto para o meio ambiente. Efetuou-se a avaliação baseada no procedimento de identificação do Sistema de Gestão Ambiental da Unisinos (SGA UNISINOS, 2015) e no trabalho de Moraes *et al.* (2010). Outros trabalhos como: Potrich *et al.* (2007), Andrade e Turrioni (2014), Piva *et al.* (2007) e Dulac *et al.* (2009) usaram de metodologias similares.

Para cada aspecto ambiental (AA) levantado, identificou-se o potencial impacto ambiental (IA) relacionado. Foram considerados quatro critérios para o processo de caracterização dos AAs e IAs, que são: situação operacional (Quadro 1), probabilidade ou frequência de ocorrência (Quadro 2), severidade (Quadro 3) e grau de risco (Quadro 4).

O cruzamento entre a frequência/probabilidade x severidade, por meio da multiplicação desses parâmetros, define o grau de risco, o qual pode ser classificado conforme apresentado no Quadro 4.

Os potenciais impactos ambientais foram classificados segundo seu grau de risco em níveis: intolerável, sério, moderado, tolerável, menor e isento. O Quadro 5 apresenta a estimativa dos níveis de risco e o índice de gravidade do dano.

Consideraram-se “significativos” todos os aspectos e impactos classificados como “sério” e “intolerável”. Realizou-se a avaliação para ambos os cenários, para posteriormente comparar-se as pontuações encontradas em cada levantamento efetuado.

Na interpretação, efetuou-se a identificação e análise dos resultados obtidos nas fases de inventário e a avaliação dos aspectos

**Tabela 3** - Lixiviado gerado.

Tipo de RSU por tipo de processo	m <sup>3</sup> de lixiviado.t <sup>-1</sup> resíduo aterrado	Literatura
Biodegradáveis em aterro sanitário	0,15	McDougall <i>et al.</i> (2001)
Biodegradáveis em compostagem	0,15	

**Tabela 4** - Dados da compostagem.

Compostagem	(%)	Literatura
Composto	54	Gomes e Martins (2003)
Rejeitos	6	
Perdas (água e gases)	40	

**Quadro 1** - Situação operacional.

Situação	Descrição
Normal (N)	Situações esperadas e relacionadas com a rotina operacional.
Emergencial (E)	Eventos inesperados que podem ocasionar danos graves ao meio ambiente e/ou à saúde do trabalhador.

Fonte: Adaptado de SGA UNISINOS (2015).

e impactos ambientais, de acordo com o objetivo e o escopo definido. Seguiram-se as rotinas de Chehebe (1998). Nesta fase, consideraram-se a minimização do uso de recursos naturais, da geração de rejeitos e das emissões atmosféricas responsáveis pelo aquecimento global, depleção da camada de ozônio e chuva ácida, dentre outros. A recuperação de materiais e a possibilidade de se reduzir as fontes de poluição também foram avaliadas de acordo com Knight (1996).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Objetivo e escopo do trabalho

Definiu-se o objetivo do trabalho como: avaliar o potencial impacto ambiental de dois cenários propostos como alternativas para o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos. O escopo proposto para esse estudo trata da comparação dos processos produtivos para dois cenários distintos: o Cenário 1 representa o gerenciamento de RSU, em que apenas pequena parcela dos recicláveis secos (principalmente embalagens) não é encaminhada para um aterro sanitário, e outro, o Cenário 2, no qual uma unidade de compostagem para aproveitamento da matéria orgânica putrescível precede ao aterro sanitário. Em ambos os cenários o tratamento dos resíduos é iniciado pela triagem dos resíduos potencialmente recicláveis.

As delimitações para ambos os cenários estão demonstradas nas Figuras 1 e 2. Com base nos fluxogramas dos processos, estabeleceu-se

**Quadro 4 - Classificação do grau de risco.**

Grau de risco	Característica	Pontuação
Isento (IS)	Isento de grau de risco	0
Menor (ME)	Grau de risco menor	1 a 4
Tolerável (TO)	Grau de risco tolerável	5 a 9
Moderado (MO)	Grau de risco moderado	10 a 12
Sério (SE)	Grau de risco sério	13 a 19
Intolerável (IN)	Grau de risco intolerável	20 a 25

Fonte: Moraes et al. (2010).

**Quadro 5 - Classificação do grau de risco.**

		Probabilidade/Frequência				
		1	2	3	4	5
Severidade do impacto	0	Isento	Isento	Isento	Isento	Isento
	1	Menor	Menor	Menor	Menor	Tolerável
	2	Menor	Menor	Tolerável	Tolerável	Moderado
	3	Menor	Tolerável	Tolerável	Moderado	Sério
	4	Menor	Tolerável	Moderado	Sério	Intolerável
	5	Tolerável	Moderado	Sério	Intolerável	Intolerável

Fonte: Moraes et al. (2010)

**Quadro 2 - Probabilidade ou frequência de um aspecto ambiental ocorrer.**

Classe	Descrição	Frequência	Pontuação
Extremamente remota	Aspecto nunca ocorreu ou está sob controle.	O aspecto ambiental ocorre em menos de 20% das atividades.	1
Remota	Aspecto ocorreu em empresas do setor.	O aspecto ambiental ocorre entre 21% e 40% das atividades.	2
Possível	Aspecto já ocorreu em empresas similares, ou evento teoricamente possível, sem registros.	O aspecto ambiental ocorre entre 41% e 60% das atividades.	3
Frequente	Aspecto ocorre em empresas eventualmente.	O aspecto ambiental ocorre entre 61% e 80% das atividades.	4
Muito frequente	Aspecto possui grande histórico de ocorrência em empresas.	O aspecto ambiental ocorre em mais de 81% das atividades.	5

Fonte: Adaptado de SGA UNISINOS (2015).

**Quadro 3 - Severidade de um impacto ambiental (intensidade e/ou gravidade potencial do impacto).**

Severidade	Característica	Pontuação
Isento	Inexistência de Impacto Ambiental.	0
Leve	Impacto Ambiental restrito ao local de ocorrência.	1
Moderado	Impacto Ambiental restrito à empresa, reversíveis com ações mitigadoras.	2
Sério	Impacto Ambiental restrito ou não à empresa, reversível com ações mitigadoras ou corretivas.	3
Grave	Impacto Ambiental restrito ou não à empresa, reversível com ações corretivas.	4
Catastrófica	Impacto Ambiental restrito ou não à empresa, com consequências irreversíveis mesmo com ações corretivas.	5

Fonte: Adaptado de SGA UNISINOS (2015).

a unidade funcional do sistema em avaliação em 150 toneladas de RSU. Essa é a quantidade média de resíduos sólidos urbanos (parcela doméstica e de pequenos geradores comerciais e de serviços públicos) coletada em um dia na cidade de São Leopoldo, RS (SL AMBIENTAL, 2012).

Verifica-se nas Figuras 1 e 2 que os processos de transporte e triagem de RSU são idênticos nos dois cenários, os quais foram incluídos na análise apenas para que se possa considerar os impactos ambientais gerados.

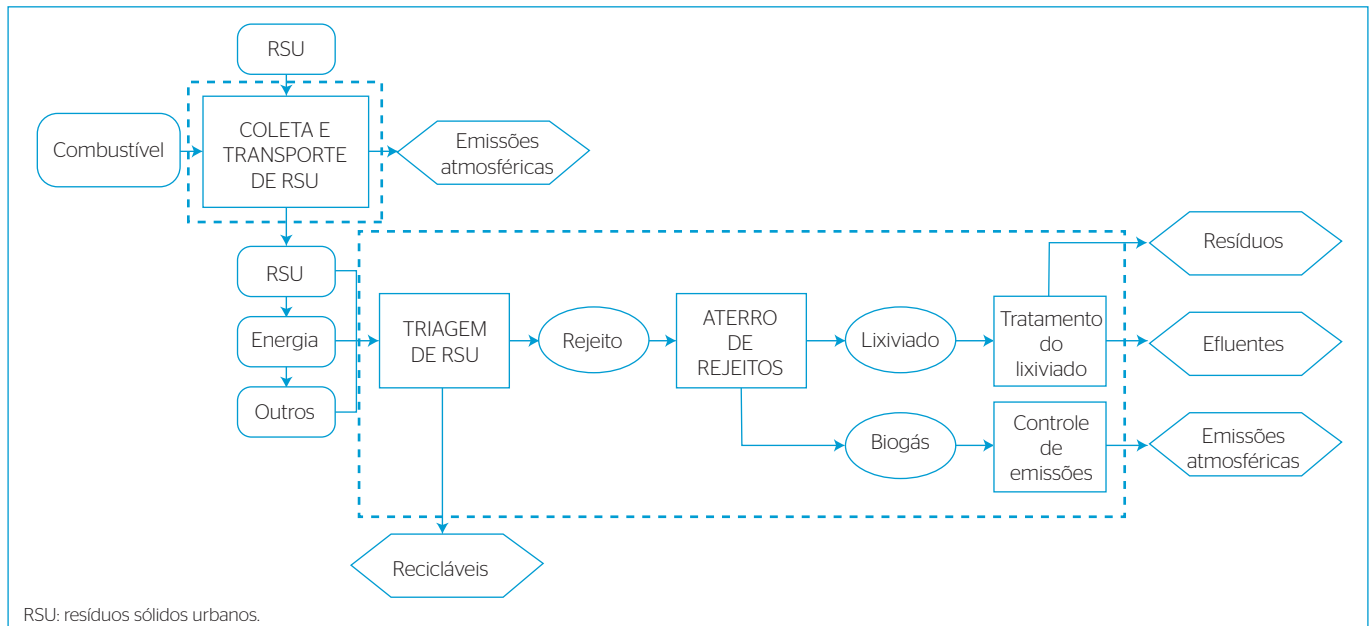


Figura 1 - Delimitações da fronteira de Avaliação do Ciclo de Vida para o Cenário 1: triagem + aterro sanitário.

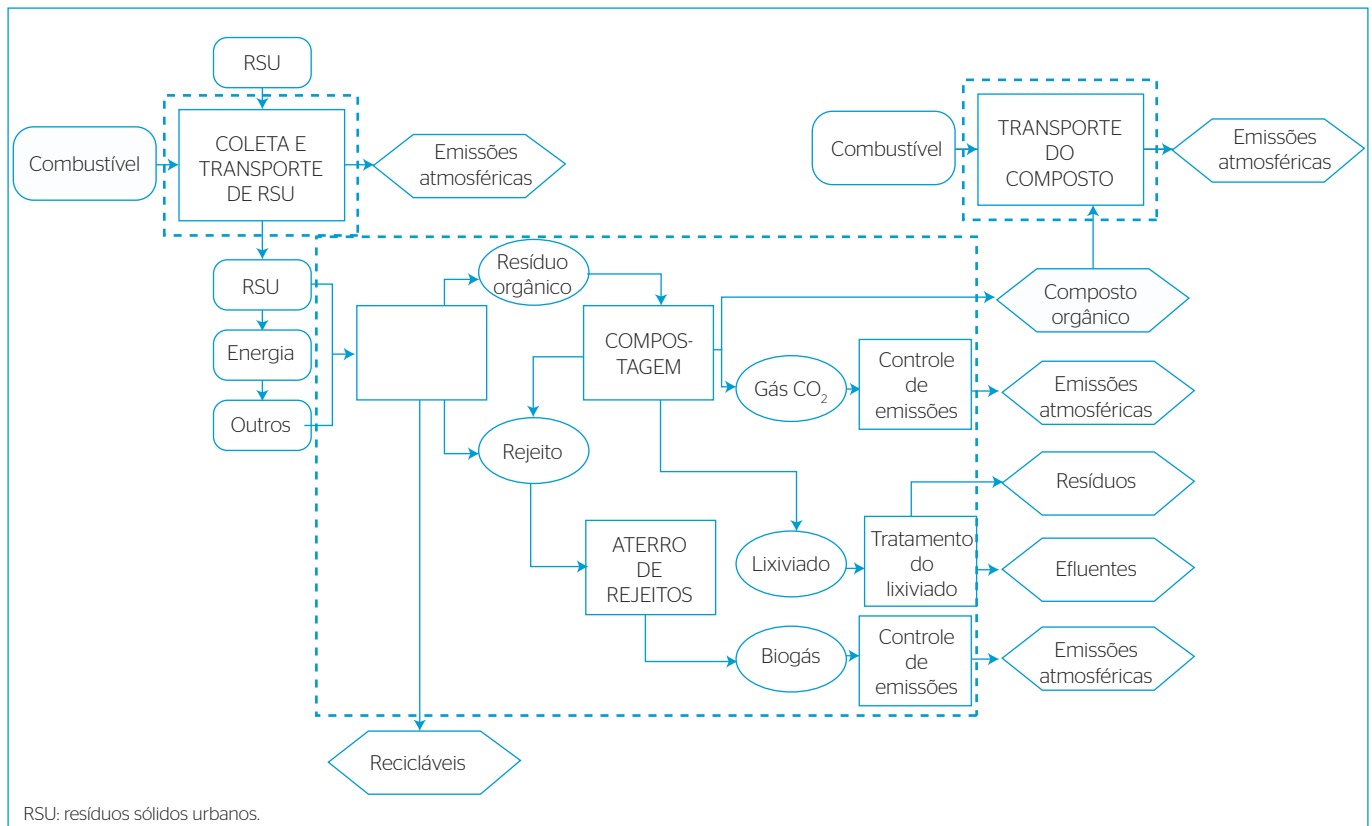


Figura 2 - Delimitações da fronteira de Avaliação do Ciclo de Vida para o Cenário 2: triagem + compostagem + aterro sanitário.

## Análise de inventário

Apresenta-se a análise de inventário realizada para os dois cenários nas Tabelas 5 e 6, a seguir. No Cenário 1 identificaram-se 6 processos: coletar e transportar os RSU, triar os RSU, aterrar os rejeitos, monitorar o aterro, tratar o lixiviado e controlar emissões atmosféricas. No Cenário 2, foram identificados 11 processos: coletar e transportar os RSU, triar os RSU, formar leiras de compostagem, revolver, maturar leiras e gerar composto, caracterizar composto, ensacar e pesar o composto, transportar o composto, aterrar os rejeitos, monitorar o aterro, tratar o lixiviado e controlar emissões atmosféricas. Para os processos “monitorar o aterro” e “controlar as emissões atmosféricas” não se obtiveram dados quantitativos em ambos cenários. Efetuaram-se as discussões sobre os resultados separadamente para cada etapa do processo.

### Processo de coletar e transportar os resíduos sólidos urbanos para a Central de Triagem

Os dados das Tabelas 5 e 6 mostram que para coletar 150 toneladas de RSU e transportá-los até a Central de Triagem consome-se 330 litros de combustível óleo diesel. Nesse processo, em ambos os cenários, gera-se 555 kg de emissões atmosféricas.

### Processo de triagem dos resíduos sólidos urbanos

Neste processo, gera-se 66 t de recicláveis secos em ambos os cenários. Os dados mostram que no Cenário 1, sem a compostagem, o total de rejeitos gerados é igual a 84 t, pois toda a matéria orgânica

é encaminhada para o aterro. Já no Cenário 2, a geração de rejeitos passa para 19 t, pois 65 t de material orgânico torna-se insumo para a etapa de compostagem.

### Processos de compostagem

Entre as etapas de triagem e aterramento dos rejeitos, no Cenário 2 (Tabela 6), analisaram-se as etapas que compõem a compostagem. Na etapa de revolver, maturar leiras e gerar composto, são geradas 35 t de composto, 4 t de rejeitos da compostagem e 10 m<sup>3</sup> de lixiviado. A perda de matéria orgânica no processo de compostagem representa 26 t, com geração de CO<sub>2</sub> na ordem de 1.713 kg.

Os resultados da Tabela 6 também mostram que no transporte do composto embalado gera-se 188 kg de emissões atmosféricas. O consumo de óleo diesel para transportar 35 t de composto é de 58 L.

### Processo de aterrar os rejeitos

No processo de aterrar 84 t de rejeitos (Cenário 1, Tabela 5) gera-se 22.652 Nm<sup>3</sup> de biogás (8.109 kg de CH<sub>4</sub> e 17.329 kg de CO<sub>2</sub>) e 13 m<sup>3</sup> de lixiviado. A Tabela 6 mostra que no aterro precedido de compostagem (Cenário 2), aterra-se 23 t de rejeitos (19 t da triagem e 4 t da compostagem), os quais geram 3.105 Nm<sup>3</sup> de biogás (2.375 kg de CO<sub>2</sub>, 1.111 kg de CH<sub>4</sub>) e 3 m<sup>3</sup> de lixiviado.

### Processo de tratar o lixiviado

No tratamento dos 13 m<sup>3</sup> de lixiviado (Cenário 1, Tabela 5), estima-se a geração de 195 kg de lodo. No Cenário 2, Tabela 6, as 23 t de rejeitos

**Tabela 5** - Inventário final dos processos envolvidos no Cenário 1 estudado - triagem + aterro sanitário.

ENTRADA			PROCESSO	SAÍDA		
Insumos	Qt.	Unid.		Produto, resíduos, emissões e efluentes	Qt.	Unid.
RSU	150	t	Coletar e transportar os RSU	RSU	150	t
Veículo (1,3 L.km <sup>-1</sup> , capacidade de 12 t, 33 km/coleta)	13	Viagens		Fumaça veicular total	555	kg
Combustível (diesel)	330	L		CO	11	kg
				CO <sub>2</sub>	519	kg
				HC	3	kg
				SO <sub>2</sub>	1	kg
				NO <sub>x</sub>	14	kg
			Material particulado	7	kg	
RSU	150	t	Triar os RSU	Recicláveis secos (44,1%)	66	t
				Rejeito (55,9%)	84	t
Rejeito	84	t	Aterrar os rejeitos	Lixiviado	13	m <sup>3</sup>
				Emissões atmosféricas: biogás	22.652	Nm <sup>3</sup>
				CH <sub>4</sub> (50%)	8.109	kg
				CO <sub>2</sub> (50%)	17.329	kg
Lixiviado gerado no aterro sanitário	13	m <sup>3</sup>	Tratar o lixiviado	Lixiviado tratado	13	m <sup>3</sup>
				Lodo	195	kg

RSU: resíduos sólidos urbanos.

da triagem e da compostagem geram 3 m<sup>3</sup> de lixiviado, e o tratamento deste geram 53 kg de lodo. As leiras de compostagem também geram lixiviado que deve ser tratado; estima-se que somente as leiras gerem 10 m<sup>3</sup> de lixiviado, e o tratamento deste gere 151 kg de lodo.

Na Tabela 7, apresentam-se os valores consolidados do inventário, em que se estabeleceu uma base comum e compararam-se os resultados da quantificação das categorias de impactos ambientais selecionadas neste trabalho. Percebe-se que os dados são favoráveis ao Cenário 2 (aterro sanitário precedido de compostagem) com relação à geração

**Tabela 6 - Inventário final dos processos envolvidos no Cenário 2 estudado - triagem + compostagem + aterro sanitário.**

ENTRADA			PROCESSO	SAÍDA		
Insumos	Qt.	Unid.		Produto, resíduos, emissões e efluentes	Qt.	Unid.
RSU	150	t	Coletar e transportar os RSU	RSU	150	t
				Fumaça veicular total	555	kg
				CO	11	kg
				CO <sub>2</sub>	519	kg
				HC	3	kg
				SO <sub>2</sub>	1	kg
				NO <sub>x</sub>	14	kg
Veículo (2,5 L.km <sup>-1</sup> , Capacidade de 24 t, 100 km)	13	viagens		Material particulado	7	kg
Combustível (diesel)	330	L		Recicláveis secos (44,1%)	66	t
RSU	150	t	Triar os RSU	Resíduo orgânico (43,2%)	65	t
				Rejeito (12,7%)	19	t
Resíduo orgânico	65	t	Formar leiras de compostagem	Composto orgânico	65	t
			Revolver, maturar leiras e gerar composto	Composto (54%)	35	t
				Rejeito (6%)	4	t
				Perda (40%)	26	t
				Lixiviado (m <sup>3</sup> /t)	10	m <sup>3</sup>
				Emissões atmosféricas: gases (Nm <sup>3</sup> /t)	3.498	Nm <sup>3</sup>
				CO <sub>2</sub> (32%)	1.713	kg
Composto	35	t	Caracterizar o composto	Composto	35	t
Composto	35	t	Ensacar e pesar o composto	Composto embalado	35	t
Veículo (2,5 L.km <sup>-1</sup> , Capacidade de 24 t, 100 km)	1	viagens	Transportar o composto	Fumaça veicular total	188	kg
				CO	4	kg
				CO <sub>2</sub>	176	kg
				HC	1	kg
				SO <sub>2</sub>	0	kg
				NO <sub>x</sub>	5	kg
				Material particulado	2	kg
Combustível (diesel)	58	L		Lixiviado	3	m <sup>3</sup>
Composto embalado	35	t		Emissões atmosféricas: biogás	3.105	Nm <sup>3</sup>
			Aterrar os rejeitos	CH <sub>4</sub> (50%)	1.111	kg
				CO <sub>2</sub> (50%)	2.375	kg
Rejeito (12,7% na triagem e 6% na compostagem)	23	t			Lixiviado tratado	13
Lixiviado gerado no aterro sanitário	3	m <sup>3</sup>	Tratar o lixiviado	Lodo	204	m <sup>3</sup>
Lixiviado gerado na compostagem	10	m <sup>3</sup>				

RSU: resíduos sólidos urbanos.

de resíduos e de emissões atmosféricas. Os aspectos ambientais em que o Cenário 2 ficou desfavorável foram o consumo de combustíveis fósseis e a geração de lixiviado.

### Avaliação das categorias de impactos ambientais realizada

Para a categoria de impacto ambiental “aquecimento global”, o aterro precedido de compostagem (Cenário 2) alcançou melhor desempenho ambiental. Obteve-se uma redução de 86,3% de emissões de CH<sub>4</sub> e 76,4% de emissões de CO<sub>2</sub>, que somadas às emissões da etapa de transporte resultaram em menos 20.050 kg de emissões diárias para a atmosfera se empregado o Cenário 2.

Na categoria “redução de recursos naturais não renováveis”, que neste estudo refere-se ao impacto devido ao consumo de combustível fóssil (diesel), o Cenário 1 obteve o melhor desempenho: foram 330 L contra 388 L, respectivamente, para os Cenários 1 e 2. O impacto ambiental aumentou 11,8% com o emprego do Cenário 2, já que existe o transporte do composto produzido. Cabe ressaltar que a hipótese empregada nessa etapa foi de transportar o composto por uma distância de 100 km entre o local de produção e o de utilização. O cálculo das emissões atmosféricas no transporte correlaciona kg de emissões (para um determinado combustível, neste caso o diesel) e km rodados no transporte do composto. Assim, verifica-se que a maneira de diminuir esse impacto seria encurtar as distâncias entre os pontos de produção e de utilização do composto. Logo, ou a central de compostagem deve ser localizada mais próxima à área rural ou o composto produzido com os resíduos urbanos deve ser empregado nas praças e jardins dos municípios.

Na categoria de impacto “alteração da qualidade do solo e água”, estudou-se a quantidade de lixiviado gerado nos dois cenários. O Cenário 1 apresentou desempenho ambiental um pouco melhor, com redução

de 4,6% na geração de lixiviado, o que poderá reduzir as demandas de tratamento desse efluente altamente poluidor.

Na “geração de resíduos”, o Cenário 2 também apresentou o menor potencial de impacto ambiental, com redução de 72,4% nesta categoria.

### Avaliação dos aspectos e potenciais impactos ambientais

As Tabelas 8 e 9 apresentam os resultados dos Levantamentos dos Aspectos e Impactos Ambientais (LAIA) nos dois cenários estudados. A Tabela 10 apresenta os dados consolidados dos levantamentos realizados nos dois cenários.

### Levantamento dos Aspectos e Impactos Ambientais do Cenário 1

O total obtido no LAIA do Cenário 1 (triagem + aterro sanitário) foi de 269 pontos (39,85%) de um total possível de 675 pontos. Cabe destacar que o máximo de pontos indica a pior situação possível, com a ocorrência dos aspectos ambientais com muita frequência e impactos ambientais com riscos intoleráveis. Dos 27 aspectos ambientais (AA) identificados, 1 (3,7%) foi identificado como “intolerável”, que são as emissões atmosféricas do aterro (CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S, HC, NH<sub>3</sub>, etc.), identificado no processo de aterrar os rejeitos. Essas emissões causam impactos ambientais como alterações da qualidade do ar, efeito estufa, acidificação e depleção da camada de ozônio.

Os AA considerados “sérios” foram 5 (18,5%), dos quais 2 se encontram no processo de coletar e transportar os RSU. Os AA identificados foram as emissões atmosféricas (CO, CO<sub>2</sub>, HC, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>) e a emissão de material particulado. Ambos podem impactar o meio ambiente com alteração da qualidade do ar, efeito estufa, acidificação, depleção da camada de ozônio e formação de *smog* fotoquímico. O processo de triagem dos RSU obteve 1 AA considerado sério, que é o consumo de energia elétrica, o qual pode causar a redução da disponibilidade de

**Tabela 7 - Valores consolidados do inventário nos dois cenários estudados.**

Aspectos Ambientais	Gerenciamento de 150 t de RSU				
	Cenário 1: triagem + aterro sanitário		Cenário 2: triagem + compostagem + aterro sanitário		Cenário 1/Cenário 2 (%)
Geração de rejeito	83.895,0	kg	22.997,1	kg	
Geração de lodo	195,1	kg	204,1	kg	-4,6
Geração diária total de resíduos sólidos	84.090,1	kg	23.201,2	kg	72,4
Geração de lixiviado	12,6	m <sup>3</sup>	13,2	m <sup>3</sup>	-4,6
Geração de CH <sub>4</sub>	8.109,3	kg	1.111,4	kg	86,3
Geração de CO <sub>2</sub>	17.328,5	kg	4.088,8	kg	76,4
Emissões atmosféricas na etapa de transporte	554,7	kg	743,2	kg	-22,7
Geração diária total de emissões atmosféricas	25.992,5	kg	5.942,5	kg	77,1
Consumo total diário de combustíveis	330,0	L	388,3	L	-11,8



recursos naturais como impacto ambiental. O único AA encontrado no processo de tratar o lixiviado considerado sério foi o consumo de reagentes químicos, necessários para o tratamento dos lixiviados gerados. O outro AA encontrado no processo de aterro dos rejeitos foi o incômodo às partes interessadas (odores gerados no aterro).

Identificaram-se 12 (44,4%) AA “moderados”, 7 (25,9%) “toleráveis” e 1 (3,7%) “menor”. O único AA (3,7%) considerado “isento” foi a geração de resíduos recicláveis secos, o qual é um aspecto benéfico para o meio ambiente, pois na reciclagem os resíduos voltam para novos processos produtivos.

**Tabela 8 - Levantamento dos Aspectos e Impactos Ambientais dos processos envolvidos com o Cenário 1: triagem + aterro sanitário.**

Planilha de Avaliação de Aspectos e Impactos Ambientais								
Produto: Destinação de 150 toneladas de resíduos sólidos urbanos								
Processo: Cenário 1: triagem + aterro sanitário								
Processo	Aspectos Ambientais	Impactos Ambientais	AVALIAÇÃO					Significância (Sim/Não)
			Situação Operacional	Probabilidade Freqüência	Severidade	Impacto Ambiental	Grau de risco	
Coletar e transportar os RSU	Consumo de óleo diesel	Redução da disponibilidade de recursos naturais não renováveis	N	4	3	12	MO	N
	Consumo de óleo, pneus, peças, etc.	Redução da disponibilidade de recursos naturais	N	3	2	6	TO	N
	Emissão atmosférica (CO, CO <sub>2</sub> , HC, SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> )	Alteração da qualidade do ar, efeito estufa, acidificação, depleção da camada de ozônio, formação de <i>smog</i> fotoquímico	N	4	4	16	SE	S
	Emissão de material particulado	Alteração da qualidade do ar	N	4	4	16	SE	S
	Geração de ruído ambiental (uso de motores, buzinas, etc.)	Incômodo as partes interessadas	N	4	2	8	TO	N
	Geração de resíduos inerentes do processo (bateria, pneu, óleo queimado, etc.)	Alteração da qualidade da água e do solo e ocupação do solo	N	3	3	9	TO	N
	Geração de odor	Incômodo às partes interessadas	N	5	2	10	MO	N
	Manipulação de materiais infectados e produtos contaminados	Risco à saúde	N	5	2	10	MO	N
	Vazamento de óleo	Contaminação do solo	E	2	3	6	TO	N
	Incêndio/Explosão	Alteração da qualidade do ar, água e solo	E	1	4	4	ME	N
Triar os RSU	Consumo de energia elétrica	Redução da disponibilidade de recursos naturais	N	4	4	16	SE	S
	Geração de recicláveis secos	Retorno a novos processos produtivos	N	5	0	0	IS	N
	Geração de rejeito	Ocupação de aterros (uso e ocupação do solo)	N	5	2	10	MO	N
	Emissão de material particulado	Alteração da qualidade do ar	N	5	2	10	MO	N
	Manipulação de materiais infectados e produtos contaminados	Risco à saúde	N	5	2	10	MO	N
	Geração de odor	Incômodo às partes interessadas	N	5	2	10	MO	N
Aterrar os rejeitos	Emissões atmosféricas do aterro (CO, CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> S, HC, NH <sub>3</sub> , etc.)	Alteração da qualidade do ar, efeito estufa, acidificação, depleção da camada de ozônio	N	5	4	20	IN	S
	Emissão de material particulado	Alteração da qualidade do ar	N	5	2	10	MO	N
	Geração de lixiviado	Contaminação da água e do solo	N	5	2	10	MO	N
	Geração de odor	Incômodo as partes interessadas	N	5	3	15	SE	S
	Geração de resíduos inerentes do processo	Ocupação de aterros (uso e ocupação do solo)	N	5	2	10	MO	N
	Vazamento de lixiviado	Contaminação da água e do solo	E	2	5	10	MO	N
Tratar o lixiviado	Consumo de reagentes químicos	Redução da disponibilidade de recursos naturais	N	5	3	15	SE	S
	Geração de resíduo (lodo)	Ocupação de aterros (uso e ocupação do solo)	N	5	2	10	MO	N
	Geração de resíduos inerentes do processo	Ocupação de aterros (uso e ocupação do solo)	N	3	2	6	TO	N
Aterro de RSU	Incêndio/Explosão	Alteração da qualidade do ar, água e solo	E	1	5	5	TO	N
		Mortes, danos as propriedades	E	1	5	5	TO	N
						Total	269	

Situação Operacional: Normal (N); Emergencial (E); Grau de Risco: Isento (IS); Menor (ME); Tolerável (TO); Moderado (MO); Sério (SE); Intolerável (IN).

Prob/Freq: Extrem. Remota (1); Remota (2); Possível (3); Freqüente (4); M. Freqüente (5)/ Significância: Sim (S); Não (N).

Severidade: Isenta (0); Leve (1); Moderada (2); Séria (3); Grave (4); Catastrófica (5). Foram considerados “significativos” todos os aspectos e impactos classificados como SE e IN. RSU: resíduos sólidos urbanos.

**Tabela 9 - Levantamento dos Aspectos e Impactos Ambientais dos processos envolvidos com o Cenário 2: triagem + compostagem + aterro sanitário.**

Planilha de Avaliação de Aspectos e Impactos Ambientais								
Produto: Destinação de 150 toneladas de resíduos sólidos urbanos								
Processo: Cenário 2: TRIAGEM + COMPOSTAGEM + ATERRO SANITÁRIO								
Processo	Aspectos Ambientais	Impactos Ambientais	AVALIAÇÃO					Significância (Sim/Não)
			Situação Operacional	Probabilidade frequência	Severidade	Impacto Ambiental	Grau de risco	
Coletar e transportar os RSU	Consumo de óleo diesel	Redução da disponibilidade de recursos naturais não renováveis	N	4	3	12	MO	N
	Consumo de óleo, pneus, peças, etc.	Redução da disponibilidade de recursos naturais	N	3	2	6	TO	N
	Emissão atmosférica (CO, CO <sub>2</sub> , HC, SO <sub>2</sub> , NOx)	Alteração da qualidade do ar, efeito estufa, acidificação, depleção da camada de ozônio, formação de <i>smog</i> fotoquímico	N	4	4	16	SE	S
	Emissão de material particulado (MP)	Alteração da qualidade do ar	N	4	4	16	SE	S
	Geração de ruído ambiental (uso de motores, buzinas, etc.)	Incomodo as partes interessadas	N	4	2	8	TO	N
	Geração de resíduos inerentes do processo (bateria, pneu, óleo queimado, etc.)	Ocupação de aterros (uso e ocupação do solo)	N	3	3	9	TO	N
	Geração de odor	Incômodo às partes interessadas	N	5	2	10	MO	N
	Manipulação de materiais infectados e produtos contaminados	Risco à saúde	N	5	2	10	MO	N
	Vazamento de óleo	Contaminação do solo	E	2	3	6	TO	N
	Incêndio/Explosão	Alteração da qualidade do ar, água e solo	E	1	4	4	ME	N
Triar os RSU	Consumo de energia elétrica	Redução da disponibilidade de recursos naturais	N	4	4	16	SE	S
	Geração de recicláveis secos	Retorno a novos processos produtivos	N	5	0	0	IS	N
	Geração de rejeito	Ocupação de aterros (uso e ocupação do solo)	N	5	2	10	MO	N
	Emissão de material particulado	Alteração da qualidade do ar	N	5	2	10	MO	S
	Manipulação de materiais infectados e produtos contaminados	Risco à saúde	N	5	2	10	MO	N
	Geração de odor	Incômodo às partes interessadas	N	5	2	10	MO	N
Formar leiras de compostagem	Consumo de água	Redução da disponibilidade de recursos naturais	N	4	3	12	MO	N
	Geração de resíduos inerentes do processo	Ocupação de aterros (uso e ocupação do solo)	N	3	2	6	TO	N
	Geração de odor	Incômodo às partes interessadas	N	4	2	8	TO	N
Reverter, maturar leiras e gerar composto	Geração de composto orgânico	Redução de volume de resíduos, retorno à natureza como adubo	N	4	0	0	IS	N
	Geração de rejeito	Ocupação de aterros (uso e ocupação do solo)	N	3	2	6	TO	N
	Geração de lixiviado	Contaminação da água e do solo	N	3	2	6	TO	N
	Geração de odor	Incômodo às partes interessadas	N	3	2	6	TO	N
	Geração de resíduos inerentes do processo	Ocupação de aterros (uso e ocupação do solo)	N	3	2	6	TO	N
	Emissões atmosféricas da compostagem	Alteração da qualidade do ar, efeito estufa, acidificação, depleção da camada de ozônio	N	4	4	16	SE	S
	Vazamento de lixiviado	Contaminação da água e do solo	E	2	4	8	TO	N
Caracterizar composto	Consumo de reagentes químicos	Redução da disponibilidade de recursos naturais	N	4	2	8	TO	N
	Geração de efluente líquido	Contaminação da água e do solo	N	4	2	8	TO	N
	Geração de resíduos inerentes do processo	Alteração da qualidade da água e do solo e ocupação do solo	N	3	2	6	TO	N

Continua..

Tabela 9 - Continuação.

Planilha de Avaliação de Aspectos e Impactos Ambientais								
Produto: Destinação de 150 toneladas de resíduos sólidos urbanos								
Processo: Cenário 2: TRIAGEM + COMPOSTAGEM + ATERRO SANITÁRIO								
Processo	Aspectos Ambientais	Impactos Ambientais	AVALIAÇÃO					Significância (Sim/Não)
			Situação Operacional	Probabilidade frequência	Severidade	Impacto Ambiental	Grau de risco	
Ensacar e pesar o composto	Consumo de energia elétrica	Redução da disponibilidade de recursos naturais	N	4	4	16	SE	S
	Consumo de embalagem plástica	Redução da disponibilidade de recursos naturais	N	4	2	8	TO	N
	Geração de resíduos inerentes do processo	Ocupação de aterros (uso e ocupação do solo)	N	3	2	6	TO	N
Transportar o composto	Consumo de óleo diesel	Redução da disponibilidade de recursos naturais não renováveis	N	4	3	12	MO	N
	Consumo de óleo, pneus, peças, etc.	Redução da disponibilidade de recursos naturais	N	3	1	3	ME	N
	Emissão atmosférica (CO, CO <sub>2</sub> , HC, SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> )	Alteração da qualidade do ar, efeito estufa, acidificação, depleção da camada de ozônio, formação de <i>smog</i> fotoquímico	N	4	4	16	SE	S
	Emissão de material particulado	Alteração da qualidade do ar	N	4	2	8	TO	N
	Geração de ruído ambiental (uso de motores, buzinas, etc.)	Incômodo às partes interessadas	N	4	1	4	ME	N
	Geração de resíduos inerentes do processo (bateria, pneu, óleo queimado, etc.)	Alteração da qualidade da água e do solo	N	3	2	6	TO	N
	Vazamento de óleo	Contaminação do solo	E	2	3	6	TO	N
	Incêndio/Explosão	Alteração da qualidade do ar, água e solo	E	1	4	4	ME	N
Aterrar os rejeitos	Emissões atmosféricas do aterro (CO, CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> S, HC, NH <sub>3</sub> , etc.)	Alteração da qualidade do ar, efeito estufa, acidificação, depleção da camada de ozônio	N	5	4	20	IN	S
	Emissão de material particulado	Alteração da qualidade do ar	N	5	2	10	MO	N
	Geração de lixiviado	Contaminação da água e do solo	N	5	2	10	MO	N
	Geração de odor	Incômodo às partes interessadas	N	5	3	15	SE	S
	Geração de resíduos inerentes do processo	Ocupação de aterros (uso e ocupação do solo)	N	5	2	10	MO	N
	Vazamento de lixiviado	Contaminação da água e do solo	E	2	5	10	MO	N
Tratar o lixiviado	Consumo de reagentes químicos	Redução da disponibilidade de recursos naturais	N	5	3	15	SE	S
	Geração de resíduo (lodo)	Ocupação de aterros (uso e ocupação do solo)	N	5	2	10	MO	N
	Geração de resíduos inerentes do processo	Ocupação de aterros (uso e ocupação do solo)	N	3	2	6	TO	N
Aterro de RSU	Incêndio/Explosão	Alteração da qualidade do ar, água e solo	E	1	5	5	TO	N
		Mortes, danos as propriedades	E	1	5	5	TO	N
				Total		454		

Situação Operacional: Normal (N); Emergencial (E); Grau de Risco: Isento (IS); Menor (ME); Tolerável (TO); Moderado (MO); Sério (SE); Intolerável (IN)

Prob/Freq: Extrem. Remota (1); Remota (2); Possível (3); Frequentemente (4); M. Frequentemente (5); Significância: Sim (S); Não (N)

Severidade: Isenta (0); Leve (1); Moderada (2); Séria (3); Grave (4); Catastrófica (5); Foram considerados "significativos" todos os aspectos e impactos classificados como SE e IN. RSU: resíduos sólidos urbanos.

**Tabela 10** - Dados consolidados dos levantamentos nos dois cenários.

Cenário 1: Triagem + aterro sanitário					Cenário 2: Triagem + compostagem + aterro sanitário				
269 pontos					454 pontos				
Grau de risco	AA	%	Significância	%	Grau de risco	AA	%	Significância	%
Intolerável	1	3,7	6	22,2%	Intolerável	1	2,0	9	17,6%
Sério	5	18,5			Sério	8	15,7		
Moderado	12	44,4	21	77,8%	Moderado	14	27,5	42	82,4%
Tolerável	7	25,9			Tolerável	22	43,1		
Menor	1	3,7			Menor	4	7,8		
Isento	1	3,7			Isento	2	3,9		
Total	27	100,0	27	1	Total	51	100,0	51	1

## Levantamento dos Aspectos e Impactos Ambientais do Cenário 2

No LAIA do Cenário 2 (triagem + compostagem + aterro sanitário) os pontos chegaram a 454 (35,6%) de um total de 1.275 pontos possíveis. Identificaram-se neste levantamento 51AA, dos quais 1 (2,0%) foi identificado como “intolerável”, que são as emissões atmosféricas do aterro, identificado no processo de aterrar os rejeitos, os quais causam os mesmos impactos ambientais nos dois cenários.

Foram encontrados 8 AA (15,7%) considerados “sérios”, os quais apareceram nos processos de coleta e transporte dos RSU, triagem dos resíduos, revolver e maturar leiras, ensacar e pesar o composto, transportar o composto e tratar o lixiviado. Os impactos ambientais relacionados aos AA encontrados são alteração da qualidade do ar, efeito estufa, acidificação, depleção da camada de ozônio e formação de *smog* fotoquímico, redução da disponibilidade de recursos naturais e incômodo das partes interessadas (odores gerados no aterro).

Foram identificados 14 (27,5%) AA “moderados”, 22 (43,1%) “toleráveis” e 4 (7,8%) “menor”. Encontraram-se 2 AA (geração de recicláveis secos e geração de composto orgânico) considerados “isentos” (3,9%), os quais são AA benéficos para o meio ambiente, pois na reciclagem os resíduos voltam para novos processos produtivos e o composto orgânico gerado reduz o volume de resíduos no aterro, retornando à natureza como adubo natural.

## CONCLUSÕES

A avaliação ambiental efetuada nos dois cenários, baseada nas fases da ferramenta de Análise do Ciclo de Vida, permitiu a identificação dos fluxos de matéria e energia do sistema estudado. Com isso, obteve-se um melhor conceito da cadeia produtiva e um melhor detalhamento das entradas e saídas dos dois sistemas estudados no aspecto do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos. A análise dos cenários estudados permitiu a coleta de informações, identificação, análise semiquantitativa e comparação das principais classes de aspectos associadas às etapas de transporte e aterro dos RSU com e sem processo de compostagem.

O Cenário 1 estudado representou o gerenciamento de RSU, no qual apenas pequena parcela dos recicláveis secos (principalmente embalagens) não é encaminhada para um aterro sanitário, e o Cenário 2 exprimiou a realidade sugerida para municípios que implementem uma unidade de compostagem para aproveitamento da matéria orgânica putrescível a qual precede ao aterro sanitário. Em ambos os cenários, o tratamento dos resíduos sempre deverá ser iniciado pela triagem dos resíduos potencialmente recicláveis. Neste trabalho, estabeleceu-se a unidade funcional do sistema em avaliação em 150 toneladas de RSU, o que corresponde atualmente à quantidade média de resíduos sólidos urbanos (parcela doméstica e de pequenos geradores comerciais e de serviços públicos) coletada em um dia na cidade de São Leopoldo, Rio Grande do Sul.

Foram avaliados 11 processos, dos quais 5 ocorrem apenas no Cenário 2, já que são exclusivos da etapa de compostagem. Assim, necessitou-se realizar um ajuste nos resultados para que pudessem ser comparados corretamente. O primeiro processo “coletar e transportar os resíduos sólidos urbanos (RSU)”, como ocorre igualmente nos dois cenários, resultou em avaliações iguais, com geração de 555 kg de emissões atmosféricas. No processo de “triar os RSU”, observou-se a primeira diferença entre os dois cenários: no Cenário 1, o total de rejeitos gerados e encaminhados ao aterro é igual a 84 t.dia<sup>-1</sup> de rejeitos. Já no Cenário 2, com o encaminhamento da matéria orgânica putrescível para a compostagem, a geração de rejeitos que serão aterrados passa para 19 t.dia<sup>-1</sup>, com visível ganho ambiental (menor geração de emissões gasosas e líquidas).

Por outro lado, os 5 processos envolvidos com a compostagem no Cenário 2 acabam por gerar 1.713 kg de CO<sub>2</sub> (40% do balanço de massa inicial são perdidos, ou pela oxidação do carbono pelos microrganismos que liberam CO<sub>2</sub> através da sua respiração, ou pela diminuição de umidade com a evaporação de água). Além dessa emissão, verificou-se o acréscimo de 188 kg de emissões atmosféricas devidas ao processo de “transportar o composto” para o local de comercialização/uso do produto.

No último processo “aterrar os rejeitos”, o aterro de 84 t.dia<sup>-1</sup> de rejeitos (Cenário 1) gera 22.652 Nm<sup>3</sup> de biogás (8.109 kg de CH<sub>4</sub>

e 17.329 kg de CO<sub>2</sub>) e 13 m<sup>3</sup> de lixiviado, com geração de 195 kg de lodo. No Cenário 2, são aterrados 23 t de rejeitos, sendo gerado 3.105 Nm<sup>3</sup> (2.375 kg de CO<sub>2</sub> e 1.111 kg de CH<sub>4</sub>), 3 m<sup>3</sup> de lixiviado (que são somados a mais 10 m<sup>3</sup> gerados no processo de compostagem) e 204 kg de lodo do tratamento do lixiviado (somadas às gerações de lixiviado das unidades de compostagem e aterro).

O ganho ambiental final no Cenário 2 é evidente, com reduções da ordem de 77,1% nas emissões atmosféricas, 72,4% na geração de rejeitos (lodos e resíduos que seriam aterrados).

A Avaliação dos Aspectos e potenciais Impactos Ambientais é mensurada globalmente pela somatória dos pontos obtidos para impactos ambientais potenciais de serem gerados nos cenários estudados. Assim, a pior situação seria 675 e 1.275 pontos, respectivamente, para os Cenários 1 e 2. A avaliação resultou em números que correspondem a 39,85 e 35,61% destes totais, respectivamente, para os Cenários 1 e 2. A conclusão é uma situação 4,2% melhor para o Cenário 2. Observou-se que essa diferença não é alta, portanto cabe um detalhamento dos impactos observados, a partir da classificação em termos de Grau de Risco e Significância. No Cenário 1, verificou-se que 6 (22,2%) dos

aspectos e impactos ambientais foram avaliados como significativos (ou seja, classificados como “intoleráveis” ou “sérios”). No Cenário 2, identificaram-se 9 aspectos/impactos, mas que representam 17,6% do total avaliado neste cenário. Em ambos cenários, o aspecto significativo mais relevante foram as emissões atmosféricas geradas (CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, etc.), identificadas nos processos de coleta e transporte de resíduos e de aterrar os rejeitos. Essas emissões causam impactos ambientais como alterações da qualidade do ar, efeito estufa, acidificação e depleção da camada de ozônio. O melhor cenário identificado na análise foi o Cenário 2, no qual, além dos resultados ambientais positivos, também é possível inferir o aumento de vida útil do aterro sanitário e a comercialização do composto produzido.

Os resultados sugerem, portanto, a inclusão do processo de compostagem no gerenciamento de resíduos sólidos urbanos nas cidades. O presente trabalho indica os ganhos ambientais envolvidos com essa escolha. Espera-se, dessa forma, ter-se auxiliado na busca de melhorias ambientais, tanto na fase de planejamento como no aprimoramento dos sistemas de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos existentes.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, M.R.S. & TURRIONI, J.B. (2001) *Uma metodologia de análise dos aspectos e impactos ambientais através da utilização do FMEA*. Disponível em: [http://www.iem.unifei.edu.br/turrioni/congressos/ENEGEP/2000/UMA\\_METODOLOGIA\\_DE\\_ANALISE.pdf](http://www.iem.unifei.edu.br/turrioni/congressos/ENEGEP/2000/UMA_METODOLOGIA_DE_ANALISE.pdf). Acesso em 26 jun. 2014.
- AUDIBERT, J.L. & FERNANDES, F. (2012) Avaliação qualitativa da emissão de biogás em aterro controlado de médio porte. *Revista DAE*, n. 190, p. 56-73.
- BORBA, S.M.P. (2006) *Análise de Modelos de Geração de Gases em Aterros Sanitários - Estudo de Caso*. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- BRASIL. Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010. *Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos*. Brasília, DF, 2 de agosto de 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br>. Acesso em 1º abr. 2013.
- CHEHEBE, J.R.B. (1998). *Análise do ciclo de vida de produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000*. Rio de Janeiro: Qualitymark. 104 p.
- ECONOMY & ENERGY. (2001). *Progressos na matriz energética e de emissões de gases causadores do efeito estufa*. Brasília, DF, nº 25. Disponível em: <http://www.ecen.com>. Acesso em 30 nov. 2011.
- DULAC, V.F.; CAMPANI, D.B.; LOGUERCIO, A.P.; RAMOS, G.G C.; RUBERG, C.E.; GONÇALVES, R.S. (2009) Levantamento e plano de ação dos aspectos e impactos ambientais realizado na sede da coordenadoria de gestão ambiental da UFRGS. In: *III Seminário sobre Tecnologias Limpas, Anais...* Porto Alegre: UFRGS.
- FERRER, J.T.V. & ALVES, J.W.S. (2006) *Biogás: projetos e pesquisas no Brasil*. São Paulo: CETESB/SMA. 184 p.
- GOMES, L.P. & MARTINS, F.B. (2003) Projeto, implantação e operação de aterros sustentáveis de resíduos sólidos urbanos para municípios de pequeno porte. In: CASTILHOS JR., A.B. (Org). *Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte*. Rio de Janeiro: Abes. p.51-106.
- JUCÁ, J.F.T; FUCALE, S.P; MACIEL, F.J. (2001) Monitoramento Ambiental de Gases em Aterros de Resíduos Sólidos. In: *21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*.
- KNIGHT, A.; WOLFE, J.; POON, J. (1996) *Life Cycle Assessment*. Toronto: ICF Kaiser Canadá. 35 p.
- LIMA, A.M.F. (2007) *Avaliação do Ciclo de Vida no Brasil - Inserção de Perspectivas*. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia.
- McDOUGALL, F.R.; WHITE, P.; FRANKE, M.; HINDLE, P. (2001) *Integrated solid waste management. A Life Cycle Inventory*. UK: Blackie Academic & Professional. 532 p.
- MORAES, C.A.M.; KIELING, A.G.; CAETANO, M.O.; GOMES, L.P. (2010) Life cycle analysis (LCA) for the incorporation of rice husk ash in mortar coating. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 54, p. 1170-1176.

NEXTRANS (2011) *Análise Frota Nextrans4x2/Consumo de diesel*. Disponível em: <http://www.nextrans.com.br/blog/2011/07/analise-frota-nextrans-4x2-consumo-de-diesel/> Acesso em 20 out. 2012.

OMETO, A.R. (2005) *Avaliação do ciclo de Vida do álcool etílico hidratado combustível pelos métodos EDIP, EXERGIA e EMERGIA*. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo.

PIVA, C.D; BONONI, V.L.R; FIGUEIREDO, R.S; SOUZA, C.C. (2007) Sistema de Gestão Ambiental implementado aos moldes da ISO 14001:2004 em um frigorífico de abate de aves, no Município de Sidrolândia - Mato Grosso do Sul. *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*, v. 3, n. 3, p. 20-53.

POTRICH, A.L.; TEIXEIRA, C.E.E; FINOTTI, A.R. (2007) Avaliação de impactos ambientais como ferramenta de gestão ambiental aplicada aos resíduos sólidos do setor de pintura de uma indústria automotiva. *Estudos Tecnológicos em Engenharia* v. 3, n. 3, p. 162-175.

PRADO FILHO, J.F. & SOBREIRA, F.G. (2005) Desempenho Operacional e Ambiental de Unidades de Reciclagem e Disposição Final de Resíduos Sólidos Domésticos Financiados pelo ICMC Ecológico de Minas Gerais. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 12, n. 1, p. 52-61.

REAL, J.L.G. (2005) *Riscos Ambientais em Aterros de Resíduos Sólidos com Ênfase na Emissão de Gases*. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SCHNEIDER, D.F. (2012) Diagnóstico dos resíduos sólidos urbanos de São Leopoldo/RS. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Luterana do Brasil, Canoas, Rio Grande do Sul.

SGA UNISINOS. (2015) *Procedimento de identificação e avaliação de aspectos e impactos ambientais e estabelecimento de objetivos e metas e programa de gestão ambiental*. Revisão 16, Unisinos, 26 p.

SILVA, A.G. & KULAY, L.A. (2000) Elaboração de uma Análise de Ciclo de Vida para o Superfosfato Simples. In: *XIX Interamerican Cogress of Chemical Engineering*, Águas de São Pedro, SP. 24(27).

SL AMBIENTAL. (2012) Planilha de controle de recolhimento de resíduos da cidade de São Leopoldo/RS.

SOUZA, M.S. & RUBINGER, S.D. (2005). Implementação da Metodologia de Análise do Ciclo de Vida na Gestão de resíduos sólidos urbanos. In: *23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Campo Grande, MS.