



## **APLICAÇÃO DO INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA COMO FERRAMENTA AUXILIAR NA TOMADA DE DECISÕES NO SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM CIDADES DO RIO GRANDE DO SUL**

**Emitério da Rosa Neto<sup>1</sup>**. Doutor em Qualidade Ambiental. Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, URI – Campus Santo Ângelo, RS, Brasil. [erosbio@yahoo.com.br](mailto:erosbio@yahoo.com.br)

**Diosnel A. Rodriguez Lopez<sup>2</sup>**. Engenheiro de Minas pela Escola de Minas - UFOP. Mestre em Metalurgia Extrativa pelo PPGEM-UFRGS. Doutor em Engenharia pela TU-Berlin – Alemanha. Coordenador do Curso de Engenharia Ambiental. Professor do Depto de Engenharia e do PPGTA da UNISC.

**Adriane Lawisch Rodriguez<sup>2</sup>**. Engenheiro Químico pela PUC-RS. Mestre em Metalurgia Extrativa pelo PPGEM-UFRGS. Doutor em Engenharia pela TU-Berlin – Alemanha. Professora do Depto de Engenharia e Coordenadora do PPGTA da UNISC.

**Ênio Leandro Machado<sup>2</sup>**. Químico Industrial pela UFSM, M.Sc. pela UFSM, Dr. em Engenharia pelo PPGEM da UFRGS, Prof. do Depto. de Química e Física e do PPGTA da UNISC.

### **Resumo**

A sustentabilidade ambiental na área do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos exige tomada de decisões cada vez mais, baseada em técnicas/ferramentas que auxiliem no processo, para que o sistema seja otimizado, visando um menor custo para os municípios, procurando adequar o município a uma gestão socioambiental com menos impacto ao ambiente. Os resultados obtidos através da aplicação do Inventário de Ciclo de Vida no sistema de gerenciamento de resíduos sólidos nos municípios de São Luiz Gonzaga e Santo Ângelo-RS nos anos de 2005 e 2006, levou em conta todas as etapas do processo. A metodologia do Inventário de Ciclo de Vida, proposta pela ISO 14040, foi utilizada para avaliar as comparações ambientais do sistema atual de gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos dessas cidades, utilizando o *software Integrated Solid Waste (ISW)* versão 2.5. Após as simulações realizadas no município de São Luiz Gonzaga, fica clara a importância do processo de reciclagem no sistema de gerenciamento, reduzindo a emissão de poluentes. No entanto, seu efeito positivo é encoberto pelo sistema de deposição final utilizado (lixão), principal poluidor deste município. Em Santo Ângelo, o sistema é melhor, apresentando coleta seletiva e aterro, com queima de gases e tratamento do chorume gerado pela decomposição dos resíduos sólidos. Os resultados obtidos reforçam a ideia de que estas técnicas ou ferramentas são de grande valia, auxiliando em tomadas de decisões nos sistemas de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos, contribuindo para o meio ambiente e população que vê as cidades mais limpas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Gerenciamento de resíduos sólidos, Inventário de Ciclo de Vida, Simulação. Impacto Ambiental.

Área Temática: Resíduos Sólidos

## **IMPLEMENTATION OF LIFE CYCLE INVENTORY AS TOOL AUXILIARY IN DECISION-MAKING IN SOLID WASTE MANAGEMENT SYSTEM IN URBAN RIO GRANDE CITY SOUTH**



## **Abstract**

*Environmental sustainability in municipal solid waste management area requires making more and more decisions based on techniques / tools that help in the process, for the system to be optimized, aiming at a lower cost to the municipalities, looking adequadar the city a environmental management with less impact to the environment. The results obtained by applying the Life Cycle Inventory in the solid waste management system in the municipalities of São Luiz Gonzaga and Santo Angelo-RS in 2005 and 2006, took into account all stages of the process. The methodology Inventory Lifecycle, proposed by ISO 14040, was used to assess the environmental comparisons of the current system of management of municipal solid waste of these cities, using the Integrated Solid Waste software (ISW) version 2.5. After the simulations performed in São Luiz Gonzaga, it is clear the importance of recycling process management system, reducing the emission of pollutants. However, its positive effect is covered by the final disposal system used (dump), the main polluter of this municipality. In Sant'Angelo, the system is better, with selective collection and landfill with gas flaring and treatment of leachate generated by the decomposition of solid waste. The results support the idea that these techniques or tools are of great value, assisting in decision-making in municipal solid waste management systems, contributing to the environment and population that sees the cleanest cities.*

**KEYWORDS:** *Solid Waste Management, Inventory Lifecycle, Simulation. Environmental impact.*

*Theme Area: Solid Waste.*

## **1 Introdução**

Todo o crescimento populacional traz junto consigo diversos tipos de impactos ambientais, assim como sociais e governamentais, e a questão referente aos resíduos sólidos urbanos -lixo- é uma das mais importantes.

A quantidade de resíduos sólidos gerada pela atividade humana aliada a diminuição de locais adequados para a disposição final tem se apresentado como um dos grandes desafios a serem enfrentados não só pelas administrações municipais, como também, por toda a comunidade geradora de resíduos (MASSUKADO & ZANTA, 2006). O manejo adequado destes resíduos sólidos é uma tarefa complexa devido à: quantidade; heterogeneidade de componentes; desenvolvimento de áreas urbanas; limitações financeiras, de recursos humanos e, políticas públicas referentes atividades do setor (MASSUKADO & ZANTA, 2006). Até pouco tempo, a comunidade científica aceitava o fato de que os impactos oriundos de atividades humanas tinham efeitos somente locais, dependendo do caso, regional. Porém, o avanço da tecnologia científica permitiu estabelecer limites mais claros desse impacto a nível mundial. A exemplo disso pode se citar o efeito das emissões de metano sobre o aquecimento global.

Os resíduos sólidos urbanos gerados em grande parte das cidades brasileiras são destinados a lixões a céu aberto, ou aterros, sendo que em todos estes meios de disposição final, ocorre produção de contaminantes ambientais. Além de contaminação ambiental, existem problemas de ordem epidemiológica, através dos seres que habitam os lixões, que podem ser separados em dois grupos, conforme tabela 1, abaixo:



Tabela 1: Grupos de seres que habitam os lixões.

Macrovetores	Microvetores
Ratos	Vermes
Baratas	Bactérias
Mosquitos	Fungos
Cães	Actinomicetos
Aves	Vírus
Catadores	

A análise de ciclo de vida (ACV), ou *Life Cycle Assessment* (LCA), é uma técnica que permite avaliar o impacto ambiental de um produto, processo ou sistema “berço ao túmulo”, ou seja, desde a extração da matéria-prima até a disposição final. Ela pode ser utilizada para analisar processos de gerenciamento de resíduos de modo a determinar os impactos ambientais envolvidos nesse processo (LÓPEZ et. al, 2003). As informações coletadas na ACV permitem avaliar processos, bem como, pode ser aplicada em serviços, apontando melhorias em gerenciamento, contribuindo numa melhoria na aplicação de recursos financeiros.

A ACV possui 4 etapas principais: definição dos objetivos e escopo; inventário de ciclo de vida; avaliação dos impactos e interpretação dos mesmos. O inventário de ciclo de vida (ICV), é uma etapa que quantifica e transforma as informações em dados possíveis de ser comparados, fornecendo dados que sustentam a ACV. No Brasil, as duas últimas etapas citadas anteriormente são difíceis de serem realizadas, pois não há padrões definidos para a normalização dos valores obtidos na etapa de do inventário.

O objetivo deste trabalho é realizar um inventário de ciclo de vida no sistema de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos nas cidades de São Luiz Gonzaga e Santo Ângelo, de modo a realizar simulações, a fim de verificar os impactos ambientais que cada etapa do gerenciamento tem sobre as cidades.

## 2 Metodologia

O software utilizado para o Inventário de Ciclo de Vida foi o IWM – 2 Version 2.50 distribuído com o livro “Integrated Solid Waste Management: A life Cycle Inventory” (McDOUGALL et. al., 2001).

Primeiramente foi realizado um levantamento para caracterizar o sistema de gerenciamento de resíduos sólidos das duas cidades. Entre outros foram analisados o consumo de óleo diesel dos caminhões, tipo de caminhão utilizado na coleta, distância percorrida nas áreas de coleta, presença de usina de triagem, reciclagem, geração diária e composição física de lixo, características do aterro, do sistema de tratamento de efluentes, coleta de gases, entre outros.

A caracterização dos resíduos sólidos urbanos foi realizada por meio da separação e pesagem dos componentes do lixo. Para isso, uma carga de resíduos previamente da coleta diária foi pesada e descarregada sobre uma lona. Seguidamente o material foi quarteado e seus componentes separados em tonéis para pesagem.



Para avaliar às emissões de poluentes, foram levadas em consideração todas as etapas do sistema de gerenciamento de cada município, tanto as emissões gasosas e líquidas, ou seja, desde a coleta até disposição final.

Para a caracterização dos impactos da disposição final foi avaliado o sistema utilizado (aterro sanitário ou controlado ou lixão), sistema de coleta de lixiviados, tipo de tratamento de efluentes, quantificação da captação de gases e de lixiviados, entre outros.

### 3 Resultados

Para avaliar os impactos de cada sistema serão apresentados apenas os impactos produzidos pelas emissões atmosféricas.

O município de São Luiz Gonzaga é um município de pequeno porte situado no noroeste do RS, na região denominada das Missões. O mesmo possui uma população 35263 habitantes. É um município que sofre com a migração de seus habitantes já que vem apresentando taxas de crescimento demográfico negativo. O município gera em torno de 14 – 15 toneladas de lixo por dia. O lixo é coletado por caminhões caçamba de 12 m<sup>3</sup> com eficiência de 1,87 Km/L durante a coleta. A disposição final dos resíduos é realizada em um lixão, sem coleta de gás de aterro nem coleta e tratamento de chorume. A Tabela 2 apresenta os resultados da caracterização da composição física dos resíduos sólidos urbanos gerados.

Tabela 2: Composição física dos resíduos sólidos urbanos de São Luiz Gonzaga.

Matéria orgânica	39%
Papel	29%
Vidro	0,9%
Plástico	9,1%
Metal	17%
Têxtil	1%
Outros	4%

Os materiais plásticos e metais foram divididos conforme sua composição, ou seja, foram divididos em plásticos filme e rígido e os metais em ferrosos e não-ferrosos. É importante observar aqui que a quantidade de material orgânico é muito menor do que a média do Brasil, que é de 60%.

A Tabela 3 apresenta o detalhamento por composição dos materiais.

Tabela 3: Detalhamento por composição de materiais plásticos e metálicos.

Plástico filme	28%
Plástico rígido	72%
Metal ferroso	81,5%
Metal não-ferroso	18,5%

De acordo com as simulações realizadas com os dados obtidos, o balanço de emissões em cada etapa do sistema de gerenciamento de resíduos sólidos em São Luiz Gonzaga apresenta-se conforme Tabela 4. Todos os dados apresentados nas Tabelas com os resultados das simulações referem-se ao período de um ano.

Embora a quantidade de lixo putrescível gerada pelo Município seja relativamente pequena (~2500 t/ano), a quantidade de gases estufas liberados durante a sua decomposição no aterro é significativa. No aterro são liberadas 370 ton/ano de CH<sub>4</sub>, que junto com o CO<sub>2</sub> perfazem um poder de efeito estufa (GWP) de 8638 t CO<sub>2</sub> equivalente/ano.

Tabela 4: Balanço das emissões do sistema de gerenciamento de RSU de São Luiz Gonzaga



Parâmetro	Unid.	Coleta	Aterro	Reciclagem	Total
Particulados	g	13.427	Zero	Zero	13.427
CO	g	178.718	11.776	Zero	190.494
CO <sub>2</sub>	g	32.568.480	832.699.517	Zero	865.267.997
CH <sub>4</sub>	g	39.645	370.090.767	Zero	370.130.412
NO <sub>x</sub>	g	586.051	Zero	Zero	586.051
GWP	g	33.401.261	8.604.605.633	Zero	8.638.006.894
N <sub>2</sub> O	g	1	Zero	Zero	1
SO <sub>x</sub>	g	49.080	Zero	Zero	49.080
HCl	g	67	61.233	Zero	61.299
HF	g	0	12.247	Zero	12.247
H <sub>2</sub> S	g	Zero	188.408	Zero	188.408
Total HC	g	Zero	1.884.085	Zero	1.884.085

Se a cidade de São Luiz retirasse 90% do material reciclável do lixo e recolhesse e queimasse 50% do gás gerado no aterro a situação seria outra. A tabela 5 apresenta os resultados desta simulação sobre o meio ambiente. Os valores negativos apresentados na etapa de reciclagem correspondem à retenção de emissões que é acarretada por esta etapa, uma vez que reprocessar materiais é significativamente mais conveniente desde o ponto de vista ambiental. Essas emissões evitadas pela reciclagem podem ser vistas como contribuições positivas para o meio ambiente uma vez que a retenção das mesmas ajuda a evitar o lançamento de poluentes na atmosfera.

Tabela 5: Emissões estimadas do sistema de gerenciamento de RSU de São Luiz Gonzaga.

Parâmetros	Unid.	Coleta	Triagem	Aterro	Reciclagem	Total
Particulado	g	13427	4.351	1.404	-2.128.804	-2.123.049
CO	g	178718	350	265.234	-10.202.746	-9.937.162
CO <sub>2</sub>	g	3256848	3.656.533	929.778.348	-2.205.777.147	-1.272.342.266
CH <sub>4</sub>	g	39645	13.331	128.245.965	-3.832.340	124.426.956
NO <sub>x</sub>	g	586051	8.620	32.644	-8.136.797	-8.095.533
GWP	g	33401261	3.943.916	3.622.943.610	-2.274.530.250	1.352.357.276
N <sub>2</sub> O	g	1	24	Zero	37.826	37.850
SO <sub>x</sub>	g	49080	10.297	8.161	-9.829.371	-9.810.913
HCl	g	67	737	25.136	-23.277	2.596
HF	g	0	78	4.251	-1.284	3.045
H <sub>2</sub> S	g	0	Zero	65.396	636	66.032
Total HC	g	0	Zero	672.470	Zero	672.470

Analisando a tabela 5, fica evidente a importância do processo de reciclagem, onde se pode observar a retenção de enormes quantias de poluentes particulados e gasosos. O valor mais expressivo em termos de retenção se dá para o CO<sub>2</sub>.

Fica também muito claro que o lixão do município continuaria sendo um importante agente impactante sobre o meio ambiente, devido ao fato que a decomposição dos resíduos lança todos os gases sem nenhum tratamento. Porém, o fato de desviar do mesmo materiais para a reciclagem e de queimar 50% dos gases gerados no aterro, diminui a carga poluente associada com os gases de aterro. Isso se reflete diretamente no seu potencial de efeito estufa (GWP), onde acontece uma diminuição de 80% do valor do mesmo.

O município de Santo Ângelo tem uma população de 80.117 habitantes em 2006 e está situado na Região das Missões do RS. O município consta com coleta normal e seletiva de lixo e gera em torno de 45-50 toneladas de lixo por dia. A tabela 6 apresenta a composição gerada de resíduos sólidos urbanos.

Tabela 6: Composição dos resíduos sólidos urbanos em Santo Ângelo.

Matéria orgânica	43%
------------------	-----



Papel	8%
Vidro	5%
Plástico	22%
Metal	17%
Têxtil	3%
Outros	2%

Os materiais plásticos e metais foram divididos conforme sua composição, ou seja, foram divididos em plásticos filme e rígido e os metais em ferrosos e não-ferrosos. A Tabela 7 apresenta o detalhamento por composição dos materiais.

Tabela 7: Detalhamento por composição de materiais plásticos e metálicos.

Plástico filme	15,8%
Plástico rígido	84,2%
Metal ferroso	59%
Metal não-ferroso	41%

De acordo com as simulações realizadas e os dados obtidos, o balanço energético envolvido em cada etapa do sistema atual de gerenciamento de resíduos sólidos em Santo Ângelo apresenta-se conforme Tabela 8.

Tabela 8: Balanço de emissões atmosféricas do sistema de gerenciamento de RSU de Santo Ângelo.

Parâmetro	Unid.	Coleta	Triagem	Aterro	Reciclagem	Total
Particulados	g	89.510	73.247	1.976	-24.964.303	-24.799.569
CO	g	1.191.456	487.670	390.659	-77.048.676	-74.978.891
CO <sub>2</sub>	g	217.123.200	119.085.469	2.527.800.086	-13.586.304.080	-10.722.295.324
CH <sub>4</sub>	g	264.298	180.615	722.232.535	-25.569.628	697.107.821
NO <sub>x</sub>	g	3.907.008	1.651.411	45.960	-40.733.167	-35.128.789
GWP	g	222.675.075	122.971.839	17.694.683.330	-14.097.949.972	3.942.380.271
N <sub>2</sub> O	g	5	301	Zero	81.665	81.972
SO <sub>x</sub>	g	327.197	295.986	11.490	-64.784.732	-64.150.059
HCl	g	444	5.684	125.011	-619.003	-487.864
HF	g	0	541	23.909	-48.306	-23.856
H <sub>2</sub> S	g	Zero	Zero	367.831	-10.024	357.807
TotalHC	g	Zero	Zero	3.704.369	Zero	3.704.369

Analisando os valores da Tabela 8 fica claro que a contribuição da reciclagem é bastante significativa dentro do sistema todo. Sua contribuição ambiental neste processo se sobrepõe aos impactos das outras etapas do sistema, deixando alguns parâmetros com saldo positivo, como é o caso da emissão de CO<sub>2</sub>. A contribuição da mesma é tanta que a mesma chega a retirar em torno de 11.000 t de CO<sub>2</sub> da atmosfera, se sobrepondo à contribuição do aterro e de todas as outras contribuições.

Estas vantagens ambientais não se refletem nas contas da prefeitura, porém servem de sobremaneira para buscar a sustentabilidade ambiental do processo já que reduz o impacto ambiental causado pelas emissões.

Comparando os sistemas de gerenciamento de lixo destas duas cidades podemos concluir com base nestes dados de que os impactos ambientais causados pelo sistema de São Luiz Gonzaga são muito maiores do que os da cidade de Santo Ângelo, embora o volume de resíduos gerenciados nesta última seja muito maior.

#### 4 Conclusões





Depois de realizado o inventário de ciclo de vida no sistema e gerenciamento de resíduos sólidos urbanos nos municípios de São Luiz Gonzaga e Santo Ângelo – RS, constatou-se que em São Luiz Gonzaga o lixão da cidade é o principal fator de impacto ambiental na cidade. Esta situação poderia ser mudada se fossem adotados métodos como triagem, compostagem e reciclagem, com os quais haveria um importante ganho ambiental.

No município de Santo Ângelo, mesmo havendo um sistema de gerenciamento de resíduos sólidos mais completos, apresenta resultados muito significativos, deixando bem claro o efeito positivo da reciclagem sobre o sistema todo.

Nos dois casos a contribuição mais significativa se dá por meio do aterro.

Havendo um bom planejamento, os recursos destinados para essa atividade seriam melhor investidos, podendo-se obter ganhos através da comercialização da reciclagem dos materiais e até mesmo pela compostagem da matéria orgânica gerada, contribuindo assim para tornar o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos sustentável.

Os dados mostrados aqui mostram que embora muitas das ações realizadas não se transformem em retorno econômico para as prefeituras, elas contribuem de maneira clara para a sustentabilidade ambiental do sistema.

## 5 Referências

MASSUKADO, LUCIANA M.; ZANTA, VIVIANA M. **Simgere-Software para avaliação de cenários de gestão integrada de resíduos sólidos domiciliares**. Artigo Técnico. Revista Eng. Sanitária e Ambiental. Vol. 11-Nº. 2-abr./jun. 2006, 133-142.

LÓPEZ, DIOSNEL A. R.; MACHADO, ÊNIO L.; LAWISCH, ADRIANE de ASSIS & DELEVATTI, DIONEI. **Inventário de ciclo de vida do sistema de gerenciamento de resíduos sólidos de Venâncio Aires-RS**. In: 22º Congresso Brasileiro de Eng. Sanitária e Ambiental. 2003.

McDOUGALL, F.; WHITE, P.; FRANKE M. & HINDLE P.: **Integrated solid waste management: a life cycle inventory**. Blackwell Science, 2<sup>nd</sup> Edition, 2001.