

Uso do Inventário do Ciclo de Vida como ferramenta auxiliar na tomada de decisões no sistema de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos em São Luiz Gonzaga - Rio Grande do Sul.

EMITÉRIO DA ROSA NETO

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

EMITÉRIO DA ROSA NETO

Uso do Inventário do Ciclo de Vida como ferramenta auxiliar na tomada de decisões no sistema de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos em São Luiz Gonzaga - Rio Grande do Sul

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental-Mestrado, área de Concentração em Gestão e Tecnologia Ambiental, Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Tecnologia Ambiental.

Dr. Diosnel Antonio Rodriguez López

Professor Orientador

SANTA CRUZ DO SUL, NOVEMBRO DE 2007.

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL-
MESTRADO
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM GESTÃO E TECNOLOGIA AMBIENTAL**

EMITÉRIO DA ROSA NETO

Uso do Inventário do Ciclo de Vida como ferramenta auxiliar na tomada de decisões no sistema de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos em São Luiz Gonzaga - Rio Grande do Sul.

Prof. Dr. Diosnel Antonio Rodriguez López

(Professor Orientador)

Prof. Dr. Jorge André Ribas Moraes

Prof. Dr. Luiz Felipe Nascimento

Santa Cruz do Sul, novembro de 2007.

Agradecimentos

A DEUS pela vida.

A todos os colegas do Programa de Mestrado em Tecnologia Ambiental.

A todos os professores do Programa de Mestrado em Tecnologia Ambiental pelo incentivo e amizade desde o início do curso.

A professora Adriane por ter me recebido para uma conversa para conhecimento do curso.

Ao professor Diosnel que aceitou o convite de ser meu orientador e que sempre me incentivou e com muita calma, bom humor e qualificação conduziu esta dissertação.

Agradeço também aos amigos e amigas que estiveram ao meu lado nesta caminhada e sempre me apoiaram.

A toda equipe do CACON do hospital de Íjuí que durante o período de meu tratamento fizeram de tudo para que eu estivesse bem e que este trabalho se realizasse.

Aos professores de minha graduação que acreditaram no meu potencial e me apoiaram.

Aos membros da banca pela atenção dada a esta dissertação.

A todos os meus familiares pelo apoio e palavras de carinho.

Aos familiares de minha noiva por todo apoio, carinho e incentivo durante o curso e principalmente nos momentos mais difíceis desta jornada. A Daniele, minha noiva, pelo carinho, atenção, amor e pela dedicação empenhada para que juntos pudessemos vencer barreiras difíceis e vencer com muita fé mais esta etapa.

Aos meus pais, Alfeu e Cacilda, por serem os pilares de minha sustentação, dedico a vocês este trabalho, por todo esforço, atenção, incentivo, dedicação e amor que sempre demonstraram por mim e suportaram junto comigo cada dia de meu tratamento e que depositaram em mim seus desejos de me tornar um pessoa digna e honesta.

A vocês, agradeço e dedico esta vitória, muito obrigado.

Resumo

NETO, EMITÉRIO DA ROSA. Uso do Inventário de Ciclo de Vida como ferramenta auxiliar na tomada de decisões no sistema de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos em São Luiz Gonzaga – Rio Grande do Sul. 72 p., 2007.

A busca de uma sustentabilidade ambiental na área do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos exige com que a tomada de decisões para tal atividade se faça, cada vez mais, baseada em técnicas/ferramentas que auxiliem no processo, fazendo com que todo o sistema seja otimizado, permitindo com isso, um menor custo para os municípios, bem como menos impacto ao meio ambiente. A busca dessa sustentabilidade deve envolver questões ambientais, sociais, econômicas e territoriais. Este trabalho apresenta os resultados obtidos através da aplicação do Inventário de Ciclo de Vida no sistema de gerenciamento de resíduos sólidos no município de São Luiz Gonzaga-RS, levando-se 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 dessa cidade, utilizando o *software Integrated Solid Waste (ISW)* versão 2.5. Após todas as simulações realizadas no município de São Luiz Gonzaga, fica claro a importância do processo de reciclagem no sistema de gerenciamento, reduzindo a emissão de poluentes, bem como na economia de energia. No entanto, seu efeito positivo é encoberto pelo sistema de deposição final utilizado (lixão), que é o principal poluidor deste município. Através das simulações realizadas com cenários de tratamento biológico (compostagem) e reciclagem, os resultados obtidos reforçam a idéia de que estes processos são de grande valia para as municipalidades, auxiliando em tomadas de decisões dos sistemas de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos. Isso contribui não apenas para o meio ambiente, mas para toda a melhoria da qualidade de vida da população que vê as cidades mais limpas, seus recursos naturais preservados e os recursos que seriam utilizados nessa atividade serem aplicados em outras áreas.

Palavras – chaves: Gerenciamento, resíduos sólidos urbanos, inventário de ciclo de vida, Simulação de cenários.

Abstract

NETO, EMITÉRIO DA ROSA. Uses of the Life Cycle Inventory as auxiliary tool in the socket of decisions in the system of management urban solid residues in São Luiz Gonzaga - Rio Grande do Sul. 72 p., 2007.

The search of an environmental sustainability in the area of the management of urban solid residues demands with that the socket of decisions for such activity to be done, more and more, based on technical/tools that aid in the process, doing with that the whole system is optimized, allowing with that, a smaller cost for the municipal districts, as well as less impact to the environment. The search of that sustainability should involve subjects environmental, social, economical and territorial. This work presents the results obtained through the application of the Life Cycle Inventory in the system of management of solid residues in the municipal district of São Luiz Gonzaga-RS, being taken into account all of the stages of the process. The methodology Life Cycle Inventory, proposed by ISO 14040, it was used to evaluate the environmental comparisons of the current system of administration of the urban solid residues of that city, using the software Integrated Solid Waste (ISW) version 2.5. After all of the simulations accomplished in the municipal district of São Luiz Gonzaga, it is clear the importance of the recycling process in the management system, reducing the emission of pollutant, as well as in the economy of energy. However, his/her positive effect is hidden by the used system of final deposition (lixão), that it is the main pollutant of this municipal district. Through the simulations accomplished with scenarios of biological treatment and recycling, the obtained results reinforce the idea that these processes are valuable for the municipalities, aiding in sockets of decisions of the systems of administration of urban solid residues. That not just contributes to the environment, but for the whole improvement of the quality of life of the population that sees the cleanest cities, their preserved natural resources and the resources that would be used in that activity they be applied in other areas.

Keywords: Management, municipal solid waste, life cycle inventory, simulation of scenarios.

Lista de figuras

Figura 1:	Grupos de seres que habitam os lixões	10
Figura 2:	Taxa de geração de lixo per capita de acordo com o tamanho da cidade	14
Figura 3:	Processo de coleta de resíduos sólidos e suas inter-relações	15
Figura 4:	Composição física dos resíduos sólidos urbanos de São Luiz Gonzaga	31
Figura 5:	Representação da tela do <i>software</i> IWM-2.5 onde devem ser completados os valores referentes à porcentagem dos resíduos sólidos urbanos	32
Figura 6:	Representação da tela do <i>software</i> IWM-2.5 onde devem ser completados os valores referentes à porcentagem dos resíduos sólidos urbanos	33
Figura 7:	Demonstrativo de valores de emissão de poluentes atmosféricos	34
Figura 8:	Representação do total de emissão de poluentes atmosféricos	36
Figura 9:	Demonstrativo de valores de emissão de poluentes aquosos	36
Figura 10:	Processo de coleta de resíduos sólidos e suas inter-relações	37
Figura 11:	Representação da tela do <i>software</i> IWM-2.5 onde devem ser completados os valores referentes à porcentagem dos resíduos sólidos urbanos	37
Figura 12:	Representação do total de emissão de poluentes atmosféricos	39
Figura 13:	Comparativo de emissão de Particulados nos cenários 1 e 2	39
Figura 14:	Comparativo de emissão de CO nos cenários 1 e 2	40
Figura 15:	Comparativo de emissão de CO ₂ nos cenários 1 e 2	41
Figura 16:	Comparativo de emissão de CH ₄ nos cenários 1 e 2	42
Figura 17:	Comparativo de emissão de NO _x nos cenários 1 e 2	42
Figura 18:	Comparativo de emissão de GWP nos cenários 1 e 2	43
Figura 19:	Comparativo de emissão de SO _x nos cenários 1 e 2	43
Figura 20:	Comparativo de emissão de DBO nos cenários 1 e 2	45
Figura 21:	Comparativo de emissão de DQO nos cenários 1 e 2	45
Figura 22:	Comparativo de emissão de COT nos cenários 1 e 2	46
Figura 23:	Comparativo de emissão de Nitrato nos cenários 1 e 2	46
Figura 24:	Comparativo de emissão de Fosfato nos cenários 1 e 2	47
Figura 25:	Comparativo de emissão de Particulados nos cenários 1, 2 e 3	47
Figura 26:	Comparativo de emissão de CO nos cenários 1, 2 e 3	48
Figura 27:	Comparativo de emissão de CO ₂ nos cenários 1,2 e 3	48
Figura 28:	Comparativo de emissão de CH ₄ nos cenários 1,2 e 3	49
Figura 29:	Comparativo de emissão de NO _x nos cenários 1, 2 e 3	50
Figura 30:	Comparativo de emissão de GWP nos cenários 1, 2 e 3	50
Figura 31:	Comparativo de emissão de SO _x nos cenários 1, 2 e 3	51
Figura 32:	Comparativo de emissão de DBO nos cenários 1, 2 e 3	51
Figura 33:	Comparativo de emissão de DQO nos cenários 1, 2 e 3	52
Figura 34:	Comparativo de emissão de COT nos cenários 1, 2 e 3	52
Figura 35:	Comparativo de emissão de Cloretos nos cenários 1,2 e 3	53
Figura 36:	Comparativo de emissão de Nitrato nos cenários 1, 2 e 3	54
Figura 37:	Comparativo de emissão de Fosfato nos cenários 1,2 e 3	54
Figura 38:	Comparativo de emissão de Particulados nos cenários 1, 2, 3 e 4	55
Figura 39:	Comparativo de emissão de CO nos cenários 1, 2, 3 e 4	56
Figura 40:	Comparativo de emissão de CO ₂ nos cenários 1, 2, 3 e 4	57
Figura 41:	Comparativo de emissão de CH ₄ nos cenários 1, 2, 3 e 4	58
Figura 42:	Comparativo de emissão de NO _x nos cenários 1, 2, 3 e 4	58
Figura 43:	Comparativo de emissão de GWP nos cenários 1, 2, 3 e 4	59

Figura 44:	Comparativo de emissão de SO _x nos cenários 1, 2, 3 e 4	59
Figura 45:	Comparativo de emissão de HCl nos cenários 1, 2, 3 e 4	60
Figura 46:	Comparativo de emissão de DBO nos cenários 1, 2, 3 e 4	60
Figura 47:	Comparativo de emissão de DQO nos cenários 1, 2, 3 e 4	61
Figura 48:	Comparativo de emissão de Sólidos suspensos nos cenários 1, 2, 3 e 4	61
Figura 49:	Comparativo de emissão de COT nos cenários 1, 2, 3 e 4	62
Figura 50:	Emissão por etapa de GRSU-C1	62
Figura 51:	Emissão por etapa de GRSU-C2	62
Figura 52:	Emissão por etapa de GRSU-C3	63
Figura 53:	Emissão por etapa de GRSU-C4	63
Figura 54:	Emissão por etapa de GRSU-C1	63
Figura 55:	Emissão por etapa de GRSU-C2	63
Figura 56:	Emissão por etapa de GRSU-C3	64
Figura 57:	Emissão por etapa de GRSU-C4	64

SUMÁRIO

RESUMO	5
ABSTRACT	6
Lista de figuras	7
1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Objetivos	11
1.1.1 Objetivo Geral	11
1.1.2 Objetivos específicos	12
2 REVISÃO DA LITERATURA	13
2.1 Sistemas de gerenciamento de resíduos	13
2.2 Problemática associada ao gerenciamento de resíduos	18
2.3 Questão social do gerenciamento do lixo	19
2.4 Avaliação do sistema de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos	21
2.5 Modelos utilizados nos estudos de ACV ou ICV	25
3 METODOLOGIA	28
3.1 Modelo utilizado	28
3.2 Caracterização do lixo e do sistema de gerenciamento de lixo	28
3.3 Cenários utilizados	29
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1 Caracterização dos sistemas de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos	31
4.2 Cenário atual do município de São Luiz Gonzaga	31
4.3 Simulação do cenário 2	37
4.4 Simulação do cenário 3	45
4.5 Simulação do cenário 4	53
5 CONCLUSÃO	65
6 REFERÊNCIAS	68

1 INTRODUÇÃO

Todo crescimento populacional traz consigo diversos tipos de impactos ambientais, sociais e governamentais, e a questão dos resíduos sólidos urbanos (lixo) é uma das mais importantes.

Segundo Massukado e Zanta (2006), a quantidade de resíduos sólidos urbanos (RSU) 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, mas também por toda a comunidade geradora de resíduos.

De acordo com Massukado e Zanta (2006), o manejo de RSU é uma tarefa complexa devido à: quantidade; heterogeneidade de componentes; desenvolvimento de áreas urbanas; limitações financeiras, de recursos humanos e, políticas públicas referentes às atividades do setor.

Os RSU gerados nas cidades são destinados, em sua grande maioria, a lixões a céu aberto ou aterros (controlados ou sanitários), sendo que nestes dois meios de disposição final, ocorre produção de contaminantes ambientais. O impacto causado por estes contaminantes dependerá do tipo de disposição final que for adotado.

Além de contaminação ambiental, existem problemas de ordem epidemiológica, através dos seres que habitam os lixões, que podem ser separados em dois grupos, conforme figura 1.

MACROVETORES	MICROVETORES
Ratos	Vermes
Baratas	Bactérias
Mosquitos	Fungos
Cães	Actinomicetos
Aves	Vírus
Catadores	

Figura 1: Grupos de seres que habitam os lixões

No Brasil, o gerenciamento do lixo depende bastante, entre outros, do tamanho do município e dos recursos destinados por estes para esta atividade. A maioria dos municípios brasileiros pode ser considerada de pequeno porte (menos de 20.000 habitantes) e gera uma quantidade de RSU que, em princípio, não justifica grandes estruturas para o seu gerenciamento. Isso, associado a poucos recursos econômicos, à falta de pessoal técnico e profissional, tarifas desatualizadas e limitações financeiras, descontinuidade política e

administrativa entre outros, faz com que eles busquem alternativas inadequadas para o gerenciamento do lixo produzido pelos seus moradores.

A forma de gerenciamento mais tradicional de lixo destas pequenas municipalidades se baseia no tripé: coleta, transporte e disposição final, sendo esta última realizada muitas vezes em lixões a céu aberto.

Um sistema de gerenciamento mal decidido pode ser inicialmente barato para estas prefeituras, porém, em longo prazo, pode se tornar um custo excessivo para as mesmas. Somente a recuperação de uma área degradada por RSU pode se tornar uma carga muito onerosa para um município e muitas vezes mais elevada do que o custo de implantação de um sistema de gerenciamento adequado.

Muitos dos problemas do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos (GRSU) poderiam ser eliminados se os administradores municipais tivessem em mãos uma ferramenta/técnica que os ajudasse na tomada de decisões nesta área, permitindo a simulação e comparação de cenários de gerenciamento de lixo. Esta ferramenta é a Análise de Ciclo de Vida ou ACV.

A ACV, e o inventário de ciclo de vida (ICV) são ferramentas de gestão que fazem parte da série ISO 14000 e servem para analisar os impactos de todas as etapas de produção de um bem de consumo ou de alguma atividade ou serviço. Seus resultados analisam a carga ambiental associada a este produto ou atividade por meio de um balanço de massa (efluentes, resíduos e emissões atmosféricas) e energético, permitindo desta maneira comparar cenários associados a esta atividade.

O presente trabalho foi desenvolvido no município de São Luiz Gonzaga, localizado na região das Missões (noroeste) do Estado do Rio Grande do Sul, utilizando a ferramenta do Inventário de Ciclo de Vida, que faz parte da ACV, para caracterizar o sistema de gerenciamento de resíduos desta cidade.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Identificar os impactos ambientais relacionados ao gerenciamento de resíduos sólidos urbanos no município de São Luiz Gonzaga.

1.1.2 Objetivos específicos

- Caracterizar o sistema de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos atuais na cidade de São Luiz Gonzaga;
- Analisar o impacto ambiental do sistema por meio da ferramenta do Inventário de Ciclo de Vida;
- Simular cenários que permitam indicar os efeitos ambientais relacionados ao gerenciamento de resíduos sólidos urbanos baseados nos resultados do ICV, apontando as estratégias que podem aperfeiçoar o sistema que está sendo empregado.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Sistemas de Gerenciamento de Resíduos Urbanos

O GRSU nas áreas urbanas se baseou, historicamente, na coleta e no afastamento dos resíduos. Ao longo do tempo, as administrações municipais ou locais equivalentes passaram a prestar o serviço de coleta e afastamento. Esse tipo de serviço, especialmente quando executado com eficiência, cria a sensação mágica na população de que os resíduos simplesmente desaparecem de sua vista. Por isso, a sociedade em geral levou muito tempo para perceber as graves tendências relacionadas à quantidade, qualidade e as soluções para o gerenciamento dos resíduos sólidos (PHILIPPI JR., 2005).

Uma das atividades do saneamento ambiental municipal é aquela que contempla a gestão e o gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos (GRSU), tendo por objetivo principal propiciar a melhoria ou a manutenção da saúde, isto é, o bem-estar físico, social e mental da comunidade (CASTILHOS JUNIOR, 2003).

Segundo Castilhos Junior (2003), o GRSU deve ser integrado, ou seja, deve englobar etapas articuladas entre si, desde a não geração até a disposição final.

Segundo a pesquisa nacional de saneamento básico (PNSB), realizada pela IBGE (2000), a população brasileira é de aproximadamente 170 milhões de habitantes, produzindo diariamente cerca de 156.265 toneladas de resíduos sólidos. Quanto à destinação final, os dados relativos às formas de disposição final de resíduos sólidos distribuídos de acordo com a população dos municípios obtidos com a PNSB (IBGE, 2000), indicam que 13,8% informam que utilizam aterros sanitários e 18,4% dispõem seus resíduos em aterros controlados, e 5% não responderam.

A quantidade de resíduos sólidos gerados em um município varia conforme o número de habitantes, renda, época do ano, e também com o tipo de material que é comercializado, ou seja, o uso de embalagens não retornáveis tende a uma geração maior de lixo, contribuindo para elevar a quantidade de resíduos dispostos nos aterros. Para muitos técnicos, a taxa de geração de lixo no Brasil fica entre 0,4 e 0,8 kg/dia/hab. Segundo dados apresentados no Manual de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (2001) a geração de lixo pode ser relacionada à população de uma cidade de acordo com a figura 2.

TAMANHO DA CIDADE	POPULAÇÃO URBANA (habitantes)	GERAÇÃO <i>PER CAPITA</i> (kg/hab./dia)
Pequena	Até 30 mil	0,50
Media	De 30 mil a 500 mil	De 0,50 a 0,80
Grande	De 500 mil a 5 milhões	De 0,80 a 1,00
Megalópole	Acima de 5 milhões	Acima 1,00

Figura 2: Taxa de geração de lixo per capita de acordo com o tamanho da cidade. Fonte: Manual de Gerenciamento de Resíduos Sólidos

O GRSU, conforme Prandini (1995) é o conjunto articulado de ações normativas, operacionais, financeiras e de planejamento, que uma administração municipal desenvolve, baseado em critérios sanitários, ambientais e econômicos para coletar, tratar e dispor o lixo da sua cidade.

Baseado nisso, o gerenciamento do lixo municipal constitui-se em uma limpeza da cidade, isto é, se esta limpeza for realizada de forma adequada, utilizando técnicas adequadas à realidade do local, destinando o lixo de forma correta e segura ambientalmente.

As particularidades de cada município devem ser levadas em conta na aplicação do gerenciamento, onde a quantidade de lixo gerada e sua composição, a população, a atividade econômica principal, são fatores que merecem maior destaque.

Segundo Prandini (1995), é necessário ter consciência de que todas as ações e operações envolvidas no gerenciamento estão interligadas, influenciando umas as outras:

- coleta mal planejada encarece o transporte;
- transporte mal dimensionado, além de gerar prejuízos e reclamações, prejudica as formas de tratamento e de disposição final;
- tratamento mal dimensionado não atinge os objetivos e vira alvo fácil de críticas.

Tchobanoglous (1977) afirma que as atividades gerenciais ligadas aos resíduos sólidos podem ser agrupadas em seis elementos funcionais, conforme figura 3.

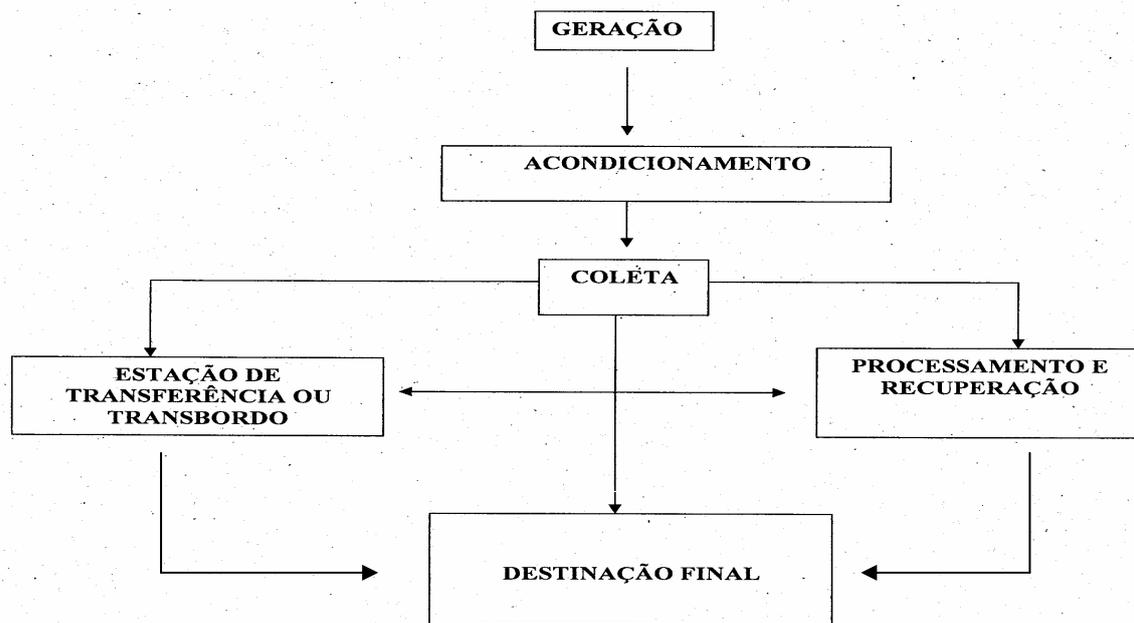


Figura 3: Processo de coleta de resíduos sólidos e suas inter-relações.

Fonte: Tchobanoglous (1977).

O gerenciamento de resíduos é essencial do ponto de vista econômico, ambiental e de saúde pública (ROTH et. al., 1999). O gerenciamento de resíduos em uma comunidade ou em uma região deve melhorar continuamente e esta deve monitorar seu sistema de gerenciamento de resíduos sólidos (McDOUGALL, 2001).

O GRSU envolve métodos e atividades que, se aplicados de forma integrada, resultam na redução da quantidade de lixo a depositar, permitem o desvio de materiais que podem ser reutilizados como matérias-primas na produção de outros bens e geram benefícios sociais, econômicos, ambientais e a saúde das populações executoras (ROTH et. al., 1999).

No que diz respeito à coleta usual dos resíduos, assim entendido o serviço de recolhimento diário do lixo comum das residências e do setor comercial realizado pela Prefeitura Municipal, deve ser buscada a máxima abrangência possível, isto é, a cobertura da coleta deve incluir todas as ruas da cidade e distritos. Ela também precisa ser regular quanto aos dias e horários de passagem dos caminhões coletores, de tal forma a evitar que toneladas de lixo permaneçam nas lixeiras urbanas durante várias horas do dia impedindo a exposição das pessoas (ROTH et. al., 1999).

A situação referente dos RSU, ou comumente chamado de lixo, pode ser considerada um problema grave devido à busca crescente por bens de consumo pela sociedade atual, onde

a cada dia se utiliza mais embalagens. Estas embalagens acabam sendo inúteis após o consumo, tornando-se restos não reaproveitados e indo parar diretamente no local de disposição final de resíduos do município.

O gerenciamento de resíduos sólidos urbanos, quando realizado de forma incorreta, acaba gerando problemas que envolvem aspectos sanitários, ambientais, econômicos e sociais. Isso muitas vezes acaba entrando em confronto com a disponibilidade de recursos financeiros, onde a falta de verbas prejudica a criação de programas nessas áreas, dando espaço para projetos mal elaborados, com quadro técnico não qualificado para tal atividade.

As formas de GRSU são variadas e, conforme a realidade dos municípios pode ser melhor ou pior. Isto, no entanto, depende não apenas das administrações públicas. Um fator de apoio, que contribui na eficiência dos sistemas de tratamento de resíduos é a população, que através de ações dentro de suas próprias casas, podem auxiliar nas etapas de coleta, transporte, triagem e até na disposição final.

Os municípios trabalham com diferentes formas o GRSU e podem ser agrupadas nas seguintes etapas:

Coleta – transporte – disposição final em lixões: na maioria dos municípios brasileiros está é a forma mais empregada. Os resíduos gerados pelos habitantes são coletados da forma mais econômica possível e levados geralmente até o lixão por caminhões caçamba ou compactadores de baixa capacidade de carga, que realizam a coleta.. O lixo descarregado no lixão pode ou não ser recondicionado no local, sendo que na maioria das vezes fica exposto a céu aberto. Este lixão constitui um meio de disposição final sem tratamento prévio e sem nenhum tipo de separação de materiais, sendo que de todos os sistemas empregados é o mais impactante ao meio ambiente (RODRIGUEZ-LOPEZ, 2003).

Em muitos lixões acontece a separação do lixo por meio de catadores que se instalam nas proximidades, trabalhando sem nenhuma condição de segurança ou higiene, empregando muitas vezes crianças como mão de obra.

A outra forma de gerenciamento utilizada é a que emprega as etapas de coleta - transporte e descarte do lixo em um aterro sanitário. Desde a implantação da Central de Resíduos Sólidos, aterro sanitário construído numa antiga cava da mina de carvão de Recreio - RS, mais 100 municípios utilizam estas instalações como destino final dos seus resíduos. A coleta realizada (pela prefeitura ou terceirizada) utiliza muitas vezes o mesmo tipo de caminhão, sendo o destino final dos resíduos coletados um aterro sanitário que nada mais é do que uma obra de engenharia destinada a acomodar os resíduos sobre o solo, minimizando os impactos ambientais e os riscos à saúde (OLIVEIRA, 1992). O transporte dos resíduos da

cidade até o aterro é realizado em caminhões compactadores de grande capacidade de carga. Estes caminhões recebem o lixo coletado nas cidades em estações de transferência de lixo.

No entanto, Lima (1995) cita como fatores limitantes do uso do aterro sanitário a disponibilidade de grandes áreas próximas aos centros urbanos que não comprometam a segurança e o conforto da população; a disponibilidade de material de cobertura diária; condições climáticas de operação durante todo o ano e a escassez de recursos humanos habilitados em gerenciamento de aterros.

Com características em comum ao sistema apresentado anteriormente, porém mais complexas, algumas municipalidades empregam o sistema que envolve também coleta seletiva, usina de triagem, reciclagem e compostagem.

A coleta seletiva consiste geralmente na separação dos resíduos em secos e úmidos, sendo que o primeiro corresponde à parte que pode ser reciclada. Quando bem feita a coleta seletiva facilita o sistema, pois contribui numa maior eficiência de triagem, a qual é realizada normalmente de forma manual. Nesta triagem é feita a separação de materiais que podem ser reciclados. Philippi Jr. (2005) ressalta que nos processos manuais, quanto maior o grau de separação desejado e menor a quantidade de impurezas permitida, maior será a mão-de-obra envolvida.

No caso da separação de materiais a recuperar, o grau de pureza e a limpeza do produto final influenciam sobremaneira o valor de mercado. Após a triagem, os materiais podem ser prensados a fim de baratear o transporte até os locais onde serão industrializados. A eficiência da mão-de-obra na triagem pode ser avaliada pela quantidade de resíduos separados por pessoa, por hora.

A separação bem realizada favorece o processo de reciclagem dos materiais que podem ser reutilizados, bem como na compostagem, onde os materiais descartados voltam ao ciclo produtivo e a matéria orgânica, transformada em composto pode ser empregada para melhorar as propriedades físicas do solo, além de ter propriedades fertilizantes (NAUMOFF e PERES, 2000).

Todos estes fatores auxiliam depois na disposição final, onde a massa residual a ser aterrada diminui, trazendo benefícios ambientais como preservação de matérias-primas, menor consumo de energia, aumento da vida útil do aterro, entre outros.

2.2 Problemática Associada ao Gerenciamento dos Resíduos Sólidos Urbanos

De uma forma geral pode-se afirmar que a geração de lixo é proporcional ao aumento da população e desproporcional a disponibilidade de soluções para o gerenciamento dos detritos. Münnich et. al. (2005) citam o crescimento da população como um fator que está causando problemas ambientais novos. Conforme Roth et. al. (1999) isso acaba se tornando em sérias defasagens na prestação de serviços, tais como a diminuição gradativa da qualidade do atendimento, a redução do percentual da malha urbana atendida pelo serviço de coleta e o seu descarte e/ou abandono em locais inadequados.

A falta de tratamento adequado de lixo urbano é perfeitamente visível quando se consideram os gastos despendidos (inutilmente) com tratamento de saúde da população carente. Uma comunidade pode ficar doente se não tiver melhorias efetivas do seu estado nutricional e caso o lixo da área onde moram não seja erradicado. Em segundo plano, isso pode trazer à economia local devido à diminuição da produtividade do homem, provocada pelas doenças decorrentes dos vetores associados ao lixo e suas reincidências. Outro problema bastante comum a considerar é a desvalorização das terras do entorno das áreas dos lixões, assim como a conseqüente redução de investimentos imobiliários (NETO, 1999). Aqui há também que considerar os custos requeridos para implementar a desativação de lixões e demais áreas de despejos clandestinos de lixo.

Um dos grandes entraves à resolução do problema do lixo urbano reside na falta de projetos bem elaborados, simples, eficientes, com flexibilidade técnico-operacional, compatíveis com a realidade sócio-econômica do município e a falta de qualificação técnica das equipes de trabalho. Como nas prefeituras municipais existe carência de técnicos especializados, esta tarefa tem sido entregue a pessoas inescrupulosas que vendem projetos inconsistentes, principalmente de tratamento de lixo (NETO, 1999).

A coleta de lixo pelas prefeituras municipais constitui-se, inegavelmente em serviço essencial e de interesse público. Apesar disto, apenas 34% do total do lixo gerado nas cidades brasileiras é adequadamente recolhido (ROTH et. al., 1999).

Em geral, os serviços de limpeza absorvem entre 7 e 15% dos recursos de um orçamento municipal, dos quais cerca de 50% são destinados à coleta e ao transporte do lixo. (CUNHA et. al., 1995)

A sustentabilidade econômica dos serviços de limpeza é um importante fator para a garantia de sua qualidade. Em quase todos os municípios brasileiros, os serviços de limpeza urbana, total ou parcialmente, são remunerados através de uma “taxa”, geralmente cobrada na

mesma guia do imposto predial e territorial urbano-IPTU-, e tendo a mesma base de cálculo deste imposto, ou seja, a área do imóvel (área construída ou área do terreno). Como não pode haver mais de um tributo com a mesma base de cálculo, essa taxa já foi considerada inconstitucional pelo Supremo Tribunal Federal, e assim sua cobrança vem sendo contestada em muitos municípios, que passam a não ter como arrecadar recursos para cobertura dos gastos dos serviços. De qualquer forma, em todos os municípios, a receita proveniente da taxa de limpeza urbana ou de coleta de lixo é sempre recolhida ao tesouro municipal, nada garantindo sua aplicação no setor, a não ser a vontade política do prefeito (MANSUR E MONTEIRO, 2006).

A falta de recursos pode ser um dos fatores limitantes para a oferta de um serviço mais aprimorado do gerenciamento do lixo, uma vez que as prefeituras devem comprometer recursos de outras rubricas orçamentárias para atender estes serviços (BAUMGARTEN, 2005).

2.3 Questão social do gerenciamento do lixo

As oportunidades econômicas relacionadas à catação de lixo têm impulsionado atividades informais de coleta e reaproveitamento de resíduos, que por um lado geram trabalho e promovem reaproveitamento de recursos naturais, mas que sem controle podem se tornar focos de doenças e contaminações. Existem situações extremas em que pessoas moram nos depósitos de lixo, onde garimpam materiais recicláveis e, por vezes, buscam ali seu alimento (PHILIPPI JR., 2005).

Não é tão simples definir e conceituar resíduos, por que entre suas características estão à inutilidade total e seu abandono pelo proprietário, o que explica a “catação” nos vazadouros, fenômeno pelo qual pessoas de baixa condição social encontram objetos que, malgrado seu lastimável estado de conservação e asseio, ainda lhes podem ser úteis (CARVALHO, 1980).

De passagem, é bom frisar que estas pessoas estão sujeitas a ferimentos como cortes em latas e vidros, além de poderem ser picadas por animais peçonhentos e de se tornarem veículos de doenças graves. De acordo com Carvalho (1980), em climas quentes, o lixo exposto pode produzir mais de 70.000 moscas para cada 28 litros, numa semana. Um lixo essencialmente doméstico pode, conforme determinadas circunstâncias, dar origem a 20.000 larvas naquele mesmo local pelos fundos das latas e fendas do montouro.

Ainda que seja difícil estabelecer uma relação de interferência na saúde desta população pelos resíduos sólidos municipais, diante a ausência de qualquer tipo de

saneamento, não há razões para se imaginar que não haja uma contribuição significativa dos mesmos neste quadro negativo. Além disso, uma parcela desta população constitui os chamados catadores, que existem em praticamente todos os vazadouros de resíduos. Ao remexerem os resíduos vazados, à procura de materiais que possam ser comercializados ou servir de alimentos, os catadores estão expostos a todos os tipos de risco de contaminação presentes nos resíduos, além de riscos a sua integridade física por acidentes causados pelo manuseio dos mesmos e pela própria operação do vazadouro. Esta população, que normalmente vive próxima aos vazadouros, serve de vetor para a propagação de doenças originadas dos impactos dos resíduos, uma vez que parte da mesma trabalha em outras localidades, podendo transmitir doenças para pessoas com que mantém contato (FERREIRA E ANJOS, 2001).

O gerenciamento não é responsabilidade unicamente do poder público municipal, a que cabe, por certo, o papel de fomentar e gerenciar todo o processo, na verdade requer o envolvimento da sociedade como um todo, o que significa o universo de geradores de resíduos sólidos da comunidade em questão (ROTH et. al., 1999).

De acordo com Roth et. al. (1999), a participação direta da população atendida é fundamental na definição e na operação e na operacionalização do gerenciamento. Conforme os autores, a redução na fonte é outro programa que deve ser contemplado no gerenciamento dos resíduos, e significa a adoção coletiva de formas e procedimentos visando à diminuição da quantidade de lixo gerada. Constitui-se, talvez, no componente com maiores dificuldades de ser tornar exequível, pois é totalmente dependente, por um lado, de mudanças nos hábitos de consumo das pessoas (por exemplo, deixando-se de adquirir produtos pouco duráveis ou que contenham embalagens desnecessárias, e que representam até 50% do volume e 30% do peso do lixo urbano) e, por outro, de mudanças no próprio segmento industrial, de tal forma que seja priorizada a fabricação de mercadorias mais resistentes e que necessitem de menos invólucros.

Um dos fatores fundamentais de sucesso do GRSU é a existência de programas de coleta seletiva, tanto de caráter público quanto executado por entidades privadas, no entanto, é fundamental que sejam desenvolvidos de forma integrada. (ROTH et. al., 1999).

Porém, no que se refere ao que foi exposto acima, programas de coleta seletiva sem a participação dos habitantes de um município de forma generalizada, não funcionam de forma eficaz. Dessa forma, é preciso ter consciência de que separando os resíduos já em casa, facilita o trabalho dos coletores, e também auxilia no processo de gerenciamento, pois

contribui no reaproveitamento de materiais que possam ser novamente utilizados, e reduz a quantidade de material a ser aterrado.

Roth et. al. (1999), salientam que a sensibilização em si deve ser fomentada pelo poder público municipal com a participação dos órgãos e entidades ligados à educação, à saúde, ao meio ambiente e ao setor empresarial, além dos veículos de comunicação social difusores de informações de interesse público.

Sabe-se, portanto, que, paradoxalmente, um correto gerenciamento dos resíduos traria não somente benefícios ambientais, sanitários e econômicos, mas, principalmente, sociais, pela geração de empregos dignos e pelo resgate da cidadania dos catadores. (ROTH et. al., 1999).

2.4 Avaliação de sistemas de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos

A avaliação de sistemas de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos se faz necessária quando os métodos utilizados para tal processo se mostram ineficazes, apontando resultados que não correspondem com a realidade, fazendo com que fique subdimensionada a operacionalidade do sistema.

Erros na avaliação contribuem em gastos maiores em todas as etapas do serviço realizado, causando transtornos em toda a esfera pública e causando interferências nos ecossistemas, levando a impactos ambientais decorrentes das atividades humanas.

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.

No entanto, essa linha perde força, no que diz respeito à geração cada vez mais crescente de resíduos sólidos, uma vez que os impactos possuem um campo de ação local, regional e global, sendo cada vez mais difíceis de serem administrados.

Massukado e Zanta (2006), aponta dois problemas relacionados com o modelo atual de gestão dos resíduos sólidos urbanos:

- Descontinuidade política através de planos e programas quando se esgota o período de gestão e outro assume;

- Aspecto legal, mesmo sendo de competência municipal a gestão de resíduos, e este sendo componente do saneamento ambiental, é ausente uma política nacional de resíduos sólidos.

Perante o quadro de intensa intervenção humana sobre os recursos naturais, criando impactos ambientais com elevado grau de inadequação e sustentabilidade, surge então, através

de vários estudos, que a avaliação ambiental, conforme Santos (2002) deveria ser feita alocação de fatores impactantes em categorias de impacto ambiental. Esta metodologia está sendo consolidada pela ferramenta “Análise de Ciclo Vida”.

A Análise de Ciclo de Vida (ACV) ou *Life Cycle Assessment (LCA)* provê uma ferramenta muito útil para a avaliação ambiental do sistema de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos (ISO, 1997). O escopo da ACV é avaliar todos os possíveis impactos ambientais “do berço ao túmulo”, isto é, ele é um processo objetivo para avaliar os limites ambientais associados com um produto, processo ou atividade, identificando e quantificando os fluxos de energia e materiais usados e resíduos liberados no meio ambiente, com o objetivo de buscar oportunidades para efetuar melhorias ambientais (SETAC, 1993). Uma das principais fases do ACV é o Inventário de Ciclo de Vida (ICV) ou *Life Cycle Inventory (LCI)*, que envolve a compilação e quantificação das entradas e saídas (energia, emissões, etc.) de um sistema, serviço ou produto ao longo do seu ciclo de vida. Segundo Vigon et. al. (1993) o conceito do ICV tem sido adotado na produção mais limpa desde 1960 e tem tido uma ampla aplicação industrial e acadêmica nas últimas duas décadas. Para Suh e Huppés (2005) o ICV tem sido raramente questionado com relação a seus resultados.

Segundo López et. al. (2003) o ICV pode ser muito mais útil no Brasil, embora aqui ainda não existe uma forma padronizada de transformar os dados e/ou parâmetros medidos no ICV em impactos ambientais. Ela pode ser utilizada para analisar processos de gerenciamento de resíduos de modo a determinar os impactos ambientais envolvidos nesse processo. Possui várias definições e pode ser utilizada para finalidades distintas. O seu estudo implica desde indústrias, avaliando seus processos, bem como, pode ser aplicada em serviços, apontando melhorias em gerenciamento, contribuindo numa melhoria na aplicação de recursos financeiros.

A ACV foi definida pela sociedade de Toxicologia Ambiental e Química (SETAC) como um processo objetivo para avaliar os danos ambientais associados com um produto, um processo ou uma atividade, pela energia e pelos materiais usados e por identificação de resíduos e quantidade liberados ao ambiente, e para avaliar e executar oportunidades de efetuar melhorias ambientais (ÖZELER D., 2005).

Para a ISO 14040, ACV é “uma compilação e avaliação das entradas e saídas e os potenciais impactos ambientais de um sistema, produto ao longo de seu ciclo de vida” (ISO, 1998). Grant (2001) oferece uma definição que foca mais o processo, incluindo as razões pelas quais esses estudos são feitos, ao definir ACV como “análise dos fluxos ambientais através de um produto, com o objetivo de otimizar o desempenho ambiental desse produto ou

serviço ao longo de seu ciclo de vida”. Já para Weidema (1997) é fundamental um processo de escolha, ao afirmar que o ACV tem o propósito de avaliar os potenciais impactos ambientais da substituição de produtos, ou seja, a opção de um produto em substituição a outro. Independente da ênfase, o que é central para ACV é que esta considera todos os materiais e energia utilizada no ciclo de vida, incluindo a depredação de recursos naturais e emissões para o ar, água e solo (GILBERT et. al., 2001).

Segundo Özeler (2005) a ACV pode ser aplicado com sucesso aos sistemas de gerência de resíduos sólidos urbanos como um instrumento de apoio de decisão.

Na ACV deve-se definir o sistema que pode envolver todas as etapas da vida de um produto ou serviço. São avaliados os descartes gerados nos diferentes processos, tais como as emissões atmosféricas, a geração de efluentes líquidos e resíduos sólidos, o consumo de energia e de matérias-primas e as conseqüências ambientais do uso e disposição do produto (SANTOS, 2002). Os impactos ambientais causados pela extração e produção das matérias-primas são também estudados. Devem também ser avaliadas as possibilidades para a redução dos impactos ambientais causados pela geração do produto. Através das técnicas de ACV pode-se analisar um produto, serviço, processo ou tecnologia (SANTOS, 2002).

Vários estudos já foram realizados na área de gerência de resíduos sólidos urbanos, onde esta ferramenta auxilia na tomada de decisões, indicando soluções que podem ser tomadas a fim de causar menor impacto ambiental.

Desde os anos 90 a ACV vem sendo utilizada em diversos países com o objetivo de analisar estratégias na gerência de resíduos e comparar os materiais em diferentes cenários de disposição final a fim de obter menos impacto ambiental e melhor aproveitamento de materiais.

Em estudo realizado em Ankara na Turquia, Özeler (2005) utilizou a ACV, obtendo sucesso na aplicação ao sistema de GRSU naquela localidade, trabalhando com diferentes cenários, comparando opções do sistema de gerência com o objetivo de determinar o melhor sistema. López et. al. (2003) utilizaram a ferramenta do ICV para analisar os impactos ambientais decorrentes do sistema de gerenciamento de lixo da cidade de Venâncio Aires no Vale do Rio Pardo. Segundo estes pesquisadores os principais impactos eram decorrentes do sistema de aterramento de lixo daquela cidade, que na época utilizava um lixão. Os principais impactos estavam relacionados às emissões de gases e de chorume no meio ambiente sem nenhum tipo de tratamento.

Um fator muito importante em uma ACV é que esta ferramenta não classifica produto, mas compara. Dessa forma, a ACV pode ser usada para comparar cenários a fim de identificar

qual o melhor. Entretanto, para que se consiga obter resultados que impliquem numa decisão mais adequada, é necessária a obtenção de dados que possibilite o uso de tal metodologia.

De acordo com a ISO 14040 (1997) uma ACV é compreendida de quatro estágios principais: definição do objetivo e escopo, inventário de ciclo de vida, análise de impacto e interpretação.

Na etapa inicial da ACV, são delimitadas as condições de contorno, os objetivos e limitações de análise, os processos envolvidos e o ciclo de vida do produto. Na análise do inventário, os dados são agrupados envolvendo todo o ciclo de vida do produto. A análise de impactos consiste na classificação, caracterização e normalização, onde essa caracterização promove a definição e identificação e fatores de impacto potencial associado ao produto. A interpretação avalia através de diferentes perfis dos produtos a tomada de decisões com relação à escolha final (SANTOS, 2002).

O desenvolvimento de um estudo completo de ACV de acordo com Santos (2002) possui três diferentes tipos de dados que devem ser coletados, onde estes dados ficam centralizados na análise de inventário. A análise de ICV descreve o balanço de massa e energia de todo o ciclo do produto, dados do consumo de materiais e energia, bem como os dados de emissões dos processos do ciclo de vida do produto deve ser coletado.

Como pontos fortes da ACV podem-se citar seu foco na unidade de produção/serviço, que é a razão de ser da organização e estabelece uma interface com o consumidor e o público e o de alocar “responsabilidade” e uma relação de causa e efeito, contemplando todo o sistema, permitindo considerar as alocações econômicas.

Os pontos fracos e limitações são a sua complexidade de dados e tempo, o que às vezes torna os estudos proibitivamente caros (HAMILTON, 2000). Muitas vezes questões são levadas em consideração quanto à definição espacial e temporal do estudo, sendo inapropriado para avaliação de risco e sensibilidade ao ambiente local. Além disso, o método ainda não considera aspectos estéticos e paisagísticos, devido à dificuldade de mensuração. (SPIES et. al., 2002)

O ICV é a etapa que quantifica e transforma as informações em dados possíveis de ser comparados, fornecendo informações que sustentam a ACV.

De acordo com McDougall (2001) o ICV, assim como a ACV, é ferramenta que pode analisar profundamente um sistema de gerenciamento de resíduos sólidos. O autor salienta que o ICV é um instrumento de apoio de decisão, auxiliando ao gerenciamento de resíduos e projetando sistemas mais sustentáveis para o futuro. A utilidade do ICV na gerência de

resíduos sólidos está em avaliar a eficiência ambiental de modo a auxiliar na tomada de decisões.

Os danos ambientais associados com os sistemas de gerência de resíduos podem ser calculados usando a ferramenta do inventário de ciclo de vida.

Os resultados obtidos em um ICV referentes ao consumo de energia, emissões atmosféricas e na água, volume de resíduos a serem aterrados, recuperação de materiais, compostagem, entre outros, fazem com que tal ferramenta se torne útil e prática do ponto de vista da avaliação e eficiência ambiental, possibilitando determinar a combinação integrada de opções de gerenciamento de resíduos sólidos.

No Brasil vários trabalhos já foram realizados com o uso do ICV para avaliar o impacto ambiental, custos e consumo energético envolvidos nas atividades de gerenciamento de resíduos sólidos, dentre os quais podemos citar López et. al. (2003), Betat (2005), López et. al. (2007) e Rodriguez et. al. (2007).

McDougall (2001) diz que a estratégia existente na gerência de resíduos sólidos pode ser usada como uma linha de base, de encontro a que todas as modificações restantes de estratégia são medidas. Isto permite que o desempenho total de estratégias diferentes do ICV seja comparado. O autor apresenta um exemplo em uma estratégia baseada na reciclagem comparada com uma baseada na incineração com recuperação de energia.

No entanto, as estratégias devem levar em conta o ambiente local a economia e a população local. O ICV não seleciona a melhor estratégia de gerência, mas fornece os dados detalhados que podem dar suporte para o processo de decisão.

2.5 Modelos Utilizados nos Estudos de ACV ou ICV

Bovea e Powell (2005) citam que diferentes *softwares* de ICV já foram propostos para facilitar a aplicação desta ferramenta no gerenciamento de resíduos sólidos urbanos, entre eles podem ser citados: *Integrated Solid Waste* (ISW) desenvolvido por White et. al. (1995) e melhorado por McDougall et. al., 2001; o USEPA também tem desenvolvido uma ferramenta de suporte computadorizada para avaliar estratégias de gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos (WEITZ et. al., 1999); o *software WISARD (Waste Integrated Systems Assessment for Recovery and Disposal)* foi desenvolvido pela ECOBILAN para a agência ambiental inglesa para permitir aos gestores estabelecer as melhores opções ambientais para o gerenciamento de lixo; ORWARE (*Organic Waste Research*) é um modelo baseado para avaliar a fração orgânica e inorgânica do lixo municipal (ERIKSSON et. al., 2002).

Estudo realizado por Bovea e Powell (2005), em Valencia na Espanha, foi tratado todas as etapas do GRSU naquela localidade, onde aspectos como transporte, estação de transferência, compostagem, entre outros foram avaliados, a fim de chegar numa opção onde houvesse menor dano ao meio ambiente e que estivesse dentro dos parâmetros legais.

Solano et. al. (2002) desenvolveram pesquisas utilizando o modelo IWM, onde nos cenários estudados foi incluída a variação de energia, efeito da reciclagem de resíduos a fim de se obter uma estratégia de baixo custo e também da combustão de resíduos para recuperação de energia, visando minimizar as emissões de gás de efeito estufa, expressos em equivalentes de carbono e compostagem. Neste caso, o uso do modelo ilustra o impacto potencial de políticas e de regulamentos de gerência de resíduos sólidos em emissões ambientais globais. A geração de resíduos de três setores diferentes foi incluída para demonstrar a versatilidade do modelo. As conclusões apontaram à reciclagem com melhor benefício ambiental juntamente com a recuperação do gás do aterro para geração de energia.

O uso do ACV vem se estendendo nos últimos anos, a tal ponto que a comunidade Européia a incluiu como uma parte obrigatória para análise dos impactos de produtos industriais. Vários pesquisadores já utilizaram a ACV, entre estes, podemos citar: Graedel et. al. (1995), que utilizou a ACV para comparar os impactos ambientais de automóveis diferentes, para reduzir o índice de emissão de COVs na indústrias de pinturas (DOBSON, 1996), reduzir os danos ambientais do uso de baterias automotrizes (ROBERTSON et. al., 1997), comparar dois tratamentos de água para remoção de cor e dureza (SOMBEKKE, et. al., 1997), comparar operações diferentes de cortes de silvicultura e de madeira em sistemas florestais (BERG, 1997), comparar três processos de desengraxamento de metal processado na indústria e aperfeiçoar cada processo, ambientalmente e economicamente (FINKBEINER et. al., 1997), examinar o potencial de implicações de saúde ambientais e humanas de opções da remediação de locais diferentes contaminados (PAGE et. al., 1996), para avaliar diferentes cenários do tratamento de resíduos sólidos municipais (ROELEVELD et. al., 1997).

Eriksson et. al. (2005) realizaram um estudo com opções diferentes de tratamento de resíduos. Os cenários envolviam combinações que continham processos como incineração, reciclagem de materiais, tratamento biológico (digestão anaeróbica e compostagem), foram estudadas e comparadas ao aterro sanitário. A avaliação cobriu o uso de recursos de energia, do impacto ambiental e de custos financeiros e ambientais. No estudo o modelo utilizado foi o ORWARE (*Organic Waste Research*), baseado na metodologia da ACV, sendo executado em três municípios suecos. O estudo mostra que a reciclagem reduz o volume de resíduos a ser

aterrado reduzindo o consumo de energia para fabricação de novos materiais conduzindo a um menor impacto ambiental, e baixos custos econômicos.

Josa et. al. (2004) utilizaram a ACV para a fabricação de diferentes tipos de carvão produzidos na Europa, tendo como principais emissões de dióxidos de carbono (CO_2), óxidos de nitrogênio (Nox), dióxidos de enxofre (SO_2) e pó, tendo como conclusões que as emissões que derivam principalmente da produção de escória de carvão, ambas das reações químicas que acontecem no forno e por seu consumo de combustível fóssil.

Em um trabalho desenvolvido na cidade de São Paulo, por Mendes et. al. (2003), foi empregada a ACV para comparar os impactos ambientais de aterro sanitário, compostagem, e tratamento biológico de resíduos sólidos. O consumo de energia, recursos recuperados, e emissões para água e atmosfera foram quantificados e analisados em termos da contribuição potencial deles/delas para o efeito estufa, acidificação, e impacto de enriquecimento de nutrientes. Os resultados demonstraram que processos que requerem níveis altos de consumo de energia, como tratamento de efluentes, possuem um papel importante como potencial de impacto ambiental. Identificou-se que o aterro sanitário de todo o resíduo, geralmente contribui negativamente, através das estratégias estudadas de um ponto de vista ambiental. Porém, podem ser realizadas reduções significantes nos impactos resultantes por biogásificação (digestão anaeróbica) e compostagem da fração biodegradável. Relativo à compostagem, a aplicação de um biofiltro para tratamento de gás reduziu as emissões gasosas significativamente.

A composição física avaliada nesta pesquisa demonstrou que 49,5% dos resíduos eram de lixo de cozinha; 18,8% de papel; 1,3% de restos de madeira, de material têxtil 2,4%; plásticos 22,9%; vidro 1,5% e metal 2,8%.

Como foram detalhados anteriormente, todos os modelos propostos foram desenvolvidos nos EUA ou na Europa, utilizando as características dos resíduos gerados nesses países, o que muitas vezes subestima o real impacto que um determinado sistema de gerenciamento de lixo pode causar no meio ambiente, quando o lixo possuir características diferentes. Dessa forma, quando esses modelos são utilizados com resíduos urbanos com as características do lixo do Brasil, seus resultados devem ser considerados como sendo impactos reduzidos.

3. METODOLOGIA

O ICV constitui uma compilação detalhada de todas as entradas (materiais e energia) e as saídas (ar, água e emissões sólidas) durante cada estágio do ciclo de vida do lixo. Dessa forma, esta ferramenta foi utilizada em cada atividade requerida no gerenciamento do lixo desde o momento em que o mesmo é disponibilizado para coleta até a sua disposição final. Foram considerados entre outros o transporte do lixo do ponto de geração até o destino final, a separação do lixo na usina de triagem da cidade, o gerenciamento do lixo no aterro, a coleta e a queima do gás de aterro gerado e a possibilidade de compostagem da fração putrescível.

3.1 Modelo Utilizado

A metodologia do Inventário de Ciclo de Vida, proposta pela ISO 14040, foi utilizada para avaliar as comparações ambientais dos cenários alternativos ao sistema atual de gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos da cidade, utilizando o *software Integrated Solid Waste* (ISW) versão 2.5. Este modelo de apoio à tomada de decisões foi desenvolvido para ajudar, entre outros, na identificação de estratégias ambientais e economicamente eficientes para a gestão integrada de resíduos sólidos urbanos (SOLANO et. al., 2002). O modelo utilizado neste *software* analisa o processo desde o momento em que o material se torna lixo e termina quando ele deixa de ser resíduo e se torna um material reaproveitado, um material residual aterrado ou uma emissão na atmosfera ou para a água. O modelo é alimentado com informações sobre o lixo, energia (combustíveis e energia elétrica) e outras matérias primas utilizadas. Os dados que este modelo emprega, são: quantidade de material separado, energia consumida e economizada, emissões atmosféricas e na água e quantidade de material aterrado (McDOUGALL, 2001).

3.2 Caracterização do lixo e do sistema de gerenciamento de lixo

Os dados referentes ao sistema atual de gerenciamento de lixo da cidade foram obtidos perante a Secretaria Municipal de Obras e Saúde e Meio Ambiente, diretamente com os responsáveis pelo setor ou funcionários designados por estes. Dentre os dados coletados podem ser citados: quantidade de lixo gerada; composição física do lixo, sistema de coleta, frequência da coleta, tipo de caminhão utilizado na coleta, quilometragem média percorrida pelos caminhões, consumo de combustível dos caminhões, capacidade de transporte dos caminhões, população beneficiada pela coleta, existência ou não de sistema de triagem, reciclagem e tipo de aterro.

O sistema de coleta possui apenas dois estágios, começando quando o lixo sai das casas, indo diretamente para o lixão do município.

Os dados de Inventário usados para a geração de energia elétrica correspondem às características da matriz energética brasileira, uma vez que o modelo utilizado permite o ajuste deste parâmetro.

Nas operações no lixão foram considerados apenas os efeitos relacionados à decomposição do lixo e ao seu gerenciamento, como geração de chorume e gás de aterro. Este trabalho não considerou o efeito do consumo energético durante as operações de disposição e condicionamento do lixo. O gás de aterro é produzido apenas pela parte biodegradável do lixo. O modelo aqui utilizado considera uma geração de 250 m³N de biogás por tonelada de lixo orgânico biodegradável aterrado.

Para analisar os impactos ambientais do sistema de gerenciamento de lixo foi inicialmente realizada uma caracterização física do lixo da cidade. Para isso toda a carga de um caminhão de coleta (4310 kg) foi desviada do aterro e descarregado num ponto onde pudesse ser caracterizado. O lixo utilizado correspondia a uma coleta em toda a cidade realizada numa quinta feira. A descarga do lixo foi feita em cima de uma lona de PEAD de 0,5 mm de espessura. Após a descarga o material foi submetido a um quarteamento, dividindo a carga em quatro partes iguais, sendo que duas partes foram misturadas novamente. As outras duas foram descartadas. Este procedimento foi repetido até se obter uma massa de 588 Kg. Essa última carga foi então separada em seus componentes principais, sendo estes colocados em sacos plásticos e pesados para a determinação da massa de cada um deles no lixo.

A não realização de uma segunda caracterização física do lixo deste município, não foi possível devido a problemas burocráticos e alheios ao desejado para este trabalho.

3.3 Cenários Analisados

Para a realização do ICV foram considerados quatro cenários, sendo o atualmente utilizado considerado como primeiro cenário, de modo que seus resultados servissem de comparação com os outros simulados. A análise do cenário atual considerou a coleta, o transporte, a disposição do lixo da forma que é realizada.

No segundo cenário optou-se apenas por considerar a destinação final dos resíduos sólidos gerados como sendo um aterro sanitário. Onde neste, 100% do gás de aterro gerado, bem como do chorume seria coletado, havendo uma eficiência no tratamento do chorume na

ordem de 50%.

No terceiro cenário foi com as mesmas características do cenário 2, mais a inclusão de 50% processo de reciclagem dos materiais possíveis de separação e reaproveitamento.

No quarto cenário foram considerados todos os dados utilizados no terceiro cenário mais a implantação de um processo de 50% de compostagem da matéria orgânica, mantendo o nível de reciclagem de materiais apresentados pelo cenário anterior.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir deste ponto serão detalhados o sistema de GRSU do município pesquisado, o modelo utilizado e algumas características importantes do mesmo e os cenários utilizados nas simulações.

4.1 Caracterização do sistema de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos

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 39.256 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 e geração anual é de 5.641 toneladas.

O lixo é coletado por dois caminhões caçamba de 12m³ com consumo de combustível de 1,87 Km/L durante a coleta, percorrendo em média 70 km/dia, consumindo 900 L/mês de óleo diesel. A disposição final dos resíduos é realizada em um lixão, sem coleta do gás de aterro nem coleta e tratamento de chorume. O Município não possui coleta seletiva, sendo que todo o lixo gerado é coletado apenas pelo sistema convencional porta a porta. O Município não realiza a triagem do lixo coletado embora possua a estrutura e as máquinas para tal objetivo.

4.2 Cenário atual do município de São Luiz Gonzaga

Os resultados da caracterização da composição física dos resíduos sólidos urbanos gerados em São Luiz Gonzaga estão apresentados na Figura 4.

Componente	Peso (kg)	Porcentagem (%)
Matéria Orgânica	230	39
Papel	170	29
Vidro	5	0,9
Metal	54	9,1
Plástico	100	17
Têxtil	6	1
Outros	23	4
TOTAL	588 kg	100%

Figura 4: Composição física dos resíduos sólidos urbanos de São Luiz Gonzaga.

Os materiais plásticos foram reclassificados em plásticos filme e rígido e os metais em ferrosos e não-ferrosos. A figura 5 apresenta o detalhamento da composição desses materiais.

Material	Quantidade em kg	Representatividade em %
Metal ferroso	44	81,5
Metal não-ferroso	10	18,5
Plástico filme	28	28
Plástico rígido	72	72

Figura 5: Representação da tela do *software* IWM-2.5 onde devem ser completados os valores referentes à porcentagem dos resíduos sólidos urbanos.

As análises dos valores apresentados nas duas figuras (4 e 5), mostram resultados interessantes de serem discutidos. A quantidade de matéria orgânica presente no lixo desta cidade é bem inferior à média do Brasil, onde este material corresponde a 60~65% da massa. Isso se deve provavelmente, que nesta cidade há um menor desperdício de comida ou a que parte do lixo orgânico esteja sendo utilizado para outros fins. Esta característica é bastante comum nas cidades do interior, onde a matéria orgânica pode ser utilizada na alimentação de animais domésticos ou mesmo compostada. Com relação aos metais ferrosos e não ferrosos (figura 5) pode se observar que a participação dos metais ferrosos é bem mais elevada que os não ferrosos dentro da composição do lixo. Isso se deve a que os metais não ferrosos, como o Alumínio (Al) e Cobre (Cu), possuem elevado valor de mercado dos materiais recicláveis e são muito apreciados pelos catadores de lixo. Isso faz com que apenas uma pequena quantidade deles chegue a ser descartada nos aterros. Essa característica aqui citada se reflete em cima dos índices de reciclagem destes materiais. Segundo a Associação Brasileira do Alumínio (www.abal.com.br, acesso em 26/06/2007) o Brasil recicla 96% das latas de alumínio produzidas no Brasil.

A Figura 6 apresenta uma tela do *software* IWM-2 utilizado para a realização deste trabalho, onde a porcentagem de cada material deve ser adicionada, a fim de se estimar a geração de cada material, bem como os impactos decorrentes desta geração.

IWM-2 Waste Inputs (Scenario SÃO LUIZ GONZAGA)

System Area | Collected Household Waste | Delivered Household Waste | Collected Commercial Waste | Input Summary

Household Waste Generation And Composition:

Amount generated (kg/person/year) 155.0

	Paper	Glass	Metal	Plastic	Textiles	Organics	Other	Total
Composition (% by weight)	29.0	0.9	9.1	17.0	1.0	39.0	4.0	100.0

Data Source: User Select Country

Click the "Advanced" button to select an Energy Grid for this scenario

Detailed Metal Composition: (% by weight) Ferrous 81.5 Non ferrous 18.5

Detailed Plastic Composition: (% by weight) Film 28.0 Rigid 72.0

Streams Results Advanced << Back Main Next >> Print Glossary Help

Figura 6: Representação da tela do *software* IWM-2.5 onde devem ser completados os valores referentes à porcentagem dos resíduos sólidos urbanos.

Na figura 6 fica exposto os valores apresentados nas figuras 4 e 5. O valor 155 é referente à geração estimada de cada habitante em kg em um ano.

Todo o resíduo sólido urbano gerado no município de São Luiz Gonzaga é destinado a lixão, onde não há nenhum tratamento dos gases e do chorume. Todo o resíduo fica exposto a “disposição” dos catadores que recolhem materiais que lhe possam ser úteis para comercialização.

Como já foi citado anteriormente, os caminhões da coleta de lixo percorrem um total de 70 km dentro da cidade para realização da coleta dos resíduos e têm capacidade de recolher até 8 toneladas de lixo por vez.

Na figura 7 estão apresentados os resultados das emissões atmosféricas obtidas durante a avaliação do sistema atual de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos de São Luiz Gonzaga, considerado neste estudo como cenário 1.

Parâmetros	Unidades	Coleta	Lixão	Total
Particulados	g	13.427	Zero	13.427
CO	g	178.718	11.776	190.494
CO ₂	g	32.568.480	832.699.517	865.267.997
CH ₄	g	39.645	370.090.767	370.130.412
NO _x	g	586.051	Zero	586.051
GWP	g	33.401.261	8.604.605.633	8.638.006.894
N ₂ O	g	1	Zero	1
SO _x	g	49.080	Zero	49.080
HCl	g	67	61.233	61.299
HF	g	Zero	12.247	12.247
H ₂ S	g	Zero	188.408	188.408
HC-Totais	g	Zero	1.884.085	1.884.085
HC-Clorados	g	Zero	32.971	32.971

Figura 7: Demonstrativo de valores de emissão de poluentes atmosféricos

As emissões na coleta estão associadas à queima de combustíveis fósseis utilizados pelos caminhões. Deve ser ressaltada neste ponto que o modelo considera emissões de caminhões com maior eficiência de combustão que os utilizados no Brasil, uma vez que os mesmos devem passar por revisões periódicas para atender as legislações sobre emissões atmosféricas de veículos nos seus países de origem. Já no Brasil, a frota de coleta de lixo não passa por estas avaliações periódicas. Ainda, o nosso combustível apresenta uma menor qualidade que os utilizados no modelo. Dessa forma, os valores aqui simulados podem estar muito aquém dos realmente emitidos durante a coleta e podem ser considerados como valores de referência mínima.

De acordo com os dados da figura 7, o sistema de coleta apresenta um potencial de aquecimento global (GWP) de 33.401.261 g de CO₂ equivalentes/ano, o que representa um valor relativamente pequeno, se comparado com o que está sendo emitido pelo lixão. De acordo com o exposto anteriormente, esse valor é o mínimo que pode se esperar.

Já os valores das emissões decorrentes do lixão apresentam valores bastante representativos. No que diz respeito à emissão de gases, a figura 7 mostra que o lixão é o principal agente impactante, pois essa emissão de gases vai direto para o meio ambiente sem que haja qualquer tipo de tratamento.

As emissões de metano (CH₄) estão associadas à degradação anaeróbia da parte orgânica do lixo no lixão e mesmo sendo menores do que CO₂ possuem um impacto maior no meio ambiente, devido ao fato da molécula do CH₄ absorver 21 vezes mais energia do que o

CO₂. Segundo Tchobanoglous e Kreith (2002) o potencial de aquecimento global (GWP) do lixo é estimado em 2,323 toneladas de CO₂ por tonelada de lixo aterrado. O valor do GWP do lixo de São Luiz Gonzaga foi de 1,53 toneladas de CO₂ por tonelada de lixo aterrada, aquém do valor estimado pelos pesquisadores acima citados.

O valor 1,53 foi obtido através da divisão do valor total de GWP (8.638.006.894), por 5.461, que é a geração anual de lixo em São Luiz Gonzaga, daí então que o GWP de São Luiz Gonzaga foi de 1,53 toneladas de CO₂ por tonelada de lixo aterrada.

É importante ressaltar que nesta fase ocorre também a liberação de outros gases, como dióxidos de enxofre e de nitrogênio. Estas substâncias são encontradas nas chuvas ácidas, no entanto estes gases por si só não causam a chuva ácida, mas parte da massa destes poluentes primários é convertida em poluentes secundários, que por sua vez podem ser mais solúveis em água e ácidos mais fortes. Ainda no que diz respeito ao dióxido de nitrogênio, este é solúvel em tecidos biológicos e é oxidante, tendo seus efeitos na saúde humana no sistema respiratório.

Além da emissão de gases do efeito estufa o lixão também emite outros gases de preocupação como o ácido clorídrico (HCl), ácido fluorídrico (HF), ácido sulfídrico (H₂S), hidrocarbonetos totais e clorados. Dentre estes últimos citados há vários gases com características carcinogênicas, como o benzeno, tolueno e outros.

Uma observação importante sobre os resultados do modelo se encontra nas emissões de CO₂ e CH₄ do lixão. Segundo Tchobanoglous e Kreith (2002) a emissão de gases dos aterros é composta de 50% de metano e 50% de dióxido de carbono. Estas percentagens são apresentadas em volume. Já o modelo utiliza a representação em massa (g) de gases produzidos.

Na figura 8 está representado um resumo das emissões atmosféricas mais importantes simuladas no sistema atual de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos de São Luiz Gonzaga.

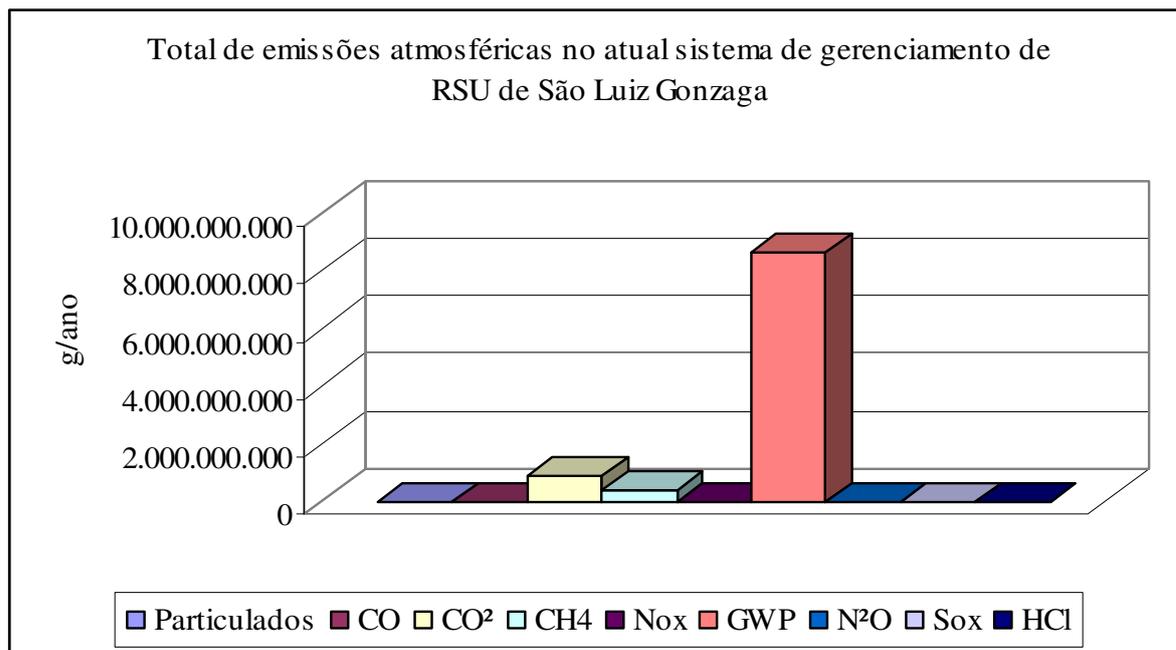


Figura 8: Representação do total de emissão de poluentes atmosféricos

Por ser um local de disposição dos resíduos a céu aberto, os processos dentro de um lixão podem ser diretamente influenciado por fatores como o clima, a temperatura e as chuvas. Ainda, através do que foi exposto anteriormente, o lixão é um grande problema não apenas ambiental, mas também de saúde pública, devido à presença de catadores nos lixão, uma vez que a exposição prolongada aos diversos tipos de poluentes pode acarretar graves problemas de saúde, e de vetores.

A figura 9 apresenta os valores simulados das emissões aquosas para o sistema atual.

Parâmetros	Unidades	Coleta	Lixão
DBO	g	0	1.790.069
DQO	g	1	1.790.069
Sólidos Suspensos	g	28.305	819
COT	g	5	1.638
Toxicidade	g	zero	1.638
Hidrocarbonetos clorados	g	zero	844
Cloretos	g	264.902	48.331
Nitrato	g	0	zero
Fosfato	g	0	zero

Figura 9: Demonstrativo de valores de emissão de poluentes aquosos

Entre os resultados obtidos com relação a poluentes aquosos, destaca-se neste cenário o elevado potencial poluidor associado ao aterro. Assim como nas emissões de gases, o lixão também é o principal agente poluidor, com destaque para os parâmetros de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO). Essas elevadas

concentrações de DBO e DQO estão associadas ao chorume que é lançado na natureza sem nenhum tratamento. Através da decomposição dos resíduos e pela ação das chuvas, os resíduos dispostos no lixão de São Luiz Gonzaga geram grandes quantidades de chorume que contaminam o solo e o lençol freático pela liberação de diversos contaminantes.

Os valores apresentados nas figuras seguintes, referentes aos cenários 2, 3 e 4 foram obtidos por meio de simulação e os dados lançados nas figuras 7 e 9 (págs. 34 e 36) foram resgatados para as figuras seguintes.

4.3 Simulação de cenário 2

Nesta simulação do cenário 2 foi considerado um aterro sanitário em substituição do lixão como forma de disposição final dos resíduos sólidos urbanos gerados em São Luiz Gonzaga. Ainda, foi considerada a coleta de 100% de gases e do chorume gerado, sendo que 100 % dos gases seriam queimados e a eficiência da ETE para o chorume seria de 50%.

Neste cenário, as emissões na etapa de coleta dos resíduos foram às mesmas apresentadas no cenário 1.

A figura 10, apresentada a seguir, foi retirada do *software* IWM-2 utilizado para realização das simulações. Nela estão apresentados os resultados de emissões de material particulado em todas as etapas simuladas no cenário 2 em comparação com os valores obtidos no cenário 1.

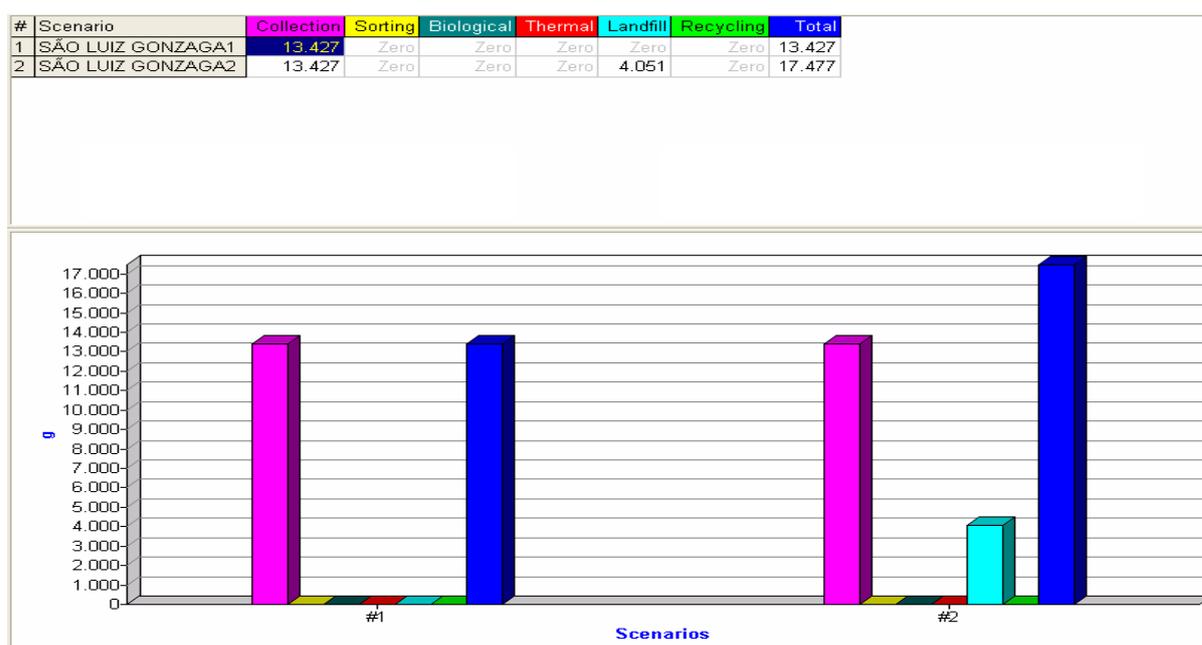


Figura 10: Comparativo de emissão de Particulados nos cenários 1 e 2.

Com relação ao cenário 1, podemos verificar um aumento no valor na emissão de Particulados no cenário 2, em decorrência dos processos dentro do aterro sanitário. Um dos fatores que influenciaria este aumento estaria à queima dos gases de aterro durante o tratamento dos mesmos.

Os resultados comparativos de monóxido de carbono (CO) entre os cenários 1 e 2 estão apresentados na figura 11. Na figura 11 se observa um aumento significativo na emissão de CO no cenário 2 a partir do aterro sanitário. Este aumento se deve à queima de gás de aterro como forma de controle do mesmo. Analisando o valor total de emissão de CO e transformando sua unidade de medida, o cenário 2 emitiria por ano quase que uma tonelada deste poluente para a atmosfera, conforme podemos observar pela mesma figura citada anteriormente.

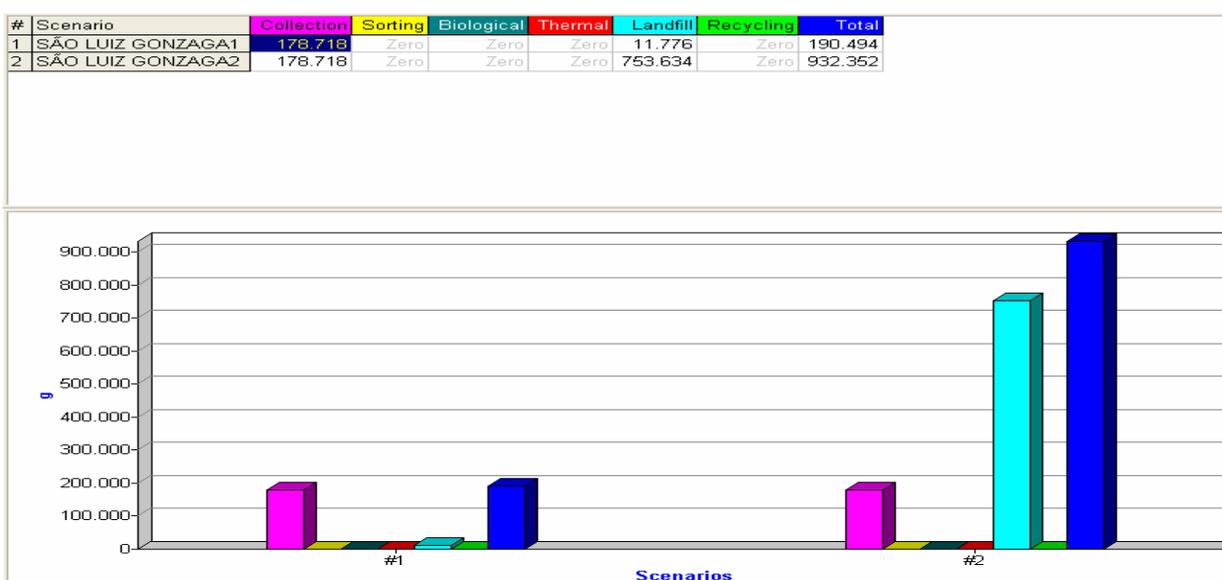


Figura 11: Comparativo de emissão de CO nos cenários 1 e 2.

Esta mesma observação pode ser feita para as emissões de CO₂, mostradas na figura 12. Isto se deve pelo fato de que durante a queima de gases, o CH₄ é transformado em CO₂.

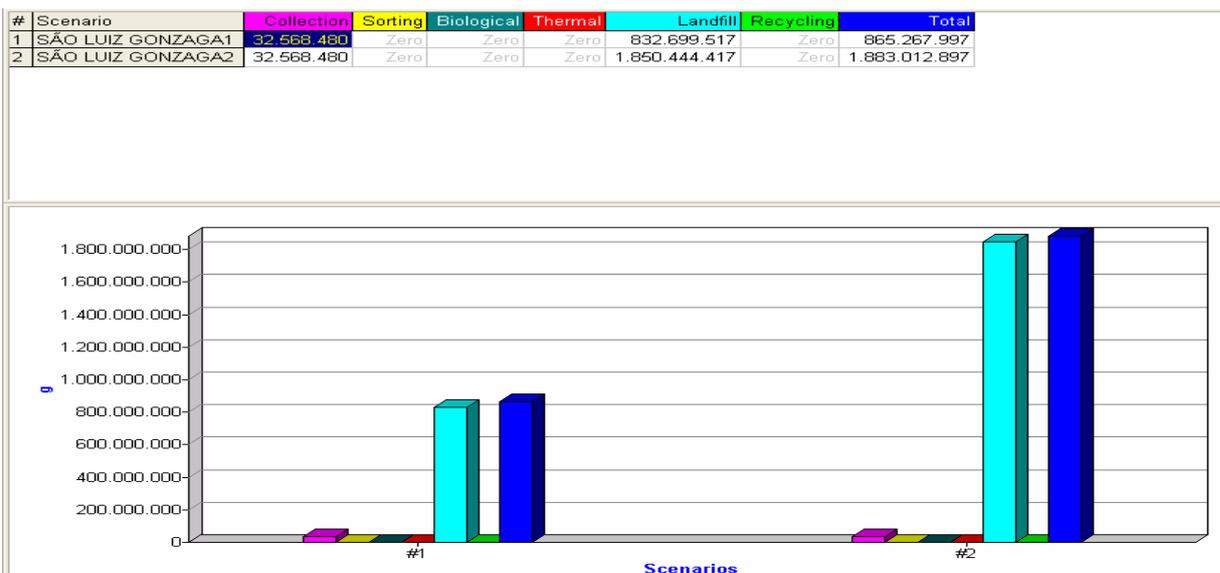


Figura 12: Comparativo de emissão de CO₂ nos cenários 1 e 2.

Por si só, o cenário 1, é altamente impactante, emitindo mais de 800 ton/ano de CO₂ para a atmosfera. Já o cenário 2, emite de acordo com os dados apresentados quase que 2.000 ton/ano de CO₂. Porém, a emissão do CO₂ seja do aterro ou do lixão não pode ser considerado como a emissão de um poluente uma vez que a emissão deste composto forma parte do ciclo biogeoquímico do carbono. O CO₂ dos aterros é proveniente da putrefação de matéria orgânica, que por sua vez o retirou do meio ambiente por meio do processo de fotossíntese.

Já a emissão do metano apresenta um problema sério. Na figura 13 estão apresentadas às emissões de CH₄ simuladas para os cenários 1 e 2. Nesta figura se observa que a emissão de metano no cenário 2 diminui para zero como consequência da queima deste gás. Isto significa a diminuição do impacto das emissões de gases uma vez que a molécula do CH₄ causa um efeito de aquecimento 21 maior que a do CO₂ na atmosfera.

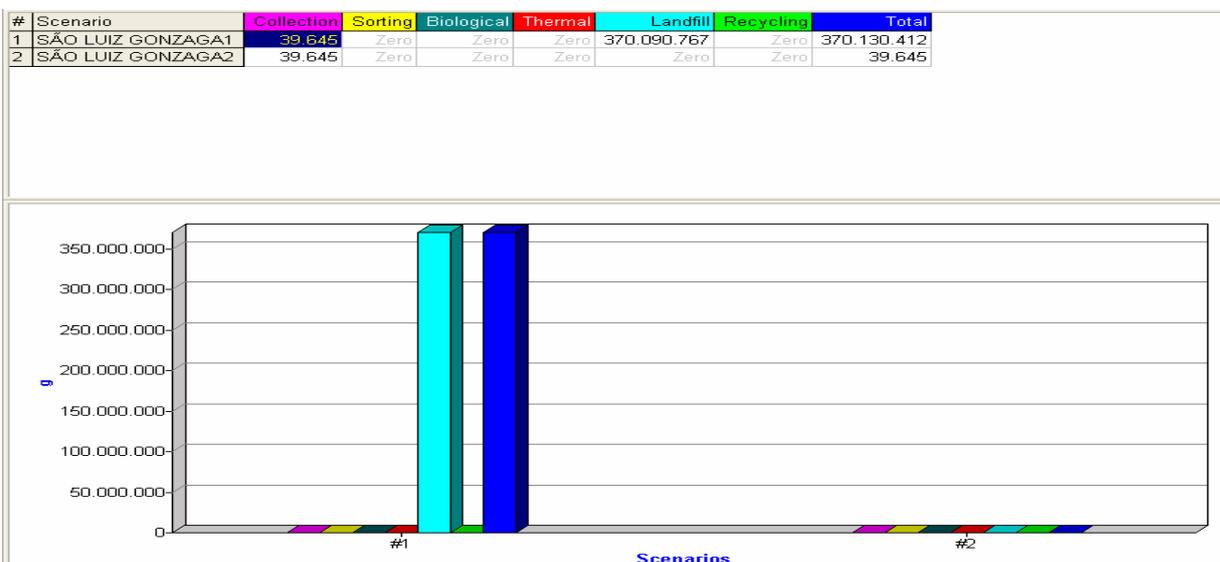


Figura 13: Comparativo de emissão de CH₄ nos cenários 1 e 2.

Referente à emissão de CH₄ apresentada pela figura 13, no cenário 1 temos uma emissão de 370 ton/ano de CH₄. Essa Figura também mostra a importância de um aterro sanitário como forma de disposição final de resíduos sólidos urbanos, no qual a cobertura dos resíduos e a canalização dos gases os mesmos podem ser gerenciados de forma mais adequada. O CH₄ dos aterros é gerado pela decomposição da matéria orgânica do lixo sob condições anaeróbias e não forma parte do ciclo do carbono. Experimentos de laboratório indicam que os resíduos de alimentos produzem maior quantidade de metano, seguidos de papel nos aterros sanitários.

Com relação à emissão de NO_x (vide figura 14), com a simulação realizada, o aterro sanitário contribui na elevação de sua emissão, no entanto, não muito mais poluente que o cenário 1. Esse aumento se deve à queima de gases. Quando essa queima é incompleta, a mesma emite NO_x.

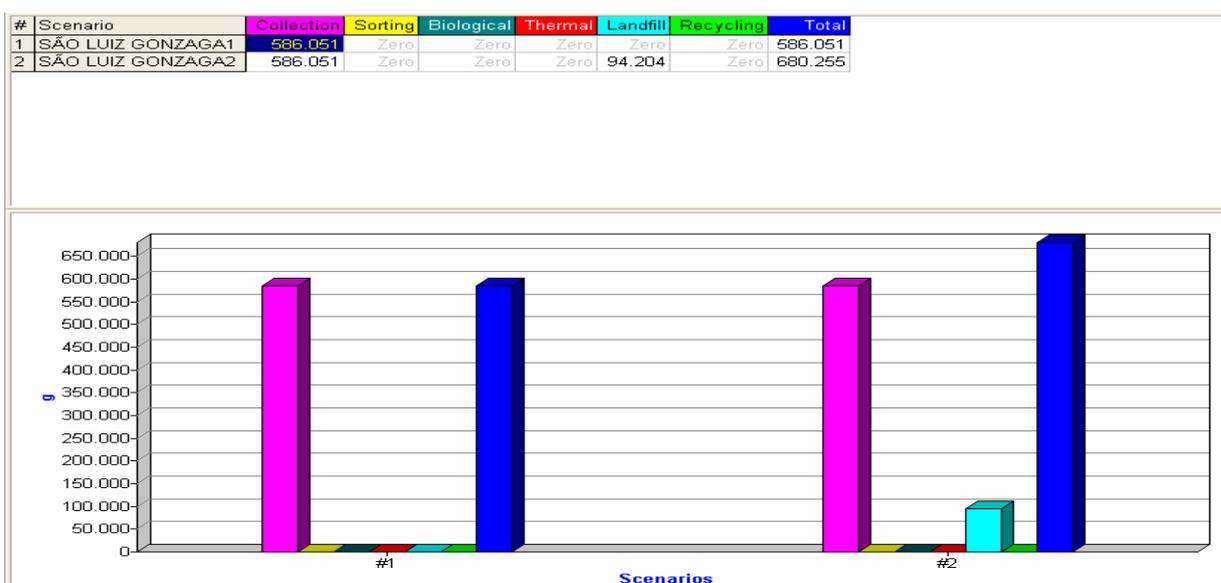


Figura 14: Comparativo de emissão de NO_x nos cenários 1 e 2.

Na figura 15 se apresenta o potencial de aquecimento global associado do lixo para os dois cenários aqui comparados.

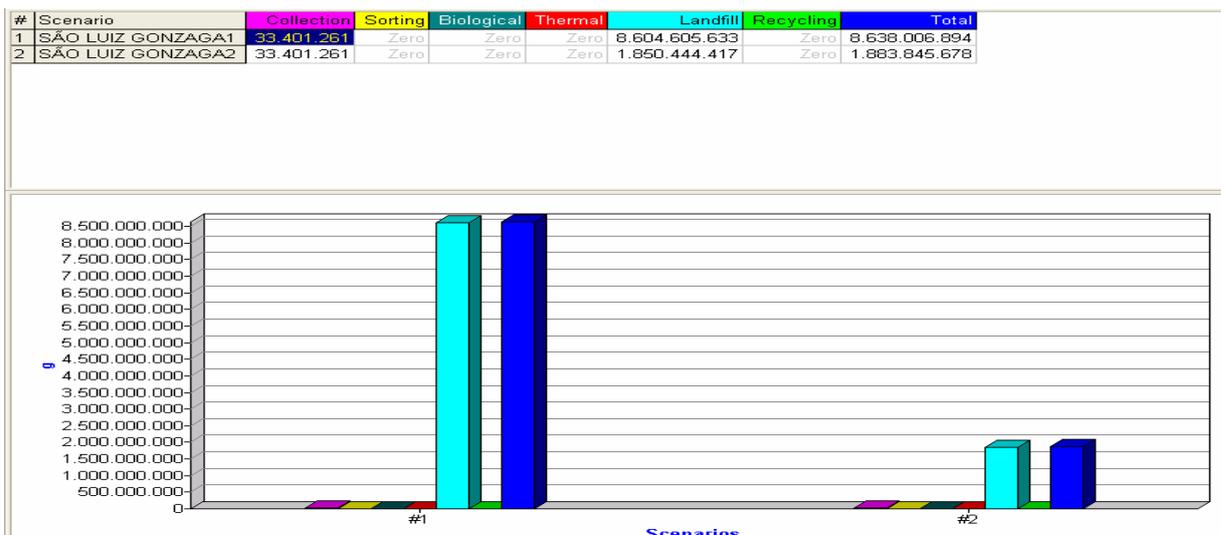


Figura 15: Comparativo de emissão de GWP nos cenários 1 e 2.

Como já explicado anteriormente, o termo GWP é o somatório da emissão dos gases CO_2 , CH_4 e N_2O , este termo indica o potencial de aquecimento global referente à emissão destes gases, e é classificado como uma categoria de impacto através de um acordo internacional. Na análise dos dados, impressiona como ocorre uma grande queda nos valores apresentados na simulação do cenário 2 em comparação com o cenário 1. Esta diminuição está associada à introdução do aterro sanitário e à queima dos gases de aterro, principalmente o metano. Com a introdução do controle de gases no aterro sanitário o potencial de aquecimento global do lixo diminuiria para 0,3387 toneladas equivalentes de CO_2 por tonelada de lixo aterrado.

Para se ter uma melhor compreensão, os valores obtidos nas emissões dos gases CO_2 , CH_4 e N_2O devem ser multiplicados por 1, 21 e 310, respectivamente para converter estes gases em equivalentes de CO_2 , e obter os resultados totais do GWP (*Global Warming Potential*) ou Potencial de Efeito Estufa.

A emissão de SO_x (figura 16) apresenta um aumento no cenário 2. Esse aumento do SO_x está associada à queima dos gases de aterro, onde os compostos de enxofre (H_2S) são transformados em SO_x . A presença de SO_x na atmosfera deve ser controlada, pois este gás é importante constituinte das chuvas ácidas, no entanto estes gases por si só não causam a chuva ácida, mas parte da massa destes poluentes primários é convertida em poluentes secundários, que por sua vez podem ser mais solúveis em água e ácidos mais fortes. Ainda no que diz respeito ao dióxido de nitrogênio, este é solúvel em tecidos biológicos e é oxidante, tendo seus efeitos na saúde humana no sistema respiratório.

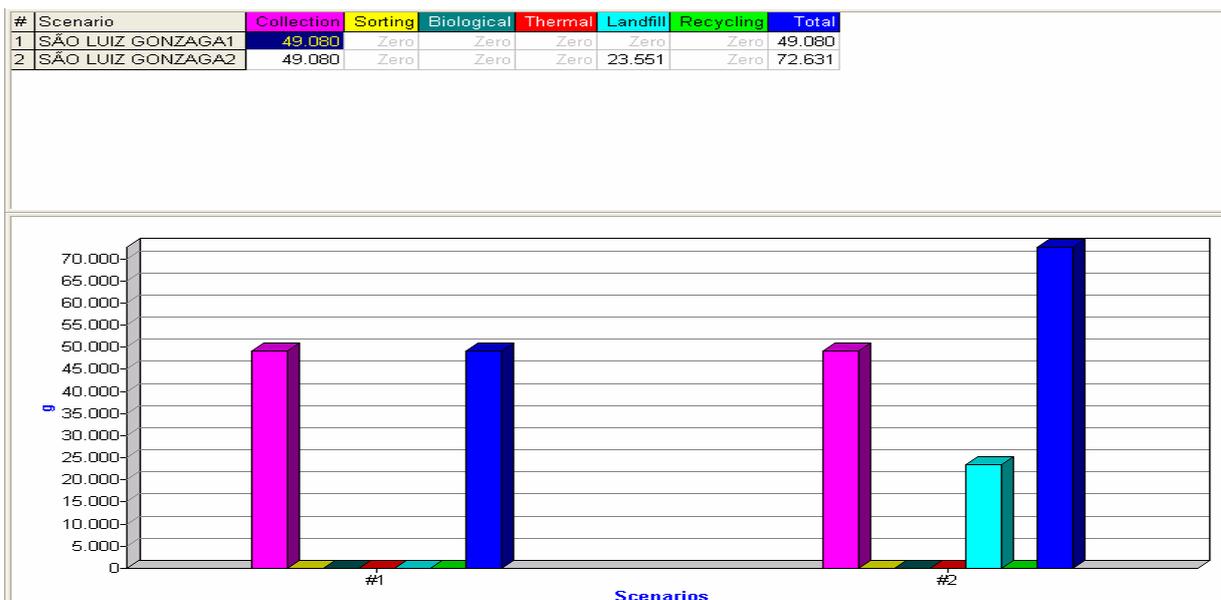


Figura 16: Comparativo de emissão de SOx nos cenários 1 e 2.

Com relação às emissões aquosas, os parâmetros de DBO e DQO (figuras 17 e 18) apresentam uma redução de 45% no cenário 2, embora isso signifique ainda a emissão de grandes quantidades de matéria orgânica no meio ambiente. Esta redução se deve à introdução de uma Estação de Tratamento de efluente com eficiência de 50% para o tratamento do chorume. A redução destes parâmetros pode ser maior se a eficiência da ETE for mais elevada.

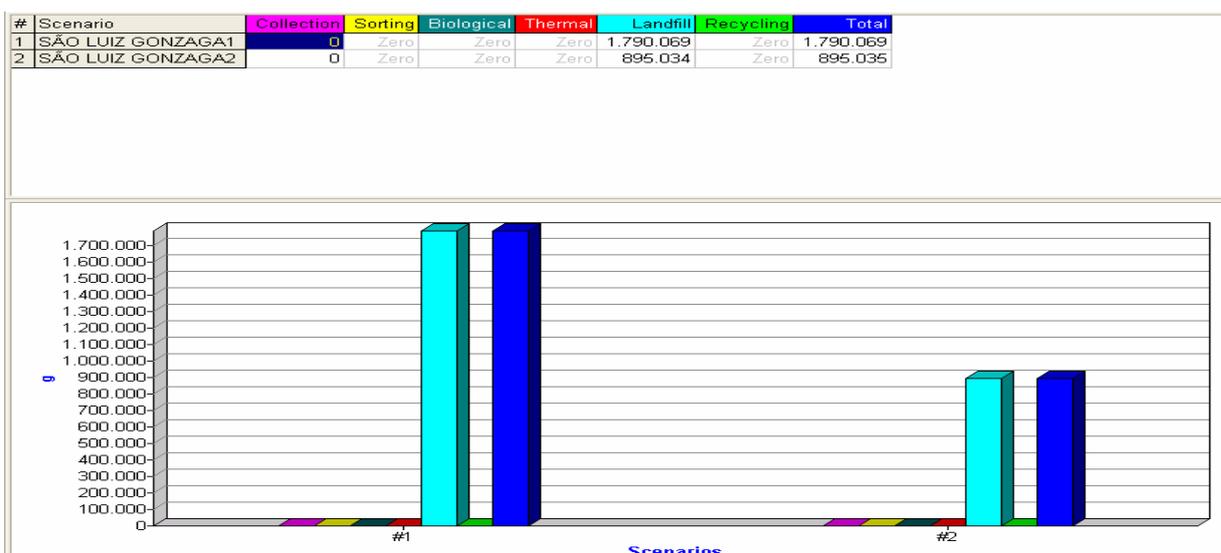


Figura 17: Comparativo de emissão de DBO nos cenários 1 e 2.

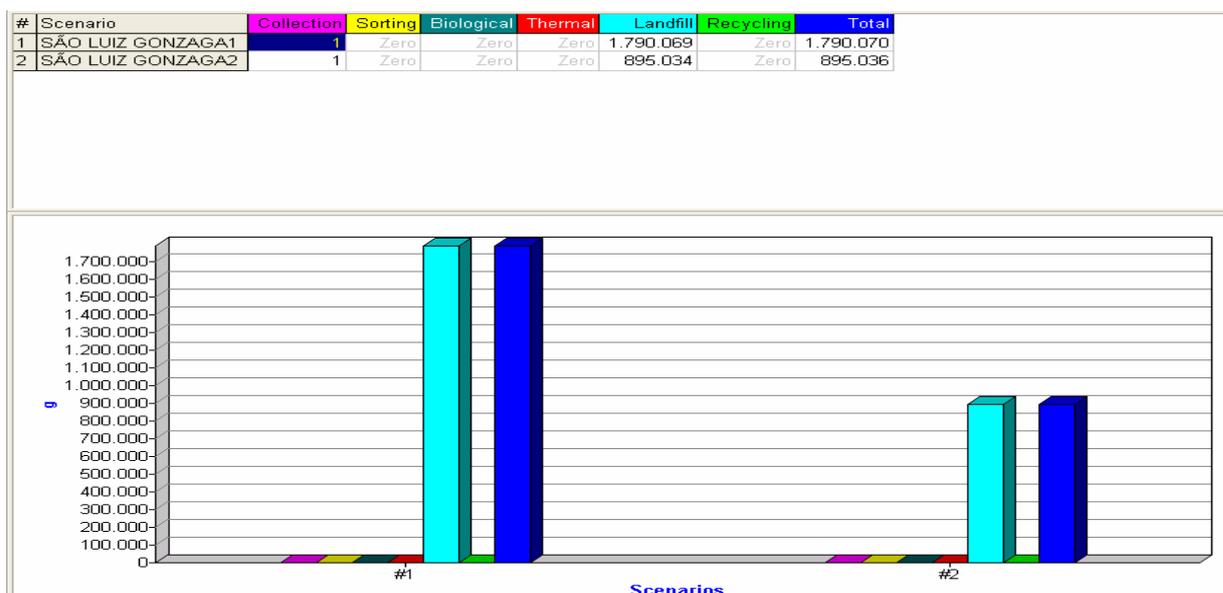


Figura 18: Comparativo de emissão de DQO nos cenários 1 e 2.

A tendência de redução do DBO e do DQO é também acompanhada pelo carbono orgânico total (COT) (figura 19), uma vez que este parâmetro está também associado à matéria orgânica. Este parâmetro apresenta uma redução de ~50% no cenário 2.

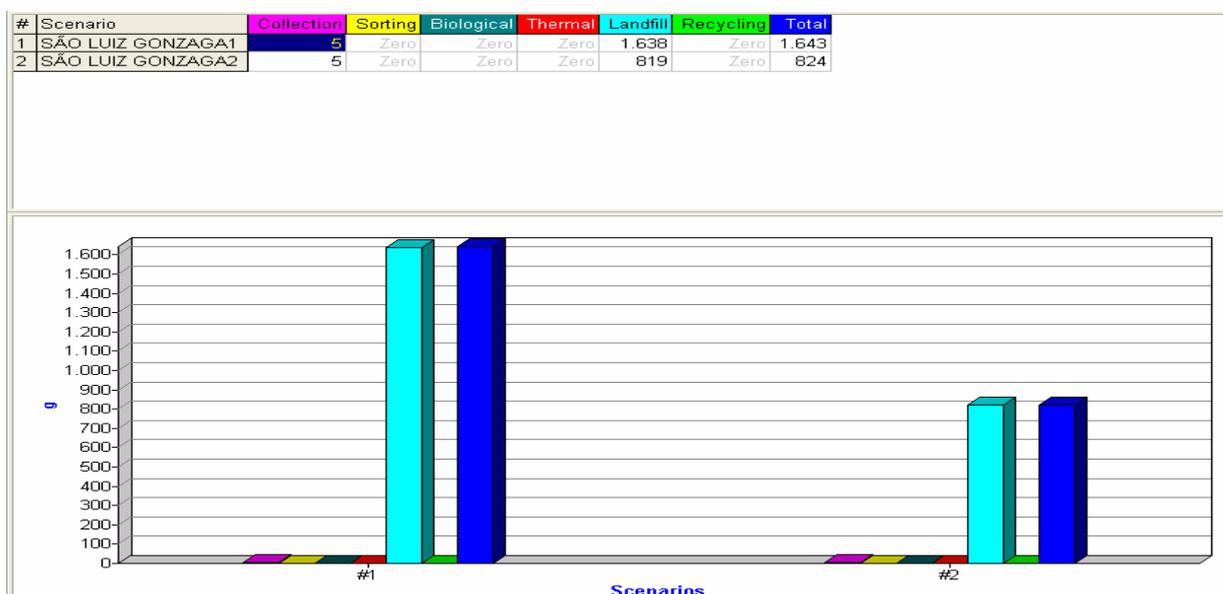


Figura 19: Comparativo de emissão de COT nos cenários 1 e 2.

Porém, é necessário estar atento aos valores dos parâmetros de DBO, DQO e COT, pois somente a relação dos dois primeiros pode indicar se o lixiviado que está sendo emitido possui ou não biodegradabilidade para ser decomposto. Já a relação de COT/DBO também permite verificar se a matéria orgânica presente no lixiviado é ou não pouco biodegradável.

A comparação da remoção de nitrato e de fosfato nos dois cenários está apresentada nas figuras 20 e 21. A simulação mostra que a emissão destes dois compostos é muito baixa, abaixo dos padrões de emissão de efluentes. A comparação mostra que a introdução de um aterro sanitário com tratamento de efluente não diminui a emissão desses dois componentes. Esse comportamento destes elementos está diretamente influenciado pelo tipo de tratamento de efluentes considerado. No caso, o modelo considera um tratamento anaeróbio, o qual tem como principal característica a remoção de matéria orgânica, não sendo adequado para a remoção de nutrientes (CRITES, 1998).

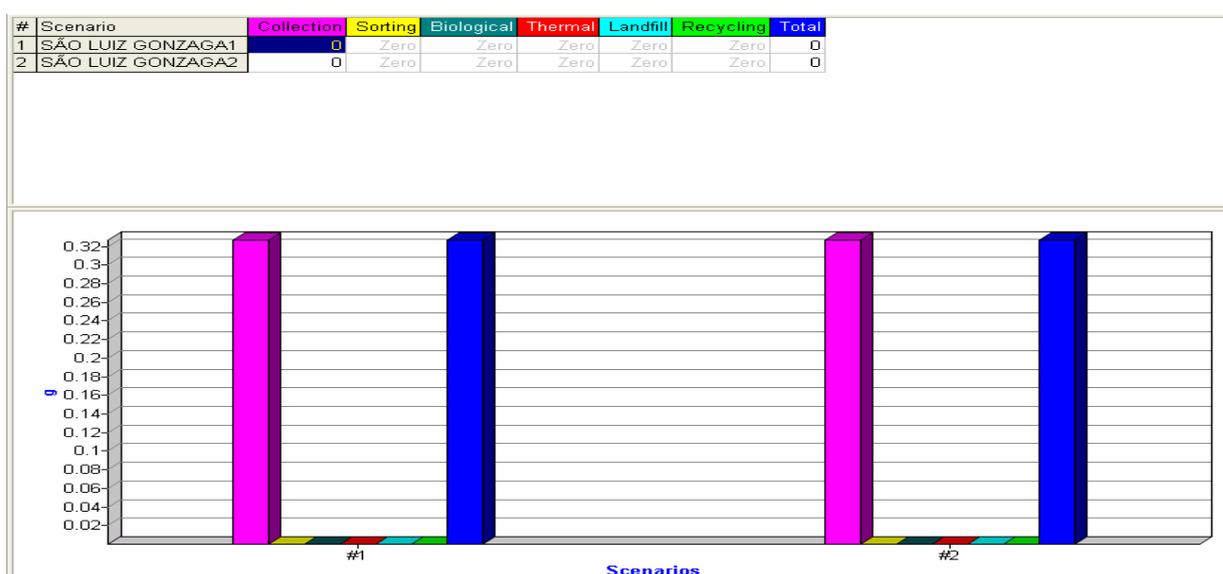


Figura 20: Comparativo de emissão de Nitrato nos cenários 1 e 2.

Com relação aos parâmetros de Nitrato e Fosfato, devemos dar muita ênfase devido ao fato destes serem dois indicadores de eutrofização nos corpos hídricos, podemos notar que os valores obtidos nos cenários 1 e 2 não se alteram. É importante ressaltar neste ponto que as emissões simuladas são muito baixas para as condições aqui consideradas.

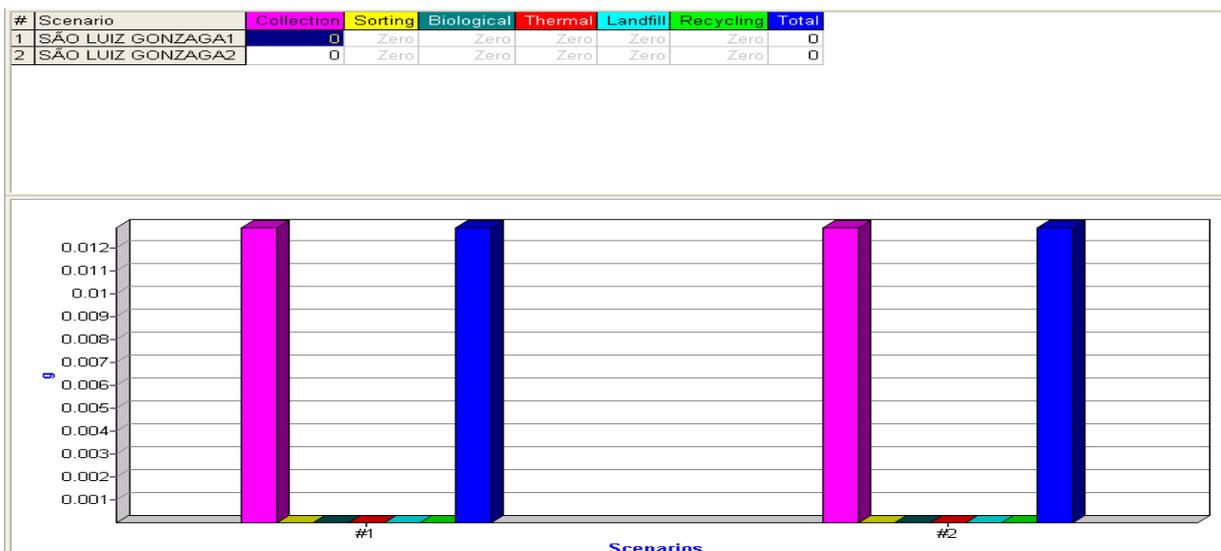


Figura 21: Comparativo de emissão de Fosfato nos cenários 1 e 2.

4.4 Simulação do cenário 3

Neste cenário foram utilizadas as mesmas condições do cenário 2, acrescidas de uma reciclagem de 50% dos materiais recicláveis. Os valores que aparecem em vermelho nos gráficos indicam que o poluente analisado deixa de ser emitido.

Em relação ao parâmetro de emissão de material particulado, podemos ver a significativa contribuição do processo de reciclagem empregado nesta simulação. Transformando o valor que é apresentado em vermelho, temos que mais de 700 kg de material particulado deixa de ser emitido. Essa redução da emissão de material particulado poderia ser interpretada como sendo que a reciclagem retira material particulado da atmosfera. Porém, esses valores são negativos, pois a utilização de matéria prima secundária (material reciclado) implica numa redução de emissões já que a matéria destes processos é um material mais puro, cuja transformação implica num menor consumo de energia, numa menor quantidade de geração de resíduos sólidos, etc. (figura 22).

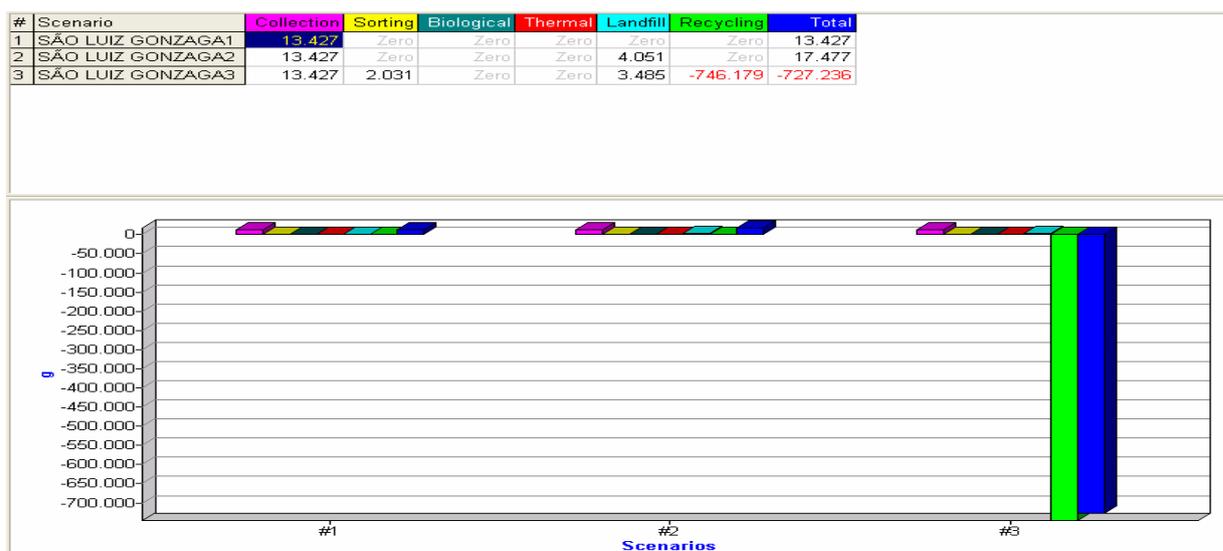


Figura 22: Comparativo de emissão de Particulados nos cenários 1, 2 e 3.

Essa contribuição da reciclagem se reflete também em cima de outros parâmetros. Na figura 23 está apresentada à comparação das emissões do CO nos três cenários avaliados até agora. Uma vez mais a reciclagem apresenta uma contribuição significativa sobre o balanço das emissões fazendo com que o valor desta no terceiro cenário apresente um valor negativo. Dessa forma, a reciclagem de materiais separados do lixo, além de economizar recursos naturais, contribui para a diminuição de emissões, significando com isso um ganho ambiental.

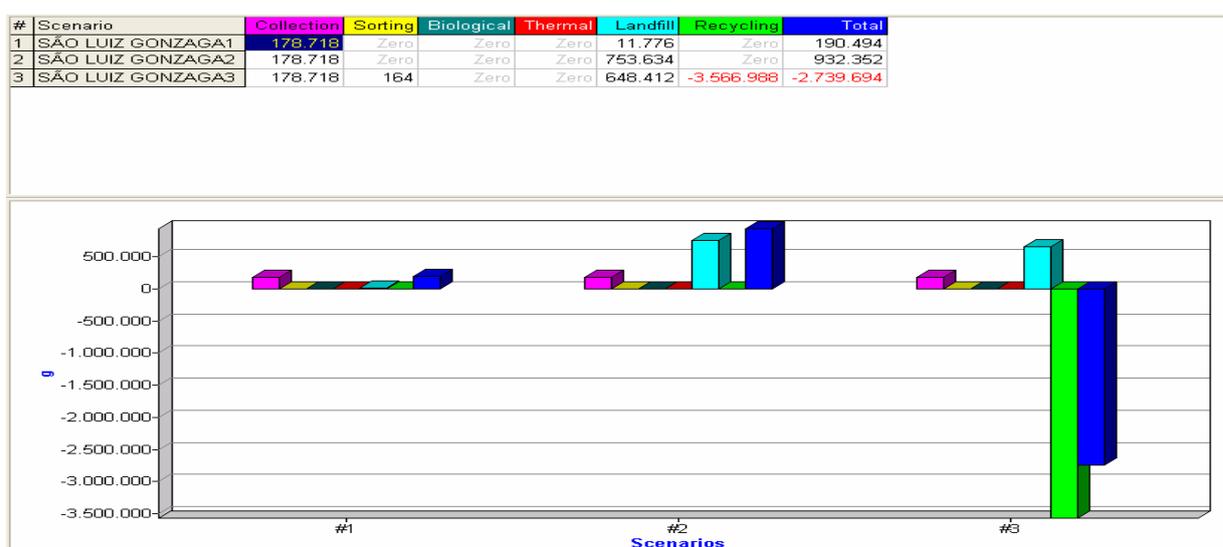


Figura 23: Comparativo de emissão de CO nos cenários 1, 2 e 3.

Por intermédio da separação e reciclagem de 50% dos materiais recicláveis, quase 3 toneladas de CO por ano deixam de serem emitidas para o meio ambiente, se sobrepondo aos efeitos das emissões de CO no aterro e na coleta nos três cenários.

Embora a reciclagem considerada no cenário 3 evite a emissão de 763 toneladas de CO₂ por ano, esta quantidade não se sobrepõe à emissão de CO₂ resultante da queima de gases no aterro sanitário. Porém, o uso de matéria prima reciclada faz com que haja uma redução de 50% (p/p) da quantidade de CO₂ total emitido (vide figura 24).

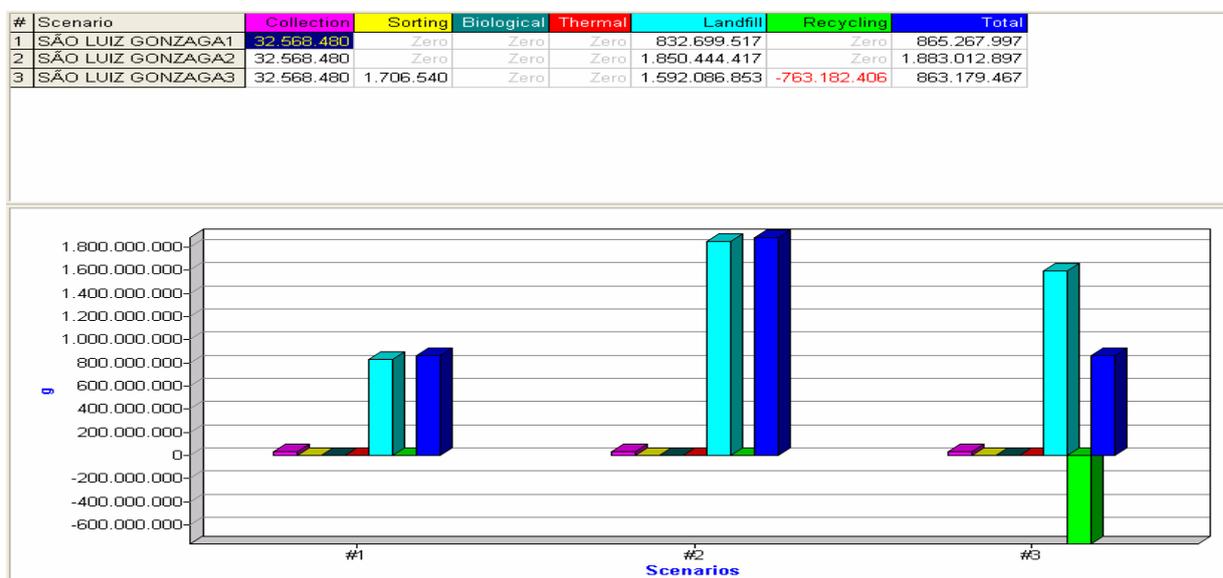


Figura 24: Comparativo de emissão de CO₂ nos cenários 1, 2 e 3.

Embora a reciclagem retire da massa de lixo que vai para aterro parte do material gerador de CH₄, a sua contribuição para a diminuição da emissão deste componente é muito baixa. A maior parte do controle se realiza por meio da queima dos gases de aterro. Na figura 25 estão apresentadas às comparações da emissão de CH₄ nos 3 cenários.



Figura 25: Comparativo de emissão de CH₄ nos cenários 1, 2 e 3.

Na análise do parâmetro de NOx (Figura 26) pode se observar que na comparação entre os dois primeiros cenários houve uma elevação nos valores obtidos. Porém, no terceiro cenário, tem-se uma grande carga poluidora não sendo emitida, chegando na sua totalidade de pouco mais de 2 ton/ano.

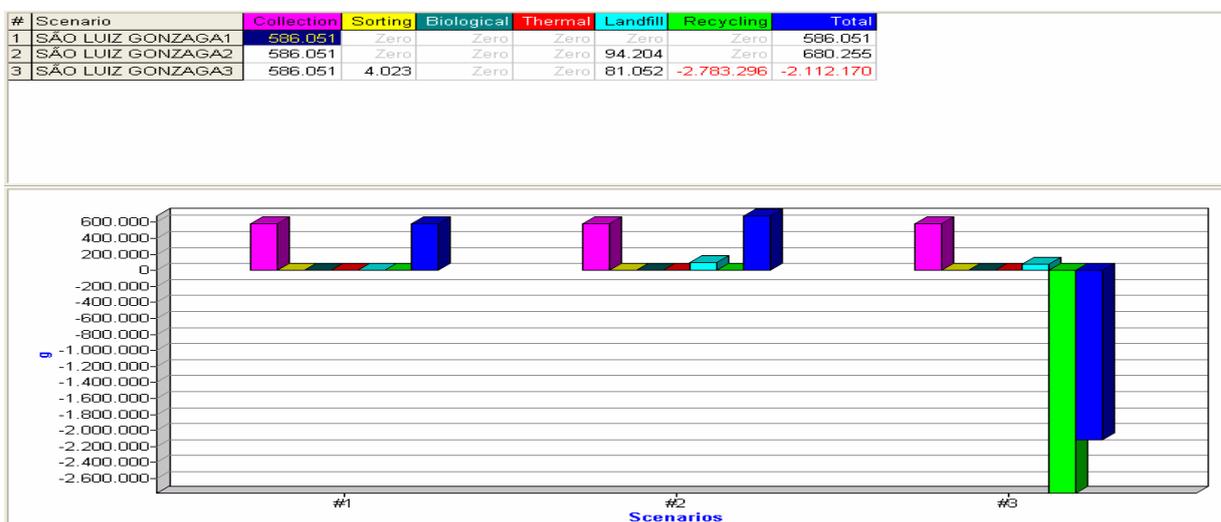


Figura 26: Comparativo de emissão de NOx nos cenários 1, 2 e 3.

A diminuição das emissões dos gases considerados causadores do efeito estufa analisadas nos gráficos anteriores demonstra que o potencial de aquecimento global do cenário 3 é muito menor que o do cenário 1 e 2 (figura 27). Isso fortalece a idéia de que o processo de reciclagem além de gerar economia na extração de recursos naturais para fabricação de produtos e energia para produção dos mesmos contribui na diminuição de emissão de gases poluentes para a atmosfera.

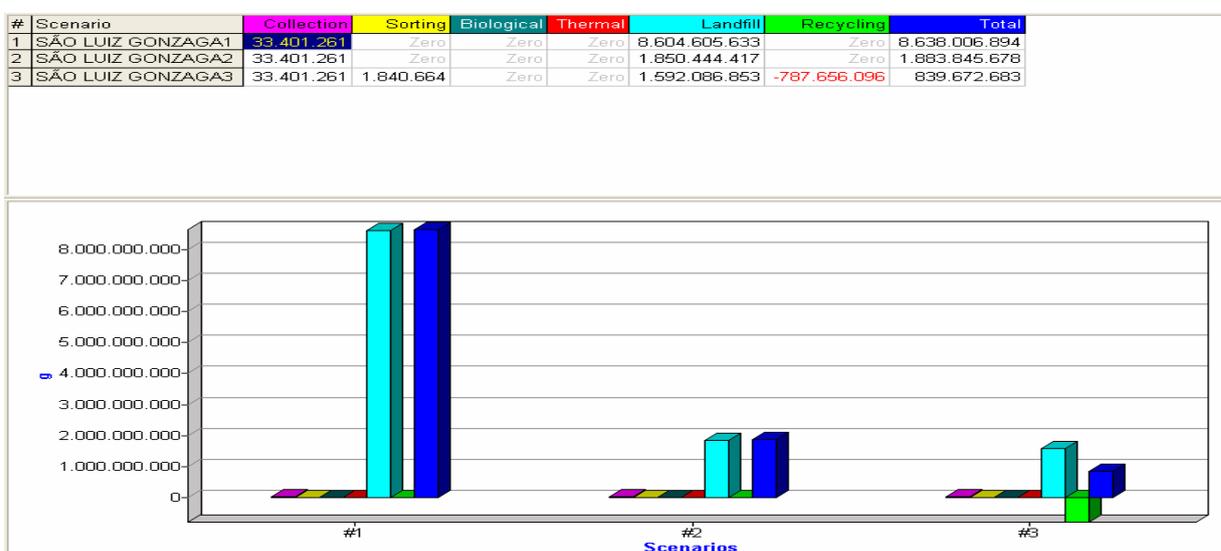


Figura 27: Comparativo de emissão de GWP nos cenários 1, 2 e 3.

Analisando a figura 27, destaca-se que o acréscimo do processo de reciclagem não permite a liberação desses gases diminuindo o efeito estufa.

A contribuição da reciclagem sobre a diminuição da emissão de SO_x está detalhada na Figura 28. Na Figura se observa que a reciclagem apresenta uma economia na emissão de 3,4 toneladas por ano deste componente. Mais uma vez, esta diminuição está associada ao uso de material secundário.

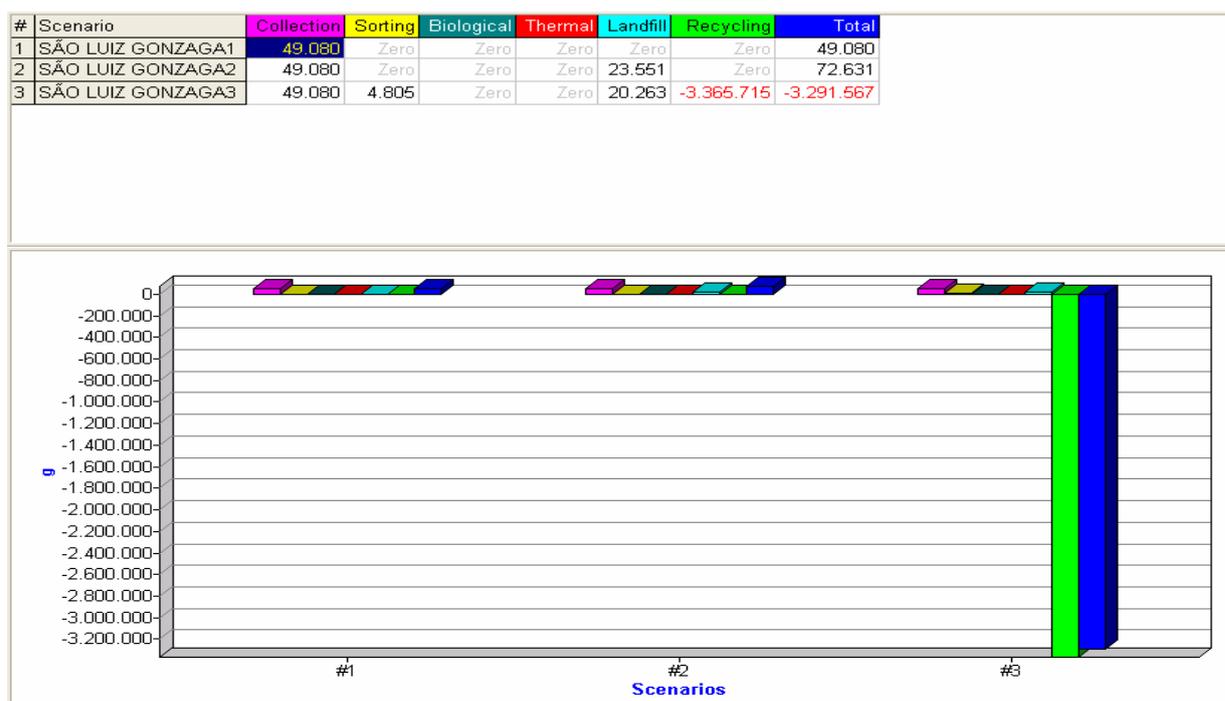


Figura 28: Comparativo de emissão SO_x nos cenários 1, 2 e 3.

Por ser um gás que está presente nas chuvas ácidas, e também por esta não ocorrer aonde haja a liberação dos gases que a formam, ambientalmente, é muito positiva a contribuição dada pela reciclagem.

Contrariamente ao observada na emissão de gases, o efeito da reciclagem sobre as emissões de caráter hídrico pode ser significativo. Este aumento da emissão de DBO e DQO (mostradas nas Figuras 29 e 30) está associado à lavagem e ao reprocessamento de material secundário para sua reutilização.

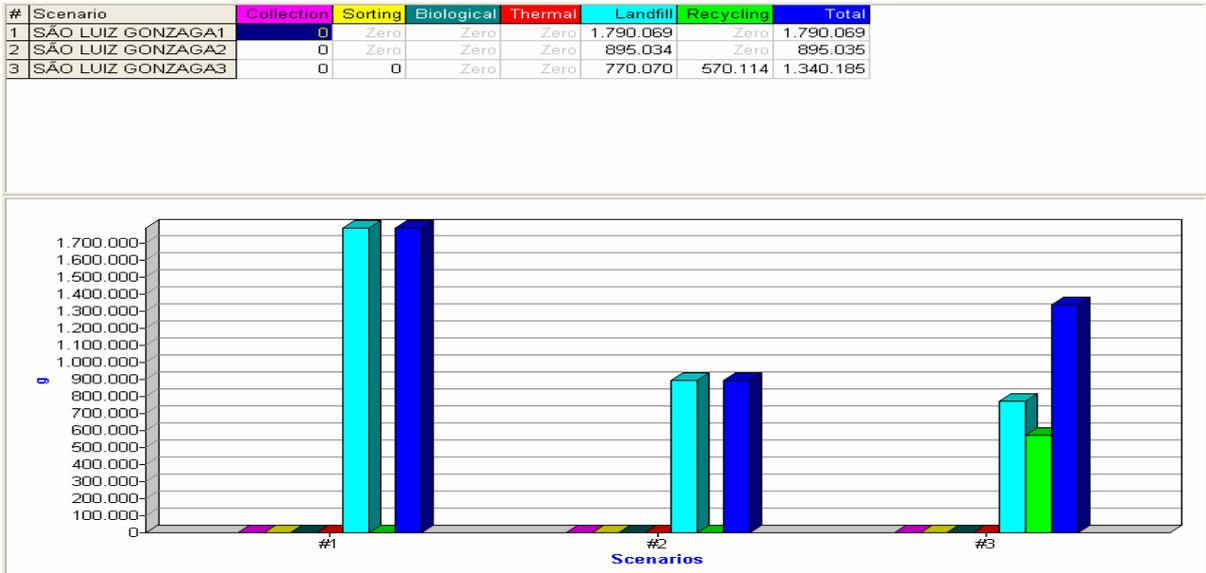


Figura 29: Comparativo de emissão de DBO nos cenários 1, 2 e 3.

Com relação ao parâmetro da DBO no cenário 3, o seu valor é pouco menor que o valor existente no cenário 1. O inverso ocorre com o parâmetro da DQO, onde o processo de reciclagem permite que quase 19 ton/ano/DQO não sejam emitidas ao meio ambiente (figura 30).

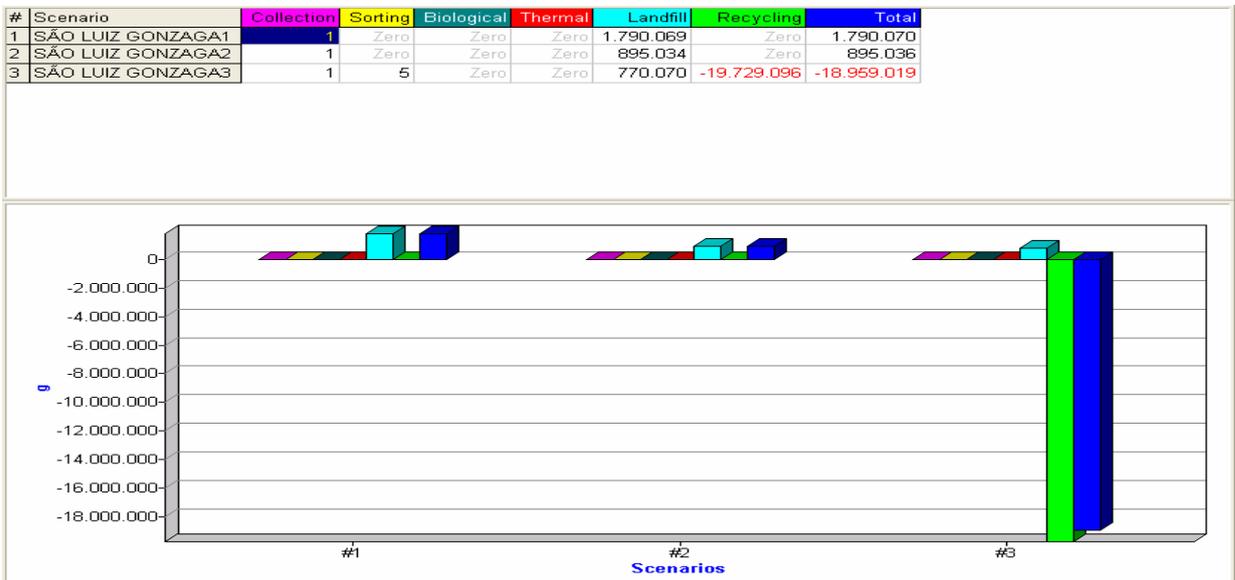


Figura 30: Comparativo de emissão de DQO nos cenários 1, 2 e 3.

O COT segue o mesmo comportamento da DQO. O uso de água para lavagem e reprocessamento de material secundário gera um efluente com carga orgânica que é responsável pela geração de DBO e COT nos efluentes (figura 31). Nas lavagens,

principalmente dos materiais plásticos, são utilizados sais para limpeza desses materiais. Esses sais são, portanto responsáveis pela elevação das emissões cloretos nos efluentes do cenário 3, como podem ser visto na figura 32.

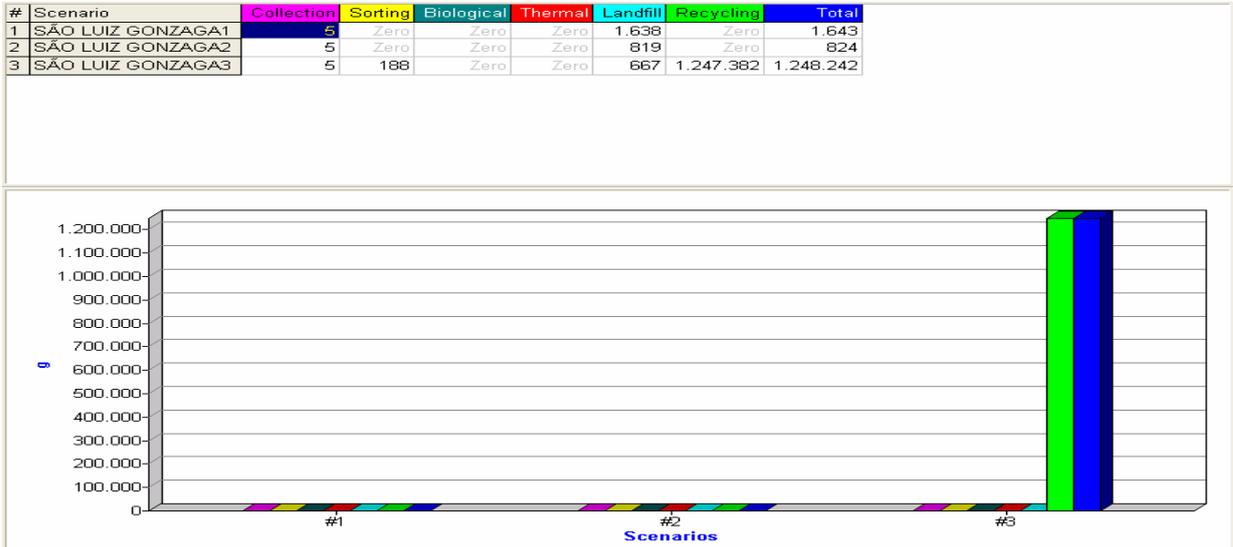


Figura 31: Comparativo de emissão de COT nos cenários 1, 2 e 3.

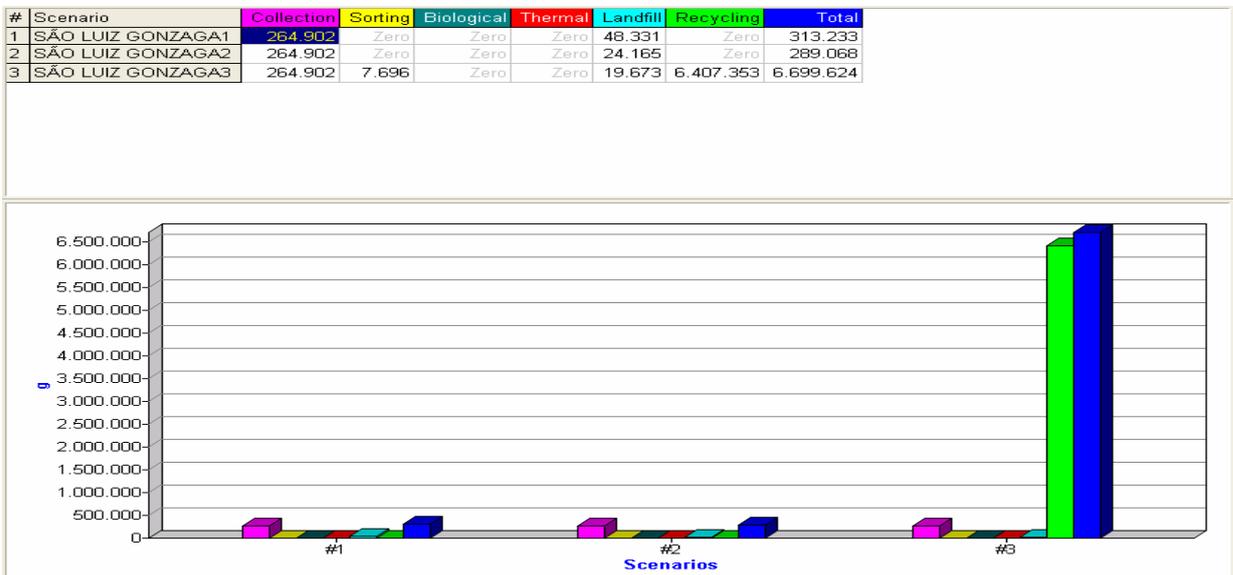


Figura 32: Comparativo de emissão de Cloretos nos cenários 1, 2 e 3.

A introdução da reciclagem no cenário 3 apresenta efeitos diferentes sobre as emissões de nitratos e de fosfatos. A análise da figura 33 mostra que a emissão de Nitratos no cenário 3 aumenta para aproximadamente 360 kg/ano. A emissão destes elementos nos cenários 1 e 2 era praticamente zero. Essa emissão pode ser associada aos processos de lavagem e preparação do material separado para seu reprocessamento. Já o fosfato (figura 34)

é afetado de forma inversa. Embora os aditivos (detergentes) usados contenham elevadas concentrações de fosfato, a utilização de matéria prima secundária (separada do lixo) evita a emissão de quantidades deste composto, que seriam emitidas se fossem utilizadas matérias primas virgens.

É importante ressaltar neste ponto que o modelo, ao fazer estas estimativas, compara o uso de material secundário com o uso de matéria prima virgem. Em muitos casos, a produção de matéria prima virgem exige um dispêndio muito elevado de energia e a emissão de grandes quantidades de poluentes no meio ambiente (considera como exemplo a energia consumida na produção primária do Alumínio e a emissão de poluentes líquidos na produção de papel). Dessa forma, se considera o uso de matéria prima secundária, deve-se considerar também a economia de energia que isso significa assim como a redução de emissões gasosas e líquidas relacionadas a esta matéria prima.

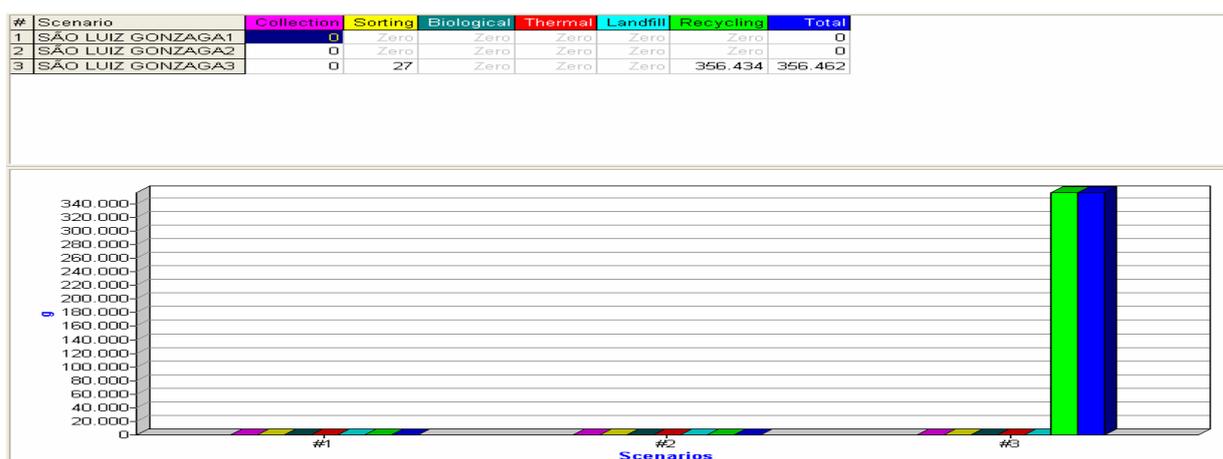


Figura 33: Comparativo de emissão de Nitrato nos cenários 1, 2 e 3.

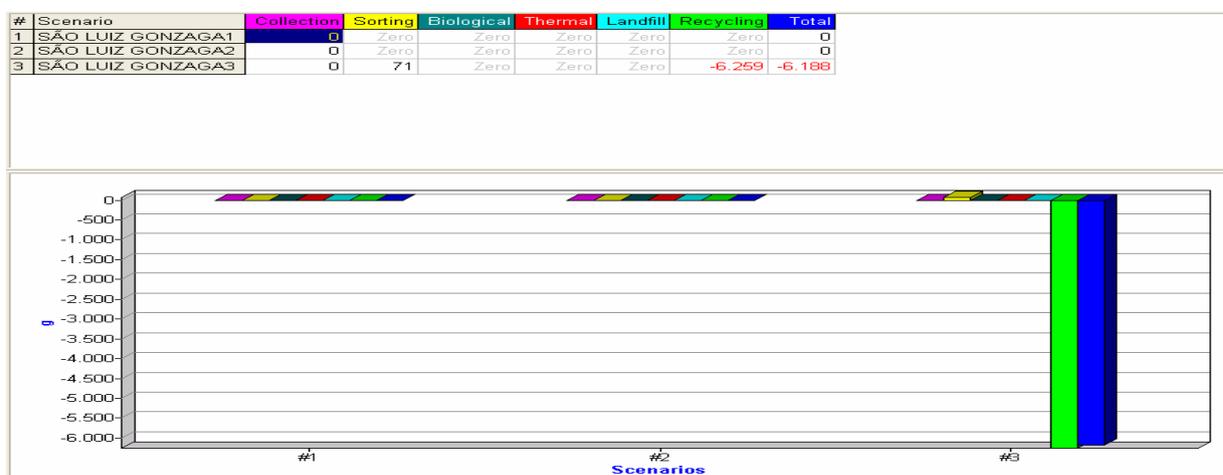


Figura 34: Comparativo de emissão de Fosfato nos cenários 1, 2 e 3.

4.5 Simulação do cenário 4

Neste cenário a simulação foi realizada baseada nas mesmas características do cenário 3, adicionando-se, porém, a compostagem de 50% da massa da matéria orgânica gerada no município de São Luiz Gonzaga. Os resultados obtidos são apresentados em forma de comparação com os resultados obtidos nos três cenários anteriores.

Nota-se que o ingresso do processo da compostagem contribui para o aumento da emissão de particulados, porém numa quantidade muito pequena, Esse aumento está associado à movimentação de maquinarias para a preparação e gerenciamento da compostagem. Isso faz com que no resultado total, o valor obtido no cenário 4 seja levemente maior do que no cenário 3.

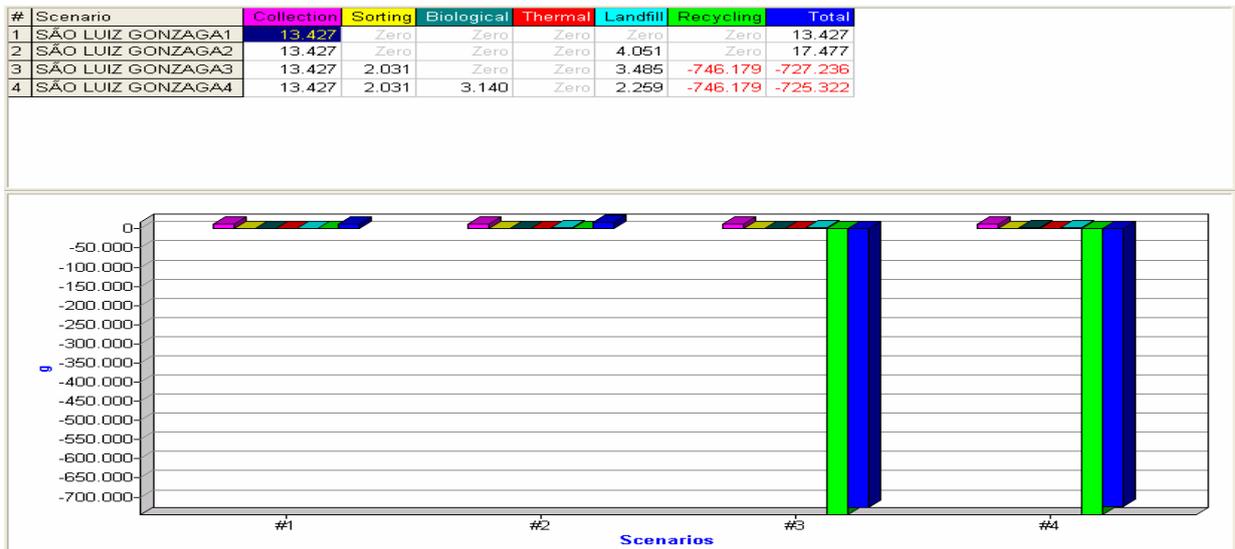


Figura 35: Comparativo de emissão de Particulados nos cenários 1, 2, 3 e 4.

No caso da emissão de CO (figura 36) podemos verificar através dos resultados obtidos que apesar da contribuição na emissão pelo processo de compostagem, a emissão causada pelo aterro diminui devido a que um volume menor de resíduos orgânicos é disposto. De acordo com esta simulação, caso fossem adotados todos esses processos, a redução da emissão anual de CO seria de quase 3 ton. Cabe lembrar neste ponto que as emissões de CO estão associadas à queima de gases. Embora 50% da massa de matéria orgânica seja destinada à compostagem, a redução da emissão deste gás no aterro é reduzida apenas em 228.056 g/ano.

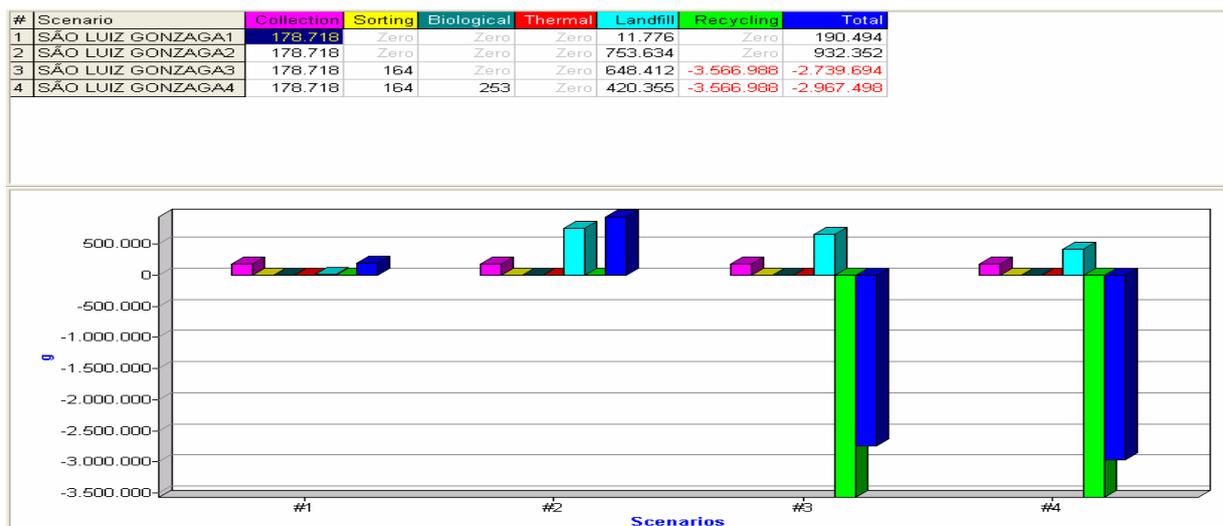


Figura 36: Comparativo de emissão de CO nos cenários 1, 2, 3 e 4.

Com relação à emissão do CO₂, mostrada na figura 37, pode-se observar que a própria compostagem emite 2,6 t/ano de CO₂. Essa emissão forma parte da transformação aeróbica da matéria orgânica durante o processo de compostagem, uma vez que o modelo considera a transformação de 50% da matéria orgânica em gás.

Já o desvio de 50% da matéria orgânica do aterro significou uma redução de 36% nas emissões de CO₂ do aterro. Esta redução se sobrepõe às emissões registradas na compostagem, fazendo com que, no balanço geral, haja uma redução de 35% na emissão de CO₂ se comparadas com as emissões do cenário 3.

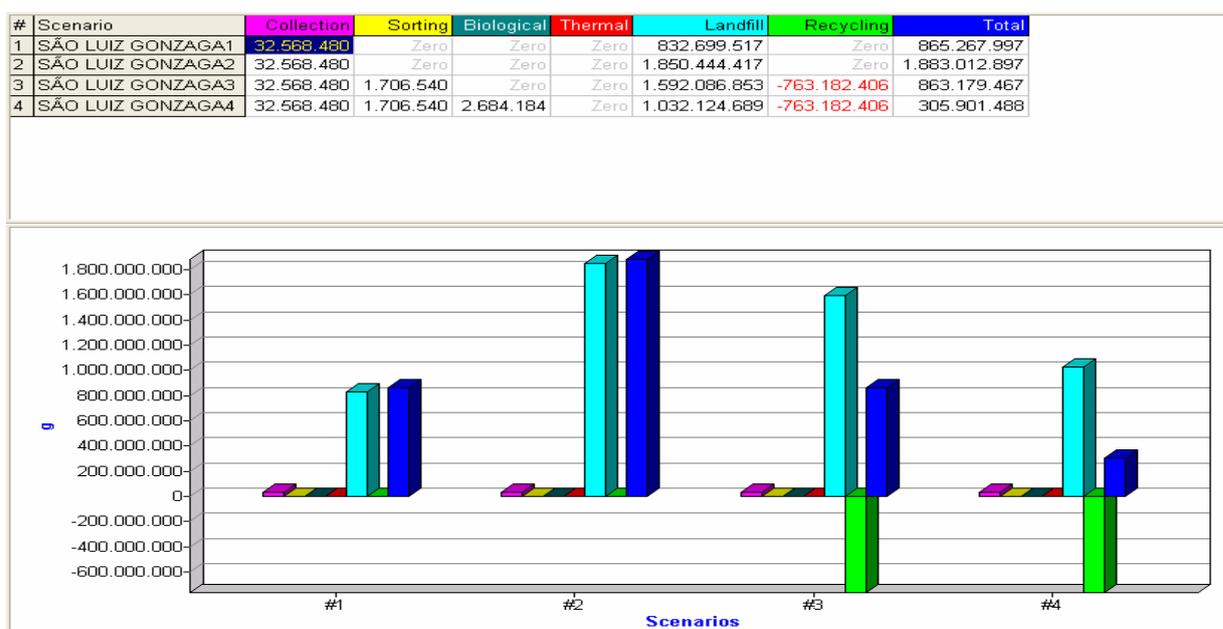


Figura 37: Comparativo de emissão de CO₂ nos cenários 1, 2, 3 e 4.

Em referência à emissão de CH₄ simulada para este cenário e apresentada na figura 38, o valor total apresentado apresenta um aumento não maior do que 1% do valor total obtido no cenário 3 em decorrência das emissões de metano durante a compostagem. Como pode ser observada na figura 38, a reciclagem tem uma boa contribuição sobre as emissões uma vez que retém a liberação de 1,3 t/ano de CO₂. Mas ela demonstra também que a queima de gases de aterro é o principal fator para o controle da emissão deste poluente tão importante.



Figura 38: Comparativo de emissão de CH₄ nos cenários 1, 2, 3 e 4.

Na mesma tendência, a emissão de NO_x atinge um valor mais favorável ao meio ambiente no cenário 4 (figura 39).

Essa tendência observada se deve a redução de matéria orgânica aterrada, que acarreta uma redução da quantidade de gás gerado no aterro, o que por sua vez causa uma redução na quantidade de gases a serem queimados. Reduzindo a quantidade queimada, se reduz diretamente a quantidade de NO_x emitido, uma vez que ele é gerado principalmente na queima dos gases.

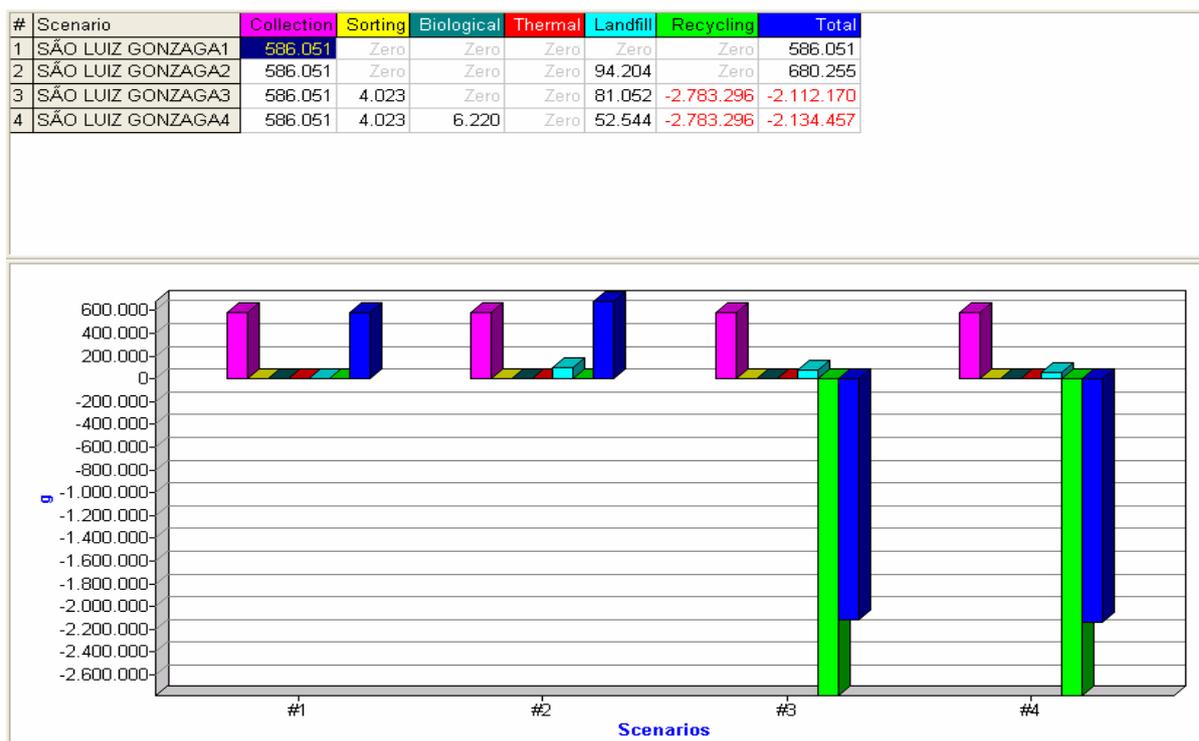


Figura 39: Comparativo de emissão de NOx nos cenários 1, 2, 3 e 4.

Nos termos de emissões de NOx, vemos que apesar dos índices de emissão ocorridos na triagem dos materiais, na compostagem e no aterro, os valores mais elevados vem da coleta, devido a queima do combustível, fazendo que seja o fator de maior impacto no sistema para este caso.

A avaliação do potencial de aquecimento global (GWP Figura 40) associado ao quarto cenário mostra que a retirada de 50% da matéria orgânica da massa de lixo aterro é uma muito positiva, pois reduz o valor deste parâmetro. Isso fica evidente uma vez que essa matéria orgânica, em vez de se transformar em gás no aterro, se transforma em húmus durante a compostagem, retendo o carbono dentro do adubo produzido. Ainda, a diminuição da quantidade de matéria orgânica no aterro diminui a quantidade de gás metano a ser produzido, o que por seu lado diminui a quantidade de CO₂ emitido durante a queima do gás de aterro. A redução do GWP do cenário 3 é de 56% comparada com a o GWP do cenário 2.

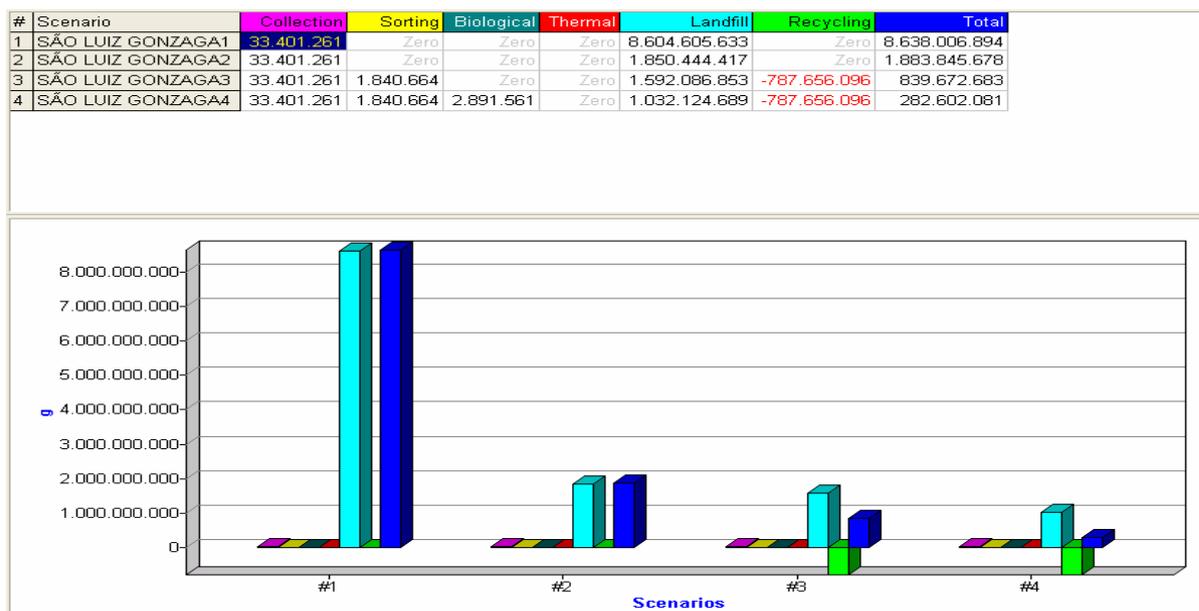


Figura 40: Comparativo de emissão de GWP nos cenários 1, 2, 3 e 4.

O efeito mais positivo na realização da simulação no cenário 4 se dá quando analisamos os valores apresentados na figura 40. Nela fica evidente que o conjunto de estratégias elaboradas para este cenário favorece o sistema como um todo, apesar das contribuições de emissão pelos processos de separação dos resíduos e pela compostagem. No cenário 4 vê-se que no aterro há uma queda na emissão, chegando a um valor total 96% menor do que o do cenário atual de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos em São Luiz Gonzaga, considerado aqui neste estudo como cenário 1. Apesar desta queda no valor, o processo da compostagem, contribui de forma significativa para o efeito estufa, mas por outro lado, deve-se levar em consideração, que este composto pode ser utilizado em substituição de outros compostos de natureza química que por sua vez agridem mais o meio ambiente.

Por mais que haja uma grande queda no valor total, podemos ver que em termos de potencial de efeito estufa, seria mais favorável à recuperação de uma porcentagem maior de materiais recicláveis a fim de cobrir as emissões feitas pelo processo de compostagem.

Mas, com a simulação das estratégias elaboradas, em todos os cenários descritos, o aterro continua sendo o principal contribuinte ao efeito estufa do que em qualquer outro processo.

Assim como nos outros gases, a compostagem também implica numa redução da emissão de SO_x (figura 41).

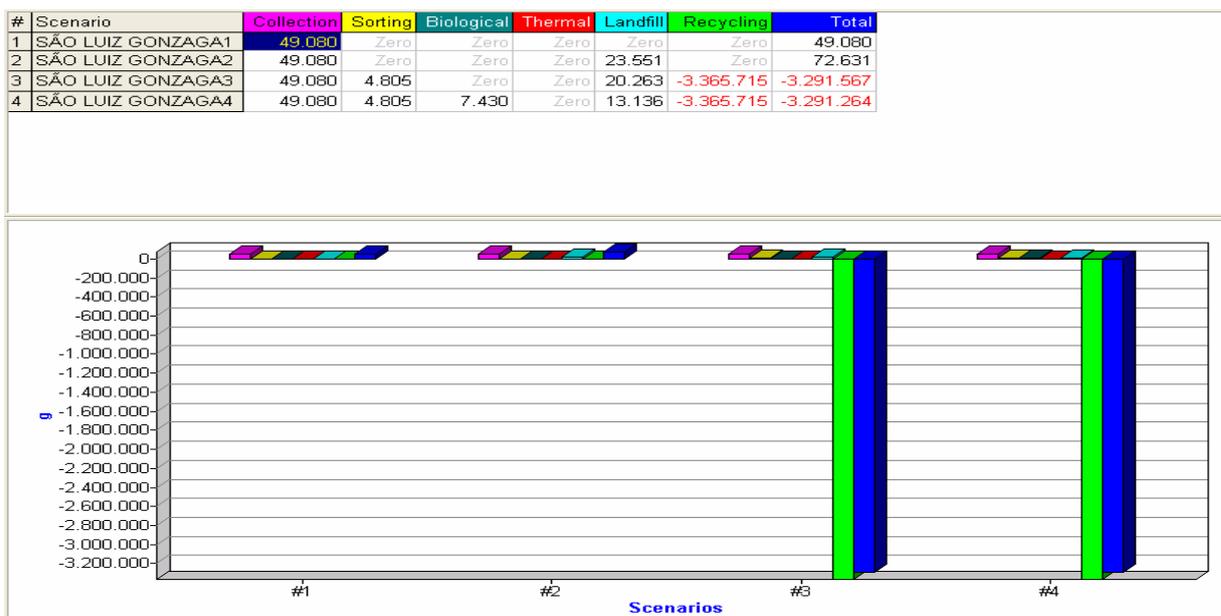


Figura 41: Comparativo de emissão de SOx nos cenários 1, 2, 3 e 4.

Já quanto a emissão de HCl, desde o cenário 2, percebe-se queda na sua emissão, chegando a este ultimo cenário, com um valor negativo, ou seja, que o conjunto de estratégias simuladas, a emissão de HCl é neutralizada pela diminuição da sua emissão no aterro e pela reciclagem (Figura 42).

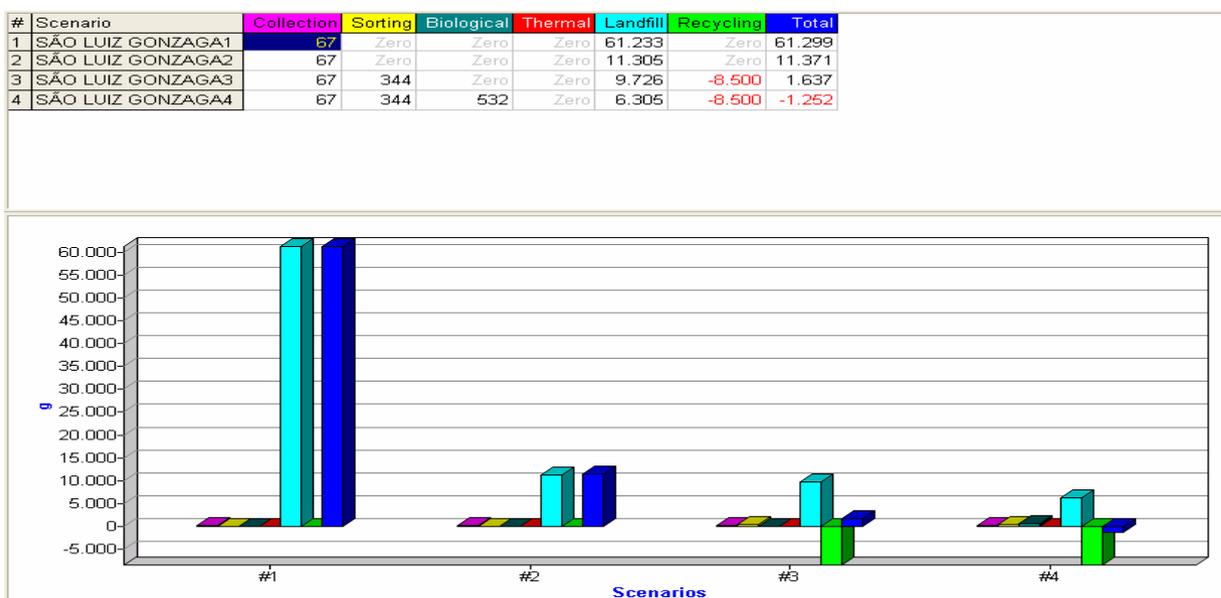


Figura 42: Comparativo de emissão de HCl nos cenários 1, 2, 3 e 4.

O desvio de 50% da matéria orgânica para compostagem também teria, segundo estas simulações, um efeito bastante positivo sobre as emissões aquosas. Dessa forma, a carga

orgânica do chorume (DBO) apresentaria uma redução de 44%. Porém, durante a compostagem também teríamos um emissão de DBO, já que a compostagem gera uma pequena quantidade de chorume que contribui com o aumento da DBO do sistema. No balanço de massa do processo todo, porém, nota-se uma diminuição 15% da emissão deste parâmetro. A figura 43 apresenta os resultados obtidos nas simulações realizadas.

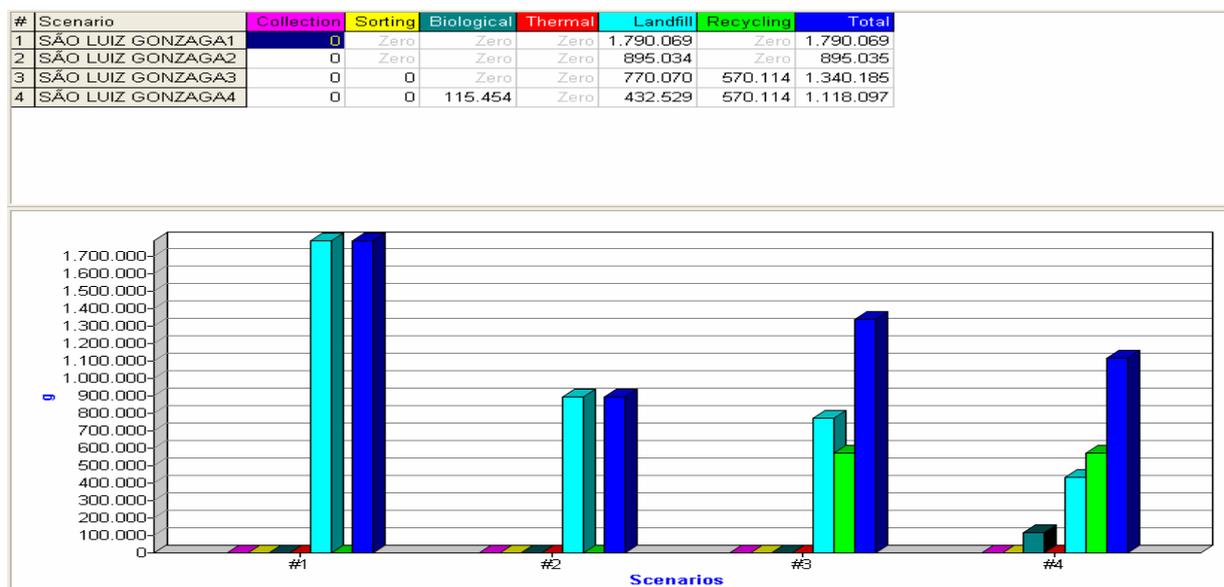


Figura 43: Comparativo de emissão de DBO nos cenários 1, 2, 3 e 4.

Em relação aos parâmetros DQO, Sólidos Suspensos, COT e cloretos o efeito da introdução da compostagem no processo é negativo, pois há um aumento da emissão destes parâmetros durante a compostagem (vide Figuras 44, 45, 46 e 47).

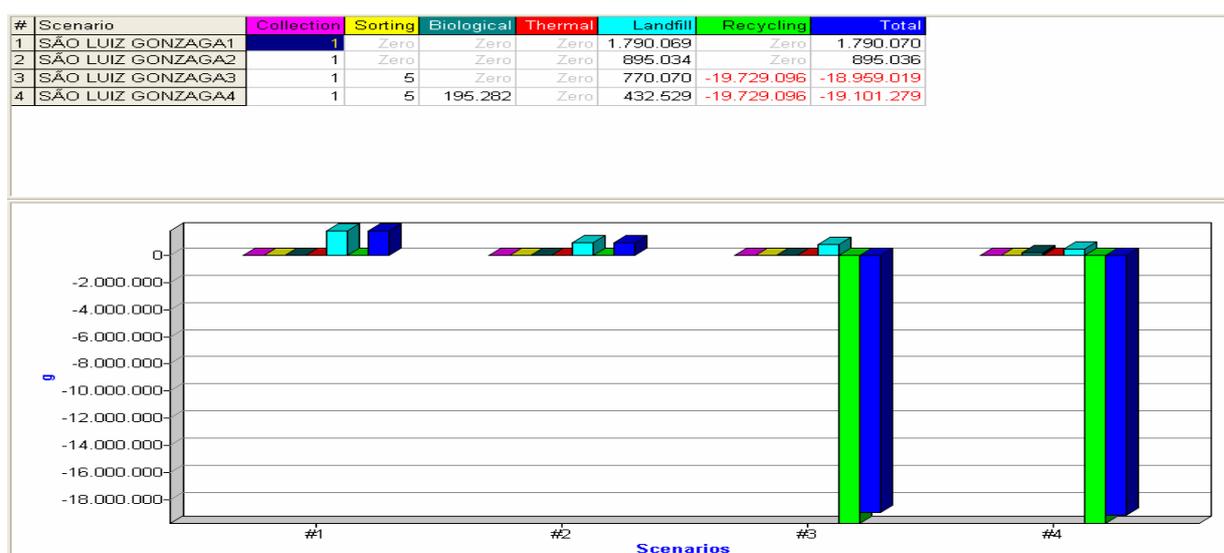


Figura 44: Comparativo de emissão de DQO nos cenários 1, 2, 3 e 4.

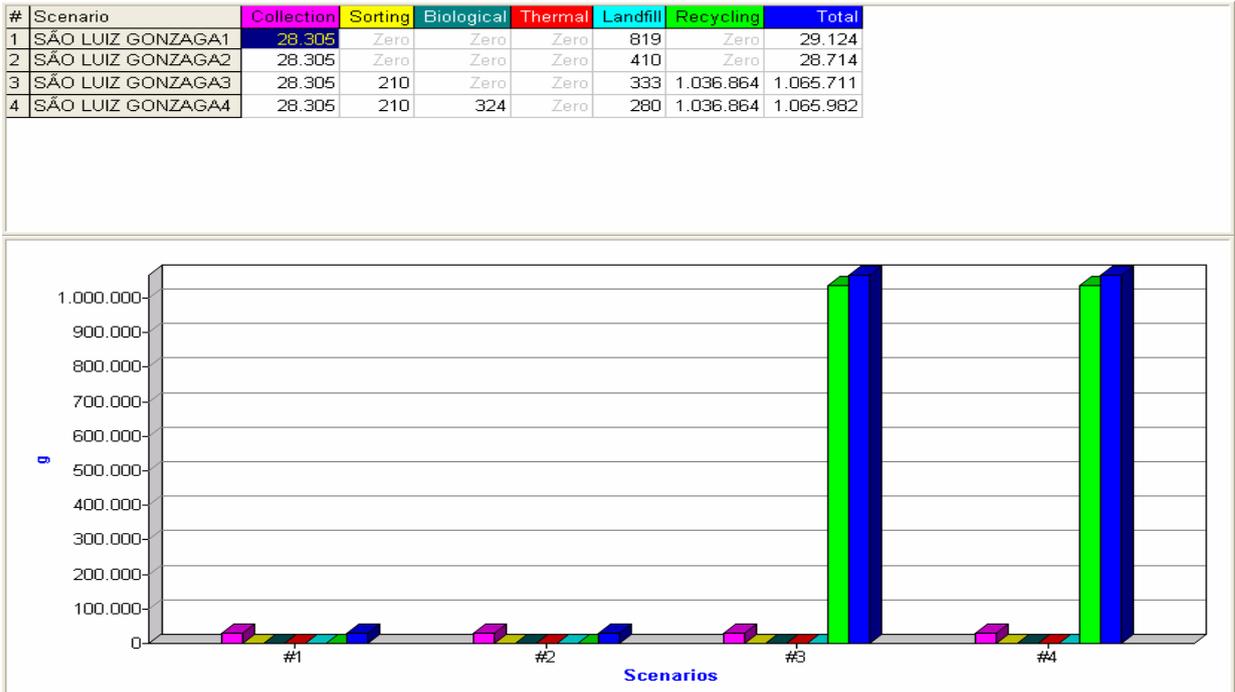


Figura 45: Comparativo de emissão de Sólidos suspensos nos cenários 1, 2, 3 e 4.

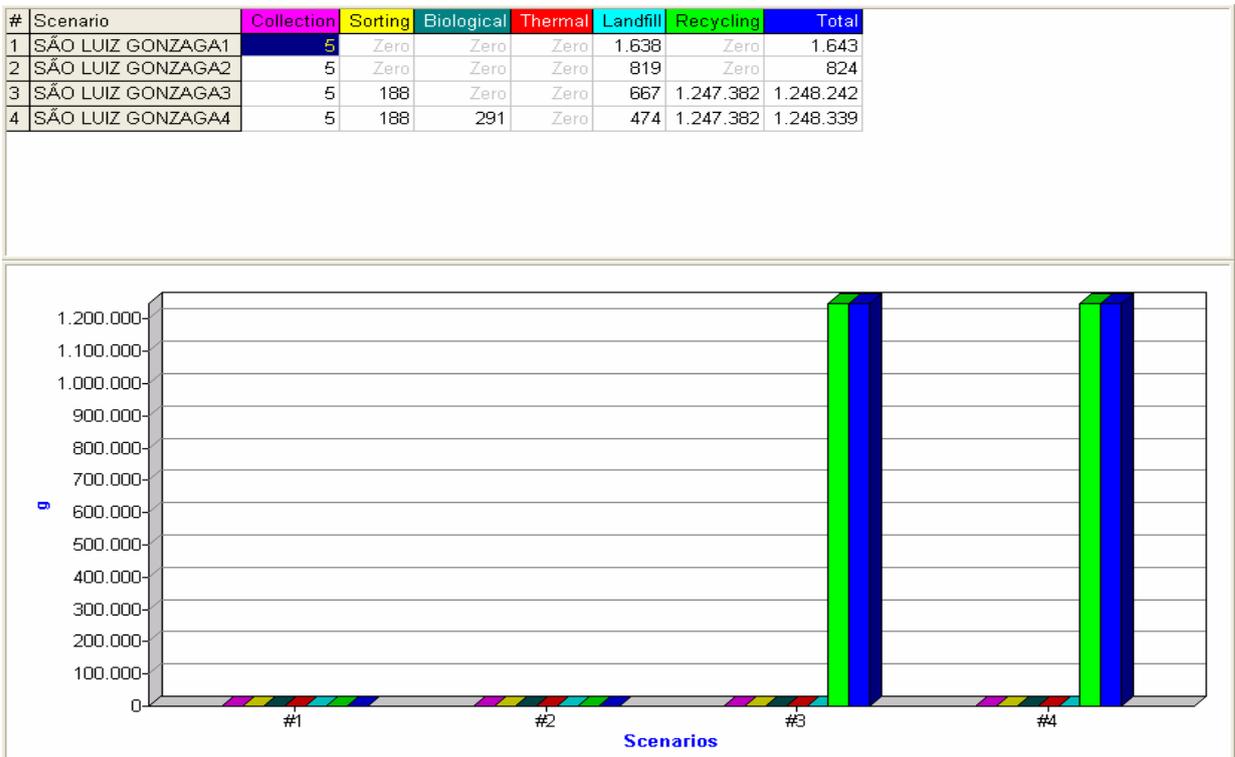


Figura 46: Comparativo de emissão de COT nos cenários 1, 2, 3 e 4.

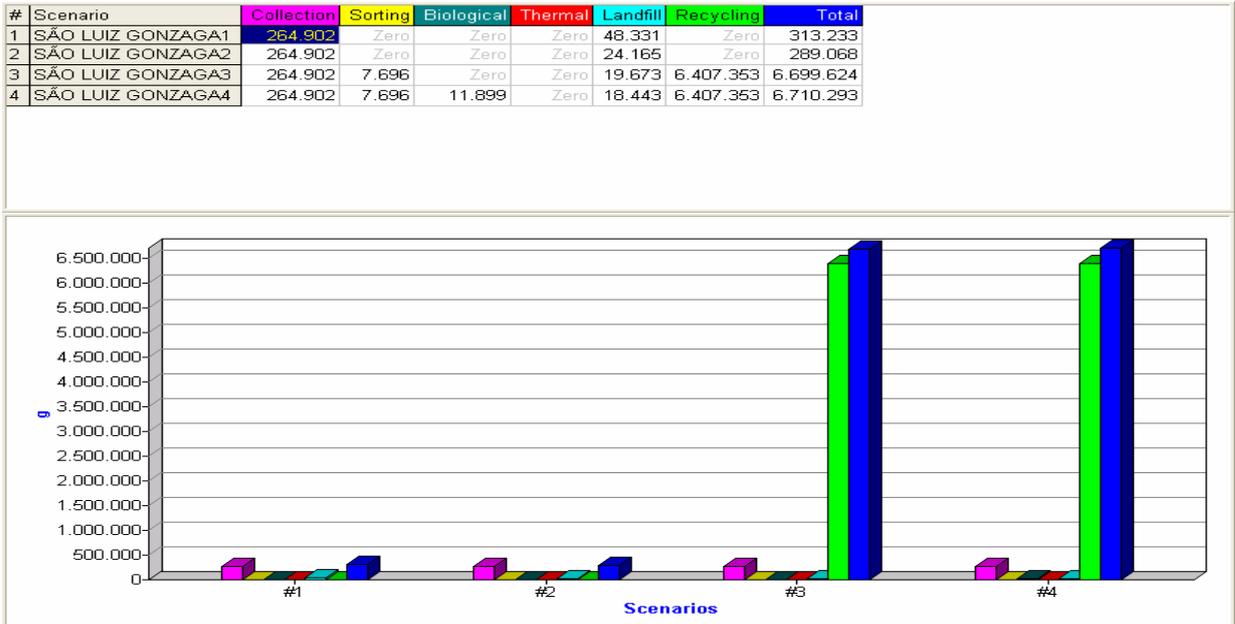


Figura 47: Comparativo de emissão de Cloretos nos cenários 1, 2, 3 e 4.

Também pode-se observar que o nitrato e o fosfato são afetados de forma negativa pela contribuição do processo de compostagem, sendo que o nitrato recebe uma parcela maior desta contribuição com o incremento do processo de reciclagem, diferentemente do que ocorre em fosfato (Figuras 48 e 49).

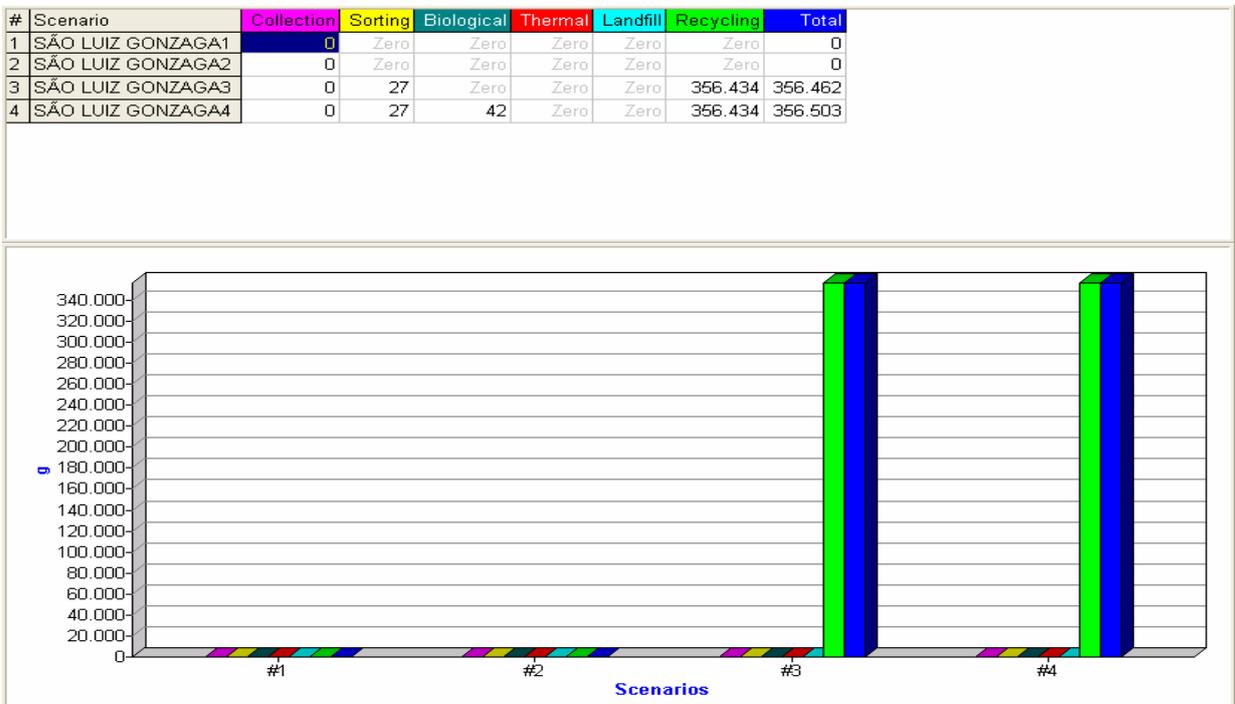


Figura 48: Comparativo de emissão de Nitrato nos cenários 1, 2, 3 e 4.

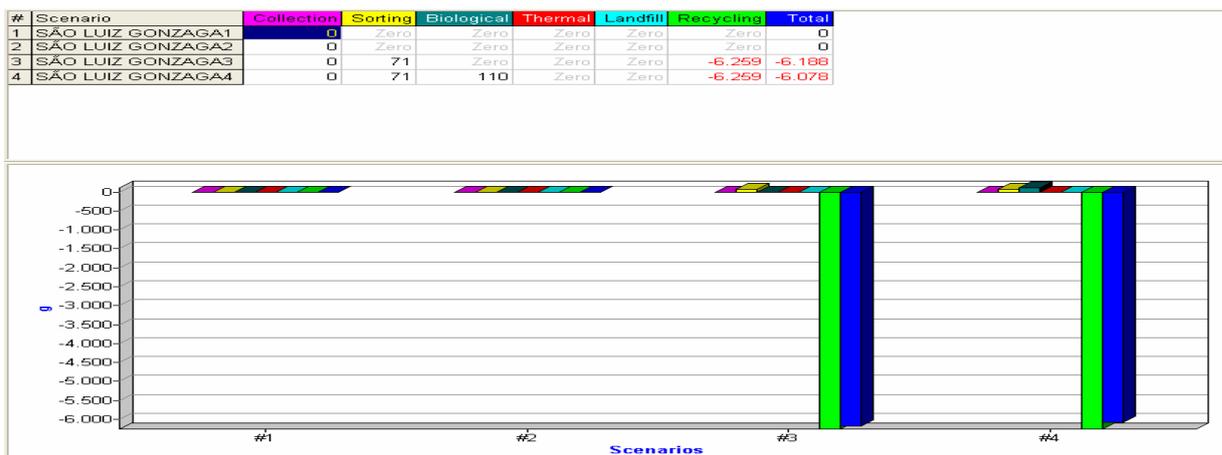


Figura 49: Comparativo de emissão de Fosfato nos cenários 1, 2, 3 e 4.

O ganho ambiental mais significativo com relação a esta simulação se reflete com os resultados obtidos com a reciclagem dos materiais. A contribuição da reciclagem se dá em todos os âmbitos do gerenciamento de resíduos urbanos. Os danos ambientais, causados por diferentes poluentes, caem a níveis muito baixos, além de contribuir na economia de energia, preservação de recursos naturais, e ainda, diminuição do volume de resíduos a ser disposto em um aterro e da emissão de poluentes.

Após análise dos resultados obtidos em todas as simulações realizadas, fica evidente que algumas mudanças realizadas no atual sistema contribuiriam na qualidade do meio ambiente. No entanto, apesar de todas as simulações realizadas, a última etapa, ou seja, a forma de disposição final dos resíduos sólidos urbanos gerados em São Luiz Gonzaga em todos os cenários é o maior poluidor do sistema, conforme pode-se verificar nas figuras 50, 51, 52 e 53.

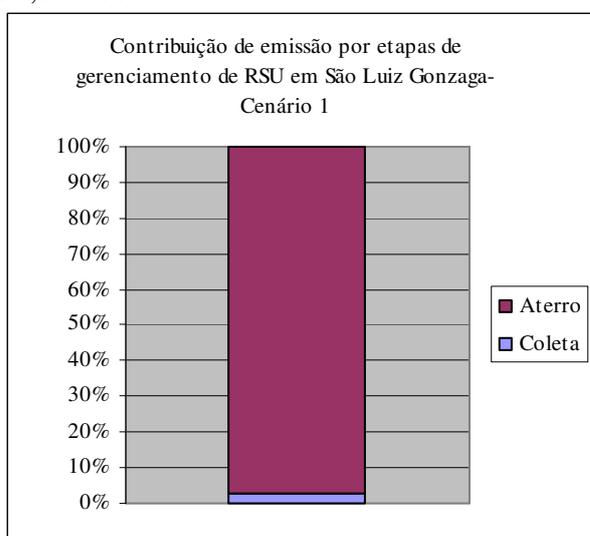


Figura 50: Emissão por etapa de GRSU-C1

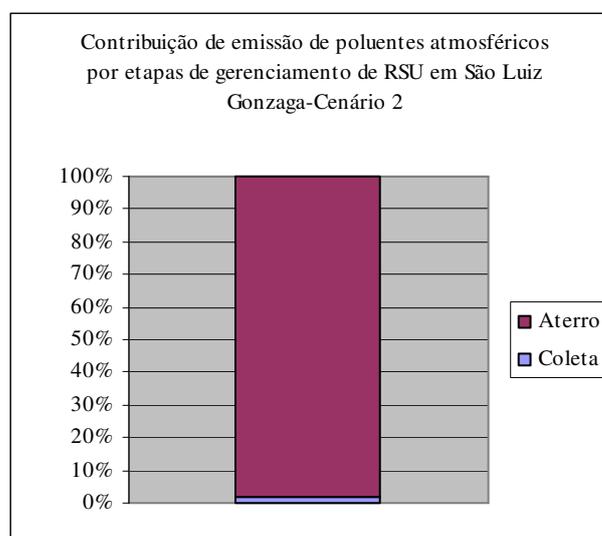


Figura 51: Emissão por etapa de GRSU-C2

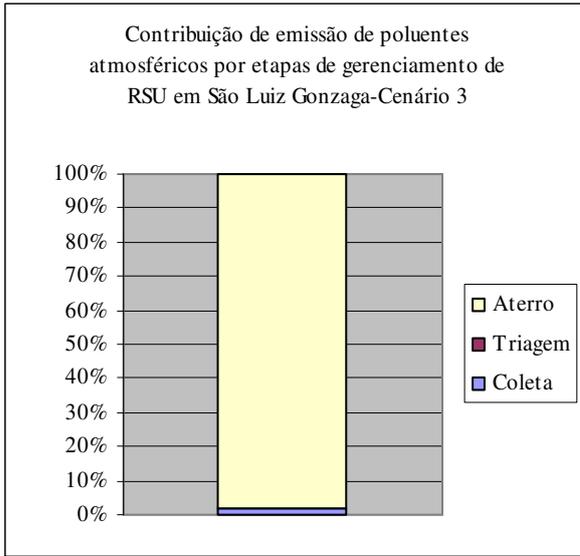


Figura 52: Emissão por etapa de GRSU-C3

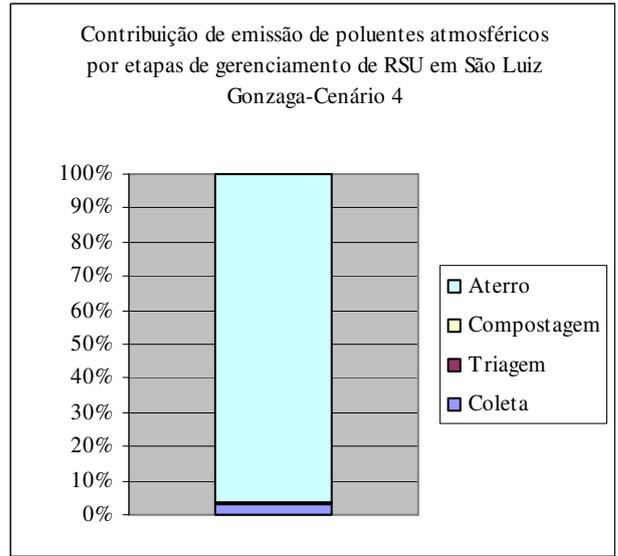


Figura 53: Emissão por etapa de GRSU-C4

No cenário 1, temos o lixão do município de São Luiz Gonzaga como o principal fator de impacto, sendo responsável por 97% das emissões atmosféricas que ocorrem no processo de gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos. Já no cenário 2, onde foi alterada a forma final de disposição dos resíduos, passando de um lixão para um aterro sanitário, houve um aumento de 1%.

Nos demais cenários, o aterro foi o principal fator de impacto, sendo responsável por 97% e 96% das emissões respectivamente. Dessa forma, em relação às emissões atmosféricas, o aterro sanitário é o maior poluidor.

As figuras 54, 55, 56 e 57 representam as emissões aquosas relativas a cada etapa do GRSU em São Luiz Gonzaga.

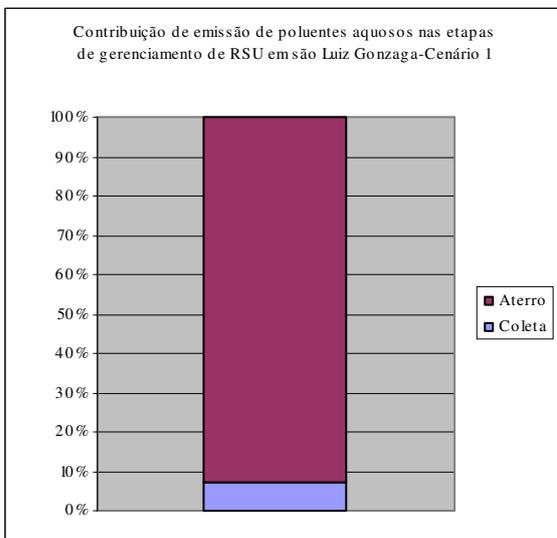


Figura 54: Emissão por etapa de GRSU-C1

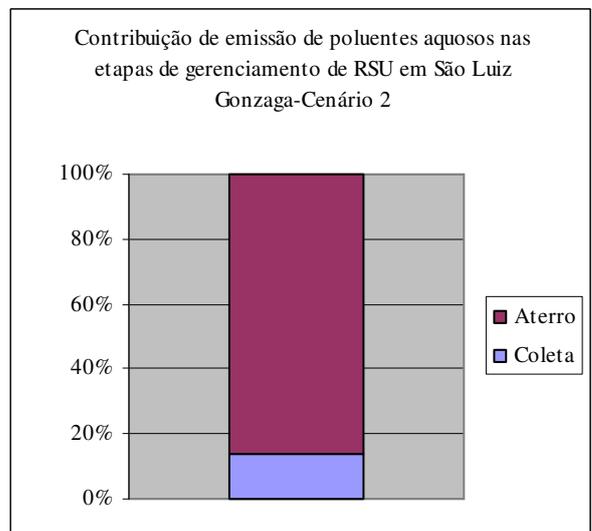


Figura 55: Emissão por etapa de GRSU-C2

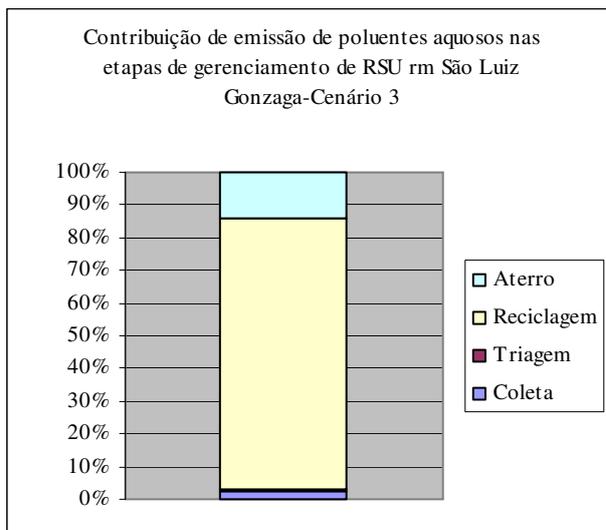


Figura 56: Emissão por etapa de GRSU-C3

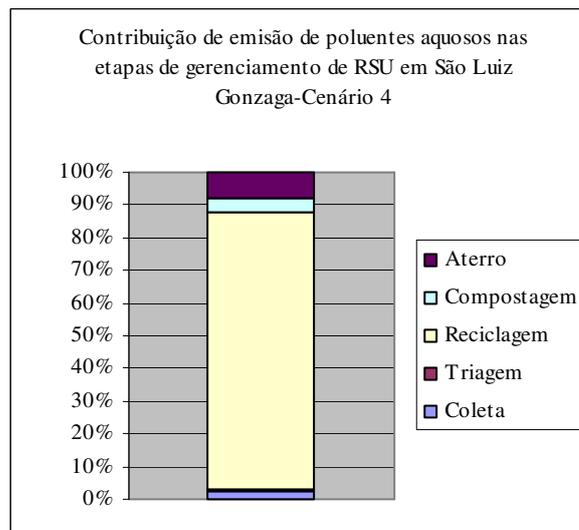


Figura 57: Emissão por etapa de GRSU-C4

Assim como ocorre nas emissões atmosféricas, o lixão do município é o principal contribuinte no que diz respeito às emissões aquosas. No entanto, no cenário 2 (figura 55) há uma diminuição da emissão ocorrida no lixão passando de 93% no cenário 1 para 86% no cenário 2.

Com relação às emissões aquosas, o processo de reciclagem não teve o mesmo papel que apresentou nas emissões atmosféricas, pois nos cenários 3 e 4 foi à etapa que mais contribuiu na emissão de poluentes, 83% e 85% respectivamente.

5 CONCLUSÃO

O uso do inventário de ciclo de vida como ferramenta auxiliar na tomada de decisões no sistema de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos no município de São Luiz Gonzaga - Rio Grande do Sul foi pesquisado neste trabalho. Para a realização do mesmo foram simulados, utilizando o *software* IWM – 2.5, 4 cenários do gerenciamento de lixo. O primeiro corresponde ao cenário atual. No segundo cenário, foi simulada a introdução de um aterro sanitário com coleta e queima de 100% dos gases gerados no aterro e a coleta e tratamento de chorume. O sistema de tratamento de chorume possui uma eficiência de 50%. No terceiro cenário se mantiveram as condições do cenário 2, porém, foi incluída a separação e reciclagem de 50% do material reciclável. O quarto cenário complementa o cenário número 3 com a inclusão da compostagem de 50% da matéria orgânica presente no lixo. Os resultados obtidos permitem concluir:

Com base nos resultados discutidos, pode-se perceber que em todas as simulações realizadas e mesmo no cenário atual, as emissões devido à coleta dos RSU se dão através dos caminhões utilizados para tal atividade, e para que ocorra um decréscimo nestas emissões será necessário estudar melhor a rota de coleta e até mesmo a utilização de caminhões mais econômicos e com algum sistema que reduza a emissão de gases gerados pela queima do combustível utilizado.

Através das simulações propostas, o *software* IWM-2.5 se mostra muito útil como uma técnica/ferramenta capaz de demonstrar estratégias que possibilitem visualizar qual processo pode ser menos impactante ao ambiente. Entretanto, pelo banco de dados deste software ser baseado em modelos europeus, os resultados obtidos podem ficar aquém do que realmente ocorre, devido às características de transporte e geração de resíduos no Brasil serem diferentes.

Os resultados apresentados em cenário 1, apresentam valores expressivos. Nota-se que o principal fator impactante é o lixão do município, já que o mesmo não possui qualquer medida que possa vir a minimizar o impacto ambiental que ali ocorre. No que diz respeito à emissão de poluentes atmosféricos e aquosos, alguns parâmetros possuem altos índices comparados com outra etapa deste sistema, que é a coleta dos resíduos gerados.

Por ser um lixão o método de disposição final de resíduos sólidos, e este ser um sistema aberto, ou seja, por estar diretamente influenciado pelo clima, temperatura e pela diversidade de componentes dos resíduos, os impactos que ocorrem podem ser dimensionados em locais, regionais e globais.

Já na simulação do cenário 2, foi empregada uma substituição no método de disposição final dos resíduos sólidos urbanos gerados, ao invés de um lixão, ou seja, foi considerado que o sistema possui um aterro sanitário onde neste, o gás do aterro e o chorume gerado são 100% coletados, sendo que a eficiência de tratamento do chorume é de 50%. Devido a esta medida, alguns parâmetros apresentaram no total, um acréscimo na emissão, principalmente no que diz respeito à emissão atmosférica, associado à queima destes gases. A introdução de um sistema de tratamento de chorume no aterro simulado faz com que o impacto associado ao lançamento deste a partir do lixão, diminua de forma significativa.

A introdução da reciclagem de 50% do material re-aproveitável presente no lixo coletado, simulada no cenário 3, se mostra muito positiva sobre o sistema. A mesma contribui de forma clara na redução das emissões atmosféricas por causa do uso de material reciclado. A sua contribuição se dá na forma de um decréscimo na emissão de poluentes no aterro, devido à retirada dos materiais, e pela contribuição do processo da reciclagem no sistema, fazendo com que as emissões que ocorrem sejam encobertas pelas reduções ocasionadas no re-aproveitamento de material secundário. A reciclagem se mostra eficiente não apenas contribuindo na não emissão de poluentes ao ambiente, mas também na preservação dos recursos naturais.

O processo de compostagem adicionado na simulação do quarto cenário faz com que haja um aumento na emissão de alguns poluentes, mas, em contra partida, o volume de matéria orgânica a ser aterrada é menor, fazendo com que a emissão resultante de CO₂ e CH₄ a partir do aterro seja menor. A redução das emissões dos gases do efeito estufa faz com que o potencial de aquecimento global associado ao lixo diminui de forma expressiva. Na compostagem, além de haver menor emissão, a vida útil do aterro aumenta, pois neste cenário 50% do material reciclável e orgânico gerado não é aterrado, deixando mais espaço para que seja aterrado os resíduos que não servem para reaproveitamento.

Devido às informações referentes aos custos da prefeitura de São Luiz Gonzaga para o gerenciamento de RSU não terem sido fornecidos, a tomada de decisões fica baseada nas questões ambientais referentes as emissões simuladas em cada cenário comparada com o cenário atual.

Com relação ao objetivo geral proposto neste trabalho, este foi contemplado no capítulo 4, onde pode-se verificar que os impactos ambientais relacionados ao atual sistema de GRSU estão descritos, apontando que o lixão é o principal fator impactante ao meio ambiente. Com relação aos objetivos específicos, estes foram contemplados nos capítulos 3 e 4, onde foi apresentado a caracterização dos resíduos sólidos gerados e que através desta

caracterização foi possível analisar o impacto ambiental decorrente, por meio das simulações realizadas, mostrando as emissões de cada etapa de gerenciamento simulada.

O *software* IWM-2.5, como citado anteriormente, possui um banco de dados baseado em modelos utilizados nos Estados Unidos e em países europeus, sendo assim, os resultados aqui obtidos servem como uma linha de base do que realmente pode estar ocorrendo. Devido às características dos RSU gerados nestes países possuírem características distintas do Brasil, por exemplo, na quantidade de geração de matéria orgânica, fazendo com que a emissão de alguns poluentes seja diferente.

Baseado nisto, como sugestão de futuros trabalhos, deve-se buscar adequar o *software* para a realidade do Brasil, sendo também necessário montar um banco de dados com características dos RSU gerados no Brasil, bem como utilizar o *software* para investigação de parte de custos ambientais e balanço energético, além de propor índices de impacto ambiental através do uso de um *software* específico.

6 REFERÊNCIAS

- BAUMGARTEN, Renato Luiz. A gestão dos resíduos sólidos urbanos nos municípios emancipados de Santa Cruz do Sul – RS. Dissertação (mestrado). UNISC, 2005.
- BERG, S. Some aspects of LCA in the analysis of forestry operations. *J. Clean Prod.* 1997; p. 5:211-7
- BETAT, Murilo Danty: Inventário de Ciclo de Vida do Sistema de Gerenciamento de Resíduos de Santa Cruz do Sul.. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade de Santa Cruz do Sul. Orientador: Diosnel Antonio Rodriguez López, 85 p., 2005.
- BOVEA, M.D.; POWELL, J.C.: Alternative Scenarios to Meet the Demands of Sustainable Waste Management, *Journal of Environmental Management* . p. 1–18, 2005.
- CARVALHO, Benjamin de Araújo. Ecologia aplicada ao saneamento ambiental. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1980.
- CASTILHOS JUNIOR, Armando Borges de. (Coord.) resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte. Florianópolis: (s. n.), 2003.
- CORSON, Walter H. (Org.) Manual Global de Ecologia: o que você pode fazer a respeito da crise do meio ambiente. 2º ed. São Paulo: Augustus, p. 413,1996.
- CUNHA, Cláudio Barbieri da. Serviços de Limpeza. In: Lixo Municipal: manual de gerenciamento integrado. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas/CEMPRE, Cap. III, p. 278, 1995.
- DOBSON, I.D. Life cycle assessment for painting processes: putting the VOC issue in perspective. *Prog. Org. Coat*, p. 27:55-8, 1996.
- ERIKSSON, O. et. al.: ORWARE: a Simulation Tool for Waste Management, Resources, Conservation & Recycling 36, p. 287–307, 2002.
- FERREIRA, João Alberto; ANJOS, Luiz Antonio dos. Aspectos de saúde coletiva e ocupacional associados à gestão dos resíduos sólidos municipais. *Caderno de saúde pública*. V. 17 nº 3. Rio de Janeiro – Mai/Jun. p. 689-696, 2001.
- FINKBEINER, M. Hoffmann E.; KREISEL, G. Environmental auditing: the functional unit in the life cycle inventory analysis of degreasing processes in the metal-processing industry. *Environ. Manage.*, p. 27:635-42, 1997.

GILBERT, D. L.; JONES, D. G.; BARTON, R. T. (2001). Life Cycle Approaches in ecological sustainable asset management. In: Spies, Airton; Wegener, Malcolm; Chamala, S. Beeton, Bol. Aplicabilidade do método análise de ciclo de vida (ACV) na avaliação dos impactos ambientais da agricultura. 19 p. 2002.

GRAEDEL, T.E.; ALLENBY B.R., Comrie P.R. Pollution prevention: matrix approaches to abridged life cycle assessment. *Environ Sci Technol*, 29:134A-9A, 1995.

GRANT, T. (2001). Life Cycle Assessment – short course. Surfers Paradise, Gold Coast: Centre for design at RMIT University. In: SPIES, Airton; WEGENER, Malcolm; CHAMALA, S. BEETON, Bol. Aplicabilidade do método análise de ciclo de vida (ACV) na avaliação dos impactos ambientais da agricultura, 19 p., 2002.

HAMILTON, A.; WEGENER, M.; DART, P. SILVEY B. (2000). Life Cycle Assessment of Milk Production Systems in south queensland. In: SPIES, Airton; WEGENER, Malcolm; CHAMALA, S. BEETON, Bol. Aplicabilidade do método análise de ciclo de vida (ACV) na avaliação dos impactos ambientais da agricultura, 19 p., 2002.

ISO 14040:2000. Environmental Management—Life Cycle Assessment— Principles and Framework, 1997.

JOSA, Alejandro; AGUADO, Antonio; HEINO, Atte; BYARS, Ewan; CARDIM, Arnaldo. Comparative analysis of available life cycle inventories of cement in the EU. *Cement and Concrete Research* 34, 8 p., 2004.

JÚNIOR, José L. T.; LUCENA, Luciana de F. L. Destino de resíduos sólidos urbanos: instrumentos econômicos para a escolha das alternativas. *Anais do IV Seminário Nacional sobre Resíduos Sólidos. Diagnóstico e Gestão Integrada de Resíduos Sólidos*. ABES, 2000.

LIMA, Luiz Mário Queiroz. *Lixo: Tratamento e Biorremediação*. 3ª ed. São Paulo: Hemus, 265 p., 1995.

LÓPEZ, D. A. Rodríguez; MACHADO, Ê. L.: Comparação de cenários de gerenciamento de lixo urbano em Santa Cruz do Sul - RS por meio do inventário de ciclo de vida. 24º Congresso da ABES, BH-MG, 2007.

LÓPEZ, Diosnel Antonio Rodriguez; MACHADO, Ênio Leandro; DELEVATTI, Dionei; RODRIGUEZ, Adriane de Assis Lawisch. Inventário de ciclo de vida do sistema de gerenciamento de resíduos sólidos de Venâncio Aires - RS. In: 22º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2003, Joinville. ANAIS

DO 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. RIO DE JANEIRO: ABES, v. 1., p. 1-8, 2003.

LÓPEZ, Diosnel Antonio Rodriguez; RODRIGUEZ, Adriane de Assis Lawisch; DELEVATTI, Dionei; MACHADO, Ênio Leandro. The application of life cycle inventory to solid waste management system of Venâncio Aires, RS, Brazil. In: DEUTSCH-BRASILIANISCHES SYMPOSIUM: WISSENTSCHAFTLICHE UND TECHNOLOGISCHE BEITRÄGE ZUR NACHHALTIGEN ENTWICKLUNG, 2003, Tübingen. Tagungsband des Deutsch-Brasilianischen Symposiums: Tübingen : Dieter Mecke HRSG/ED., v. 1. p. 103-103, 2003.

MANSUR, G. L.; MONTEIRO, J. H. P. O que é preciso saber sobre limpeza urbana. Rio de Janeiro: Centro de estudos e Pesquisas Urbanas do Instituto Brasileiro de Administração Municipal. Disponível em <http://www.resol.com.br>. Acesso em: 14 mar. 2006.

MASSUKADO, Luciana Miyoko; ZANTA, Viviana Maria. 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. p. 133-142, 2006,.

MCDOUGALL, F. R.: Life Cycle Inventory Tools: Supporting the Development of Sustainable Solid Waste Management Systems, Corporate Environmental Strategy, Vol. 8, No. 2, 6 p., 2001.

MÜNNICH, K.; MAHLER, C. F.; Fricke, K. Pilot project of mechanical – biological treatment of waste in Brazil, 8 p. 2006.

NAUMOFF, A. F.; PERES, C. S. Reciclagem de matéria orgânica (compostagem). In: D'Almeida M. L. O.; Vilhena A., Coordenadores. Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado. 2º ed. São Paulo. 278 p., 2000.

NETO, João T. P. Gerenciamento de resíduos sólidos em municípios de pequeno porte. *Ciência e Meio Ambiente* nº 18 – Jan. /Jun. p. 41-52 1999.

ÖZELER. D., YETIS., Demirer G. N. Life cycle assessment of municipal solid waste management methods: Ankara case study, 7 p.. 2005.

PAGE, C.A. et. al. Life cycle framework for assessment of site remediation options: case study. *Environ Toxicol and Chem.*, vol. 18. USA: SETAC, p. 801-10, 1996.

PHILIPPI JR., Arlindo. Saneamento, Saúde e Meio Ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável. Barueri: Manole, 842 p., 2005.

- PRANDINI, F. L. O gerenciamento integrado do lixo municipal. In: Lixo Municipal: manual de gerenciamento integrado. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas/CEMPRE, Cap. I, 278 p., 1995.
- REICH, Carlsson Marcus. Economic assessment of municipal waste management systems – case studies using a combination of life cycle assessment (LCA) and life cycle costing (LCC), 11 p., 2005.
- ROBERTSON, J.G.S. et. al. Analysis of lead/acid battery life cycle factors: their impact on society and the lead industry. *J Power Sources*, 67:225-36, 1997
- RODRÍGUEZ, Adriane Lawisch; LÓPEZ, Diosnel Antonio Rodriguez; NETO, Emitério da Rosa; MACHADO, Ênio Leandro: Uso do inventário de ciclo de vida como ferramenta auxiliar na tomada de decisões no sistema de gerenciamento de lixo em cidades do Rio Grande do Sul. 24º Congresso da ABES, BH-MG, 2007.
- ROELEVELD P.J. et. al. Sustainability of municipal wastewater treatment. *Water Sci Technol*, p. 35:221-8, 1997.
- ROTH, Berenice W.; ISAIA, Enise M. B. I.; ISAIA, Tarso. Destinação final dos resíduos sólidos urbanos. *Ciência e Ambiente* n°. 18 – Jan./Jun. p. 25-40,1999.
- SANTOS, Luciano M. M. dos. Avaliação ambiental de processos industriais, 2002.
- SETAC. Guidelines for Life Cycle Assessment: A Code of Practice. SETAC, June, 1993.
- SOLANO, E.; RANIJTHAN, S.; BARLAZ, M. And Brill, E.: Life-Cycle-based Solid Waste Management. I- Model Development, *Journal of Environmental Engineering*, 981-982 p, 2002.
- SOMBEKKE, H.D.M. et. al. Environmental impact assessment of groundwater treatment with nano-filtration. *Desalination*, p. 113:293-6, 1997
- SUH, S.; HUPPES, G.: Methods for Life Cycle Inventory of a Product, *Journal of Cleaner Production*, 13, p. 687- 697, 2005.
- TCHOBANOGLIOUS, G. Solid Waste: engineering principles and management. Issues. Tokyo: McGraw-Hill, 1977.
- VIGON, B.W. et. al. Life Cycle Assessment: Inventory Guidelines and Principles. USA: Environmental Protection Agency (EPA); EPA/600/R-92/245, 1993.
- WEIDEMA, B. P. (1997). Environmental Assessment of Products - A textbook on life cycle assessment. Helsinki: The finish association of graduate engineers TEK. In: SPIES, Airton; WEGENER, Malcolm; CHAMALA, S.; BEETON, Bol. Aplicabilidade do método análise de ciclo de vida (ACV) na avaliação dos impactos ambientais da agricultura. 19 p., 2002

WEITZ, K. et. al. Life Cycle management of municipal solid waste. *International Journal of Life Cycle Assessment* 4 (4), p.195-201, 1999.

WHITE, P.R.; FRANKE, M.; HINDLE, P., .*Integrated Solid Waste Management – A Life Cycle Inventory* (New York: Chapman and Hall, 1995). Aspen publishers, Inc, Gaithesburg. 1999.

WISARD (Waste Integrated Systems Assessment for Recovery and Disposal), Ecobilan, 1999.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)