O USO DE SIMULAÇÃO PARA O DIMENSIONAMENTO DE DEPÓSITOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Eugênio de Oliveira Simonetto [1]
Andradas, 1614- Centro
CEP: 97010-032 Santa Maria/RS Brasil
E-mail: eosimonetto@unifra.br

Reinaldo Cherubini Neto [2]
Av. Manuel Elias, 2001
CEP: 91240-261 Porto Alegre/RS Brasil
Telefone: (51) 3386.3033
E-mail: rcherubini@ea.ufrgs.br

[1] Centro Universitário Franciscano - UNIFRA
CEP: 97010-032 Santa Maria/RS Brasil

[2] Faculdades Porto Alegrenses - FAPA
Departamento de Ciências Contábeis
CEP: 91240-261 Porto Alegre/RS Brasil

Resumo:

O trabalho tem por objetivo apresentar um modelo de simulação, utilizando a metodologia *systems dynamics*, para determinar as dimensões de depósitos de resíduos sólidos urbanos, levando em consideração as taxas de crescimento populacional, quantidade de resíduos gerada por cada habitante e a área disponível para depósito dos resíduos. Após a validação do modelo, foram desenvolvidos estudos de caso em dois municípios do interior do Rio Grande do Sul. Para a modelagem do sistema foi utilizado o software Vensim da Ventana Systems.

Palavras-Chave: Simulação, Modelagem Ambiental, Gestão de Resíduos Sólidos, *System Dynamics*

O USO DE SIMULAÇÃO PARA O DIMENSIONAMENTO DE DEPÓSITOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

1. Introdução

A preocupação da comunidade internacional com os limites do desenvolvimento do planeta teve início na década de sessenta, quando começaram as discussões sobre os riscos da degradação do meio ambiente. Tais discussões, levaram pesquisadores a conclusão de que se fosse mantido o ritmo de industrialização, poluição, exploração de recursos naturais; o limite de desenvolvimento do planeta seria atingido, no máximo, em cem anos (Meadows, 1972; Weintraub, 1998).

O manejo ambientalmente saudável dos resíduos sólidos encontra-se dentre as questões mais importantes para a manutenção da qualidade do meio ambiente da Terra e, principalmente, para alcançar um desenvolvimento sustentável e ambientalmente saudável em todos os países (Zutshi, 2002).

Apesar de toda a preocupação da comunidade internacional com a qualidade do meio ambiente na Terra, o que acontece na prática, na maioria das vezes, é um desenvolvimento não-sustentável na gestão de resíduos sólidos, pois os métodos para o depósito do lixo, não levam em conta as conseqüências que o mau uso e o tratamento inadequado dos resíduos poderão acarretar para o meio ambiente em um futuro bem próximo.

O presente trabalho, tendo por base a importância do adequado manejo e destinação final dos resíduos para que se possa iniciar a busca por um desenvolvimento sustentável, apresenta um modelo de simulação para auxiliar os responsáveis pelo gerenciamento dos resíduos sólidos municipais a tomarem decisões referentes ao destino final destes (resíduos), tais como a construção de aterros sanitários ou maiores incentivos a um correto tratamento dos resíduos, tais como a construção de usinas de compostagem (O'Leary, 1999) e reciclagem. Estas decisões são necessárias devido ao espaço limitado para depósito dos resíduos na maioria dos municípios e, que em um futuro próximo poderão acarretar em problemas para os administradores municipais e para toda a população (Monteiro, 2001).

Para a construção do modelo levou-se em consideração a população municipal, as taxas de nascimento e mortalidade do município, a quantidade de resíduo gerada por habitante, bem como a área total destinada ao armazenamento dos resíduos.

As questões referentes aos problemas ambientais ocasionados pelo mau depósito dos resíduos não são devidamente tratadas neste trabalho, pois o objetivo deste é o auxílio nas decisões referentes à produção e destino de resíduos sólidos, levando em consideração a existência de depósitos não-ambientalmente corretos, tais como os populares "lixões".

O trabalho está organizado da seguinte forma: Na seção 2 é apresentada uma introdução à simulação computacional e à metodologia *system dynamics*, na seção 3 é feita uma apresentação referente ao conceito de resíduos sólidos e sua disposição final e, na seção 4 é apresentado o problema de modelagem, o modelo desenvolvido e os experimentos utilizando o modelo. As considerações finais são apresentadas na seção 5.

2. Simulação Computacional

A simulação computacional de sistemas consiste na utilização de um conjunto de métodos e técnicas matemáticas, com o objetivo de imitar o comportamento de sistemas reais, geralmente utilizando-se computadores e softwares para tal (Law & Kelton, 1991). Ela pode ser definida como um processo de projetar um modelo de um sistema real e, de procedimentos de experimentos com este modelo, com o propósito de verificar o comportamento do sistema, ou até mesmo avaliar estratégias para a sua operação.

Através do uso da simulação, pode-se imitar o comportamento de, praticamente, qualquer tipo de operação ou processo do mundo real. Uma das principais etapas de um estudo de simulação consiste na criação de um modelo lógico. Assim, um modelo lógico consiste em um conjunto de suposições e aproximações, devidamente quantificadas e estruturadas, que visam representar o comportamento do sistema real sob determinadas condições, utilizando-o para predizer e comparar alternativas lógicas passíveis de serem simuladas.

Um modelo é utilizado também quando se deseja aprender alguma coisa sobre o sistema real que não se pode observar ou experimentar diretamente, ou pela inexistência do sistema real, ou pela dificuldade de manipulação do mesmo, ou pela impossibilidade de sujeitá-lo ao ensaio sem incorrer em custos elevados e gastos de tempo. A quantidade de simplificações impostas ao modelo influenciará em razão direta na distorção entre os resultados obtidos pelo modelo e pelo sistema real.

A simulação, permite também a utilização de variáveis aleatórias, de modo a representar com maior veracidade o comportamento do sistema real. Portanto, este método se constitui numa das ferramentas de análise mais poderosas disponíveis para a representação de sistemas complexos (Law & Kelton, 1991).

2.1 - *System Dynamics*

A metodologia dos *system dynamics* (SD) foi desenvolvida durante a década de 50 pelo engenheiro Jay Forrester, do Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT). Sua primeira aplicação foi uma análise de uma empresa americana, mais precisamente o estudo das oscilações nas vendas desta empresa. Este estudo foi publicado com o nome de I*ndustrial Dynamics.*

Em 1969 foi publicado o livro "Dinâmica Urbana", no qual é apresentado o modelo de *system dynamics* aplicado a modelagem de cidades. Este trabalho, posteriormente, viria a servir de base para que Meadows (1972) desenvolvesse o trabalho "Os Limites do Crescimento", apresentado ao Cube de Roma no início da década de 70. Estes trabalhos e suas repercussões popularizaram os *system dynamics* no mundo interiro.

Um modelo de SD pode ser interpretado como a estrutura resultante da interação de políticas. Esta estrutura é formada por dois componentes principais, que são os estoques e os fluxos. Os estoque retratam as variáveis que são acumuladas e os fluxos são as funções de decisão ou políticas de um sistema. Estes componentes podem estar organizados na forma de relações circulares de causa e efeito, conhecidas como *feedback* de balanço ou de reforço, e estão sujeitos a defasagens de tempo no sistema.

2.1 - Componentes do Modelo

Em *system dynamics*, um modelo é construído com basicamente quatro componentes: estoques, fluxos, auxiliares e conectores.

Os estoques são variáveis de estado e podem ser considerados como repositórios onde algo é acumulado, armazenado e potencialmente passado para outros elementos do sistema (Deaton & Winebrake, 2000). Eles fornecem uma visão de como está o sistema em qualquer instante do tempo. E quaisquer mudanças nos estoques, que ocorrem devido à ação dos fluxos, demandam um certo tempo, ou seja, não são instantâneas (Cover, 1996).

Os fluxos, por sua vez, são variáveis de ação, e eles podem alterar os estoques, aumentando ou diminuindo seus volumes.

Os auxiliares servem para formular os dados para definir as equações dos fluxos. Eles servem para combinar, através de operações algébricas, os fluxos, estoques e outros auxiliares. Os auxiliares são usados para modelar as informações, e não o fluxo físico, sendo capaz de se alterar instantaneamente, sem atrasos (Cover, 1996).

Os conectores representam as inter-relações entre todos os componentes do sistema. São estas inter-relações que ligam os componentes que formarão uma expressão matemática (Deaton & Winebrake, 2000).

Na figura 2.1 são apresentados os símbolos referentes a cada um dos componentes citados anteriormente.

Estoque	Fluxo	Variável Auxiliar	Conector

Figura 2.1 – Símbolos componentes do processo de modelagem de *System Dynamics*

A apresentação desta seção fez-se necessária, devido ao fato que para a construção do modelo de simulação para dimensionamento da área para depósito de resíduos, foram utilizadas técnicas e ferramentas de modelagem de *system dynamics*.

3. Resíduos Sólidos

Resíduos sólidos, para a compreensão do trabalho como um todo, são todos os restos domésticos e resíduos não perigosos, tais como os resíduos comerciais e institucionais, o lixo da rua e os entulhos de construção (O'Leary, 1999). Em alguns países, o sistema de gestão dos resíduos sólidos também se ocupa dos resíduos humanos, tais como excrementos, cinzas de incineradores e, de instalações de tratamento de esgoto.

O descarte do lixo é uma operação que envolve as fases de limpeza, coleta e destinação final (Barlaz, 1995). Estes serviços são considerados tarefas tipicamente municipais e, por isto organizados pelos governos locais. Entre estes serviços, a destinação final do lixo é uma preocupação que vem ganhando relevância, haja vista as suas implicações com a qualidade de vida das populações e a necessidade de aprimorar as técnicas de manejo dos resíduos sólidos urbanos (Monteiro, 2001).

O manejo saudável dos resíduos deve ir além do simples depósito ou aproveitamento por métodos seguros destes, deve-se buscar no conceito de desenvolvimento sustentável, a forma de tratamento de resíduos sólidos, ou seja, a mudança dos padrões de produção e consumo. A utilização deste conceito (desenvolvimento sustentável), é uma forma de conciliar o desenvolvimento com o bem-estar do meio ambiente.

3.1 - Disposição Final de Resíduos Sólidos

Com o crescimento das cidades, o desafio da limpeza urbana não consiste apenas em remover o lixo de logradouros e edificações, mas, principalmente, em dar um destino final adequado aos resíduos coletados. Essa questão merece atenção porque, ao realizar a coleta de lixo de forma ineficiente, a prefeitura é pressionada pela população para melhorar a qualidade do serviço, pois se trata de uma operação totalmente visível aos olhos da população (Monteiro, 2001). Contudo, ao se dar uma destinação final inadequada aos resíduos, poucas pessoas serão diretamente incomodadas, fato este que não gerará pressão por parte da população.Assim, diante de um orçamento restrito, como ocorre em grande número das municipalidades brasileiras, o sistema de limpeza urbana não hesitará em relegar a disposição final para o segundo plano, dando prioridade à coleta e à limpeza pública.

Por essa razão, é comum observar nos municípios de menor porte a presença de "lixões", ou seja, locais onde o lixo coletado é lançado diretamente sobre o solo sem qualquer controle e sem quaisquer cuidados ambientais, poluindo tanto o solo, quanto o ar e as águas subterrâneas e superficiais das vizinhanças (Monteiro, 2001).

3.2 – Modelos Computacionais Aplicados à Gestão de Resíduos Sólidos

A gestão de resíduos sólidos é um tópico que vem atraindo a atenção de pesquisadores em modelagem de sistemas nos últimos anos (Huang, 1998). Prova disso, são os inúmeros trabalhos publicados na área, os quais vão desde a alocação de veículos para a coleta dos resíduos (Bhat, 1996; Everett, 1997) até a construção de modelos de avaliação de impacto ambiental provocado pela disposição final dos resíduos, levando em consideração o tipo de disposição, o tipo de resíduo e o local onde foi depositado o mesmo (Perrodin, 2002).

A preocupação com os problemas oriundos do mau armazenamento e aproveitamento do lixo, relatados anteriormente, foram o principal motivo que nos impulsionaram a desenvolver o modelo de simulação para auxiliar os responsáveis pela gestão de resíduos sólidos a tomarem decisões no que se refere a (o):

- Tamanho da área para depósito de resíduos;
- tempo aproximado da utilização de aterros;
- início da construção de novos aterros;
- capacidade de armazenamento do depósito ou aterro em relação ao tempo de uso;

- como melhor aproveitar a área de depósito em municípios através da implantação (ou aumento) da coleta seletiva.

4. A Construção do Modelo e os Experimentos Realizados

Com o correr dos anos a área destinada ao armazenamento final dos resíduos sólidos urbanos pode se tornar escassa, obrigando os responsáveis pela gestão destes a agirem, de forma antecipada, na prevenção de problemas que poderão advir de tal escassez (Chang, 2000, Monteiro, 2001). A concepção do modelo desenvolvido neste trabalho, deu-se após a análise do trabalho desenvolvido por (Chang, 2000) em Taohsiung no Taiwan, o qual atesta a rapidez com que se esgota o espaço físico dos aterros sanitários e o tempo consumido pelo processo de determinação da área e construção de novos incineradores por aquela municipalidade. Em Tahosiung, a alternativa foi a busca pelo aumento das taxas de reciclagem de resíduos. Neste trabalho, o autor apresenta o problema, porém não apresenta solução para o mesmo.

Posteriormente, tais constatações foram investigadas junto à gestores municipais da área de resíduos sólidos os quais concordaram com o problema descrito por Chang (2000).

O modelo a ser apresentado nesta seção foi concebido com o intuito de auxiliar o processo de tomada de decisão pelos responsáveis pela gestão de resíduos sólidos municipais, no que se refere ao dimensionamento de áreas para o depósito dos resíduos sólidos urbanos. Tais decisões poderão envolver construção de aterros sanitários, elevação da taxa de reciclagem e, no pior caso, alocação de novas áreas para o depósito de resíduos ("lixão").

Para a construção do modelo, quando do estudo do problema e levantamento de requisitos, foram identificadas as variáveis (O'Leary, 1999, Monteiro, 2001) que influenciam no cálculo de área total necessária para o destino final dos resíduos, são elas:

- A **taxa de nascimento anual** no município, a **taxa de mortalidade anual** no município; ambas influenciando diretamente na **população total** do município;
- a **quantidade média de resíduos** gerada por cada habitante multiplicada pela **população total** do município resulta na quantidade total de resíduos do município;
- por fim, a **área total ocupada** pelos resíduos sólidos municipais é determinada pela quantidade total de resíduos gerada pelos habitantes.

Observação: A granularidade temporal considerada no desenvolvimento do modelo foi o ano, no que se refere a área foi considerado o hectare e para o peso foi considerada a tonelada.

O modelo desenvolvido utilizando-se a ferramenta de simulação para a modelagem de *System Dynamics* Vensim, da Ventana Systems, apresenta-se conforme as figuras 4.1 e 4.2 :

Cabe ressaltar, que após a modelagem do sistema, foi feita a validação do modelo que, segundo (Law & Kelton, 1991), é fundamental para a realização de experimentos que conduzam a respostas significativas para o sistema em estudo. A validação do modelo foi desenvolvida através da comparação dos dados gerados pelo modelo de simulação com os dados reais (passados) do sistema e, contou com a participação dos gestores municipais. Os resultados obtidos, após a validação, foram ao todo satisfatórios. Após a validação do modelo foram realizados os experimentos, os quais são apresentados a seguir.

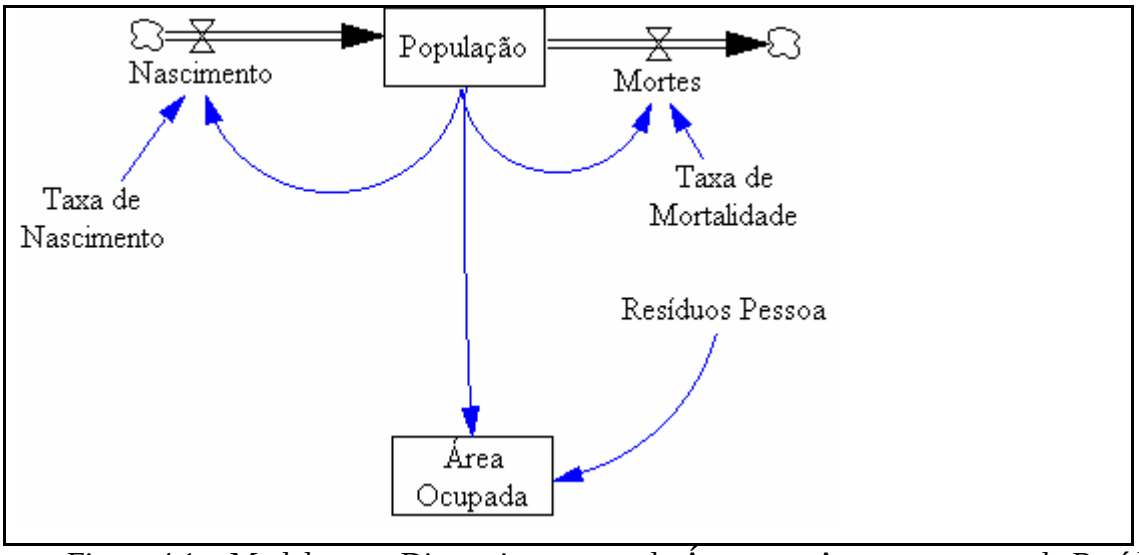

Figura 4.1 – Modelo para Dimensionamento de Área para Armazenamento de Resíduos utilizando Vensim

```
(01)  Área Ocupada= INTEG (
            (População*Resíduos Pessoa)/1000,
                  0)
      Units: hectares

(02)  FINAL TIME  = 2050
      Units: Year
      The final time for the simulation.

(03)  INITIAL TIME  = 2000
      Units: Year
      The initial time for the simulation.

(04)  Mortes=
            População*Taxa de Mortalidade
      Units: **undefined**

(05)  Nascimento=
            Taxa de Nascimento*População
      Units: Pessoas/Ano

(06)  População= INTEG (
            Nascimento-Mortes,
                  55000)
      Units: Pessoas

(07)  Resíduos Pessoa=
            0.156
      Units: Toneladas/Ano

(08)  SAVEPER  =
            TIME STEP
      Units: Year
      The frequency with which output is stored.

(09)  Taxa de Mortalidade=
            0.028
      Units: 1/Ano

(10)  Taxa de Nascimento=
            0.046
      Units: 1/Ano

(11)  TIME STEP  = 1
      Units: Year
      The time step for the simulation.
```

Figura 4.2 – Exemplo do modelo de equações gerado pelo Simulador Vensim

4.1 – Experimentos

Após a validação do modelo, o mesmo foi utilizado em experimentos em dois municípios do interior do Rio Grande do Sul, das quais não forneceremos o nome por razões éticas. Também é de suma importância ressaltar, que para a construção dos experimentos são consideradas taxas médias, portanto não considerando eventuais sazonalidades e, na variável população são desconsiderados os habitantes da zona rural, os quais não utilizam os depósitos urbanos.

4.1.1 - Experimento 1

Os resíduos sólidos gerados pela população podem ser reciclados, compostados, incinerados, aterrados ou armazenados em depósitos a céu aberto. Para este primeiro experimento, consideramos somente a última alternativa, devido ao fato de que mais de 90% dos resíduos sólidos municipais são depositados a céu aberto e o município somente no último ano começou a realizar coleta seletiva, tendo assim, um percentual bastante baixo de resíduos sólidos que não são depositados no depósito municipal de resíduos.

Para a simulação utilizamos dados referentes ao ano de 2001 e, o período simulado foi do ano de 2000 até 2050. A área disponível atual para depósito dos resíduos é de aproximadamente 500 hectares. Neste primeiro experimento, para a determinação da quantidade de resíduo em relação à área ocupada, utilizamos a fórmula para cálculo do volume da pirâmide devido à semelhança da disposição dos resíduos no depósito com esta forma geométrica. Assumimos, devido a experimentos realizados, que em 1 m^3 cabem em média 75 kg (0,075 toneladas) de resíduos sólidos. Os cenários utilizados nos experimentos são:

Cenário 1 – Neste cenário, foram utilizadas as taxas anuais de nascimento, mortalidade e de geração de resíduos, que são respectivamente; 4,6%, 2,8% e 0,156 toneladas/pessoa.

Cenário 2 – Neste cenário, consideramos a mesma taxa de natalidade e mortalidade do cenário 1 e um aumento de 10% da taxa de aproveitamento de resíduos, o qual reduz a quantidade de resíduos armazenadas no depósito (ou aterro) municipal.

Cenário 3 - Neste cenário consideramos uma diminuição de 10% na taxa de natalidade, para verificar o que isto poderia acarretar em termos de ocupação de área para alocação dos resíduos sólidos urbanos.

Executado o experimento, utilizando os cenários descritos anteriormente, constatou-se dadas as taxas de crescimento atuais (cenário 1), o município teria problemas com falta de espaço para alocação de resíduos no seu depósito somente em meados do ano de 2040, conforme apresentado na tabela 4.1 e na figura 4.3, o que foi considerado como um bom resultado pelos técnicos em gestão de resíduos municipais, devido ao fato do início da construção do aterro sanitário (em outro local) estar previsto para o ano de 2003. O cenário que apresentou os melhores resultados foi o terceiro, ou seja, reduzindo-se em 10% a taxa de natalidade municipal, teríamos uma folga aproximada de três anos (início de 2043), caso fosse necessário, mais tempo para alocação de novo espaço físico para o depósito dos resíduos.

Os responsáveis pela Gestão de Resíduos deste município mostraram-se satisfeitos com os resultados, tendo em vista a proximidade do início da construção dos aterros sanitários.

	Área Ocupada			
Ano	**2040**	**2041**	**2042**	**2043**
Cenário 1	502.613	520.400	538.509	556.948
Cenário 2	452.352	468.360	484.659	501.253
Cenário 3	454.072	468.835	483.798	498.962

Tabela 4.1 – Resultados dos cenários – área ocupada pelos resíduos em hectares

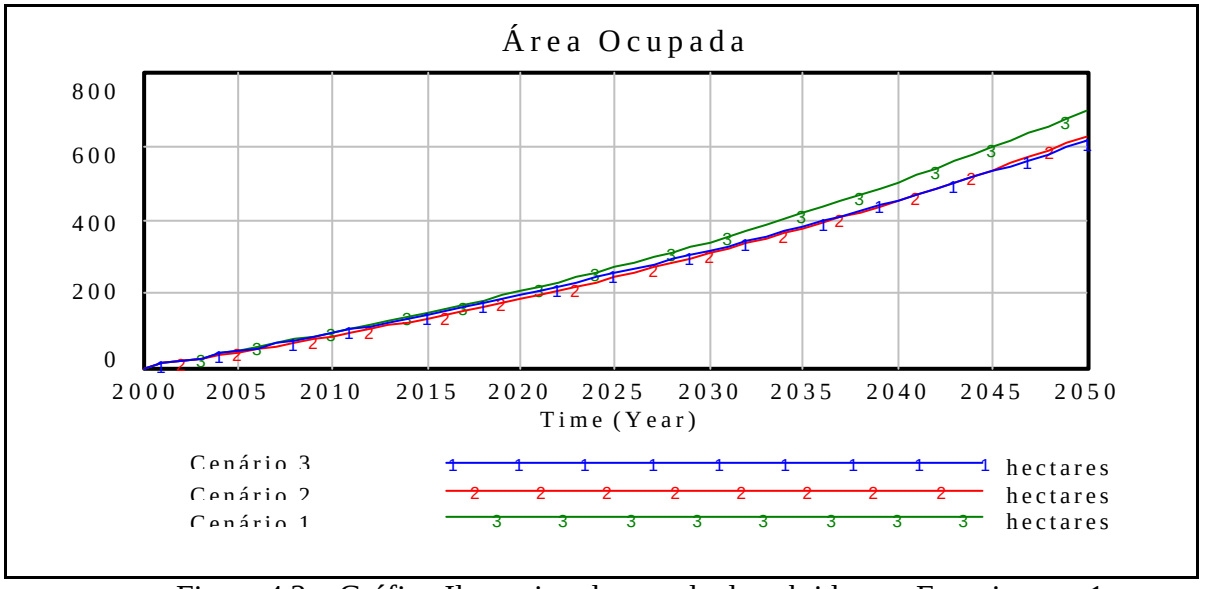

Figura 4.3 – Gráfico Ilustrativo dos resultados obtidos no Experimento 1

4.1.2 - Experimento 2

O segundo experimento foi realizado em um município, o qual possui aterro sanitário, coleta seletiva bem difundida entre a população e usina de reciclagem municipal, o que

caracteriza um quadro bastante diferente do município onde foi realizado o primeiro experimento. Para o dimensionamento da área do aterro sanitário, necessária para depósito dos resíduos no município, utilizamos os mesmos cenários do experimento anterior. Porém, as taxas anuais de nascimento, mortalidade e geração de resíduos por habitante são distintas das do primeiro município. São elas, respectivamente: 7%, 3,2% e 0,144 toneladas por habitante.

É fácil notar que neste segundo município, onde é utilizado o aterro sanitário e feita a coleta seletiva do lixo, as áreas ocupadas pelos resíduos tornam-se consideravelmente menores. Pode-se com estas técnicas, segundo estimativas feitas com base em estudo realizado por Bragança de Souza (1999), armazenar 10.000 toneladas de lixo por hectare.

Neste caso, o cenário de melhor resultado foi o segundo, ou seja, aumentando-se a coleta seletiva e, reduzindo-se em 10% a quantidade de resíduos armazenada anualmente no depósito, teríamos uma folga aproximada de oito anos (início de 2011), caso fosse necessário, mais tempo para alocação de novo espaço físico para o depósito dos resíduos, conforme pode ser verificado na tabela 4.2 e na figura 4.4.

Mesmo com o cuidado da gestão municipal e a conscientização dos munícipes em relação à coleta seletiva e o armazenamento do lixo, a capacidade do depósito usado para este fim será esgotada nos próximos dez anos, devido a sua pequena extensão, apenas 9,2 hectares.

Isto pode ser verificado na prática, pela preocupação da Secretaria de Obras e Planejamento em encontrar um novo local, pois este depósito está se tornando inviável. Como também através da simulação, onde nos três cenários, a capacidade de armazenamento do depósito é superada até 2011. Veja os resultados a seguir:

	Área Ocupada			
Ano	**2008**	**2009**	**2010**	**2011**
Cenário 1	7,404	8,498	9,634	10,815
Cenário 2	6,664	7,648	8,671	9,733
Cenário 3	7,190	8,221	9,284	10,381

Tabela 4.2 – Resultados dos cenários – área ocupada pelos resíduos em hectares

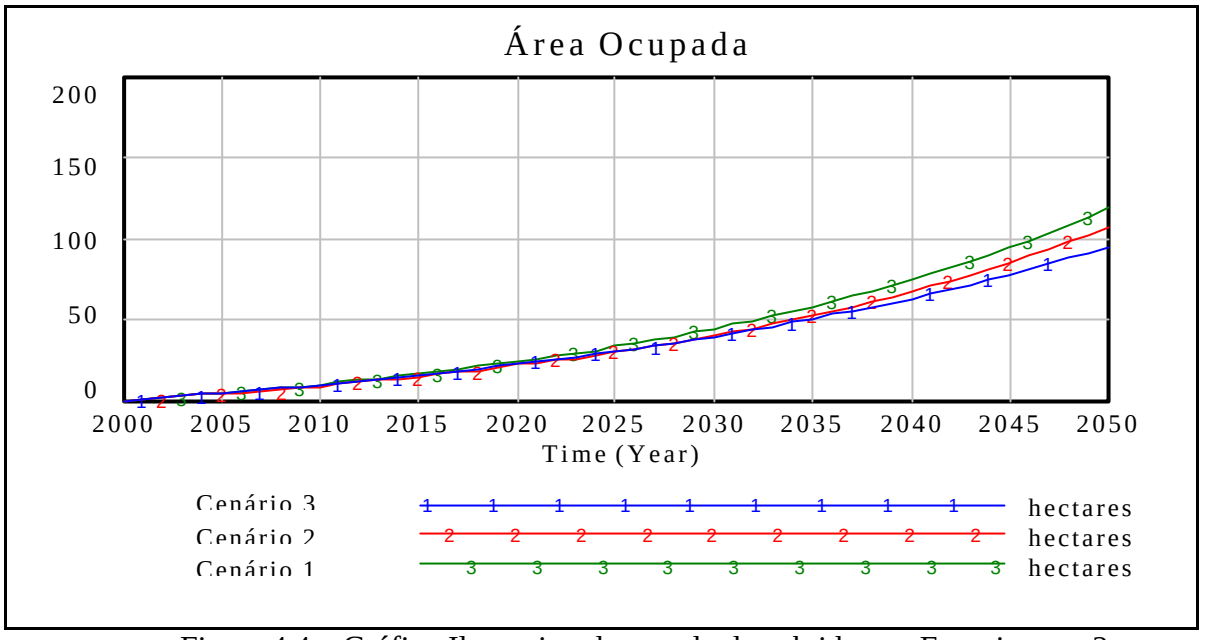

Figura 4.4 – Gráfico Ilustrativo dos resultados obtidos no Experimento 2

5. Considerações Finais

O principal objetivo do trabalho foi o de desenvolver um modelo de simulação que auxiliasse os gestores da área de resíduos sólidos no processo de tomada de decisão, no que se refere às dimensões de área disponíveis para o armazenamento de resíduos sólidos. No desenvolvimento dos experimentos foi levado em consideração um período de 50 anos (2000 a 2050).

Utilizando as variáveis taxa de nascimento anual, taxa de mortalidade anual, quantidade média de resíduos gerada por cada habitante e a população total do município, o sistema é capaz de prever a área que será ocupada pelos resíduos gerados pela população do município em um determinado período de tempo (que pode variar de horas a milhares de anos). Assim, de posse desta informação e, podendo manipulá-la (através da simulação), o gestor municipal poderá prever quando a capacidade do depósito de seu município será esgotada. Sabendo disto o gestor poderá tomar antecipadamente as medidas necessárias e também terá tempo para decidir se melhora o aproveitamento do depósito atual (como por exemplo, aumentando a coleta seletiva, utilizando aterro sanitário, etc.) ou começa a construção de um novo depósito. Optando por um novo, o sistema também pode auxiliar no seu dimensionamento, prevendo até quando este novo depósito suportaria ou qual área seria necessária para depositar os resíduos sólidos gerados por um número determinado de anos pela população do município.

O modelo apresentado por este artigo pode ser aplicado a diferentes ambientes de armazenamento de resíduos sólidos. Esta aplicabilidade do modelo é garantida pela aplicação

deste modelo a duas realidades distintas. Uma, em um depósito de resíduos já em processo de desativação por ser ambientalmente incorreto e, a outra, em um aterro sanitário. Pode ser observada, através da comparação dos dois experimentos realizados, o melhoramento da utilização do espaço necessário à alocação dos resíduos sólidos obtida com a adoção de práticas como a coleta seletiva, aterro sanitário e a reciclagem de resíduos sólidos.

O modelo também pode ser aperfeiçoado, ou melhor, adaptado a outras realidades com a inclusão de outras variáveis, como por exemplo, migrações (imigrantes, emigrantes), população sazonal e tipo de depósito adotado (variável auxiliar).

Por fim, cabe ressaltar que os resultados obtidos nos experimentos satisfizeram as expectativas dos gestores em ambos os municípios.

Agradecimentos

Os autores agradecem a COPESUL pelo apoio financeiro ao projeto.

6. Referências Bibliográficas

BARLAZ, M.A.; et al. Life-Cycle Study of Municipal Solid Waste Management – System Description. Washington DC: U.S. Environmental Protection Agency, 1995.

BRAGANÇA DE SOUZA, F.C. Sistema de Apoio à Decisão em Ambiente Espacial Aplicado em um Estudo de Caso de Avaliação de Áreas Destinadas para Disposição de Resíduos Sólidos na Região Metropolitana de Porto Alegre. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, 1999. In http://www.eps.ufsc.br/teses99/souza/

BHAT, V.N. A model for the optimal allocation of trucks for the solid waste management. Waste Management & Research, 14, pp.87-96, 1996.

CHANG, N.; WEI, Y. Siting recycling drop-off in urban area by genetic algorithm-based fuzzy multiobjective nonlinear integer programming modeling. Fuzzy Sets and Systems, 114, pp.133-149, 2000.

COVER, J. Introduction to System Dynamics. Powersim Press, 1996.

DEATON, M. L.; WINEBRAKE, J. J. Dynamic Modelling of Environmental Systems. Springer-Verlag, 2000.

EVERETT, J.W.; SHAHI, S. Vehicle and labor requirements for yard waste collection. Waste Management & Research, 15, pp.627-640, 1997.

HUANG, G.H.; BAETZ, B.W.; PATRY, G.G. Trash-Flow Allocation: Planning Under Uncertainty. Interfaces, Vol. 28, No. 6, pp. 36-55, Nov-Dec, 1998.

LAW, A.M., KELTON, W.D. Simulation Modeling & Analysis. 2ª Ed., McGraw-Hill, 1991.

MEADOWS, D.H. The limits to growth. Universe Books, New York, 1972.

MONTEIRO, J.H.P.; et al. Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Administração Municipal, 2001.

O'LEARY, P.R; et al.. Decision Maker's Guide to Solid Waste Management.Vol. 2. Washington DC: U.S. Environmental Protection Agency, 1999.

PERRODIN, Y.; et al. Waste ecocompatibility in storage and reuse scenarios: global methodology and detailed presentation of the impact study on the recipient environments. Waste Management, 22, pp. 215-228, 2002.

VENTANA SYSTEMS. Vensim Home Page. http://www.vensim.com

WEINTRAUB, A.; MARTELL, D.; GUNN, E. Forest Management Challenges for Operational Researchers. European Journal of Operations Research, 1998.

ZUTSHI, A.; SOHAL, A. Environmental management systems auditing: auditors´experiences in Auastralia. International Journal Environment and Sustainable Development, 1, No. 1, pp.73-87, 2002.