Luciana Miyoko Massukado

Desenvolvimento do processo de compostagem em unidade descentralizada e proposta de software livre para o gerenciamento municipal dos resíduos sólidos domiciliares

Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Doutor em Ciências da Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Assoc. Valdir Schalch

São Carlos – SP
2008

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTES
TRABALHOS, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO,
PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

M422d Massukado, Luciana Miyoko
Desenvolvimento do processo de compostagem em unidade
descentralizada e proposta de software livre para o
gerenciamento municipal dos resíduos sólidos domiciliares
/ Luciana Miyoko Massukado ; orientador Valdir Schalch. -
- São Carlos, 2008.

Tese (Doutorado-Programa de Pós-Graduação e Área de
Concentração em Ciências da Engenharia Ambiental) --
Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São
Paulo, 2008.

1. Compostagem de resíduos urbanos. 2. Software livre.
3. SIMGERE. 4. Gerenciamento de resíduos. 5. Qualidade do
composto. 6. Ensaio ecotoxicológico. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidata: Engenheira **LUCIANA MIYOKO MASSUKADO**

Tese defendida e julgada em 22/08/2008 perante a Comissão Julgadora:

Prof. Associado **VALDIR SCHALCH (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

APROVADA

Prof. Dr. **MARCUS CÉSAR AVEZUM ALVES DE CASTRO**
(Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"/UNESP/Campus de Rio Claro)"

Aprovada

Dr^a. **ADRIANA MARLENE MORENO PIRES**
(Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/EMBRAPA/Jaguariúna)

APROVADA

Prof. Dr. **WELLINGTON CYRO DE ALMEIDA LEITE**
(Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" /UNESP/Campus de Guaratinguetá)

APROVADO

Prof^a. Dr^a. **VIVIANA MARIA ZANTA**
(Universidade Federal da Bahia/UFBA)

APROVADO

Prof. Titular **MARCELO PEREIRA DE SOUZA**
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em
Ciências da Engenharia Ambiental

Prof. Associado **GERALDO ROBERTO MARTINS DA COSTA**
Presidente da Comissão da Pós-Graduação da EESC

Dedico esta tese aos meus pais, Tomoaki Massukado e Maria Miashiro Massukado, exemplos de amor e dedicação à família.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais e irmãs pelo incentivo e apoio durante o desenvolvimento da tese.

Ao orientador Prof. Valdir Schalch pela amizade e oportunidade concedida, pelo direcionamento da tese e por acreditar na minha pesquisa.

Aos moradores, agregados e ex-moradores da república TDN, Gu, Grá, Naila, Mathieu, Neto, Bruno, Otávio, Aline, Val, Dion, Gleise e Jeyson, pelos momentos de boa convivência que tivemos e ainda temos.

Aos amigos Paulo Ruffino, Fábio Yamada, Vitor Tosetto e Renata pela ajuda e, em especial, ao Sr. Wilson pela dedicação na operação do Pátio de Compostagem.

Aos membros da banca pela leitura e contribuição dispensadas à tese.

Aos colegas pesquisadores do Núcleo de Pesquisa e Estudo em Resíduos Sólidos (NEPER), Érica, Fábio F., Neto, Tássio, Anne, Tânia, Jaqueline, Zé Berto, Adriana, pela amizade, apoio e constante troca de conhecimentos.

Aos queridos amigos Patty, Tiemi, Carlinha, Jean, Belo e Bia.

Ao programador e amigo, Rodrigo Pedra Brum, pela dedicação e profissionalismo na elaboração do software.

À Horta Municipal de São Carlos, em nome do Luís e Fábio.

Aos funcionários do PPG-SEA e CHREA, Claudete, Nelson, Sônia, Paulo, Mara que sempre me receberam muito bem e me ajudaram quando foi preciso.

Aos integrantes do Núcleo de Estudos em Ecossistemas Aquáticos Evelyn, Amandio, Marcelo, Andrea e, em especial ao Prof. Evaldo pela permissão para realizar os ensaios ecotoxicológicos.

À pesquisadora e amiga Edna pela dedicação em me ensinar os procedimentos dos testes ecotoxicológicos e pelas discussões dos resultados.

Aos funcionários do Departamento de Hidráulica e Saneamento, em especial, à Rose, Jaque, Paulo e Júlio.

À Flávia e Fernanda por cuidarem tão bem da contabilidade do projeto.

Ao Centro de Divulgação Científica e Cultural (CDCC/USP), em especial, ao diretor Prof. Antônio Aprígio da Silva Curvelo que sempre me incentivou a continuar nesse caminho.

À Escola Estadual Bento da Silva César por conceder uma área da escola para a realização desta pesquisa.

Aos moradores do bairro São Carlos III, que durante 2 anos contribuíram para esta pesquisa, separando seus resíduos compostáveis.

Ao Laboratório de Solos do Departamento de Geotecnia, em especial ao Prof. Orêncio pela permissão concedida e ao técnico José Luiz pela disposição em me ensinar operar os equipamentos.

À Secretaria Municipal de Desenvolvimento Sustentável, Ciência e Tecnologia, em especial, ao Paulo Mancini, Paulo Shiroma e Eduardo Martins pela disponibilização das informações, convivência e oportunidades proporcionadas.

À Associação para a Proteção Ambiental de São Carlos pelo empréstimo do veículo utilizado na coleta dos resíduos orgânicos.

Ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas pela cessão da areia utilizada nos testes de toxicidade aguda do composto.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de doutorado (Processo nº 140608/2005-2).

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela concessão do Auxílio à Pesquisa (Processo nº 2006/50784-4).

A todas as pessoas que não citei, mas que cooperaram de uma forma ou de outra, na realização desta pesquisa.

"Grandes realizações não são feitas
por impulso, mas por uma soma de
pequenas realizações."
Vincent Van Gogh

“Aprender é a única coisa de que a
mente nunca se cansa, nunca tem
medo e nunca se arrepende.”

Leonardo da Vinci

RESUMO

MASSUKADO, L.M. **Desenvolvimento do processo de compostagem em unidade descentralizada e proposta de software livre para o gerenciamento municipal dos resíduos sólidos domiciliares.** 2008. 182 p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

A presente pesquisa teve como objetivos desenvolver o processo de compostagem dos resíduos sólidos, previamente separados na origem e, propor um software livre para o gerenciamento municipal de resíduos sólidos domiciliares. O processo de compostagem se desenvolveu em uma unidade descentralizada experimental, localizada no município de São Carlos, com capacidade para tratar 4 t/mês de resíduos orgânicos. A análise da qualidade do composto foi realizada segundo parâmetros físicos, químicos e microbiológicos. Os resultados indicaram que o composto atende à maioria dos limites estabelecidos pela legislação brasileira, principalmente, com relação à concentração de metais pesados ($Cd < 0.5$, $Pb = 1.3$, $Cr = 17.4$, $As < 0.5$, $Hg < 0.5$, $Se < 0.5$ e $Ni = 0.8$, em mg/kg) e presença de organismos patogênicos. No entanto, quando esse composto foi submetido a ensaio ecotoxicológico – teste agudo em minhocas da espécie *Eisenia andrei* - constatou-se toxicidade do mesmo, com taxas de mortalidade significativas ($P < 0.05$) a partir da concentração de 16% de composto em solo artificial tropical (TAS), o que significa uma dose de 60 t/ha. A alta condutividade elétrica do composto ($CE = 7,48$ mS/cm) foi considerada a responsável pela toxicidade do mesmo, uma vez que os teores de metais pesados estiveram muito abaixo dos limites estabelecidos pela legislação. O software livre desenvolvido nesta pesquisa foi denominado SIMGERE – Simulação para a Gestão de Resíduos Sólidos – que permite ao usuário simular a vida útil do aterro sanitário a partir da proposição de diferentes cenários de gerenciamento de resíduos sólidos domiciliares. Como estudo de caso aplicou-se o SIMGERE para estimar a vida útil do novo aterro sanitário de São Carlos/SP a partir da simulação de 27 cenários, nos quais foram alteradas as taxas de produção per capita de resíduos (0; 0,5 e 1,0% a.a.), a eficiência da central de triagem (0, 5 e 10% a.a) e da unidade compostagem (0, 5 e 10% a.a). Os resultados das simulações apontaram uma vida útil variando entre 17 (pior cenário) e 20 anos (melhor cenário). Pode-se inferir pelas simulações que a variação na produção per capita teve maior influência na vida útil do aterro do que a variação na eficiência da central de triagem e da unidade de compostagem. Esse resultado reforça a importância de se realizar investimentos em campanhas de conscientização da população para reduzir a geração de resíduos.

Palavras-chave: compostagem de resíduos urbanos, software livre, SIMGERE, gerenciamento de resíduos, qualidade do composto, ensaio ecotoxicológico.

ABSTRACT

MASSUKADO, L.M. **Development of decentralized composting plants and open source software proposal to municipal solid waste management.** 2008. 182 p. Thesis (Doctoral) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

This research aims to develop a household waste composting in a decentralized composting plant and propose open source software for the municipal solid waste management. The composting process was developed in an experimental decentralized plant in São Carlos, with a 4 tons/month capacity. The output compost quality analysis was made according to physical, chemical and microbiological parameters. Result showed that the compost fulfills most of the safety limits required by the Brazilian law (IN 27/2006, MAPA), especially in respect with heavy metal concentrations ($Cd < 0.5$, $Pb = 1.3$, $Cr = 17.4$, $As < 0.5$, $Hg < 0.5$, $Se < 0.5$ e $Ni = 0.8$, em mg/kg) and the presence of pathogens. However, when this compost was submitted to an ecotoxicological test – acute test with *Eisenia andrei* earthworms – one verified toxicity in samples with significant mortality ($p < 0.05$) on compost concentrations over 16% in a tropical artificial soil, meaning a 60 ton/ha dose. High electrical conductivity ($CE = 7,48$ mS/cm) was considered responsible for the compost toxicity. An open source software called SIMGERE – Simulation for solid waste management – was developed and allows the user to simulate landfill lifespan from the suggestion of different solid waste scenarios. The software was used to estimate the lifespan of the new landfill in São Carlos/SP from 27 scenarios where waste production rate per capita were changed (0; 0,5 and 1% per year). It was also changed the efficiency of sorting facilities (0, 5 e 10%) and composting plants (0, 5 e 10%). The results of these simulations showed that the lifespan can range from 17 years (worst case scenario) to 20 years (best case scenario). One can infer by the simulations that changes in the production per capita had a greater influence on the landfill lifespan than changes in efficiency of sorting facilities and of composting plants. This result shows the importance to invest in awareness campaigns to reduce waste.

Keywords: Organic waste composting, open source software, SIMGERE, waste management, compost quality, ecotoxicological tests

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Comparação entre os três métodos de compostagem: leiras revolvidas, leiras estáticas aeradas e sistema acelerado.....	16
Figura 3.2: Esquematização da legislação brasileira sobre fertilizante orgânico	30
Figura 3.3: Modelo de recipiente utilizado para teste de evitação com minhocas	36
Figura 3.4: Representação esquemática do teste de evitação.....	37
Figura 3.5: Estimativa da quantidade de resíduos sólidos urbanos submetidos à compostagem em alguns países europeus e na Austrália	39
Figura 4.1: À esquerda, foto aérea da localização do Pátio de Compostagem em relação à Rodovia Washington Luis. À direita uma aproximação da quadra onde se localiza o pátio, porém nesta imagem ele ainda não havia sido implantado.	63
Figura 4.2: Localização do Pátio de compostagem em relação ao município de São Carlos ..	64
Figura 4.3: Layout do Centro de Reciclagem que não foi implantado, mas que pode ser utilizado como referência para outros projetos.....	65
Figura 4.4: Parte da equipe que atuou no projeto ABC da Compostagem (Da esquerda para direita: Luciana, Sr. Wilson, Renata, Vitor, Kátia e Fábio).	66
Figura 4.5 À esquerda, modelo da sacola utilizada para a coleta dos materiais compostáveis. À direita, disposição das sacolas para a coleta.....	67
Figura 4.6: Veículo, emprestado pela Ong APASC, utilizado no projeto para coleta do material compostável	67
Figura 4.7: À esquerda, vista frontal do Pátio de Compostagem – parte coberta. À direita, ampliação a céu aberto.	68
Figura 4.8: Procedimento de triagem do material que chegava ao Pátio de Compostagem	68
Figura 4.9: Procedimento de pesagem e medição do volume do material de entrada da leira.	69
Figura 4.10: À esquerda, leira montada com restos de alimentos. À direita, cobertura feita com capim e folhas.	70
Figura 4.11: À esquerda, medição da temperatura da leira e, à direita operação de revolvimento da leira.....	71
Figura 4.12: Verificação da umidade – teste da bolota (esquerda) e processo de trituração da leira (direita)	71
Figura 4.13. Composto ensacado (esquerda) e entrega a um dos participantes (direita).	72
Figura 4.14: Teste visual para avaliação do desempenho no crescimento da cenoura e beterraba em área sem composto (à esquerda) e área com adição composto (à direita).....	72
Figura 4.15: Aparência física do TAS – Solo Artificial Tropical, composto pela mistura de areia, caulim e fibra de coco na proporção, em peso, de 7:2:1.....	77
Figuras 4.16: À esquerda, composto peneirado proveniente do pátio de compostagem e à direita, composto proveniente da Horta Municipal.....	78

Figura 4.17: Sala de cultivo onde as minhocas permanecem em caixas plásticas até serem utilizadas nos ensaios.	79
Figura 4.18: Ensaio para determinação da capacidade de retenção de água. Da esquerda para direita têm-se os frascos do composto da horta, do pátio e do controle (somente água).....	82
Figura 4.19: Evolução da coloração dos tratamentos testados de acordo com o aumento da quantidade de substância-teste em relação ao TAS.	85
Figura 4.20: À esquerda, minhocas aclimatadas no TAS. À direita, 600 minhocas lavadas em água destilada para, em seguida, serem adicionadas aos recipientes com os tratamentos.....	86
Figura 4.21: Distribuição aleatória dos recipientes na bancada do Laboratório de Ecotoxicologia.	86
Figura 4.22: Inserção da gestão de resíduos sólidos no organograma hierárquico da Prefeitura Municipal de São Carlos.	89
Figura 4.23: Mapa dos setores da coleta seletiva de São Carlos/SP. O mapa está dividido por cooperativas e por dias de coleta.	93
Figura 4.24: À esquerda, caminhão utilizado pela cooperativa de catadores para realizar a coleta seletiva. À direita, cooperado realizando coleta porta-a-porta dos resíduos recicláveis.	93
Figura 4.25: Barracão de triagem de materiais recicláveis de uma das cooperativas existentes em São Carlos/SP.....	94
Figura 4.26: Modelo dos PEV's que serão instalados no município para a entrega voluntária de resíduos recicláveis.....	94
Figura 4.27: Horta Municipal de São Carlos/SP – à esquerda, leiras de compostagem com resíduos provenientes da coleta de compostáveis e, à direita canteiros de hortaliças que utilizam o composto produzido.	95
Figura 4.28: Cartazes de divulgação do Programa de Resíduos Compostáveis da Prefeitura Municipal de São Carlos/SP.....	95
Figura 5.1 Pátio de Compostagem - processo de leiras revolvidas realizado em local coberto, São Carlos/SP.	98
Figura 5.2: Horta Municipal – vista geral das leiras, processo de leiras revolvidas a céu aberto, São Carlos/SP.	98
Figura 5.3: Usina de Reciclagem e Compostagem – vista geral das leiras, sistema Gavazzi com processo de leiras revolvidas a céu aberto, Garça, SP.....	99
Figura 5.1: Gráfico temporal de acompanhamento da temperatura das leiras 01, 02, 32 e 33 cujo processo se desenvolveu durante o verão.	101
Figura 5.2: Gráfico temporal de acompanhamento da temperatura das leiras 03 e 04 cujo processo se desenvolveu durante as estações verão e outono.	102
Figura 5.3: Gráfico temporal de acompanhamento da temperatura das leiras 05, 06 e 07 cujo processo se desenvolveu durante o outono.....	102
Figura 5.4: Gráfico temporal de acompanhamento da temperatura das leiras 08 a 12 cujo processo se desenvolveu durante as estações outono e inverno.	103
Figura 5.5: Gráfico temporal de acompanhamento da temperatura das leiras 08 a 12 cujo processo se desenvolveu durante o inverno.	103

Figura 5.6: Gráfico temporal de acompanhamento da temperatura das leiras 16, 18, 19, 20 e 21- cujo processo se desenvolveu durante as estações inverno e primavera.....	104
Figura 5.7: Gráfico temporal de acompanhamento da temperatura das leiras 22 e 23 cujo processo se desenvolveu durante a primavera.....	104
Figura 5.8: Gráfico temporal de acompanhamento da temperatura das leiras 25 a 31 cujo processo se desenvolveu durante as estações da primavera e verão.....	105
Figura 5.9: Acompanhamento de temperatura da leira 01 desenvolvida no verão.....	106
Figura 5.10: Acompanhamento de temperatura da leira 15 desenvolvida no inverno.....	106
Figura 5.11: Minhocas mortas na superfície do substrato, aos 15 minutos após introdução em recipiente com 100% de composto de lixo proveniente do Pátio de Compostagem.	116
Figura 5.12: Resultado da LC ₅₀ , para composto de lixo, pelo programa Trimmed Spearman-Kärber (Tsk) Program Version 1.5	117
Figura 5.13: Porcentagem de mortalidade de minhocas da espécie <i>Eisenia andrei</i> submetidas à diferentes substâncias-teste e com diferentes concentrações. O solo artificial tropical (TAS) foi utilizado como controle.....	119
Figura 5.14: Resultado da LC ₅₀ para segundo teste com composto de lixo, pelo programa Trimmed Spearman-Kärber (Tsk) Program Version 1.5	125
Figura 5.15 Relação entre as concentrações de composto de lixo e a porcentagem de mortalidade de <i>Eisenia andrei</i> no teste de toxicidade aguda.	126
Figura 5.16: Representação do esquema de funcionamento do SIMGERE.....	128
Figura 5.17.: Tela inicial do software SIMGERE contendo uma breve apresentação do mesmo.	129
Figura 5.18: Fluxograma de decisão utilizado para o link “Diagnóstico dos RSD”	131
Figura 5.19: Exemplo do link “Diagnóstico dos RSD” quando a composição gravimétrica é conhecida.....	132
Figura 5.20: Exemplo do link “Diagnóstico dos RSD” quando a composição gravimétrica não é conhecida.	133
Figura 5.21 Fluxograma de decisão para o cálculo da vida útil do aterro sanitário – Passo 1	134
Figura 5.22: Representação do Passo 1 para calcular a vida do aterro sanitário. Nesse caso o cenário atual de gestão é CR+AS e, o usuário não quis acrescentar nenhuma nova opção...	135
Figura 5.23: Fluxograma de decisão para o cálculo da vida útil do aterro sanitário – Passo 2	137
Figura 5.24. Fluxograma de decisão para o cálculo da vida útil com a inserção da alternativa CS/CTB no cenário CR+AS.....	138
Figura 5.25. Fluxograma de decisão para o cálculo da vida útil com a inserção da alternativa URC no cenário CR+AS.	139
Figura 5.26: Fluxograma de decisão para o cálculo da vida útil com a inserção da alternativa CS/CTB e CS/UC no cenário CR+AS.	140
Figura 5.27: Fluxograma de decisão para o cálculo da vida útil com a inserção da alternativa CS/UC no cenário CR+CS/CTB+AS.....	141

Figura 5.28: Representação do Passo 2 para calcular a vida do aterro sanitário. Nesse caso o cenário atual de gestão é CR+AS e, o usuário inseriu a alternativa CS/CTB na simulação..	142
Figura 5.29: Representação do Passo 2 para calcular a vida do aterro sanitário. Nesse caso o cenário atual de gestão é CR+AS e, o usuário inseriu a alternativa URC na simulação.	143
Figura 5.30: Representação do Passo 2 para calcular a vida do aterro sanitário. Nesse caso o cenário atual de gestão é CR+AS e, o usuário inseriu a alternativa CS/CTB e CS/UC na simulação.....	144
Figura 5.31: Representação do Passo 2 para calcular a vida do aterro sanitário. Nesse caso o cenário atual de gestão é CR+AS e, o usuário não inseriu nova alternativa.	145
Figura 5.32: Representação do Passo 2 para calcular a vida do aterro sanitário. Nesse caso o cenário atual de gestão é CR+CS/CTB+AS e, o usuário inseriu a alternativa CS/UC.....	146
Figura 5.33: Representação do Passo 2 para calcular a vida do aterro sanitário. Nesse caso o cenário atual de gestão é CR+URC+AS.	147
Figura 5.34: Representação do Passo 2 para calcular a vida do aterro sanitário. Nesse caso o cenário atual de gestão é CR+CS/CTB+CS/CTB.....	148
Figura 5.35: Interface que explica o objetivo desse banco de dados e que fornece as opções de cadastro e consulta de experiências de compostagem.	149
Figura 5.36: Interface para consulta de experiências de compostagem. Como procedimento padrão o programa mostra todas as experiência, mas usuário pode aplicar um filtro por país ou método de compostagem.	149
Figura 5.37: Interface para cadastro de experiências de compostagem.	150
Figura 5.38: Interface para que o usuário possa entrar em contato com o pesquisador, seja para solucionar alguma dúvida ou sugerir algum melhoramento.	151

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1: Temperatura e tempo de manutenção requeridos para a destruição de alguns microrganismos patogênicos presentes no lodo de esgoto.....	9
Quadro 3.2: Relação C/N para diferentes materiais a serem compostados.....	12
Quadro 3.3: Problemas e conseqüências devido a diferentes intervalos da relação C/N durante o processo de compostagem de RSD	13
Quadro 3.4: Aspectos positivos e negativos do método de leiras revolvidas, leiras estáticas aeradas e sistema fechado.....	16
Quadro 3.5: Proposta de classificação do composto em função do uso agrícola	24
Quadro 3.6: Diferenças entre o composto maduro e o composto cru	24
Quadro 3.7: Limites, para alguns países, do teor de metais pesados (mg/kg) permitido no composto	28
Quadro 3.8: Especificações dos fertilizantes mistos e compostos.....	32
Quadro 3.9. Classificação da natureza física do fertilizante orgânico de acordo com a sua especificação granulométrica.	32
Quadro 3.10. Limites máximos de contaminantes admitidos em fertilizantes orgânicos.....	33
Quadro 3.11: Lista das usinas de compostagem operando nos EUA em 2001 segundo pesquisa publicada pela revista <i>Biocycle</i>	41
Quadro 3.12: Modelos de gestão de compostagem descentralizada.....	47
Quadro 3.13: Área, mão de obra, custo de instalação e operação, composto produzido e preço de venda para diferentes capacidades de plantas de compostagem.....	50
Quadro 3.14: Softwares aplicados para a gestão e o gerenciamento de RSD	58
Quadro 4.1.: Relação dos parâmetros analisados, local e metodologia utilizada.....	74
Quadro 4.2: Responsáveis pelo gerenciamento e pela de gestão de diferentes tipos de resíduos produzidos no município de São Carlos/SP, 2008.....	90
Quadro 5.1: Quadro comparativo dos processos de compostagem realizados no Pátio de Compostagem, Horta Municipal e Usina de Reciclagem e Compostagem.....	100
Quadro 5.2: Legenda utilizada nos fluxogramas de decisão	129
Quadro 5.3: Descrição dos cenários de gestão de resíduos sólidos domiciliares	136
Quadro 5.4: Resumo das informações utilizadas para realizar a simulação da vida útil para o aterro sanitário de São Carlos/SP.....	152

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1. Apresentação dos valores médios, mínimos e máximos de peso, volume, densidade, porcentagem de resíduos verdes e castanhos para os resíduos orgânicos coletados e para o composto peneirado.....	70
Tabela 5.1. Sistematização dos resultados da análise do composto do Pátio, da Horta e da Usina de Reciclagem e Compostagem para teor de matéria orgânica, capacidade de troca catiônica, carbono, nitrogênio, relação C/N, macro e micronutrientes e valores limites estabelecidos pela legislação e pela CETESB.....	108
Tabela 5.2. Sistematização dos resultados da análise de metais pesados para o composto do Pátio, da Horta e da Usina de Reciclagem e Compostagem e valores limites estabelecidos pela legislação.....	111
Tabela 5.3. Sistematização dos resultados da análise de metais pesados para o composto do Pátio, da Horta e da Usina de Reciclagem e Compostagem e valores orientadores para solo (CETESB, 2005).....	111
Tabela 5.4. : Resultado da análise de organismos patogênicos do composto	113
Tabela 5.5: Características físicas, químicas e bacteriológicas das substâncias-teste utilizadas no ensaio de toxicidade aguda e limites estabelecidos pela legislação brasileira e CETESB.....	114
Tabela 5.6: Resultados do Teste de Toxicidade Aguda do composto de lixo produzido no Pátio de Compostagem, São Carlos, 2008.....	115
Tabela 5.7: Resultados do Teste de Toxicidade Aguda para o composto de lixo produzido na Horta Municipal	118
Tabela 5.8: Valores de condutividade elétrica, potássio e sódio solúvel, nitrogênio total, nitrogênio amoniacal e nitrogênio nitrato para amostras do composto do Pátio e da Horta.	120
Tabela 5.9: Determinação da condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) dos tratamentos que tiveram sobreviventes. Extrato solo-água 1:5 (m:v).....	121
Tabela 5.10: Resultado do monitoramento dos pesos médios das minhocas, antes e após o ensaio de toxicidade aguda.....	122
Tabela 5.11: Parâmetros medidos antes do novo teste de toxicidade aguda.....	123
Tabela 5.12: Resultados do segundo teste de Toxicidade Aguda o composto de lixo produzido no Pátio de Compostagem.	124
Tabela 5.13: Pesagem das minhocas ao final do teste de toxicidade aguda para analisar a variação na biomassa.....	126
Tabela 5.14: Simulação de diferentes cenários de gerenciamento de RSD para estimar a vida útil do aterro sanitário de São Carlos/SP.....	153

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
APASC	Associação para a proteção ambiental de São Carlos
APHA	American Public Health Association
AS	Aterro sanitário
C/N	Relação carbono nitrogênio
CDCC	Centro de Divulgação Científica e Cultural
CE	Condutividade elétrica
CETESB	Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental
CL ₅₀	Concentração letal média
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CR	Coleta regular
CRA	Capacidade de retenção de água
CRHEA	Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada
CS	Coleta seletiva
CTB	Central de triagem e beneficiamento
CTC	Capacidade de troca catiônica
EC	Environment Canadá
EESC	Escola de Engenharia de São Carlos
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPA	Environmental Protection Agency
FEAM	Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas Gerais
ha	Hectares
IAC	Instituto Agrônomo de Campinas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadoria E Serviços
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IN	Instrução Normativa
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
IQR	Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos
ISO	International Standards Organisation

MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MVC	Model-View-Controller
NEPER	Núcleo de Estudos e Pesquisas em Resíduos Sólidos
NMP	Número mais provável
N-NH ₄	Nitrogênio amoniacal
N-NO ₃	Nitrogênio nitrato
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
ONG	Organização Não Governamental
PEV	Ponto de Entrega Voluntária
pH	Potencial Hidrogeniônico
PHP	Hypertext Preprocessor
PMSC	Prefeitura Municipal de São Carlos
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
RSD	Resíduos Sólidos Domiciliares
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SAD	Sistema de Apoio à Decisão
SDA	Secretaria de Defesa Agropecuária
SEADE	Sistema Estadual de Análise de Dados
SIMGERE	Simulação para a gestão dos resíduos sólidos
SMDSCT	Secretaria Municipal de Desenvolvimento Sustentável, Ciência e Tecnologia
SMOSP	Secretaria Municipal de Obras e Serviços Públicos
SW	Solid Waste
TAS	Tropical artificial soil
UC	Unidade de compostagem
UDC	Unidade Descentralizada de Compostagem
UFSCAR	Universidade Federal de São Carlos
UFV	Universidade Federal de Viçosa
UGRHI	Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
UNICEP	Centro Universitário Central Paulista
URC	Usina de Reciclagem e Compostagem
USP	Universidade de São Paulo

SUMÁRIO

RESUMO.....	x
ABSTRACT	xi
LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE QUADROS	xvi
LISTA DE TABELAS	xvii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xviii
 1. INTRODUÇÃO.....	 1
 2. OBJETIVOS.....	 4
2.1. Objetivos Gerais.....	4
2.1. Objetivos Específicos	4
 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	 6
3.1. Base conceitual da compostagem.....	7
3.1.1. Temperatura	7
3.1.2. Umidade	10
3.1.3 Aeração e revolvimento	10
3.1.4. Relação carbono/nitrogênio (C/N).....	12
3.1.5. Tamanho das partículas.....	14
3.1.6. pH	14
3.1.7. Microrganismos.....	15
3.2. Métodos de compostagem	15
3.2.1. Método de leiras revolvidas ou sistema <i>windrow</i>	17
3.2.2. Método de leiras estáticas aeradas.....	18
3.2.3. Método fechado ou acelerado	18
3.3. Compostagem como alternativa complementar no gerenciamento de resíduos sólidos	19
3.4. O Composto como produto da compostagem.....	21
3.4.1. Marketing do composto	22
3.4.2. Qualidade do composto.....	23
3.4.2.1. Relação entre metais pesados e qualidade do composto.....	27
3.4.2.2. Legislação Brasileira e qualidade do composto.....	30

3.4.2.3. Utilização de ensaios ecotoxicológicos como ferramenta complementar para avaliar a qualidade do composto de lixo	34
3.5. Panorama da compostagem no contexto mundial.....	38
3.5.1. Países europeus.....	38
3.5.2. Estados Unidos.....	41
3.5.3. Países asiáticos	42
3.6. Situação atual da compostagem no contexto brasileiro.....	43
3.7. Compostagem sob a ótica da descentralização	45
3.7.1. Unidades Descentralizadas de Compostagem.....	45
3.7.2. Experiências em compostagem descentralizada.....	48
3.8. Sistemas de Apoio à Decisão.....	52
3.8.1. Conceito de software livre	53
3.9. Desenvolvimento de software.....	54
3.10. Softwares aplicados para a área de resíduos sólidos	57
4. MATERIAIS E MÉTODOS	61
4.1. Caracterização do município de São Carlos/SP.....	61
4.2. Caracterização da área de estudo	62
4.2.1. Operacionalização do Pátio de Compostagem.....	65
4.3. Parâmetros analisados do composto de lixo	73
4.3.1. Parâmetros físicos.....	74
4.3.2. Parâmetros químicos.....	75
4.3.3. Parâmetros microbiológicos.....	76
4.3.4 Ensaio de toxicidade aguda.....	76
4.3.4.1. Manutenção e alimentação dos organismos em laboratório.....	78
4.3.4.2. Definição dos tratamentos.....	80
4.3.4.3. Determinação dos parâmetros de umidade, pH, capacidade de retenção de água e condutividade elétrica dos substratos-teste.....	81
4.3.4.4. Descrição do ensaio de toxicidade aguda.....	84
4.4. Desenvolvimento de Software	87
4.4.1. Aplicação do software para o gerenciamento de resíduos sólidos domiciliares de São Carlos/SP	88
4.4.1.1 Gerenciamento dos resíduos sólidos de São Carlos	88
4.4.1.2 Gerenciamento dos Resíduos Sólidos Domiciliares	91

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	97
5.1. Parâmetros analisados para o composto de lixo.....	100
5.1.1. Parâmetros físicos e químicos	101
5.1.1.1. Temperatura.....	101
5.3.1.2. Umidade, pH e granulometria	107
5.3.1.3. Matéria orgânica, capacidade de troca de cátionica, macro e micronutrientes	107
5.3.1.4 Metais pesados.....	110
5.3.3. Análises microbiológicas	112
5.3.4. Teste de Toxicidade Aguda.....	113
5.3.4.1. Segundo ensaio de Toxicidade Aguda	123
5.4. Desenvolvimento do Software	128
5.5. Aplicação para São Carlos.....	151
6. CONCLUSÕES	155
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	158
8. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS.....	159
9. REFERÊNCIAS	160
APÊNDICES	170
APÊNDICE A – Sistematização de experiências em compostagem descentralizada	171
APÊNDICE B – Conjunto de planilhas e materiais informativos utilizados no Pátio de Compostagem	175
APÊNDICE C – Sistematização da composição gravimétrica de alguns municípios brasileiros.....	180
ANEXO A - Planilha utilizada para ensaio de peneiramento do composto.....	182

1. INTRODUÇÃO

A dificuldade para se encontrar locais ambientalmente adequados e economicamente viáveis para a disposição dos resíduos sólidos demanda dos municípios a adoção de estratégias que prolonguem a vida útil dos aterros sanitários. Isso significa implantar programas que tenham como objetivo desviar ao máximo a quantidade de resíduos aterrada, tanto os recicláveis quanto os compostáveis.

Os resíduos recicláveis (papel, vidro, alumínio, plásticos, entre outros) representam em média 20 a 30%, em peso, do total de resíduos encaminhados para um aterro sanitário. No Brasil, a prática da coleta seletiva de recicláveis vem aumentando progressivamente, seja no âmbito formal ou informal. A pesquisa realizada pela associação Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE) revela que em 1994 havia 81 municípios com programas de coleta seletiva, sendo que em 2008 esse número aumentou para 405. Os motivos desse crescimento são a existência de um mercado consumidor, possibilidade de geração de emprego e renda e tentativa de aumentar a vida útil do aterro.

Ao contrário do grande volume ocupado pelos recicláveis, os resíduos orgânicos têm como principal característica a rápida degradação e, representam cerca de 50 a 60% dos resíduos encaminhados para um aterro. Porém, o ambiente em que a degradação ocorre é basicamente anaeróbio, tendo como consequência a geração de produtos indesejáveis, tais como o chorume e o gás metano, ambos com elevado potencial de contaminação. Sob esse ponto de vista é interessante que os resíduos orgânicos também sejam coletados e tratados em locais adequados, desviando assim, essa parcela dos aterros.

A compostagem é uma das alternativas para tratar os resíduos orgânicos, pois pode reduzir em mais de 60% o seu volume, produzindo ao final do processo, um material estável que pode ser utilizado como condicionador de solos ou até mesmo atuar como um fertilizante. No Brasil, existem poucas plantas de compostagem em funcionamento, sendo a maioria caracterizada por instalações centralizadas e mecanizadas que processam os resíduos oriundos da coleta regular. Como os resíduos chegam misturados tem-se um produto final de baixa qualidade do ponto de vista agrônomo (presença de materiais indesejáveis e metais pesados).

De uma forma geral, a reciclagem e a compostagem, seriam duas formas de desviar os resíduos dos aterros sanitários. No entanto, é necessário considerar também as inúmeras dificuldades enfrentadas pela administração municipal para se implantar programas municipais de coleta seletiva de recicláveis e compostagem. Dentre as dificuldades destacam-se a insuficiência de recursos humanos capacitados e qualificados para atuarem no gerenciamento de resíduos; o pequeno repasse orçamentário para esse setor e ausência ou desconhecimento de sistemas de apoio à decisão.

Especificamente com relação aos sistemas de apoio à decisão é desejável e necessário que os municípios tenham acesso a esse instrumento. Num sistema de apoio à decisão é possível, a partir da mudança de algumas variáveis simular diversos cenários para o gerenciamento municipal de resíduos sólidos. Assim, essa ferramenta poderia ser utilizada para mostrar, por exemplo, o impacto causado na vida útil do aterro sanitário a partir da introdução da coleta seletiva, tanto de recicláveis quanto de compostáveis.

A partir dessa discussão inicial, a presente pesquisa pretende:

- investigar se a compostagem dos resíduos orgânicos, previamente separados na origem, em uma unidade descentralizada pode contribuir para melhorar a qualidade do composto produzido. Para tanto o composto será avaliado segundo os parâmetros de qualidade estabelecidos pela legislação brasileira (IN 23/2005 e IN 25/2006 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento). Outro ponto a ser verificado é se os parâmetros de

qualidade estabelecidos por lei são suficientes para assegurar a aplicação segura, no ambiente, do composto de lixo.

- desenvolver um sistema de apoio à decisão para subsidiar o gerenciamento municipal de resíduos sólidos domiciliares. Esse sistema será um melhoramento do sistema já existente denominado SIMGERE – Simulação para o gerenciamento de resíduos sólidos. As melhorias propostas são: disponibilizar o sistema on line, introduzir um banco de dados sobre experiências de compostagem e permitir que o usuário simule a vida útil do aterro sanitário a partir da inserção de programas de coleta seletiva e/ou compostagem no município.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivos Gerais

A presente pesquisa teve dois objetivos principais:

- Avaliar se os parâmetros estabelecidos na legislação brasileira são suficientes para garantir a qualidade do composto de lixo e a sustentabilidade de sua aplicação no solo;
- Propor um protocolo de trabalho que subsidiem novas experiências de compostagem;
- Desenvolver um software livre de apoio à decisão para auxiliar os municípios no gerenciamento dos resíduos sólidos domiciliares.

2.1. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos relativos à compostagem foram:

- Sistematizar as experiências de compostagem no Brasil em função da quantidade e qualidade do composto obtido e da sua operacionalização;

- Sistematizar as experiências de compostagem no âmbito mundial;
- Realizar a compostagem da fração orgânica dos resíduos já separados na fonte;
- Avaliar a qualidade do composto com base nos parâmetros físicos, químicos, microbiológicos e
- Avaliar o efeito ecotoxicológico do composto de lixo em populações de minhoca da espécie *Eisenia andrei*.

Os objetivos específicos relativos ao desenvolvimento do software foram:

- Idealizar a concepção do sistema: definição do banco de dados, dos resultados esperados e da forma de entrada das informações;
- Modelar o funcionamento do sistema por meio de fluxogramas de decisão;
- Realizar diversos testes no sistema, durante o seu desenvolvimento, a fim de verificar possíveis erros que estejam ocorrendo e corrigi-los antes de divulgar ao público;
- Gerar cenários de gerenciamento dos resíduos sólidos domiciliares para o município de São Carlos, visando avaliar as consequências sobre a vida útil do aterro sanitário.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo buscou-se reunir as informações existentes sobre os dois assuntos da pesquisa, compostagem e desenvolvimento de software. Para tanto foram consultadas teses e dissertações, revistas eletrônicas, artigos de periódicos e congressos e legislações pertinentes ao tema.

Para a compostagem discutiram-se os principais parâmetros que interferem no seu processo; os métodos empregados, a qualidade do composto; a legislação brasileira existente para fertilizantes orgânicos; a importância dos ensaios ecotoxicológicos como ferramenta auxiliar para a avaliação da qualidade do composto; o panorama atual da compostagem no contexto mundial e brasileiro e; o modelo da compostagem descentralizada.

Na revisão sobre software foram abordadas questões sobre os sistemas de apoio à decisão; a metodologia de desenvolvimento; o conceito do software livre e sua importância para a divulgação e melhoramento de conhecimento; além da realização de uma sistematização de alguns softwares aplicados ao gerenciamento de resíduos sólidos.

3.1. Base conceitual da compostagem

A compostagem pode ser definida como um processo controlado de decomposição aeróbia e exotérmica da substância orgânica biodegradável, por meio da ação de microrganismos autóctones, com liberação de gás carbônico e vapor de água, produzindo, ao final, um produto estável e rico em matéria orgânica (DE BERTOLDI et al., 1983; SENESI, 1989; ABNT, 1996; BIDONE E POVINELLI, 1999; KIEHL, 2004).

O principal impacto ambiental negativo relacionado à compostagem é a possibilidade de produção de maus odores e de escoamento do chorume. Porém, a adoção de cuidados essenciais permite reduzir ou até mesmo, evitar esses impactos. O controle na produção de maus odores pode ser realizado no início do processo, ou seja, no momento do balanceamento dos resíduos que serão compostados (USEPA, 1994). Assim, a obtenção da relação C/N entre 25/1 e 35/1 é considerada ótima para iniciar o processo de compostagem (KIEHL, 2004).

O escoamento do chorume geralmente ocorre em situações nas quais as leiras encontram-se compactadas ou quando elas se encontram sem proteção contra freqüentes e fortes precipitações. O controle pode ser realizado tanto para aumentar a freqüência do revolvimento, diminuir a altura da leira ou protegê-la com lona, quando houver períodos de chuva excessiva.

A compostagem apresenta muitas vantagens ambientais, podendo-se destacar o aumento da vida útil do aterro sanitário, a redução na emissão do gás metano e na geração de lixiviado. Indiretamente, tem-se como benefício, a redução nos custos de implantação e operação de sistemas para o tratamento do chorume.

É importante ressaltar que essas vantagens somente serão obtidas se houver um controle adequado do processo. Considerando que o metabolismo dos microrganismos envolvidos na compostagem é extremamente sensível às variações de temperatura, nível de oxigênio, quantidade e qualidade do material compostável, relação C/N, pH e disponibilidade de nutrientes, infere-se que esses são os principais fatores que devem ser controlados.

3.1.1. Temperatura

Uma das preocupações com relação à utilização do composto proveniente da compostagem de resíduos sólidos é a sua aplicação no solo, devido à incerteza da presença de

microrganismos patogênicos. Os principais fatores que contribuem para a eliminação desses organismos são: a manutenção da temperatura entre 65 °C e 70 °C; o tempo de exposição a essa temperatura; a competição entre espécies e; a extinção do substrato e dos nutrientes (REIS, 2005). Verifica-se, portanto, que a temperatura é um parâmetro importante para assegurar a qualidade do processo, além de ser de fácil monitoramento.

Assim, o tamanho da leira influencia para que a mesma atinja temperaturas suficientes para eliminar os organismos patogênicos. Segundo Rodrigues (2004), a leira deve ter tamanho suficiente para impedir a rápida dissipação de calor e umidade, admitindo-se um volume mínimo de 1m³.

Os intervalos de temperatura definem as fases da compostagem em: termófila, mesófila e de maturação, as quais são caracterizadas pela predominância de determinada comunidade microbiológica. Temperaturas entre 45°C e 65°C atingidas durante o processo de compostagem caracterizam a fase denominada termófila na qual ocorre intensa atividade microbiológica com elevado consumo de oxigênio. Essa fase é considerada fitotóxica para as plantas devido ao desenvolvimento de diversos ácidos minerais e orgânicos (KIEHL, 2004; BARREIRA, 2005).

A manutenção da temperatura termófila por um determinado período garante a quase completa erradicação de ervas daninhas e microrganismos patogênicos, contribuindo assim, para uma melhor qualidade sanitária do composto (BIDONE E POVINELLI, 1999; ANDREOLI, 2001; KIEHL, 2004). A norma USEPA 40 CFR part 503 e a norma para qualidade do composto do *Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME)* preconizam temperatura mínima de 55 °C por pelo menos três dias para o processo de leiras estáticas aeradas e 55 °C por pelo menos 15 dias, com no mínimo 5 revolvimentos nesse processo, para o processo de leiras revolvidas para assegurar a eliminação de organismos patogênicos (ACR, 2005).

No Quadro 3.1 são apresentados valores de temperatura e quantidade necessária de tempo para eliminar os organismos patogênicos encontrados no lodo de esgoto, que podem servir como parâmetro para a compostagem de resíduos sólidos domiciliares.

Quadro 3.1: Temperatura e tempo de manutenção requeridos para a destruição de alguns microrganismos patogênicos presentes no lodo de esgoto.

Organismo	Tempo (min)	Temperatura (°C)
Salmonella typhosa	Instantâneo	55 a 60
	30	46
Salmonella ssp.	15 a 30	60
	60	55
Shigela	60	55
Escherichia coli	5	70
	15 a 20	60
	60	55
Estomacha histotytyca (cistos)	Instantâneo	68
Taenia saginata	5	71
Trichinella spiralis (larvas)	Instantâneo	62 a 72
	60	50
Necator americanus	50	45
Brucella abortus	50	45
Estyrectococos fecais	60	70
Coliformes fecais	60	70

Fonte: USEPA (1995) apud Andreoli et al. (2001, p. 106).

Kiehl (2004, p. 46) faz um alerta quando as temperaturas são superiores a 70°C, por longo período, uma vez que “são desaconselháveis por restringirem a ação dos microrganismos mais sensíveis, insolubilizar proteínas hidrossolúveis, provocar alterações químicas indesejáveis e desprendimento de amônia, se o material possuir baixa relação C/N.”

A fase que antecede e também sucede a termófilia é denominada mesófila caracterizada por temperaturas entre 20° C e 45° C. A primeira fase da temperatura mesófila ocorre no início da compostagem, durando poucos dias, fornecendo condições necessárias para que o processo se inicie, ocorrendo a proliferação dos microrganismos termófilos.

Segundo Andreoli (2001, p.39), “quando o substrato orgânico é, em sua maior parte, transformado, a temperatura diminui, a população termófila se restringe, a atividade biológica global se reduz de maneira significativa e os mesófilos se instalam novamente.” Nessa fase inicia-se o processo de humificação e maturação da matéria orgânica.

Ressalta-se que os intervalos de temperatura que caracterizam as fases termófila e mesófila não são estáticos, podendo variar de acordo com a composição da matéria-prima a ser compostada, da granulometria, das dimensões da leira, teor de umidade, disponibilidade de oxigênio, entre outros (BARREIRA, 2005; REIS, 2005). O importante é saber que em cada fase há o desenvolvimento de um ou mais grupos de microrganismos, que exercem diferentes funções de biodegradação da matéria orgânica.

A maturação é considerada o estágio final da degradação do material compostável na qual a quantidade de oxigênio requerida é menor, tornando o processo biológico mais

lento, a temperatura tende a baixar até se aproximar à do ambiente e ocorre a mineralização da matéria orgânica (SHARMA et al., 1997, BARREIRA, 2005; PESSIN et al., 2006). Nessa etapa, o composto, agora denominado de maturado, já apresenta propriedades físicas, químicas, físico-químicas e biológicas desejáveis para aplicação no solo (KIEHL, 2004).

3.1.2. Umidade

O teor de umidade da massa de resíduos depende das condições físicas iniciais do material de entrada, do tamanho das partículas e do estágio de decomposição na qual a leira ou pilha se encontra. A literatura recomenda um valor ideal de umidade em torno de 45 a 55%, sendo que valores acima de 65% levam a anaerobiose do sistema e, portanto, liberação de maus odores. Teores de umidade inferiores a 40% podem reduzir a atividade biológica, retardando o desenvolvimento do processo (BIDONE; POVINELLI, 1999; KIEHL, 2004; BARREIRA, 2005; PESSIN et al., 2006). A fração orgânica dos resíduos sólidos domiciliares apresenta, geralmente, umidade de 55%, razão pela qual a compostagem representa uma interessante alternativa para o seu tratamento.

Quando há excesso de umidade, o seu ajustamento pode ser realizado por meio de revolvimentos, injeção de ar ou adição de material seco à leira. Numa situação inversa, quando a umidade for baixa, é necessário fazer a irrigação da leira, de preferência no momento do revolvimento, para que a água seja distribuída igualmente. Segundo Barreira (2005, p. 39), “o excesso de umidade em uma leira de compostagem pode ser facilmente percebido pela exalação de odores característicos de condições anaeróbias, como por exemplo, pela formação de gás sulfídrico (H_2S)”.

3.1.3 Aeração e revolvimento

O revolvimento é uma atividade importante durante o processo de compostagem, pois tem a função de aerar a leira de forma a eliminar o calor excessivo ou reduzir a umidade excessiva. Existem diversas formas de aerar uma leira, sendo as principais o revolvimento manual, o mecânico e a injeção de ar.

De acordo com USEPA (1994) a quantidade necessária de oxigênio necessária para a compostagem depende do estágio em que ela se encontra, do tipo do resíduo, do tamanho

da partícula e da umidade do substrato, sendo que na primeira fase da compostagem, ou seja, de rápida degradação, verifica-se uma grande necessidade de suprimento de oxigênio para dar início ao processo. Na fase seguinte, a maturação, tem-se uma redução na atividade microbiana e, portanto, menor necessidade de areação (ANDREOLI et al., 2001).

Para Fernandes e Silva (1999), durante a compostagem, a leira deve ser revolvida no mínimo três vezes por semana para atender aos seguintes objetivos:

- Aumentar a porosidade do meio, que sofre uma compactação natural devido ao peso próprio do resíduo;
- Homogeneizar a leira;
- Expor as camadas externas às temperaturas mais elevadas do interior da leira, melhorando a eficiência de desinfecção;
- Diminuir o teor de umidade dos resíduos e
- Controlar a temperatura do processo.

Ressalta-se que os intervalos de aeração tendem a aumentar, uma vez que a leira vai se estabilizando e a atividade microbiana se torna menos intensa. A aeração também é utilizada para controlar o excesso de temperatura, sendo comum a prática de insuflamento de ar comprimido na leira. A taxa de oxigênio a ser insuflado pode ter um teor de 5 a 10 vezes maior do que o necessário à respiração microbiana na leira dissipando, assim, o calor liberado no processo (ANDREOLI, 2001).

Segundo Kiehl (2004, p. 143) “As partes da leira que devem merecer maior atenção durante o revolvimento são as mais externas, expostas ao sol e ao vento, mais frias, ressecadas, e as da base e centro da leira, mais úmidas, frias, pobres em oxigênio e de atividade microbiana menos intensa”.

A decisão sobre qual método de aeração adotar irá depender do tamanho das leiras, localização da unidade de compostagem, disponibilidade de mão de obra e recursos financeiros. Os revolvimentos manuais são mais indicados para leiras de menor porte, até 500 kg, e quando há disponibilidade de mão de obra. O revolvimento mecânico ocorre em situações onde se trabalha com leiras de maior porte e que haja recursos humanos qualificados para operar o equipamento, que pode ser desde uma pá carregadeira, até equipamentos específicos para o revolvimento de leiras. A injeção de ar é interessante quando há pouco espaço disponível; a unidade de compostagem se encontra próxima a

habitações e equipamentos urbanos e; quando os resíduos que vão constituir a mistura da leira são bem definidos.

3.1.4. Relação carbono/nitrogênio (C/N)

O carbono e o nitrogênio são elementos essenciais para o crescimento e divisão das células dos microrganismos, o primeiro por ser considerado a fonte de energia para os microrganismos e o segundo por ser um elemento essencial para a síntese de proteínas. O intervalo inicial recomendável da relação C/N, que permita uma rápida e eficiente degradação da matéria orgânica é de 25/1 e 35/1 (KIEHL, 2004), embora Barreira (2005) considere um intervalo maior, entre 25/1 e 50/1 e Rodrigues (2004) entre 25/1 e 40/1.

Para o desenvolvimento adequado da compostagem a relação recomendada entre esses dois elementos deve ser atendida, pois os microrganismos degradam o carbono orgânico somente se houver nitrogênio suficiente para o seu crescimento. O Quadro 3.2 apresenta alguns valores de referência para a relação C/N para diferentes materiais.

Quadro 3.2: Relação C/N para diferentes materiais a serem compostados

Materiais	Relação C/N
Esterco bovino	28/-25/1
Restos vegetais	15-20/1
Grama	15-25/1
Folhas secas	30-80/1
Jornal	50-200/1
Palha de cereais	481501
Serragem	20-500/1

Fonte: adaptado de DIAZ e SAVAGE (2007).

Segundo Bidone e Povinelli (1999), a decomposição do material compostável ocorre de acordo com a estrutura molecular de cada material. Materiais que são ricos em carbono, tais como, resíduos de poda e capina e serragem, degradam mais lentamente do que a fração orgânica dos resíduos sólidos domiciliares que são ricos em nitrogênio. Rodrigues (2004, p. s/n) complementa afirmando que

Os compostos de carbono mais simples e com menor peso molecular, como açúcares solúveis e ácidos orgânicos, serão atacados na fase inicial de decomposição, gerando energia e sendo transformados em polímeros maiores e mais complexos. A seguir, nessa sequência, estão as hemiceluloses, celulose e lignina.

As perdas de nitrogênio podem ser altas, acima de 50%, quando houver deficiência de materiais com elevada relação C/N como, por exemplo, folhas secas, aparas de madeira ou serragem. A consequência dessa perda é a volatilização do nitrogênio na forma de amônia, causando odores desagradáveis (ANDREOLI et al., 2001; REIS, 2005). O Quadro 3.3 resume para diferentes intervalos da relação C/N, os problemas e as consequências para o processo da compostagem.

Quadro 3.3: Problemas e consequências devido a diferentes intervalos da relação C/N durante o processo de compostagem de RSD

Relação C/N	Problema	Consequência
Acima de 50/1	Deficiência de nitrogênio	Tempo de maturação mais prolongado
Entre 25/1 e 31/1	Não há	Tempo de maturação ideal, caso outros fatores também sejam atendidos
Menores que 10/1	Perda de nitrogênio por volatilização na forma de amônia	Tempo de maturação reduzido

Adaptado de Kiehl (2004)

Segundo Kiehl (2004), o composto semicurado ou bioestabilizado apresenta relação igual a 18/1 e para o composto curado a relação é de 10/1. De acordo com Barreira (2005, p. 42)

A relação C/N constitui um parâmetro confiável para o acompanhamento da compostagem até se chegar ao produto acabado, humificado, no qual a relação deve estar próxima a uma média de 10/1. No entanto, demais parâmetros devem ser considerados para confirmação da fase final, como por exemplo, o índice de pH e ausência de nitrogênio amoniacal (...).

Como a determinação da relação C/N exige análises de laboratório, às vezes inviáveis para municípios de pequeno porte, alguns procedimentos podem ser utilizados para determinar essa relação. Na prática, uma combinação favorável ao processo, seria misturar, em volume, uma parte de resíduos verdes (ricos em nitrogênio) para uma parte de resíduos castanhos (ricos em carbono). Dependendo do desempenho do processo, ajustes devem ser realizados em novas pilhas até que se obtenha uma mistura adequada (ROTHENBERGER et al., 2006).

3.1.5. Tamanho das partículas

Segundo Bidone e Povinelli (1999, p 56.), as dimensões ideais de partículas para montar uma leira “devem estar compreendidas entre 1 cm e 5 cm. Se as partículas forem muito finas, pode ocorrer compactação excessiva do material [...]; se ao contrário, as partículas forem muito grossas, deve-se triturá-las antes da montagem das leiras”. Outros autores, como Pessin et al. (2006) e Andreoli et al. (2001), consideram um intervalo de 2,5 a 7,5 cm, para o tamanho das partículas, como o ideal para a compostagem.

Porém, observa-se que alguns RSD têm tamanhos maiores que o recomendado na literatura e, a sua trituração, para diminuir o tamanho das partículas, muitas vezes, não é viável para pequenas unidades de compostagem (até 1 t/d), seja pelo alto teor de umidade dos RSD, seja pela falta de equipamento adequado para esta operação. Uma alternativa para as pequenas unidades de compostagem é montar as leiras e esperar algumas semanas até que o material se encontre mais seco para então triturá-lo.

O tamanho das partículas, o tipo e a quantidade de resíduo a ser compostado irão influenciar no tamanho da leira. Se esta for muito pequena pode ocorrer a não retenção do calor e, como consequência, a fase termófila pode não ser alcançada, resultando na não eliminação dos organismos patogênicos (SHEPERD, 2007).

3.1.6. pH

No processo de compostagem pode ser observado uma grande variação do pH inicial dos resíduos orgânicos, podendo variar de 3 a 11 (DE BERTOLDI et al, 1985 apud DIAZ E SAVAGE, 2007). Entretanto, segundo Diaz e Savage (2007) a faixa ótima do pH é entre 5.5 e 8.0. Os mesmos autores afirmam que enquanto a bactéria prefere valores de pH próximos de 7.0, os fungos se desenvolvem melhor em um ambiente mais ácido.

Observa-se que no início da compostagem há uma redução no valor do pH, mas com o desenvolvimento do processo, os ácidos minerais dão lugar aos ácidos orgânicos, “que reagem com as bases liberadas da matéria orgânica, neutralizando e transformando o meio em alcalino” (BIDONE E POVINELLI, 1999, p. 56).

O processo de compostagem pode se tornar problemático se o pH da mistura estiver com valores muito baixos ou elevados demais. Níveis iniciais de pH abaixo de 5,0 provocam uma redução significativa na atividade microbiológica e a leira pode não alcançar a fase

termófila (ANDREOLI et al., 2001; SUNDBERG et al., 2004). Valores alto de pH no início do processo provocam deficiência de fósforo, de micronutrientes (exceto Mo e Cl) e perdas de N por volatilização, devido à transformação do NH_4^+ em NH_3 (REZENDE, 2005; DIAZ E SAVAGE, 2007). Tome Jr (1997) afirma que o pH ideal para um solo produtivo se situa entre 6,0 e 7,0, quando os macro e micronutrientes se encontram mais disponíveis.

3.1.7. Microrganismos

A presença de um ambiente aeróbio na compostagem é condição primária para permitir que a atividade microbiana se desenvolva. Os principais microrganismos envolvidos no processo de compostagem são as bactérias, os fungos e os actinomicetos (BIDONE E POVINELLI, 1999). Porém, outros microrganismos tais como algas, protozoários, nematóides, vermes, insetos e larvas podem estar presentes na compostagem (Kiehl, 1985).

A função das bactérias é decompor açúcares, amidos, proteínas e outros compostos orgânicos de fácil decomposição, atuando principalmente durante a fase termófila. Os fungos e actinomicetos são fundamentais para degradar o material celulósico. A fixação do nitrogênio é função comum aos três microrganismos (BIDONE E POVINELLI, 1999).

3.2. Métodos de compostagem

A compostagem é uma técnica bastante flexível, podendo ser realizada em pequena escala como, por exemplo, em domicílios e escolas. A compostagem em média e grande escala é mais comum em fazendas, municípios e algumas indústrias. Assim, o processo pode variar desde as soluções operacionais mais simples e financeiramente menos onerosas até aquelas que necessitem utilizar dispositivos tecnológicos e mão-de-obra mais especializada, apresentando, nesse caso custos mais elevados. Para Andreoli et al. (2001), o bom desempenho da tecnologia escolhida depende da utilização de resíduos adequados para a compostagem e da garantia que o processo biológico ocorra em boas condições.

A compostagem pode ser realizada, basicamente segundo o método de leiras revolvidas ou sistema *windrow*; leiras estáticas aeradas ou *static piles* e sistema fechado ou acelerado. O Quadro 3.4 sistematiza os aspectos positivos e negativos de cada um dos três métodos de compostagem.

Quadro 3.4: Aspectos positivos e negativos do método de leiras revolvidas, leiras estáticas aeradas e sistema fechado.

Método	Aspectos positivos	Aspectos negativos
Leiras revolvidas ou sistema <i>windrow</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Baixo investimento inicial; • Flexibilidade na quantidade de resíduos processada; • Simplicidade de operação; • Uso de equipamentos mais simples; • Emprego de mão de obra. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requer mais área; • Odor mais difícil de ser controlado, principalmente no momento do revolvimento; • Depende do clima. Em períodos de chuva o revolvimento fica prejudicado.
Leiras estáticas aeradas ou <i>static piles</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Baixo investimento inicial; • Melhor controle de odores; • Etapa de estabilização mais rápida que o método de leiras revolvidas; • Melhor aproveitamento da área disponível; • Mais eficaz na eliminação de organismos patogênicos; 	<ul style="list-style-type: none"> • Necessita de bom dimensionamento do sistema de aeração e controle dos aeradores durante a compostagem; • Operação também influenciada pelo clima; • Requer que o material de entrada seja o mais homogêneo possível.
Sistema fechado ou acelerado	<ul style="list-style-type: none"> • Menor demanda de área; • Menor dependência dos fatores climáticos; • Facilidade para controlar odores; • Reduz tempo de compostagem 	<ul style="list-style-type: none"> • Maior investimento inicial; • Dependência de sistemas mecânicos; • Menor flexibilidade operacional para tratar volumes variáveis de resíduos; • Risco de erro difícil de ser reparado se o sistema for mal dimensionado.

Fonte: Adaptado de Reis (2005).

A Figura 3.1 apresenta um gráfico comparando os três processos em função do uso de tecnologias, custos operacionais, área requerida e tempo de compostagem.

Figura 3.1: Comparação entre os três métodos de compostagem: leiras revolvidas, leiras estáticas aeradas e sistema acelerado.

Fonte: adaptado de Reis (2005)

A partir da Figura 3.1. pode-se afirmar que no sistema de leiras revolvidas há demanda maior por mão-de-obra, uma vez que o revolvimento deve ser realizado com mais frequência nas primeiras semanas de compostagem, quando a demanda por oxigênio é maior. No caso das leiras estáticas e do sistema acelerado o controle da aeração é mais contínuo, sendo realizado por dispositivos tecnológicos, que geralmente, dispensam mão-de-obra. O método de leiras revolvidas, apesar de exigir menor investimento inicial, demanda áreas maiores para a sua operação. O sistema acelerado é geralmente empregado para plantas com maior capacidade de processamento, podendo tratar mais de 100 t/d de resíduos. Nesse caso, é importante garantir uma quantidade mínima contínua de resíduos a serem compostados, pois o investimento inicial desse sistema é alto, quando comparado aos demais.

Após a análise dos aspectos positivos e negativos de cada método, infere-se que a seleção por qual deles seguir irá depender das condições locais, sejam elas relativas a imposições legais para a área, infra-estrutura existente, os custos com a disposição dos resíduos, nível de controle do odor, recursos financeiros disponíveis, necessidade de equipamentos e mão de obra. Acrescenta-se ainda que, apesar da tecnologia para o tratamento dos resíduos orgânicos ter evoluído, a boa qualidade do composto terá mais condições de ser alcançada se os resíduos forem separados na origem e coletados seletivamente (FEHR E CALCADO, 2000; REIS, 2005; NEWMAN, 2005).

3.2.1. Método de leiras revolvidas ou sistema *windrow*

No método de leiras revolvidas, também conhecido como sistema *windrow*, a pilha de resíduos (leira) é montada sobre o solo (compactado ou impermeabilizado). A aeração é realizada por meio de revolvimento, manual ou mecânico e tem como objetivo aumentar a porosidade da pilha e melhorar a homogeneidade dos resíduos.

Para o revolvimento mecânico, existem disponíveis no mercado alguns equipamentos específicos para essa função. Esses equipamentos dividem-se em: máquinas tracionadas por trator e máquina denominadas auto-propelidas, pois se movimentam sobre a leira realizando o revolvimento (REIS, 2005).

É comum observar também o emprego de retroescavadeiras ou pás carregadeiras para revolver a leira, uma vez que são mais fáceis de encontrar no mercado e possuem preço menor comparado às máquinas específicas para esta função.

Segundo Carmichael (1999) o sistema *windrow* é a tecnologia ainda mais utilizada para a compostagem de resíduos sólidos domiciliares, sendo também o que apresenta um valor mais baixo de investimento e manutenção e, geralmente não necessita empregar equipamentos de alta tecnologia.

Entretanto, Sharma et al. (1997) citam que, nesse método, a escolha do local para a compostagem é muito importante e deve levar em consideração as condições do solo, topografia, drenagem e entorno.

Andreoli et al. (2001) alertam para o fato de que a temperatura no sistema de leiras revolvidas varia das camadas mais externas para as mais internas, sendo que a parte externa apresenta temperaturas menores, e por isso, talvez não consiga atingir níveis letais para alguns organismos patogênicos. Portanto, o revolvimento nesse sistema tem suma importância, pois promove a homogeneização da leira.

3.2.2. Método de leiras estáticas aeradas

No método de leiras estáticas (*static piles*), as leiras são colocadas sobre uma tubulação perfurada de 10 cm de diâmetro acoplada a um soprador ou exaustor, que injeta ou aspira o ar na massa a ser compostada. Sobre essa tubulação, recomenda-se colocar uma camada estruturante, por exemplo, madeiras ou galhos triturados a fim de facilitar a passagem do ar através da pilha e sobre esta camada é montada a leira (ANDREOLI et al., 2001; REIS, 2005). Nesse sistema não há nenhum tipo de revolvimento.

O sistema de leiras estáticas aeradas não é recomendado para qualquer tipo de resíduo, restringindo-se àqueles que tenham material de entrada mais homogêneo, tanto em sua composição, quanto em sua granulometria. Carmichael (1999) afirma que o processo de leiras estáticas aeradas geralmente produz composto de melhor qualidade num período de tempo mais reduzido se comparado ao sistema *windrow*.

3.2.3. Método fechado ou acelerado

No processo fechado ou acelerado, também conhecido como *in-vessel*, ocorre a utilização de dispositivos tecnológicos tais como digestores e bioestabilizadores que além de

acelerarem o processo de compostagem permitem um maior controle dos odores, uma vez que o sistema é fechado e a aeração controlada.

O funcionamento de uma usina de reciclagem e compostagem consiste na deposição dos resíduos em um pátio de recepção, geralmente impermeabilizado. Em seguida, os sacos plásticos são transferidos para um fosso, que depois segue para a esteira de triagem. Os materiais são separados, geralmente, em metais, papelão, trapos, plásticos, vidros, embalagens cartonada, que são destinados à reciclagem. Os resíduos que saem da esteira são peneirados, sendo que o material que passa pela peneira, teoricamente somente matéria orgânica, é encaminhado para a compostagem. O restante, considerado rejeito, é enviado para o aterro sanitário.

As instalações de uma usina de compostagem podem variar de acordo com a quantidade de resíduos a ser processada, processo utilizado, disponibilidade de recursos humanos e financeiros.

O processo mais comumente conhecido é o sistema DANO, no qual cilindros rotativos, com dimensões aproximadas de 3 metros de diâmetro e 35 metros de comprimento, giram a uma velocidade baixa de rotação a fim de homogeneizar o material. No seu interior, diversos obstáculos estão dispostos longitudinalmente para promover um maior revolvimento da massa. O tempo de detenção da matéria orgânica no cilindro depende da velocidade de rotação e da inclinação. Após o período de detenção tem-se um subproduto que precisa ser encaminhado para um pátio de cura a fim de terminar o seu processo de maturação.

3.3. Compostagem como alternativa complementar no gerenciamento de resíduos sólidos

Nas últimas décadas verificou-se uma tendência da compostagem ser aplicada no gerenciamento de resíduos sólidos para tratar a fração orgânica e reduzir a quantidade de resíduos encaminhada para os aterros sanitários. No Brasil, cerca de 50% a 60% dos resíduos sólidos domiciliares produzidos são constituídos de material compostável que, por não ser coletado separadamente, acaba sendo encaminhado para um destino final, juntamente com os resíduos perigosos e com aqueles que deixaram de ser coletados seletivamente. Essa forma

de destinação gera, para a maioria dos municípios, despesas que poderiam ser evitadas caso o material compostável fosse separado na fonte e encaminhado para um tratamento específico.

Dessa forma, evitar a disposição da fração orgânica nos aterros sanitários torna possível aumentar a vida útil do mesmo, ou então que para um mesmo período sejam construídos aterros menores. Do ponto de vista econômico, pode-se diminuir os gastos com transporte (caso a compostagem seja realizada em local mais próximo aos geradores), disposição final e com o tratamento do chorume.

Entretanto, cabe lembrar que o balanço econômico completo da compostagem só será possível após um levantamento dos valores despendidos para coletar, transportar e tratar esta fração, além dos custos de implementação e operacionalização de uma unidade de compostagem.

Segundo Ali (2004) os atores envolvidos na compostagem têm interesses distintos:

- O governo e administração local buscam alternativas que desviem a maior quantidade possível de resíduos dos aterros sanitários;
- As universidades e centros de pesquisa preocupam-se na proposição de novos modelos de gestão, no desenvolvimento ou melhoramento de tecnologias e também na avaliação da qualidade do composto produzido;
- As Organizações Não Governamentais buscam divulgar boas práticas de gestão de resíduos sólidos e criar oportunidades de emprego;
- As empresas privadas ficam atentas às oportunidades de mercados e ao lançamento de novas tecnologias e produtos no intuito de aumentar seus ganhos e
- As agências reguladoras ficam responsáveis pelo estabelecimento de normas, leis, etc visando sempre, à conservação do meio ambiente.

No contexto da Universidade, várias pesquisas sobre a compostagem têm sido desenvolvidas nas últimas décadas, como forma de tratamento da fração orgânica presente nos resíduos sólidos urbanos, porém ainda é pequeno o número de publicações que relacionam a qualidade do composto produzido e as possibilidades de aplicações (cobertura de aterro, paisagismo, agricultura etc). Alguns países europeus estão mais avançados nessa questão e já propuseram uma classificação do composto quanto ao seu uso.

3.4. O Composto como produto da compostagem

A utilização intensiva do solo por certas culturas acarreta sérios problemas para recomposição da fertilidade natural do solo. É comum observar também a utilização de fertilizantes químicos cuja aplicação contínua traz efeitos adversos ao solo. Aliado a isso, há também a utilização de agrotóxicos que, embora tenham como objetivo o controle de pragas e doenças, podem trazer efeitos negativos ao solo, recursos hídricos e até mesmo ao ser humano.

Nesse contexto, é interessante identificar materiais substitutos que sejam acessíveis localmente, menos onerosos financeiramente e que sejam menos agressivos ao meio ambiente. Nessas circunstâncias, o composto de resíduos sólidos urbanos torna-se um produto interessante (SHARMA et al., 1997).

Apesar do desenvolvimento das áreas de engenharia, microbiologia, agronomia e da própria tecnologia, a compostagem ainda não alcançou níveis satisfatórios de desenvolvimento, sobretudo com relação à qualidade do composto de lixo a ser aplicado na agricultura.

Embora o composto de lixo não possa competir com os fertilizantes químicos, no que diz respeito à quantidade de nutrientes, ele poderá ser considerado uma fonte de nutrientes em longo prazo. O composto aplicado corretamente melhora a estrutura do solo devido ao seu alto teor de matéria orgânica, à retenção de água e ao aumento da resistência da planta a doenças, além de poder ser utilizado como um remediador de solos ácidos (ABREU JR et al., 2005; ROTHENBERGER et al., 2006).

Sharma et al. (1997) afirmam que uma das vantagens do composto de lixo é a sua propriedade de adsorção de alguns elementos que auxilia na minimização da migração de contaminantes para o ambiente. Fisicamente, o composto aumenta a permeabilidade e evita a erosão do solo e auxilia na manutenção da umidade.

A frequência e quantidade da aplicação do composto, segundo Rothenberger et al. (2006) variam de acordo com o tipo de solo e plantio. Além disso, Abreu Jr et al. (2005) afirmam que “a quantidade aplicada do composto não pode ser excessiva, a fim de evitar perdas de nutrientes por lixiviação e por erosão superficial, bem como diminuir o risco de contaminação do ambiente”.

3.4.1. Marketing do composto

A hierarquia da gestão de resíduos, no qual o ideal é desviar ao máximo a quantidade de resíduos que chegam aos aterros, abre caminhos para a valorização da matéria orgânica como um recurso para a produção de novos produtos, por exemplo, o composto orgânico.

Atualmente, o mercado para o composto está restrito a usos domiciliares e alguns agricultores orgânicos. Para ampliar o uso do composto de lixo é necessário identificar os mercados permanentes, as necessidades e exigências dos clientes, a logística de distribuição, etc. De acordo com Paul et al. (2007), o marketing é o ponto mais fraco dos projetos de compostagem. Estes autores sugerem que o marketing do composto deve ser relacionado ou trabalhado em diversas instâncias como em escolas, projetos de plantios municipais de mudas de árvores, festividades locais e feiras de agricultura e flores.

A qualidade e a satisfação do consumidor são fatores importantes para um marketing efetivo e manutenção das vendas do composto. Porém, verifica-se que existem ainda obstáculos à sua comercialização seja por causa de uma imagem negativa associada a um produto cuja matéria prima é constituída por resíduos, da grande lacuna existente com relação ao conhecimento do benefício do composto, seja pelo seu menor teor de nutrientes comparados aos fertilizantes químicos.

Abreu et al. (2005, p. 426), baseado nos estudos de Hogg et al. (2002), relatam que

A visão de composto com adequadas características ambientais; o desenvolvimento de normas para validar este composto; a emergência de legislação para embasar a coleta de biorresíduos na origem; e o desenvolvimento de organizações para coordenar a divulgação do uso do composto podem ser vistos como o contra-ataque em resposta à tentativa sem sucesso de desenvolver um amplo mercado para o composto produzido de resíduos municipais não separados.

Outro aspecto importante para a comercialização do composto é identificar quais são os produtos similares que poderão ser seus concorrentes, como é o caso dos fertilizantes químicos e dos fertilizantes orgânicos oriundos de dejetos animais, que são mais ricos em nutrientes. Após a identificação desses produtos é necessário realizar uma pesquisa de mercado sobre os produtos concorrentes. Essa pesquisa deve investigar se as quantidades disponíveis desses fertilizantes são suficientes para atender a demanda do mercado; qual é o

raio de atuação; se o preço do produto é compatível com a vontade de pagar por ele e se o fertilizante atende as exigências de qualidade imposta pelos compradores.

Dessa forma, é possível traçar cenários de viabilidade econômica de se implementar ou não a compostagem no município. Outros cenários podem ser elaborados levando-se em consideração variáveis ambientais, culturais e sociais que podem influenciar na implantação de uma unidade de compostagem.

3.4.2. Qualidade do composto

O interesse da compostagem de RSD no contexto da agricultura está fundamentado na presença, no composto de lixo, de matéria orgânica (carbono) e nutrientes; no aumento da capacidade de troca de cátions e na neutralização da acidez. Isso pode significar melhorias nas propriedades físicas e químicas do solo e, de forma extrapolada, podendo contribuir para incrementar a produtividade e reduzir os custos de produção, por exemplo, como uso de fertilizantes químicos (OLIVEIRA et al., 2002; ABREU JR et al., 2005; MANTOVANI et al., 2005; ALVARENGA et al., 2006).

Devido ao fato da compostagem ser um processo de decomposição aeróbia, o monitoramento e controle dos fatores físicos, físico-químicos e biológicos se fazem necessários para a obtenção de um composto que apresente qualidade suficiente para atuar como condicionador do solo ou até mesmo como fertilizante orgânico. O Quadro 3.5 sistematiza a proposta de classificação do composto feita por Zucconi e Bertolli citado em Kiehl (2004).

Quadro 3.5: Proposta de classificação do composto em função do uso agrícola

Produto	Características	Uso Agrícola
Matéria Orgânica crua	Matéria prima que pode ser transformada em composto. Material cru que ainda não entrou em decomposição. Ainda não é composto.	Não recomendável para uso direto na agricultura.
Composto imaturo	Matéria orgânica em decomposição parcial. Ainda possui alta relação C/N.	Pode ser aplicado em culturas perenes, em covas de plantas arbóreas. Quando colocado no solo é recomendado aguardar um tempo para depois semear.
Composto semicurado ou bioestabilizado	Composto com relação C/N igual ou menor que 18:1, pH acima de 6 e que permaneceu por um bom período na fase termófila.	Pode ser aplicado no fundo do sulco de plantio juntamente com sementes ou em contato com as raízes das mudas transplantadas.
Composto maturado, humificado	Composto altamente estabilizado, tendo produzido húmus e sais minerais	Pode ser utilizado para o preparo de substratos para vasos, canteiros de sementeiras de flores e hortaliças.

Fonte: Kiehl (2004)

O composto para ser utilizado de maneira segura e eficiente deve ser corretamente estabilizado. Isto significa que a matéria orgânica original deve ser convertida para uma forma que seja mais resistente à degradação, contenha quantidades mínimas de componentes fitotóxicos e contaminantes, e seja livre de patógenos de plantas e animais (DICK; McCOY, 1993; LOPEZ-REAL, 1990; PARR e PAPENDICK 1982; SENESI, 1989; DE BERTOLDI 1983; BARREIRA, 2005). O Quadro 3.6 mostra algumas diferenças entre o composto maduro e o composto cru.

Quadro 3.6: Diferenças entre o composto maduro e o composto cru

Composto Maduro	Composto cru
Nitrogênio está na forma de nitrato	Nitrogênio está na forma de íon amônio
Enxofre está na forma de íon sulfato	Enxofre ainda contém íon sulfídrico
Baixa demanda de oxigênio	Alta demanda de oxigênio
Sem perigo de putrefação	Perigo de putrefação
Mineralização é cerca de 50%	Alta concentração de substâncias orgânicas
Alta capacidade de retenção de água	Baixa capacidade de retenção de água

Fonte: OBENG e WRIGHT (1987)

Outro parâmetro para verificar o grau de qualidade do composto é a condutividade elétrica que serve como indicativo dos níveis de fitotoxicidade. Segundo alguns autores (KIEHL, 1998; AYUSO et al., 1996 e OLIVEIRA, 2001) elevados valores de condutividade elétrica e a alta concentração de ácidos orgânicos inibem a germinação de sementes.

Reis (2005) citando trabalho de Tíquia e Tam (2000) relatou que a compostagem dos resíduos de suinocultura resultou em um composto com condutividade elétrica alta (3,67 – 4,26 dS/m), porém esses valores não causaram efeito negativo no teste de germinação utilizando-se espinafre e repolho. Abreu et al. (2006) salientam que para os ensaios de condutividade elétrica é sempre importante informar a proporção da diluição empregada no extrato, uma vez que essa proporção afeta diretamente os resultados.

A capacidade de troca de cátions é um parâmetro que aumenta com o grau de maturação do composto, sendo que um composto de boa qualidade deve apresentar uma CTC entre 60 mmol/kg e 80mmol/kg (REIS, 2005).

Avaliações realizadas do composto mostram que as características de qualidade são essencialmente herdadas dos resíduos que deram origem ao processo, mesmo sofrendo influência dos parâmetros como conteúdo e qualidade dos componentes orgânicos, umidade, tamanho das partículas, concentração de N, pH, potencial patogênico e condutividade (LOPEZ-REAL, 1994; SAVAGE, 1996; MERILLOT, 1996; OLIVEIRA, 2000; RODRIGUES, 2004). É importante destacar que a qualidade final do composto também irá depender do seu propósito de uso. Por exemplo, para a agricultura orgânica os níveis aceitáveis de contaminantes devem ser mais restritivos que aqueles estabelecidos para a cobertura de aterros sanitários.

Segundo Abreu et al. (2005, p. 398), o composto orgânico

também possui vários micronutrientes, como Cu, Mn e Zn, que podem ser liberados para as plantas após mineralização, reduzindo ou mesmo substituindo o uso de fertilizantes. No entanto, o composto de má qualidade, isto é, aquele que é produzido a partir de um lixo indevidamente coletado e separado, pode conter metais tóxicos, como Pb, Cr, Cd e Ni, uma vez adicionados ao solo, podem ser absorvidos pela planta, entrando assim na cadeia alimentar.

Infere-se, a partir dessa discussão, que a determinação da qualidade do composto é considerada ainda um dos maiores desafios relacionados à aplicação desse produto na agricultura. Não foi encontrada, no Brasil, uma norma que estabeleça limites mínimos e

máximos, que o composto pode apresentar, dos parâmetros que influenciam o processo de compostagem de forma a garantir segurança sanitária e ambiental do seu uso na agricultura.

É comum encontrar limites máximos e mínimos para alguns parâmetros (pH, relação C/N, umidade, metais pesados, ovos viáveis de helmintos, *salmonella ssp*, nitrogênio total, carbono orgânico e capacidade de troca de cátions). Por outro lado, não se encontra referências, nas leis ou normas brasileiras atuais, sobre o valor mínimo da condutividade elétrica; a quantidade de sais solúveis; a taxa máxima recomendada para aplicação do composto no solo; a temperatura e períodos mínimos que uma leira deve alcançar; o efeito sinérgico de metais pesados no solo; a presença de compostos orgânicos tóxicos (GROSSI, 1993); o efeito do composto orgânico sobre a fauna presente no solo como, por exemplo, a minhoca.

Devido às dúvidas ainda existentes sobre a qualidade do composto de lixo é necessário cautela no momento de sua aplicação a fim de reduzir os riscos de contaminação do ambiente. Segundo Barreira (2005, p. 52),

Recomendações de níveis de aplicação variam com o tipo de composto usado, solo, cultura e condições ambientais prevalecentes na área (...). Em geral, as taxas de aplicação variam de 25 t/ha a 100 t/ha, mas níveis mais elevados não são incomuns.

Reis (2005, p. 92) afirma que doses maiores que 120 t/ha.ano podem ser aplicadas desde que os teores de sódio (concentração salina) sejam monitorados no solo após a aplicação do composto de lixo, pois a limitação dos teores de sódio pode indicar “aumento de pH, macro e micronutrientes, CTC e carbono orgânico bem como diminuição da densidade e aumento da capacidade de retenção de água”.

A dosagem do uso de composto para agricultura deve ser limitada para evitar perdas de nutrientes por lixiviação e por erosão superficial e, também por causa da carga salina, que ao longo de aplicações sucessivas poderá acarretar salinização do solo e danos fisiológicos e nutricionais às plantas (COSTA et al., 2003; ABREU et al., 2005).

Vários autores afirmam que aplicações repetidas de doses crescentes de composto de lixo nem sempre resultam em proporcional aumento da concentração de metais pesados no tecido das plantas (PARCHEN, 1988; FORTES NETO, 1992; REIS, 2005). Por outro lado, Abreu et al. (2005, p. 444), analisando o uso do composto sob a perspectiva do excesso de nitrogênio no solo, recomendam que as “aplicações sucessivas de resíduos orgânicos sejam

feitas com doses anuais decrescentes até o quinto ano, quando se estabelece o equilíbrio dinâmico entre mineralização-imobilização do N, mantendo-se a dose constante a partir daí”.

A partir dessa breve discussão reforça-se a tese de que a definição da dose recomendada de aplicação do composto é muito particular e depende de vários aspectos, como o tipo de solo, clima, cultura, da caracterização do composto, entre outros.

3.4.2.1. Relação entre metais pesados e qualidade do composto

Juntamente com os benefícios ambientais proporcionados pela aplicação do composto de lixo na agricultura (teor de matéria orgânica, elevação do pH e teor de nutrientes), podem existir elementos nocivos ao ambiente como, por exemplo, os metais pesados. Nos RSD as principais fontes de metais pesados são baterias (Hg, Cd, Zn), tintas (Cr, Pb, Cd), papel (Pb) e cosméticos (Cd e Zn). De acordo com Barreira (2005, p. 49),

A preocupação com o emprego, na agricultura, de certos compostos contendo elementos químicos considerados tóxicos é pelo fato das plantas além de assimilarem elementos essenciais à sua nutrição, absorverem também esses componentes, os quais se deslocam das raízes para as partes comestíveis do vegetal, tornando-os danosos tanto para as próprias plantas como para o homem e os animais que delas se alimentam, ou seja, fazendo parte da cadeia alimentar.

Segundo Melo et al. (2000) o teor de metais pesados disponíveis para as plantas depende da concentração e da forma química do elemento, da dose aplicada, características do solo e fatores climáticos.

No Quadro 3.7 são apresentados os valores permissíveis de metais pesados para composto de lixo estabelecido na legislação de diversos países, inclusive no Brasil.

Quadro 3.7: Limites, para alguns países, do teor de metais pesados (mg/kg) permitido no composto

País	Elemento (mg/kg)								Tipo e referência
	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	
Alemanha	---	1,0	70	70	0,7	35	100	300	Ordenança de biorresíduo (I) ¹
	---	1,5	100	100	1,0	50	150	400	Ordenança de biorresíduo (II) ¹
Áustria	---	0,7	70	70	0,4	25	45	200	Composto classe A+ (agricultura orgânica) ¹
	---	1,0	70	150	0,7	60	120	500	Composto classe A (agricultura e jardinagem) ¹
	---	3,0	250	500	3,0	100	200	1800	Composto classe B (área degradada, paisagismo) ¹
Bélgica	---	1,5	70	90	1,0	20	120	300	Ministério da Agricultura ¹
Brasil	20	3,0	200	---	1,0	70	150	---	Fertilizante orgânico (MAPA, 2006)
Canadá	13	3,0	210	100	0,8	62	150	500	BNQ (Classe AA e A) ¹
	75	20	1060	757	5	180	500	1850	BNQ (Classe B) ¹
Dinamarca	25	0,5	---	1000	0,8	30	120	4000	Ministério da Agricultura ³
Espanha	---	2,0	250	300	2,0	100	150	400	Classe AA ¹
	---	5,0	400	450	5,0	120	300	1100	Classe A ¹
EUA	10	4,0	100	300	0,5	50	150	400	Selo “rodele” de qualidade do composto orgânico ¹
	20	10	600	750	8	210	150	400	Classe A (Estado de Washington) ¹
França	---	3,0	---	---	8	200	800	---	Composto urbano ¹
Grécia	15	10	510	500	5	200	500	2000	Programa Geral de gestão de resíduos sólidos ³
Holanda	5	0,7	50	25	0,2	10	65	75	Composto muito limpo ¹
	---	1,0	50	60	0,3	20	100	200	Composto limpo ¹
Itália	---	1,5	0,5*	150	1,5	50	140	500	Composto de material vegetal ou de RSD de coleta separada ¹
	10	10	500	600	10	200	500	2500	Fração sólida orgânica do RSD ¹
Portugal	---	20	1000	1000	16	300	750	2500	Decreto resíduos sólidos ³
Reino Unido	---	0,7	70	70	0,4	25	45	200	RSD compostado ¹
	---	1,5	100	200	1,0	50	150	400	Marca de qualidade da Associação de Compostagem ¹
Suécia	---	1,0	100	100	1,0	50	100	300	Valores-guia Saq ³
Suíça	---	3,0	---	150	3,0	---	150	500	GROSSI (1993)
União Européia	---	0,7	100	100	0,5	50	100	200	Biorresíduo Classe 1 ^{2,3}
	---	1,5	150	150	1	75	150	400	Biorresíduo Classe 2 ^{2,3}
	---	0,7	70	70	0,4	25	45	200	Eco-Label – Instrução 2092/91/EEC e 1488/97/EEC ^{1,3}
	10	1,0	100	100	1,0	50	100	300	Eco-agric – Instrução 2001/688/EEC ^{1,3}

Fonte: Abreu Jr et al. (2005), ACR (2005)¹Hogg et al. (2002), ²Abreu et al. (2007), ³ACR (2005), * Cromo (IV)

A partir da leitura do Quadro 3.7 é possível verificar, rapidamente, a diferença que existe entre os padrões estabelecidos pelo Brasil e os países europeus e EUA. Estes criaram diferentes classes para o composto em função das suas aplicações (agricultura, jardinagem, áreas degradadas). Assim, quanto mais o uso do composto se aproximar da agricultura orgânica, mais rigorosos são os limites de metais pesados estabelecidos. A Holanda tem duas classes de composto de lixo – muito limpo e limpo – e é o país que apresenta os limites mais restritivos. Alemanha, Áustria, Canadá, Espanha, EUA, Itália e Inglaterra também possuem mais de uma classe para o composto. Essa classificação geralmente está baseada na concentração de metais pesados ou na restrição para a aplicação do composto.

Em uma análise mais detalhada, observa-se que, com relação à utilização do composto de lixo, o Brasil é mais permissivo que a Alemanha, Áustria (para agricultura orgânica, agricultura convencional e jardinagem), Bélgica, Holanda (para composto muito limpo e composto limpo); Reino Unido (para RSD compostado e marca de qualidade da Associação de Compostagem) e União Européia (biorresíduo Classe 1, Eco-label e eco-agr). A mesma análise permite ainda verificar que, por outro lado, o Brasil é mais restritivo que os padrões para composto “Classe A” da Espanha e EUA.

No entanto, deve-se olhar o Quadro 3.7 com ressalva, pois esses limites consideram somente a ação isolada dos elementos. Nesse caso, os efeitos sinérgicos que ocorrem entre os metais pesados e os organismos do solo não foram contemplados, assim como os efeitos no solo devido ao uso intermitente do composto de lixo (ABREU et al., 2005).

Alvarenga et al. (2006) concordam com a opinião de Abreu et al., relatando que essas normas são, em sua maioria, baseadas no conteúdo total de metal, o que pode ser útil como um indicador geral de contaminação. Entretanto, as mesmas normas fornecem pouca ou nenhuma informação sobre a biodisponibilidade, mobilidade e toxicidade quando o composto é aplicado ao solo, combinando com outros elementos lá presentes. Dessa forma, a utilização de testes ecotoxicológicos pode ser uma interessante ferramenta para complementar os estudos sobre a qualidade do composto de lixo.

3.4.2.2. Legislação Brasileira e qualidade do composto

De acordo com Abreu et al. (2005, p. 411), “Há muito tempo os resíduos das atividades humanas vêm sendo empregados na agricultura, mas, com o uso cada vez mais intenso destes e com a preocupação crescente da população com respeito ao ambiente, foram sendo elaboradas legislações que normatizam o uso dos resíduos na agricultura”.

Depois de uma lacuna de décadas, observou-se, nos últimos anos, um aumento da preocupação com relação à aplicação do fertilizante orgânico na agricultura, que refletiu na publicação de frequentes instruções normativas sobre o uso do fertilizante orgânico.

A Figura 3.2 apresenta um fluxograma das legislações e instruções normativas, no âmbito federal, referentes ao fertilizante orgânico.

Figura 3.2: Esquematização da legislação brasileira sobre fertilizante orgânico

Recentemente o Decreto Federal N° 4954/2004 regulamentou a Lei Federal nº 6894/1980 que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura.

O artigo 2º desse decreto traz as seguintes definições:

A – Fertilizante: substâncias minerais ou orgânicas, naturais ou sintéticas, fornecedoras de um ou mais nutrientes de plantas.

A.1 - Fertilizante orgânico: produto de natureza fundamentalmente orgânica, obtido por processo físico, químico, físico-químico ou bioquímico, natural ou controlado, a partir de matérias-primas de origem industrial, urbana ou rural, vegetal ou animal, enriquecido ou não de nutrientes minerais.

A.1.1 - Fertilizante orgânico simples: produto natural de origem vegetal ou animal, contendo um ou mais nutrientes de plantas.

A.1.2 - Fertilizante orgânico misto: produto de natureza orgânica, resultante da mistura de dois ou mais fertilizantes orgânicos simples, contendo um ou mais nutrientes de plantas.

A.1.3 - Fertilizante orgânico composto: produto obtido por processo, físico, químico, físico-químico ou bioquímico, natural ou controlado, a partir de matérias-primas de origem industrial, urbana ou rural, animal ou vegetal, isoladas ou misturadas, podendo ser enriquecido de nutrientes minerais, princípio ativo ou agente capaz de melhorar suas características físicas, químicas ou biológicas.

A.1.4 - Fertilizante organomineral: produto resultante da mistura física ou combinação de fertilizantes minerais e orgânicos.

A Instrução Normativa IN nº 23 (MAPA, 2005) complementou o Decreto Federal nº 4954/2004 denominando o composto de lixo como “fertilizante orgânico composto, obtido pela separação da parte orgânica dos resíduos sólidos domiciliares e sua compostagem, resultando em produto de utilização segura na agricultura e atendendo aos limites estabelecidos para contaminantes”.

Segundo a classificação dessa Instrução Normativa, o composto de lixo pertence a Classe “C”, ou seja, aquele que em sua produção, utiliza qualquer quantidade de matéria-prima oriunda do lixo domiciliar, resultando em produto de utilização segura na agricultura. Para esta classificação são determinados limites e tolerâncias quanto a sua qualidade. Esses limites são apresentados no Quadro 3.8.

Quadro 3.8: Especificações dos fertilizantes mistos e compostos

Garantia	Fertilizante orgânico composto Classe “C”
Umidade	Máximo de 50%
N total	Mínimo de 1
*Carbono orgânico	Mínimo 15
pH	Mínimo de 6,5
Relação C/N	Máximo 18
*Relação CTC/C	Mínimo 20

* Valores expressos em base seca, umidade determinada a 65°C

Fonte: IN nº 23 (MAPA, 2005).

A Instrução Normativa nº 23 de 2005 estabelece ainda especificações granulométricas do fertilizante, que pode ser classificado em granulado, pó, farelado e farelado grosso (Quadro 3.9).

Quadro 3.9. Classificação da natureza física do fertilizante orgânico de acordo com a sua especificação granulométrica.

Natureza Física	Especificação Granulométrica		
	Peneira	Passante	Retido
Granulado	4 mm (ABNT nº 5)	95% mínimo	5% máximo
	1,00 mm (ABNT nº 18)	5% máximo	95% mínimo
Pó	2,00 mm (ABNT nº 10)	100%	0%
	0,84 mm (ABNT nº 20)	70% mínimo	30% máximo
	0,30 mm (ABNT nº 50)	50% mínimo	50% máximo
Farelado	3,36 mm (ABNT nº 6)	95% mínimo	5% máximo
	0,50 mm (ABNT nº 35)	25% mínimo	75% máximo
Farelado Grosso	4,80 mm (ABNT nº 4)	100%	0% máximo
	1,0 mm (ABNT nº 18)	20% mínimo	80% máximo

Fonte: IN nº 23 (MAPA, 2005)

Em 2006, foi publicada a Instrução Normativa nº 27 (SAD MAPA, 2006), que dispõe sobre os fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes. Para que esses possam ser produzidos, importados ou comercializados, deverão atender aos limites estabelecidos na referida instrução normativa no que se refere às concentrações máximas admitidas para fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas. O Quadro 3.10 apresenta os limites máximos de contaminantes determinados por essa instrução normativa.

Quadro 3.10. Limites máximos de contaminantes admitidos em fertilizantes orgânicos.

Contaminante	Valor máximo admitido
Arsênio (mg/kg)	20,00
Cádmio (mg/kg)	3,00
Chumbo (mg/kg)	150,00
Cromo (mg/kg)	200,00
Mercurio (mg/kg)	1,00
Níquel (mg/kg)	70,00
Selênio (mg/kg)	80,00
Coliformes termotolerantes – número mais provável por grama de matéria seca (NMP/g de MS)	1.000,00
Ovos viáveis de helmintos – número por quatro gramas de sólidos totais (nº em 4g de ST)	1,00
Salmonella SSP	Ausência em 10 g de matéria seca

Fonte: IN nº 27 (MAPA, 2006)

Cabe mencionar que ao valor do limite máximo admitido é estabelecida uma variação de 30%, o que pode tornar o uso do composto muito permissivo. No entanto, essa instrução normativa estabelece, em seu artigo 5º, a obrigatoriedade da revisão desses em até 4 (quatro) anos a partir da data de publicação da mesma.

Os métodos analíticos para análise de composto de lixo foram publicados em 2007 por duas instruções normativas. A primeira, IN nº 24 reconhece os métodos analíticos para determinação de metais pesados tóxicos em fertilizantes e, a segunda, IN nº 28 aprova os métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organo-minerais e corretivos.

Apesar do avanço significativo nas normas, a legislação existente ainda é insuficiente para garantir a utilização intermitente do composto na agricultura em longo prazo (ABREU et al., 2005), o que pode ser explicado pela complexidade do solo, quando vários elementos se combinam entre si e também com outros organismos.

A partir dessa discussão, infere-se que a iniciativa do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento em regulamentar o uso do fertilizante orgânico é de suma importância para incentivar o desenvolvimento de novas atividades relacionadas à compostagem dos RSD. E, nesse contexto, as Universidades têm a responsabilidade de

desenvolver novas pesquisas que forneçam subsídios para melhorar as regulamentações e critérios de qualidade do composto, visando à sua aplicação na agricultura.

3.4.2.3. Utilização de ensaios ecotoxicológicos como ferramenta complementar para avaliar a qualidade do composto de lixo

Os ensaios ecotoxicológicos, com diferentes espécies, têm sido recomendados como uma ferramenta adicional na avaliação da qualidade do composto de lixo, contribuindo, dessa forma, para melhorar as exigências quanto à utilização agrícola desse produto (Alvarenga et al., 2007; Moreira et al., 2008). Esses testes são empregados para avaliar os efeitos adversos de substâncias químicas sobre a biota terrestre e aquática (RÖMBKE & KNACKER, 2003; GARCIA, 2004; EC, 2004), possibilitando avaliar os impactos dos poluentes para organismos do solo e dos corpos receptores.

Tratando-se de composto de lixo, considera-se mais pertinente investigar o risco ambiental utilizando os métodos existentes para os ecossistemas terrestres, que são:

- *Guidelines for Testing of Chemicals n. 207: Earthworm Acute Toxicity* (OECD, 1984);
- *Norma Técnica L6.401 – solo: teste de toxicidade com Eisenia foetida (minhoca): Método de ensaio* (CETESB, 1990)
- *ISO 11262-1 - Soil quality: effect of pollutants on earthworms (Eisenia fetida). Part 1: Determination of acute toxicity using soil substrate* (ISO, 1993);
- *ISO 11262-2 - Soil quality: effect of pollutants on earthworms (Eisenia fetida). Part 2: Determination of effects on reproduction* (ISO, 1993);
- *ISO 15799 – Soil quality: guidance on the ecotoxicological characterization of soils and soils materials* (ISO, 2001);
- *ISO 17512-1- Soil quality – Avoidance Test for testing quality of soils and effects of chemicals on behaviour. Part 1: Test with earthworms (Eisenia foetida e Eisenia Andrei)* (ISO, 2005)
- *EPS 1/RM/43 - Biological Test Method: Tests for Toxicity of Contaminated Soil to Earthworms (Eisenia andrei, Eisenia fetida or Lumbricus terrestris)* (EC, 2004)
- *NBR 15537 – Ecotoxicologia terrestre – Ecotoxicidade aguda – Método de ensaios com minhocas* (ABNT, 2007).

Dentre as normas pesquisadas, verificou-se que a canadense permite um melhor entendimento do teste, pois aborda desde as questões históricas da utilização da minhoca

como organismo-teste, incluindo uma descrição detalhada do ensaio e disponibilizando também um dicionário de termos técnicos.

Com relação ao organismo-teste para ser utilizado nos ensaios de toxicidade é interessante escolher um que desempenhe importante papel no solo; seja característico de solos ricos em matéria orgânica; seja acessível às regiões tropicais; que assimile facilmente diversos tipos de substratos e seja sensível a substâncias químicas (GARCIA, 2004). Assim as normas (OECD, 1984; EC, 2004) têm recomendado as espécies *Eisenia foetida* (Savigny, 1826) ou *Eisenia andrei* (Bouché, 1972), pois elas apresentam um ciclo de vida curto com juvenis saindo dos casulos após 3 a 4 semanas, atingindo a maturidade em 7 a 8 semanas e produzindo de 2 a 5 casulos por semana (OECD, 1984; GARCIA, 2004)).

Essas espécies são comercialmente conhecidas como minhoca da califórnia, minhoca vermelha ou minhoca para compostagem. Morfologicamente, elas são similares, mas a primeira apresenta listras transversais evidentes ao longo do corpo e, a outra tem a cor avermelhada mais uniforme e listras pouco aparentes (OECD, 1984). Outra diferença é que a *Eisenia andrei* tem uma produção mais acentuada de casulos, produz mais “filhotes” por casulo e atinge a maturidade mais rapidamente que a *Eisenia foetida* (GARCIA, 2004). Porém, qualquer uma dessas espécies pode ser utilizada nos ensaios de ecotoxicidade, seja em regiões temperadas ou tropicais (EC, 2004; GARCIA, 2004).

São três os ensaios de ecotoxicidade em ecossistema terrestre: 1) Teste agudo para avaliar a mortalidade; 2) Teste de evitação para avaliar o comportamento e 3) Teste crônico para avaliar a reprodução.

O teste agudo ocorre em solo artificial e consiste em manter as minhocas em recipientes contendo somente solo artificial (utilizado como controle) e, outros recipientes contendo diferentes diluições da substância-teste nesse solo (OECD, 1984; EC, 2004). Existem algumas diferenças entre essas duas normas. A OECD (1984) utiliza para cada teste 750 g de substrato e colocando 10 minhocas em cada réplica, enquanto a EC (2004) recomenda um peso úmido equivalente a 350 mL e colocando 5 minhocas. Outras diferenças referem-se ao número de réplicas e contagem das minhocas. A OECD (1984) recomenda 4 réplicas e contagem aos 7 e 14 dias, e a EC (2004) recomenda 3 réplicas e contagem somente ao final dos 14 dias. Na contagem dos 7 dias, as minhocas mortas devem ser removidas (GARCIA, 2004). Segundo a OECD (1984), para que o teste agudo seja válido, a mortalidade no controle deve ser menor que 10%.

O teste de evitação tem duração de 48 horas e é aplicado, segundo (SISINNO et al., 2006, p. 139) “como um método rápido para determinar a biodisponibilidade de substâncias

químicas ou de contaminantes no solo (...), em que o comportamento de fuga é usado como indicador”. A norma EC (2004) recomenda a utilização de recipientes circulares dividido em seis partes iguais e um com compartimento circular central. Cada compartimento é conectado ao central e ao adjacente através de dois e três furos, respectivamente, existentes na parte inferior da parede desses compartimentos (Figura 3.3). Como resultado as minhocas podem se mover livremente entre os compartimentos (FEISTHAUER, 2003; EC, 2004).

Figura 3.3: Modelo de recipiente utilizado para teste de evitação com minhocas

Fonte: Adaptado de FEISTHAUER, 2003

A condução do teste consiste em adicionar 350mL de substrato em cada compartimento, sendo que os tratamentos devem ser colocados aleatoriamente. As 10 minhocas são adicionadas uma por vez a fim de evitar o efeito de *clustering*, ou seja, de agrupamento. Anota-se, então, o compartimento que cada minhoca entrou. Depois de 48 horas os compartimentos são isolados com plaquetas de metal, a fim de evitar a movimentação das minhocas, e contam-se a distribuição das mesmas em cada compartimento (FEISTHAUER, 2003; EC, 2004).

O princípio do teste de evitação segundo a norma 17512-1 (ISO, 2005) consiste em expor as minhocas simultaneamente às amostras de solo contaminado e não contaminado, sendo que ambas amostras são colocadas em um mesmo recipiente, em compartimentos distintos, separados por meio de uma divisória. Após a colocação dos solos (contaminado e não contaminado), a divisória é retirada formando uma linha invisível, no qual as 10 minhocas são colocadas (NUNES, 2007; SISINO et al., 2006). A Figura 3.4 apresenta esquematicamente esse teste. Ao final de 48 horas, a divisória é novamente colocada e a contagem de minhocas é realizada para cada um dos compartimentos

Figura 3.4: Representação esquemática do teste de evitação.

Fonte: Nunes, 2007

O teste crônico é utilizado para medir os efeitos da capacidade de reprodução, sob exposição, em longo prazo, de minhocas a um solo contaminado. A montagem do teste é idêntica ao teste agudo. A diferença está no período do teste que é de 56 dias. Quanto ao procedimento, no início do teste são colocadas 10 minhocas adultas e clitedas. Semanalmente as minhocas devem ser alimentadas e a umidade do substrato corrigida. Após 28 dias, as adultas são removidas sendo realizada a contagem e pesagem das sobreviventes. Ao final do teste (56 dias), contam-se as juvenis (GARCIA, 2004).

Os testes ecotoxicológicos têm sido bastante utilizados para avaliar o efeito de agrotóxicos e outras substâncias químicas sobre a fauna edáfica do solo (FEISTHAUER, 2003; GARCIA, 2004; SISINNO et al., 2006; LIMA et al., 2007; NUNES et al., 2007; entre outros). No entanto, não foram encontradas, no Brasil, pesquisas sobre a realização de testes ecotoxicológicos para avaliar a contaminação do solo a partir da utilização de composto de lixo.

3.5. Panorama da compostagem no contexto mundial

Hogg et al (2002) realizaram estudo sobre normas para compostagem na Europa, América do Norte e Austrália. Essa pesquisa mostrou que um país cujo sistema de compostagem leva em consideração a proteção da saúde humana e animal tende a apresentar as seguintes características:

- Estabelecimento de padrões e normas de precaução que define os resíduos e produtos que podem ou não ser utilizados de acordo com o seu potencial de contaminação. Essas normas geralmente são estatutárias, ou seja, estão sob forma de lei;
- Estabelecimento de normas complementares (impactos ambientais na aplicação do composto no solo, limites para metais pesados, dosagem de nutrientes), que também são de natureza estatutária e
- Estabelecimento de sistemas de controle de qualidade para assegurar os consumidores da qualidade do composto, determinando exigências específicas para cada tipo de mercado. Esses sistemas são, geralmente, de natureza voluntária e só funcionam quando já existem, no país, normas e padrões mínimos de qualidade do composto estabelecidos por lei.

Apesar dessas semelhanças acima descritas, os mesmos autores afirmam que as diferenças do desenvolvimento industrial e político nos diversos países do mundo acarretam uma evolução diferenciada nos padrões de qualidade do composto.

Na sequência são abordados alguns pontos importantes de experiências de compostagem no mundo, seja sob o ponto de vista do processo, da qualidade do composto ou da legislação. O objetivo desta revisão foi reunir boas experiências em compostagem para prover uma visão geral do potencial de se inserir esta estratégia na gestão dos resíduos sólidos domiciliares.

3.5.1. Países europeus

Desde que a Diretiva Européia - EU 1999/31 - exigiu a redução significativa do aterramento de resíduos orgânicos, a compostagem se tornou uma alternativa aos aterros sanitários (ALTINBAS et al., 2007). A aplicação de estratégias nacionais para reduzir

progressivamente a quantidade de resíduos orgânicos dispostos nos aterros sanitários também é uma meta estabelecida por essa diretiva.

Slater e Frederickson (2001) afirmam que, na Europa, aproximadamente 15% da fração orgânica já é reaproveitada via compostagem. A Figura 3.5 apresenta uma estimativa da quantidade de resíduos orgânicos encaminhados para a compostagem em diversos países europeus e para a Austrália.

Figura 3.5: Estimativa da quantidade de resíduos sólidos urbanos submetidos à compostagem em alguns países europeus e na Austrália

Fonte: ABRELPE, 2008

A coleta seletiva dos resíduos orgânicos existe em muitos países europeus, como por exemplo, a Áustria, Alemanha, Grécia, Luxemburgo e Holanda (KRANERT e BEHNSEN, 2001; ACR, 2005). Esse fato se deve, principalmente, pela política europeia de separação de resíduos na origem. Mas ainda existem diferenças na quantidade de resíduos orgânicos coletados seletivamente. Enquanto na Áustria e na Alemanha mais de 75% dos resíduos orgânicos são coletados seletivamente e encaminhados para a compostagem, na Grécia, Irlanda e Inglaterra esse percentual é inferior a 10% (ACR, 2005). Em alguns países europeus, como a Finlândia, Holanda e Itália, a coleta separada da fração orgânica dos resíduos é realizada em sacolas biodegradáveis que são compostadas juntamente com os resíduos orgânicos.

Na Itália, o rápido desenvolvimento da compostagem ocorreu a partir de 1993 e decorreu de três principais fatos: aumento dos custos de disposição final; exaustão dos aterros sanitários aliados à dificuldade em se obter a aceitação da população para a criação de novos aterros e plantas de incineração e a introdução em 1997 da legislação nacional que

determina políticas e promove taxas para reciclagem. Em 1993, o número de plantas de compostagem era inferior a 50 e dados de 2004 reportam para um total de 258 plantas (NEWMAN, 2005). O composto é utilizado como condicionador de solo cumprindo as diretrizes estabelecidas pela Lei Federal Italiana 748/84. Quanto ao mercado, o composto é doado quando o poder público é o responsável pela planta de compostagem, pois o interesse é evitar custos de aterramento. Algumas regiões da Itália (Emília Romana, Piemonte e Úmbria) subsidiam os agricultores pela utilização do composto em solos empobrecidos (ACR, 2005).

A situação da Catalunha, Espanha, é semelhante ao da Itália. Até 1997 havia somente uma usina de compostagem, e após este período, quando o governo iniciou o incentivo a compostagem, seguindo as Diretrizes Européias, houve um aumento na quantidade de usinas, passando-se para 25 (BARRIOS et al., 2004). Essa mudança foi também consequência da legislação da Catalunha que obriga coletar separadamente a fração compostável dos resíduos sólidos urbanos em cidades com mais de 5000 habitantes. Embora a coleta seletiva da fração compostável venha aumentando a cada ano, o potencial dessa atividade ainda não foi alcançado. De acordo com dados apresentados, a coleta separada é ainda muito limitada e não há material suficiente para as usinas processarem. Os sistemas utilizados nas usinas de compostagem da Espanha têm a seguinte distribuição: 67% utilizam o método de leiras estáticas aeradas, enquanto 33% utilizam tambores rotativos com aeração forçada para o primeiro estágio, seguida de pilhas estáticas para o término da decomposição (BARRIOS et al., 2004).

Quanto à qualidade do composto, atualmente, vários países europeus como Alemanha, Áustria, Itália, Dinamarca entre outros, já possuem normas legais para certificar a qualidade de composto de lixo. Essas normas estão fundamentadas principalmente em critérios preventivos (relativos a higiene, presença de substâncias nocivas, impurezas, etc). Para possuir esse certificado, o composto deve cumprir algumas exigências com relação à concentração de metais pesados, ao tipo de matéria prima utilizada, o grau de maturidade e as aplicações autorizadas para o produto final (ACR, 2005). Quanto aos aspectos microbiológicos, a *Salmonella ssp* não deve ser detectada em 25 g de composto e para *E. coli*, que a presença não exceda a 1000 NMP/g (BRINTON, 2001; ABREU et al., 2005).

Há também na Europa, o Sistema de Garantia de Qualidade do composto, que está baseado nas normas legais existentes e que pode ser considerado um instrumento finalizador do ciclo da matéria orgânica. Isso porque o sistema faz uma ligação entre a produção do composto e sua comercialização, influenciando todas as etapas do tratamento (coleta seletiva

de orgânicos, concepção e gerenciamento das instalações, produção do composto, etc) (ACR, 2005).

3.5.2. Estados Unidos

Segundo, Stakofsky (2001), nos EUA a compostagem existe desde a década de 50, mas foi nos anos 80 que ela emergiu como uma alternativa complementar à gestão dos resíduos sólidos. Segundo dados da pesquisa da revista *Biocycle*, em 2001, havia 16 usinas de compostagem sendo operadas e mais 7 em desenvolvimento. Entre as usinas que estavam em operação, 7 utilizavam o método acelerado combinado com leiras revolvidas (*windrow*) ou leiras estáticas aeradas (*static piles*). O Quadro 3.11 apresenta o resumo das usinas de compostagem em funcionamento nos EUA.

Quadro 3.11: Lista das usinas de compostagem operando nos EUA em 2001 segundo pesquisa publicada pela revista *Biocycle*.

Estado	Condado	Origem do resíduo	Método de compostagem	Capacidade (t/d)	Início da operação
Arizona	Pinetop-Lakeside	misturado	Acelerado com leiras estáticas	10*	1991
Califórnia	Vacaville	Separado na fonte	Leira estática aerada	300	2000
Flórida	Sumter County	Misturado	Acelerado com leiras estáticas	75*	1988
Geórgia	Cobb County	Misturado	Acelerado com leiras aeradas	300*	1996
Iowa	Buena Vista County	Misturado	Leiras aeradas	16	1990
Massachusetts	Marlborough	Misturado	Acelerado com leiras estáticas	120*	1999
	Nantucket	Misturado	Acelerado com leiras estáticas	125*	1999
Michigan	Mackinac Island	Separado na fonte	Leira estática aerada	5	1992
Minnesota	Hutchinson	Separado na fonte	Leira aerada containerizada	14	2001
	Lake of the Woods County	Separado na fonte	Leiras aeradas	4	1989
	Pennington County	Misturado	Leiras aeradas	5	1987
	Swift County	Separado na fonte	Leiras aeradas	5	1990
	Truman	Misturado	Acelerado	65	1991
Ohio	Medina	misturado	Leiras aeradas	---	1998
Tennessee	Sevierville	Misturado	Acelerado com leiras estáticas	150	1992
Wisconsin	Columbia County	Misturado	Acelerado com leiras aeradas	62	1992

* no processo há mistura de lodo de esgoto

Fonte: adaptado de STAKOSFSKY, 2001.

Pelo Quadro 3.11 pode-se inferir que

- a maioria das usinas com processamento de até 10 a 20t/d tendem a adotar o sistema de leiras estáticas ou revolvidas;
- 30% realizam a compostagem dos resíduos sólidos domiciliares juntamente com o lodo de esgoto (mistura entre 25% e 50% em peso);
- somente 5 (cinco) usinas recebem os resíduos já separados, sendo 4 usinas com capacidade até 15 t/d e 1 (uma) para tratar 300 t/d.

3.5.3. Países asiáticos

Alguns países da Ásia vêm adotando um novo modelo de compostagem em substituição às grandes usinas. A proposta é tratar os resíduos em uma escala menor e que a planta esteja localizada próxima ao local onde o resíduo foi gerado. O objetivo é melhorar não só a gestão dos resíduos sólidos nesses países, a partir de iniciativas locais da comunidade, como também a qualidade da saúde pública da população.

Ali (2004), pesquisando a gestão de resíduos da Etiópia, Índia, Bangladesh e Sri Lanka, identificou alguns problemas que provocaram a não continuidade dos projetos de compostagem nesses países, dos quais destacam-se a

- Escassez de parceria com governos: parcerias têm se mostrado extremamente necessárias para o sucesso dos projetos de compostagem. Geralmente existe pouca parceria entre governo e Ong's ou com o setor privado. Mecanismos devem ser criados para subsidiar os programas de compostagem em troca do benefício que eles trazem para a municipalidade (redução dos custos de transporte e disposição). Subsídios por parte do governo na forma de terra ou pagamento por tonelada processada são partes importantes do negócio.
- Deficiência de recursos humanos qualificados: as atividades em compostagem são realizadas por diferentes organizações que, dependendo da natureza, são excelentes no processo, outras em marketing do composto e algumas em campanhas ambientais. Porém, as experiências de compostagem ressentem-se de um programa que contemple as várias competências.

No capítulo 3.7 (p.45) será discutida de forma mais detalhada a compostagem descentralizada que está sendo adotada por esses países.

3.6. Situação atual da compostagem no contexto brasileiro

No Brasil, não se sabe o número exato de experiências em compostagem, sobretudo pela ausência de estudos e pesquisas nesta área de conhecimento e pela inexistência de um banco de dados a nível nacional que reúna e centralize essas iniciativas. Porém, existem algumas pesquisas e inventários que auxiliam na estimativa preliminar do número de usinas de compostagem.

A Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (IBGE, 2002) revelou que existiam, em 2000, 260 usinas de compostagem distribuídas no Brasil que tratavam cerca de 6.500 t/d, ou seja, cerca de 5% do total produzido. Do total de usinas, 117 (45%) localizavam-se na região sudeste; 117 (45%) na região sul; 19 (7,3%) na região nordeste; 6 (2,3%) no Centro-Oeste e 1 (0,4%) no Norte.

Com relação ao estado de São Paulo, a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) realizada anualmente, desde 1997, o inventário dos resíduos sólidos domiciliares. Esse documento analisa as condições operacionais de aterros sanitários, aterros em valas e usinas de compostagem nos 645 municípios do estado. No levantamento referente ao ano de 2006, 21 municípios tinham usina de compostagem sendo que em 2007, esse número foi reduzido para 18. Comparando-se as condições de operação dessas usinas observou-se que, em 2006, 6 operavam em condições adequadas, 11 estavam controladas e 4 operavam inadequadamente. Em 2007, somente uma usina estava operando em condições adequadas, enquanto 14 estavam controladas e 3 estavam inadequadas.

Minas Gerais é outro estado que possui também um controle da disposição final e das usinas de compostagem, o qual é feito pelo programa Minas sem Lixões. Em 2006, existiam 90 usinas de triagem e compostagem, sendo que 70 já estavam devidamente licenciadas. Além disso, esse estado possui o ICMS Ecológico instituído pela Lei Estadual nº 13.803/2000. Segundo a FEAM (2008)

Para receber esse recurso, a administração municipal deve investir em pelo menos um desses sistemas, devidamente licenciados pelo Conselho Estadual de Política Ambiental (Copam): aterro sanitário ou usina de triagem e compostagem de lixo que atenda, no mínimo, a 70% da população urbana; estação de tratamento de esgoto (ETE) que atenda, no mínimo, a 50% da população urbana. Três meses após a obtenção da Licença de Operação, o município é cadastrado e, no trimestre seguinte, passa a receber o ICMS Ecológico. O valor é calculado pela Feam a partir de critérios como a população atendida e o custo estimado da obra.

Segundo Barreira (2005, p. 70),

O Rio Grande do Sul também é um estado que possui algumas experiências bastante satisfatórias quanto ao reaproveitamento dos resíduos orgânicos. Segundo SCHEREN (2000), 7 municípios da região noroeste do estado, por meio de um consórcio intermunicipal, produzem em torno de 56% de resíduos orgânicos que são encaminhados para a unidade de tratamento e retornam a esses municípios integrantes na forma de composto para adubação em horticultura e jardinagem.

No entanto, os relatos da literatura mostram que a maioria das experiências em compostagem de RSD no Brasil emprega sistemas que tratam a matéria orgânica proveniente da coleta regular. Raras são as experiências em que os resíduos orgânicos já vêm coletados separados na fonte.

O processo da compostagem é ainda pouco utilizado em programas municipais de gerenciamento dos RSD. Os motivos são a dificuldade de se obter os materiais compostáveis já separados na fonte geradora; a insuficiência de manutenção do processo; ao preconceito com o produto; a carência de investimentos e de tecnologia adequada para a coleta deste tipo de material. Ali (2004) aponta a perda de foco como um dos problemas dos projetos de compostagem nos países em desenvolvimento. Isso significa dizer que a maioria dos projetos tem muitas metas (solucionar o problema da quantidade crescente de resíduos que é encaminhado ao aterro, geração de emprego e renda, transformar o adubo em fertilizante para o solo), dificultando o seu monitoramento.

3.7. Compostagem sob a ótica da descentralização

Diversos estudos foram realizados sobre compostagem, principalmente no que se refere aos aspectos tecnológicos e operacionais das usinas, que são na maioria das vezes unidades centralizadas para tratar a fração compostável dos resíduos sólidos urbanos. Por outro lado, são poucos os relatos da literatura sobre experiências de compostagem descentralizadas em pequena ou média escala.

Segundo Enayetullah e Maqsood (2001) as experiências de compostagem nos países em desenvolvimento remetem às grandes plantas centralizadas e mecanizadas que, por falta de recursos para sua operação e manutenção, têm muitas vezes encerrada sua atividade.

Rothenberger et al. (2006) complementam o que foi citado, afirmando que muitos esquemas de compostagem falharam no passado devido não só a utilização de tecnologia inapropriada, mas também pela ausência de mercado para o composto e adoção de modelos frágeis de negócios.

Dessa forma, a descentralização do processo pode ser considerada uma opção viável para tratar os RSU, uma vez que este modelo poderia proporcionar uma redução dos custos de transporte, um aumento na taxa de compostagem além de usar tecnologias de baixo custo baseadas principalmente na disponibilidade de mão-de-obra (ENAYETULLAH e MAQSOOD, 2001; BADE et al., 2005; ACR, 2005). Cabe ressaltar que a compostagem doméstica ou caseira é um tipo de compostagem descentralizada, uma vez que os resíduos são tratados no local onde foram gerados.

3.7.1. Unidades Descentralizadas de Compostagem

As Unidades Descentralizadas de Compostagem (UDC) são outra modalidade de compostagem descentralizada e podem ser definidas como qualquer instalação física destinada a receber e tratar os resíduos compostáveis provenientes de coleta separada.

O objetivo da UDC é gerenciar a fração orgânica o mais próximo possível do local onde os resíduos foram gerados, como por exemplo, em áreas institucionais de um bairro, de uma indústria e de escolas. A diferença de uma UDC e da compostagem caseira é que a primeira trata uma quantidade maior de resíduos, necessita de área e mão de obra, e também de uma logística para a coleta e tratamento dos resíduos.

O dimensionamento de uma UDC não deve levar em consideração somente a quantidade de resíduos a tratar, mas também os tipos de resíduos, as necessidades dos consumidores, o raio de ação e as aplicações do composto. De acordo com Zurbrügg et al. (2002), a viabilidade de uma planta descentralizada de compostagem vai depender do estudo dos seguintes aspectos: demanda comercial do composto, avaliação econômica da compostagem e as lições aprendidas com experiências anteriores (aspectos técnicos, financeiros, institucionais e sociais).

No Reino Unido a prática da compostagem descentralizada é comunitária, sendo a mesma favorecida pela existência de um setor associativo bastante desenvolvido, de redes de assistência às iniciativas comunitárias, de oportunidades de financiamento para o desenvolvimento desse tipo de projeto e pela possibilidade de remuneração das associações pelo serviço prestado.

Com relação às limitações de se adotar as UDC no gerenciamento municipal de resíduos sólidos destacam-se a exigência de licenciamento ambiental de todas as unidades e o próprio gerenciamento das várias unidades. Para minimizar esses obstáculos é interessante que as unidades descentralizadas de compostagem sejam desenvolvidas e operadas em conjunto com outros atores, como por exemplo, a comunidade, o setor privado e ong's.

Nesse contexto, Rothenberger et al. (2006) propuseram quatro modelos de gestão descentralizada de resíduos. Todos eles têm em comum o benefício proporcionado ao município na redução dos custos de transporte e disposição final. O Quadro 3.12 a seguir resume os quatro modelos de gestão de compostagem descentralizada identificados por esses autores.

Quadro 3.12: Modelos de gestão de compostagem descentralizada

Modelo	Características	Principais atores	Papel do Poder Público Municipal	Vantagens	Obstáculos
Poder Público Municipal	Poder público é proprietário e operador da UDC	Administração municipal	Introduzir a compostagem na gestão municipal de resíduos sólidos.	A compostagem descentralizada reduz a quantidade de resíduo a ser transportada e aterrada. O município ganha um condicionador de solo para usar em áreas verdes.	Restrição econômica devido à baixa prioridade dada aos projetos ambientais. Eficiência operacional da compostagem pode não ser o foco principal.
	Foca a redução dos resíduos a serem dispostos em aterros sanitários.		Designar uma secretaria responsável pela compostagem, providenciar local e propor um sistema de coleta.		
	Redução de gastos devido a menores custos de transporte e disposição.		Prover recursos financeiros.		
Poder Público Municipal e comunidade	Poder público é proprietário da UDC, mas quem opera é a comunidade.	Administração municipal	Introduzir a compostagem na gestão municipal de resíduos sólidos	Alivia o encargo municipal por meio da introdução da comunidade e ong's no gerenciamento da compostagem. Geração de novos empregos na comunidade.	Ausência de interesse por parte da comunidade. Necessidade de um líder da comunidade. Gerenciamento mais complexo.
	Não visa lucro	Comunidade local	Designar uma secretaria responsável pela compostagem, providenciar local e propor um sistema de coleta.		
	Redução de custos devido a menores custos de transporte e disposição.	Ong's	Prover recursos financeiro		
Poder Público Municipal e Iniciativa Privada	Poder público é proprietário da UDC, mas quem opera é a iniciativa privada.	Administração municipal	Introduzir a compostagem na gestão municipal de resíduos sólidos	Alivia o encargo municipal por meio da introdução da iniciativa privada no gerenciamento da compostagem. Contratos transparentes garantem uma parceria saudável Geração de novos empregos	Ausência de interesse por parte da iniciativa privada.
	Busca o lucro	Setor Privado	Designar uma secretaria responsável para fiscalizar o desempenho dos contratados		
	Requer cobertura dos custos por meio da cobrança de taxas e venda de composto	Ong's	Contratar a operação e manutenção.		
	Redução de gastos devido a menores custos de transporte e disposição.				
Iniciativa Privada	Iniciativa privada é proprietária e operadora da UDC	Setor Privado	Introduzir a compostagem na gestão municipal de resíduos sólidos.	Alivia o encargo municipal por meio da introdução da iniciativa privada no gerenciamento da compostagem. Contratos transparentes garantem uma parceria saudável Geração de novos empregos e possibilidade de negócios.	Deficiência de um mercado para o composto.
	Busca de lucro		Cooperar no suprimento de matéria prima e disposição final de resíduos.		
	Renda geralmente provém da cobrança de taxas e venda de composto.				

Legenda: UDC – Unidade Descentralizada de Compostagem

Fonte: adaptado de Rothenberger (2006).

A leitura do Quadro 3.12 permite inferir que há uma variedade de combinações possíveis que o Poder Público Municipal pode conceber ao inserir a compostagem na gestão municipal dos resíduos sólidos. Essas alternativas abrangem desde a parceria com a comunidade geradora dos resíduos, passando pelas Ong's e, inserindo, até mesmo a iniciativa privada para executar ou gerenciar uma unidade descentralizada de compostagem.

3.7.2. Experiências em compostagem descentralizada

Algumas experiências internacionais empregando o conceito da compostagem descentralizada são descritas a seguir. É interessante observar a flexibilidade apresentada por essa modalidade, sendo possível ser reaplicada para diversos tipos de instituições (escolas, bairros, empresas, propriedades rurais, entre outros).

Penitenciária de Riker's Island - /EUA

Esta experiência de compostagem descentralizada ocorre num presídio municipal americano, localizado em Riker's Island. A produção diária de resíduos no restaurante é cerca de 20 toneladas. A justificativa para se implantar a UDC na própria área da prisão é o alto custo que o município tinha para coletar os resíduos, uma vez que os procedimentos de entrada e saída de veículos são mais rigorosos num presídio. Com a instalação dessa unidade, o presídio consegue tratar cerca de 80% dos resíduos alimentares gerados no restaurante.

Com relação ao processo, as leiras são compostas por restos de alimentos do refeitório e serragem, sendo acondicionadas em baias de concreto cuja dimensão permite a entrada de um equipamento para o revolvimento. Para mitigar o odor, a instalação é mantida sob pressão negativa no qual o ar é exausto para fora da edificação por meio de um biofiltro.

A compostagem é realizada em três etapas – a primeira dura 14 dias e as leiras são acondicionadas em baias para o revolvimento em local coberto, após este período a leira é transferida para outro local, denominado pátio de cura, também coberto cuja permanência é cerca de 7 a 10 dias, para então seguir a um pátio de cura descoberto, permanecendo por mais um mês.

Os fatores que contribuíram para o sucesso deste projeto foram:

- Grande quantidade de resíduo gerado em uma área compacta, garantindo a eficiência de coleta e redução de custos com o transporte;
- Disponibilidade de trabalhadores que se responsabilizem pelas atividades extras associadas à continuidade da separação dos restos de alimentos – seja na limpeza dos dispositivos de descarte e carregando os contêineres.
- Garantia de suprimento de uma fonte de carbono como pó de serragem de madeira;
- Disponibilidade de área e
- Operadores que entendiam o processo da compostagem.

Apesar da qualidade do composto ser insatisfatória do ponto de vista agrônomo, devido à elevada quantidade de rejeito contido no material de entrada, destacando-se os utensílios plásticos e as luvas descartáveis, esse projeto conseguiu contribuir para a minimização dos resíduos encaminhados para o aterro sanitário.

Khulna - Bangladesh

Em Khulna, a compostagem é favorecida, pois 78% dos resíduos gerados são compostáveis. A estratégia adotada em Khulna foi a compostagem descentralizada devido aos seguintes fatores:

- grande potencial de consumidores de composto, principalmente fazendeiros cujas propriedades se localizam circundando as periferias;
- Baixo custo de transporte tanto para levar os resíduos até a planta de compostagem e para as propriedades dos consumidores e
- Baixo custo de produção devido ao método manual de compostagem.

O Quadro 3.13 mostra um resumo da área e dos investimentos necessários para implantar plantas de compostagem com diferentes capacidades de tratamento, considerando que a cidade de Khulna produz diariamente 150 toneladas de resíduos compostável.

Quadro 3.13: Área, mão de obra, custo de instalação e operação, composto produzido e preço de venda para diferentes capacidades de plantas de compostagem

Itens	Capacidade da Planta de Compostagem		
	3 t/d	10 t/d	20 t/d
Área requerida/planta (m ²)	335	1070	2210
Custo fixo/planta ¹ (US\$)	7.440,00	24.800,00	49.600,00
Custo operacional/planta ² (US\$)	4.960,00	16.540,00	33.080,00
Mão-de-obra/planta	6	20	40
Produção composto/dia (kg)	750	2500	5000
Receita anual venda composto ³ (US\$)	8.640,00	28.800,00	57.600,00
Número de plantas necessárias	50	15	7

¹Não inclui o custo da terra ou aluguel da área

² Custo de operação por ano incluindo salário do gerente da planta

³ Para 1 t de material compostável são produzidos 250 kg de composto.

Fonte: adaptado de Enayetullah e Maqsood (2001)

Portanto, para a cidade de Khulna seria possível produzir 37,5 t/d de composto caso todo o material compostável fosse tratado. As plantas descentralizadas de compostagem poderiam gerar também mais postos de trabalho além de proporcionarem oportunidade de empreendimento para que pequenos empresários possam participar do mercado de reciclagem e compostagem de resíduos (ENAYETULLAH E MAQSOOD, 2001).

Dhaka - Bangladesh

O caso da planta de compostagem desenvolvido pela ONG Waste Concern no distrito de Mirpur em Dhaka, capital de Bangladesh, mostrou que a compostagem pode ser uma alternativa de gestão e gerenciamento de resíduos sólidos urbanos, reduzindo a quantidade de resíduos a ser transportado e disposto e produzindo matéria prima que pode ser utilizada como composto.

O sucesso financeiro deste projeto se deve ao fato de existir uma grande quantidade de compradores do composto. O fator essencial para a aceitação dos consumidores foi a aprovação dada pelo Conselho de Pesquisa em Agricultura de Bangladesh e do Ministério da Agricultura para utilizar o composto para fins agrícolas.

O estudo do processo de compostagem em Mirpur se deu na primeira metade de 2001. Nesse período foram tratados 1,7 t/d, o qual era coletado de 790 domicílios, ou seja, cada unidade familiar produzia cerca de 2,1 kg/dia de material compostável. Para esta

quantidade havia 10 pessoas trabalhando na planta. Ao final de 2001 a capacidade nominal da planta de 3t/d foi alcançada. Neste momento eram coletados os resíduos de 1430 domicílios (ZURBRÜGG et al., 2002).

A coleta dos resíduos é realizada por riquixá que tem capacidade de 1.18 m³, cerca de 600 kg, considerando que a densidade do material compostável é de 500 kg/m³. O método de compostagem utilizado foi o de leiras estáticas aeradas. O material compostável é misturado com aditivos e as pilhas montadas num formato triangular. A aeração é garantida por bambus (ZURBRÜGG et al., 2002).

O processo total dura 53 dias, sendo 27 dias de período termofílico (40 – 70 °C) e 26 dias (20 – 40 °C) de período de maturação. Durante a primeira fase a pilha de composto era revolvida frequentemente para regular a temperatura e garantir uma decomposição homogênea da pilha. Quando a temperatura da pilha alcançava a temperatura ambiente, a mesma ficava sem revolver e regar até chegar a sua maturação (ZURBRÜGG et al., 2002).

O composto maturado é peneirado e embalado em sacos de 50 kg. A ONG responsável pela planta ajusta a qualidade do composto às exigências dos clientes. Além da venda do composto, esta Ong possui seu próprio pomar e horta onde o composto é utilizado para o crescimento de plantas e árvores.

Outras experiências de compostagem descentralizada encontram-se sistematizadas no Apêndice A. Estas experiências serão incluídas no banco de dados do software proposto neste projeto.

3.8. Sistemas de Apoio à Decisão

Os sistemas de apoio à decisão (SAD) são sistemas de informação computadorizados, por exemplo, softwares, que fornecem aos gerentes apoio interativo durante o processo de tomada de decisão, assistindo planejadores e gestores na exploração de opções, avaliação de impactos potenciais, experimentação de estratégias e descoberta de novos conhecimentos (O' BRIEN, 2001). Cabe ressaltar que o SAD não substitui a função e importância do tomador de decisão, mas o auxilia nessas atividades.

O funcionamento do sistema de apoio à decisão é caracterizado basicamente pela entrada de informações, processamento e armazenamento das informações em banco de dados e um processo de modelagem e simulação (MASSUKADO, 2004).

De acordo com Andrade (1997), a principal vantagem de um software de SAD não é a simulação exata do problema, “mas a possibilidade de avaliar os padrões de comportamento do sistema visando ao aprimoramento dos modelos mentais compartilhados pelas pessoas que têm o poder de tomar decisões”.

O'BRIEN (2001), estabeleceu que o sistema de apoio à decisão envolve quatro tipos básicos de análise:

- Análise do tipo “what if” (e se): o usuário introduz mudanças nas variáveis ou relações entre elas e observa as mudanças resultantes em outras variáveis. Esse tipo de análise seria repetido até que o gestor estivesse satisfeito com os resultados.
- Análise de sensibilidade: é um caso especial de análise do tipo “what if”. Normalmente, o valor de uma única variável é alterado repetidas vezes e as mudanças resultantes sobre as outras variáveis são observadas.
- Análise de busca de metas: neste caso ocorre uma inversão na direção da análise realizada nos dois tipos anteriores. Ao invés de se observar como as mudanças em uma variável afetam o sistema, a análise de busca de metas fixa um valor alvo para um variável, e em seguida, alteram-se repetidas vezes as outras variáveis até que o valor alvo seja alcançado.
- Análise de otimização: é uma extensão mais complexa da análise de busca de metas. Em lugar de fixar para uma variável um valor específico, a meta é encontrar o valor ótimo para uma ou mais variáveis alvo, dadas certas limitações. Em seguida, muda-se uma ou mais variáveis repetidas vezes, sujeitas às limitações especificadas, até que sejam

descobertos os melhores valores para as variáveis alvos. Os algoritmos genéticos (AGs) utilizam bastante dessa técnica.

Assim, no sistema de apoio à decisão o processo de simulação ocorre por meio da mudança nos valores das variáveis, da repetição do processamento do sistema e da verificação do resultado mostrado pelo sistema.

É importante salientar que essa mudança nas variáveis de entrada deve ser decorrente de decisões tomadas no processo de planejamento no qual o tomador de decisão, isoladamente ou em grupo, escolhe novos objetivos e estratégias, e a partir deles verifica quais conteúdos serão alterados.

Portanto, infere-se que o processo de simulação fornece os resultados para as estratégias adotadas, mas é o gestor quem analisa e avalia a pertinência desses resultados selecionando aquele que considere mais adequado para a sua realidade. Nesse contexto, a grande vantagem dos SAD é a possibilidade de testar mudanças nas estratégias e verificar as conseqüências antes mesmo que as ações sejam implementadas.

3.8.1. Conceito de software livre

O software livre pode ser definido como aquele que possui o código-fonte (texto com uma seqüência de instruções executadas por um computador para completar determinada tarefa) livre para ser modificado e redistribuído.

Segundo a Fundação para o Software Livre (FSL) o conceito de software livre está relacionado mais a condição de “liberdade” que este tipo de programa proporciona aos seus usuários do que em relação ao fato de ter de se pagar algum valor para que seja possível utilizar o software (CAMPOS, 2006).

Reis (2003, p 15) cita algumas características importantes do software livre:

- Uso da internet para distribuí-lo e promover o seu desenvolvimento de forma descentralizada;
- Os desenvolvedores também são usuários dos produtos que ajudam a desenvolver;
- Existência de interesse pessoal do desenvolvedor (autor);
- Uso de ferramentas de comunicação e desenvolvimento distribuído.

Atualmente já existem disponíveis no mercado, diversos softwares livres com diferentes aplicações, tais como sistemas gerenciadores de banco de dados, manipulação de

imagens e gráficos, servidores de páginas web, editores de texto, planilhas eletrônicas, linguagens de programação, gerenciadores de projeto e gestão empresarial. Entretanto, essa quantidade ainda é pequena se comparada aos softwares proprietários e, ainda está restrita a alguns nichos específicos.

Cabe destacar que o software livre não é, necessariamente, gratuito. E, existem softwares proprietários que são gratuitos, como é o caso de alguns anti-vírus e correios eletrônicos. Portanto, a maior vantagem do software livre não é a sua gratuidade, mas sim a disponibilização do código fonte, permitindo que sejam realizadas alterações de melhoramento e adequação às necessidades locais.

3.9. Desenvolvimento de software

Assim como qualquer produto, o software precisa, antes de ser disponibilizado ao mercado, passar pelas etapas de concepção e projeto do sistema; modelagem; codificação e documentação; validação e design final.

A fase de concepção e projeto do sistema abrange atividades de delimitação do escopo do software, estabelecimento dos requisitos e diretrizes essenciais para o seu funcionamento, pré-projeto da interface gráfica e modelagem das informações.

A modelagem visa descrever o sistema por meio de fluxogramas de decisão, o que permite uma visão holística do programa, facilitando o seu desenvolvimento.

Na codificação, as informações e fluxos elaborados durante a modelagem são traduzidos para uma linguagem computacional. A codificação inclui também o processo de documentação do programa, que permite que outros pesquisadores conheçam os procedimentos que foram seguidos para a construção do software.

Nessa etapa é importante definir a metodologia e a linguagem de programação a serem utilizados para o desenvolvimento do software.

Uma das metodologias utilizadas no desenvolvimento de software é o padrão de projetos MVC (Model – View – Controller) que segundo Kubo (p.52, 2006) “fornece uma maneira de dividir as funcionalidades envolvidas na manutenção e apresentação de dados de uma aplicação”.

Esse padrão permite que o programa seja desenvolvido por meio das camadas, onde o model (modelo) representa os dados de aplicação e as regras de funcionamento; o View

(visão) é apresentação ou interface gráfica visível ao usuário e também é utilizada para receber as entradas de dados e apresentar os resultados; e finalmente, o Controller é responsável por receber as informações transmitidas pelo usuário por meio da camada view, definindo e gerenciando o comportamento da aplicação (KUBO, 2006; PAVAN, 2007).

A vantagem é que se pode dar ênfase no desenvolvimento de diferentes partes do software por diferentes colaboradores sem prejudicar o sistema final.

Um método complementar ao padrão MVC é o Extreme Programming (XP), que possibilita a criação de sistemas de melhor qualidade, podendo ser produzidos em menor tempo e de forma mais econômica. Ele é indicado para equipes pequenas e médias, com até dez integrantes, que desenvolvem software baseado em requisitos não totalmente definidos e que se modificam rapidamente (BECK, 1999).

A premissa do XP é que o cliente aprende sobre suas necessidades, na medida em que é capaz de manipular o sistema que está sendo produzido. Com base no feedback do sistema ele revê as suas necessidades e prioridades, gerando mudanças que devem ser incorporadas ao software. O aprendizado é importante, pois permite que o cliente direcione o desenvolvimento de modo que a equipe produza sempre aquilo que tem o maior valor para o seu negócio.

As principais características desse processo são:

- O cliente está sempre disponível para resolver dúvidas, alterar o escopo de uma interação e definir prioridades;
- A comunicação não é limitada por procedimentos formais. Usa-se o melhor meio possível, que podem ser conversas informais, e-mail, bate papo, telefonema, diagramas entre outros;
- O teste do sistema vem sempre antes do design final. Portanto, primeiro são realizados os testes e depois, trabalha-se o design do software;
- Os diversos módulos do software são integrados diversas vezes e todos os testes unitários são executados. O código não é aprovado até se obter sucesso com 100% dos testes unitários;
- O código deve ser desenvolvido por duas pessoas trabalhando juntas. Para funcionar, tanto o agente cognitivo quanto o programador devem estar em sintonia e
- Todo código é desenvolvido seguindo um padrão.

Quanto à linguagem de programação, o PHP (*Hypertext Preprocessor*) é um tipo de linguagem livre muito utilizada para gerar conteúdos no World Wide Web. De acordo com Arroio e Santos (2003) esta linguagem tem código aberto; é largamente adotada na internet; tem performance e estabilidade excelentes; suporta conexão com os bancos de dados mais utilizados no mercado e permite, por estar baseada na internet, que os sistemas gerados nesta linguagem tenham um caráter mais colaborativo.

Segundo Bakken et al. (2002) a linguagem PHP pode ser utilizada nas três camadas propostas pelo padrão MVC, ou seja, a camada view (interface gráfica), Model (Servidor) e Controller (lógica de programação). Os mesmos autores afirmam que a linguagem PHP pode ser utilizada em qualquer um dos principais sistemas operacionais existentes no mercado, tais como: Microsoft Windows, Linux, Unix, Mac OS X e Risc OS e, também suporta a maioria dos servidores web da atualidade (Microsoft Internet, Apache, Netscape, Mozilla Firefox, entre outros).

A última etapa do desenvolvimento de software é a validação na qual se realizam testes para verificação de erros, antes que o mesmo seja divulgado. Os testes de validação podem ser tanto sobre a usabilidade - dificuldade de se entrar com os dados – quanto à correspondência dos resultados emitidos pelo software e o modelo conceitual estruturado.

Uma característica importante durante o desenvolvimento do software é a decisão sobre o seu tipo, ou seja, se ele será um software proprietário ou livre. No primeiro caso, segundo Saleh (p. 10, 2004) tem-se um “modelo de desenvolvimento fechado, onde apenas uma empresa ou indivíduo têm o controle sobre as funcionalidades, correções e melhoramentos”, enquanto o software livre “utiliza um modelo aberto, onde qualquer pessoa pode ter acesso ao código fonte e exercer o direito de livremente utilizar, redistribuir ou alterar o programa”.

Como esta pesquisa tem um caráter científico e, além disso, visa contribuir para a disseminação desse conhecimento na sociedade, optou-se pelo desenvolvimento de um software livre. Assim, cumprem-se duas importantes funções da universidade pública, que são a pesquisa e atividades de extensão.

3.10. Softwares aplicados para a área de resíduos sólidos

Os primeiros softwares sobre resíduos sólidos remontam à década de 70 quando os modelos de otimização de rotas de veículos para a coleta foram desenvolvidos para prover uma representação mais realista das práticas de gestão de resíduos sólidos (MAC DONALD, 1996). Porém, eles eram bastante limitados e, raramente consideravam a reciclagem como forma de tratamento (MORRISEY e BROWNE, 2004).

Atualmente, os sistemas evoluíram e começaram a incluir as relações existentes entre as etapas do sistema de resíduos sólidos e seu entorno, ao invés de somente analisá-los isoladamente. Nesse âmbito, verificam-se alguns trabalhos (BAASCH, 1995; COSTI et al., 2003; EPIC e CSR, 2000; ETSU, 1998; FIORUCCI et al., 2002; LUPATINI, 2002; EMBRAPA et al., 2003; MASSUKADO, 2004 entre outros) que têm abordado nos sistemas, aspectos multidisciplinares, integrando, principalmente, assuntos operacionais, econômicos, tecnológicos, legislativos e ambientais dos resíduos sólidos.

Outro instrumento que vem se tornando comum para subsidiar as tomadas de decisões são os Algoritmos Genéticos (AG). Eles estão fundamentados na teoria evolucionista de Darwin de seleção natural e reprodução genética, na qual existe uma população inicial de supostas soluções para um determinado problema; um modelo para calcular quantos indivíduos (soluções), bons e ruins existe nessa população; um método para misturar os indivíduos bons para produzir novas e melhores soluções e; uma operação de mutação para evitar a perda permanente de diversidade nas soluções (COLEY, 1999).

Apesar da sua ainda tímida aplicação para a gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos, os AGs são uma importante ferramenta de otimização de problemas, como por exemplo, escolha de áreas para implantação de sistema de tratamento de resíduos; roteirização da coleta; escolhas de locais para destinação de resíduos sólidos; gerenciamento de resíduos em nível regional entre outros (CHAMBERS, 2000; AKUTSU et al., 2002; VIOTTI et al., 2003).

O Quadro 3.14, a seguir, resume os softwares para a gestão e o gerenciamento dos resíduos sólidos domiciliares que foram identificados durante esta pesquisa.

Quadro 3.14: Softwares aplicados para a gestão e o gerenciamento de RSD

Software	Descrição	Funções/Características	Ano	Autor/Instituição
	Sistema de suporte multicritério aplicado na gestão dos resíduos sólidos	- Processo decisório com indicadores qualitativos, - inclui um banco de dados apresentado na forma de indicadores, a ser acessado pelo usuário no momento dos julgamentos de valor, buscando uma maior consistência nas avaliações.	1995	Baasch/UFSC
RECICLON	Sistema de Apoio à Avaliação financeira de usinas de reciclagem de resíduos sólidos	- consulta a projetos de Usinas de Reciclagem e Compostagem com diferentes capacidades de tratamento, - simulação sobre os custos de investimento, produção, receita e financiamento dessas usinas de reciclagem e compostagem, - simulação dos valores necessários para a montagem dos fluxos de caixa e apresenta indicadores de rentabilidade financeira tais como a taxa interna de retorno, o tempo de recuperação do capital e o valor presente líquido, - apresenta dois relatórios principais: um de análise financeira e outro de fluxos de caixa	1999	LESA/UFV
ORWARE	Organic Waste Research	- calcula fluxo de resíduos, impactos ambientais e custo da gestão de resíduos, - abrange a categoria dos resíduos orgânicos e inorgânicos - gera informações sobre as emissões que são relacionados ao efeito estufa, acidificação e eutrofização.	2000	Eriksson, O. et al. Royal Institute of Technology (Suécia)
IWM	Gestão integrada de resíduos sólidos	-utiliza a metodologia de avaliação de ciclo de vida (ACV) para quantificar a energia consumida e emissões de um determinado cenário de gestão de resíduos; - fornece indicações preliminares sobre os efeitos ambientais e econômicos de determinadas decisões sobre a gestão de resíduos	2000	Universidade de Waterloo/Canadá
WISARD	Waste Integrated Systems for Assesment of Recovery and Disposal	- auxilia os tomadores de decisão na avaliação de cenários de gestão de resíduos, - os cenários de gestão podem incluir aterro sanitário, incineração, reciclagem, compostagem e digestão anaeróbia	2000	Ecobilan Continua

Software	Descrição	Funções/Características	Ano	Conclusão Autor/Instituição
SADES	Sistema de apoio à decisão para escolha de locais para implantação de aterros sanitário	-Indica melhores locais para implantação de aterros sanitários a partir das informações e ponderações sobre os critérios técnicos, ambientais e econômicos	2002	Lupatini/UFSC
SIRCLUA	Sistemática inteligente para recomendação ao uso de composto de lixo urbano na agricultura	-Fornece indicações sobre a dosagem do composto para diferentes tipos de cultura.	2003	EMBRAPA, ESALQ, USP, UNICAMP, IAC
SIMGERE	Simulação para gestão de resíduos sólidos	- projeção da produção de resíduos, - cálculo da vida útil do aterro sanitário.	2004	Massukado/UFSCar
VERDES	Viabilidade econômica da reciclagem dos resíduos sólidos	A partir da quantidade produzida, reciclada e disposta em aterros, torna-se possível mensurar a economia de matéria-prima, energia, água e a redução dos danos ambientais.	2004	Magera/UNICAMP
SCOLDSS	Sistema de Apoio à Decisão aplicado ao planejamento e distribuição da coleta seletiva de resíduos sólidos	- alocação de veículos para coleta seletiva, - roteiro de coleta, - determinação da quantidade diária de resíduos sólidos a ser enviada a unidade de triagem	2004	Eugênio de Oliveira Simonetto e Denis Borenstein/ UFRGS
BIOGÁS	Biogás, geração e uso energético – aterros e efluentes & resíduos rural	- estima a emissão de biogás e a quantidade de energia disponível pela sua recuperação e uso em aterros sanitários	2006	CETESB
	Sistema de Apoio ao Gerenciamento de resíduos de construção e demolição	- Disponibiliza planilha que auxiliam na coleta de dados em campo, - Banco de dados com agentes geradores e coletores de RCD, - determinação de geração per capita, composição física - banco de dados com leis e decretos sobre RCD	2007	Scremin, L. B./ UFSC

Com relação à compostagem dois softwares brasileiros foram identificados como mostrado no Quadro 3.14. O primeiro deles envolveu um grupo de pesquisadores de diversas instituições (EMBRAPA, USP, UNICAMP e IAC), que desenvolveram um sistema para analisar a qualidade do composto orgânico e fornecer indicações sobre o uso desse composto na agricultura. O “software” que tem como sigla SIRCLUA – Sistema Inteligente para Recomendação ao Uso de Composto de Lixo Urbano na Agricultura, é utilizado, ainda, no âmbito das universidades, mas atualmente passa por uma adaptação para o uso nas usinas de compostagem do país.

RECICLON é o nome do software desenvolvido pelos pesquisadores do Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Viçosa. Diferentemente do SIRCLUA, esse software tem como objetivo apresentar os custos e benefícios associados à implantação de Usinas de Triagem e Compostagem.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentados a caracterização do município de São Carlos/SP, onde a pesquisa se desenvolveu; a caracterização da Unidade Descentralizada de Compostagem com relato das atividades realizadas; os procedimentos adotados para realização das análises do composto; a descrição da gestão e do gerenciamento de resíduos sólidos no município de São Carlos e a metodologia empregada para o desenvolvimento do software.

4.1. Caracterização do município de São Carlos/SP

São Carlos está localizado na região central do Estado de São Paulo a uma distância de 231 quilômetros da capital. Faz divisa com 11 municípios: ao Norte-Nordeste, Luiz Antônio, a Leste com Descalvado, a Sudeste, Analândia, ao Sul limita-se com Itirapina e

Brotas, a Sudoeste, Ribeirão Bonito, a Oeste estão Ibaté e Araraquara, e a Noroeste situam-se Américo Brasiliense, Santa Lúcia e Rincão.

Situada em um planalto, com área territorial de 1.132 km², sendo que 6% corresponde a área urbana. São Carlos possui dois distritos, Santa Eudóxia e Água Vermelha.

As coordenadas geográficas do município são 47° 30' e 48° 30' longitude oeste e 21° 30' e 22° 30' de latitude sul, com altitude média de 856 m. Sua área está localizada em duas Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos, a UGRHI-13 da bacia Tiête/Jacaré e a UGRHI-09 da bacia Mogi-Guaçu.

Segundo levantamento da SEADE (2007), o município tem cerca de 220 mil habitantes e crescimento médio da população equivalente a 1,99% ao ano. O IDH do município é de 0,84 (PNUD, 2000) com PIB per capita de R\$ 11.950,62.

Considerada pólo de desenvolvimento científico e tecnológico, São Carlos conta com a presença de diversas indústrias (Faber Castel, Volkswagen, Tecumseh, Eletrolux, etc), Universidades (USP, UFSCar, UNICEP) e centros de pesquisa como a EMBRAPA.

4.2. Caracterização da área de estudo

A área de atuação do referido projeto foi uma Unidade Descentralizada de Compostagem, conhecida como Pátio de Compostagem, que foi implantada em 2005, pelo Centro de Divulgação Científica e Cultural/USP São Carlos por meio do “Projeto ABC da Compostagem”, financiado pela FAPESP (Processo nº 01/02766-3). No início de 2006 esse projeto foi encerrado com bastante êxito. Pensando-se em aproveitar o pátio existente para a realização de novas pesquisas, foi proposto no mesmo ano um novo projeto à FAPESP pelo Departamento de Hidráulica e Saneamento (EESC/USP), o qual foi contemplado em julho de 2006 (Processo nº 2006/50784-4).

O diferencial na proposta desse novo projeto é a realização da compostagem a partir de resíduos previamente separados na fonte em unidade descentralizada. O Pátio de Compostagem está localizado no bairro São Carlos III (São Carlos, SP) na escola estadual Bento da Silva César. A Figura 4.1 apresenta a localização do pátio a partir de uma foto aérea.

Figura 4.1: À esquerda, foto aérea da localização do Pátio de Compostagem em relação à Rodovia Washington Luis. À direita uma aproximação da quadra onde se localiza o pátio, porém nesta imagem ele ainda não havia sido implantado.

Fonte: Google Earth (2008)

A Figura 4.2 mostra a localização do pátio de compostagem em relação ao município.

Figura 4.2: Localização do Pátio de compostagem em relação ao município de São Carlos
Fonte: PMSC (2007)

Observa-se na Figura 4.2, o destaque para a instalação denominada Centro de Reciclagem que foi projetada para abrigar uma central de reciclagem, pátio de compostagem, ecoponto para recebimento de entulhos de pequenas obras e um estábulo comunitário. O objetivo era transferir o Pátio de Compostagem para essa nova área e expandir a área de atuação desta pesquisa. Porém, esse empreendimento não foi concretizado. A Figura 4.3 mostra o layout do Centro de Reciclagem.

Figura 4.3: Layout do Centro de Reciclagem que não foi implantado, mas que pode ser utilizado como referência para outros projetos.

Fonte: PMSC (2007)

O projeto do Pátio de Compostagem teve como parceiros a Prefeitura Municipal de São Carlos, a Escola Estadual Bento da Silva César, o Centro de Divulgação Científica e Cultural (CDCC/USP) e a Associação para Proteção Ambiental de São Carlos (APASC).

4.2.1. Operacionalização do Pátio de Compostagem

O acompanhamento da operação do pátio ocorreu durante o período entre março de 2006 e março de 2008, sendo realizadas todas as segundas, quartas e sextas-feiras. No primeiro ano, o acompanhamento teve como objetivo padronizar os procedimentos operacionais do processo, como tamanho das leiras, frequência de revolvimento e rega. Em 2006, o material compostável era coletado em domicílios localizados no mesmo bairro do pátio. A partir de 2007, houve também a contribuição dos resíduos compostáveis da merenda da escola. Para operacionalizar o pátio havia um operador contratado para realizar o serviço.

Durante o período da pesquisa 29 toneladas de resíduos orgânicos foram coletadas, 56 leiras foram montadas (26 em 2006 e 30 em 2007) e 5 toneladas de composto foram

produzidos. O pátio possui 45 m² de área coberta e 55 m² de área a céu aberto com capacidade para tratar até 4 t/mês de resíduos. O custo para implantação da parte coberta do pátio ficou em torno de R\$ 10 mil.

Os resíduos enviados para o Pátio de Compostagem foram coletados nos 60 domicílios, além daqueles provenientes da merenda da escola. A adesão da participação na separação dos resíduos foi, em média, de 65% da área amostrada inicialmente (90 entrevistados). Além disso, a participação dos moradores foi bastante significativa, tanto no que diz respeito à continuidade quanto à qualidade do material separado. O material compostável, ou resíduo orgânico, era coletado seletivamente pela equipe do projeto (alunos da graduação e pós-graduação da EESC/USP e um operador – Figura 4.4).

Figura 4.4: Parte da equipe que atuou no projeto ABC da Compostagem (Da esquerda para direita: Luciana, Sr. Wilson, Renata, Vitor, Kátia e Fábio).

Os moradores separavam previamente os restos de preparo de alimentos, sobra das refeições e folhagens, acondicionando-os em uma sacola específica distribuída pelo projeto. A estratégia de comunicação utilizada foi porta-a-porta, ou seja, voluntários passavam pelas casas do bairro informando sobre o início do projeto e, entregavam para os moradores panfletos e folders explicativos.

As casas que aderiram ao projeto recebiam, semanalmente, sacolas específicas para depositarem os resíduos orgânicos. A coleta dos materiais compostáveis era realizada três

vezes por semana, acompanhando os dias de coleta regular. A Figura 4.5 mostra, respectivamente, a sacola do projeto e a disposição das mesmas para coleta.

Figura 4.5 À esquerda, modelo da sacola utilizada para a coleta dos materiais compostáveis. À direita, disposição das sacolas para a coleta
Foto: Massukado, 2007

O veículo utilizado para o transporte foi a Kombi (Figura 4.6) que pertence a ONG, APASC – Associação para Proteção do Meio Ambiente de São Carlos, parceira do Programa *ABC da Compostagem*. A cada coleta eram percorridos 1,5 km.

Figura 4.6: Veículo, emprestado pela Ong APASC, utilizado no projeto para coleta do material compostável
Foto: Luciana M. Massukado, 2007.

Após a coleta, os resíduos eram encaminhados ao Pátio de Compostagem onde eram realizados os procedimentos da compostagem. A Figura 4.7 apresenta o Pátio de Compostagem.

Figura 4.7: À esquerda, vista frontal do Pátio de Compostagem – parte coberta. À direita, ampliação a céu aberto.

Foto: Luciana M. Massukado, 2007

No Pátio o material coletado era triado, pesado e o volume era verificado por meio de balde plástico (volume de 120 litros) graduado. Os resíduos contidos no balde eram despejados sobre o pátio, iniciando-se a montagem da leira. As Figuras 4.8 e 4.9 apresentam, respectivamente, a triagem do material e a pesagem com verificação de volume.

Figura 4.8: Procedimento de triagem do material que chegava ao Pátio de Compostagem

Foto: Luciana M. Massukado, 2007

Figura 4.9: Procedimento de pesagem e medição do volume do material de entrada da leira
Foto: Luciana M. Massukado, 2007

A pesagem era realizada por meio de uma balança digital com capacidade para 150 kg. Cabe ressaltar que, apesar da literatura sugerir que sejam montadas leiras com tamanhos de partículas até 5 cm, adotou-se o procedimento de não fraturar ou triturar os resíduos na entrada do processo. Isso porque, a umidade inicial do material era muita alta prejudicando o funcionamento do triturador.

As leiras paravam de receber resíduos quando atingiam um volume médio de 1200L e massa cerca de 500 a 600 Kg, sendo cobertas com uma camada de capim ou folhas secas e tela tipo sombrite para evitar que as folhas se espalhassem e que animais (pombas, cachorros) viessem remexer a leira. Em termos de tempo, elas atingiam essa quantidade num período de 1 (uma) semana, ou seja, três coletas. Resíduos alimentares, folhas ou capim (Figura 4.10) constituíam a leira. Geralmente, utiliza-se 1 (uma) medida em volume de material castanho (folhas, palha) para duas medidas em volume de material verde (restos de alimentos). As leiras foram montadas com diferentes proporções de materiais verdes e castanhos. A Tabela 4.1 apresenta os valores médios, mínimos e máximos de peso, volume, densidade, porcentagem de resíduos verdes e castanhos para os resíduos de entrada e para o composto peneirado.

Figura 4.10: À esquerda, leira montada com restos de alimentos. À direita, cobertura feita com capim e folhas.

Foto: Luciana M. Massukado, 2007.

Tabela 4.1. Apresentação dos valores médios, mínimos e máximos de peso, volume, densidade, porcentagem de resíduos verdes e castanhos para os resíduos orgânicos coletados e para o composto peneirado.

	Peso (kg)		Volume (L)		Densidade (kg/m ³)		Formação da leira			
	RO	CP	RO	CP	RO	CP	% verdes*		% castanhos*	
							peso	volume	peso	Volume
Média	518	89	1259	249	414	360	87	71	13	29
Mínimo	228	46	730	153	283	249	72	58	28	42
Máximo	855	181	1895	490	515	545	97	81	3	19

RO: resíduos orgânicos coletados

CP: composto peneirado

*: Essa análise considera somente os dados de 2007.

Observa-se a partir dessa tabela que, na média, as leiras pesavam 518 kg, apresentavam volume equivalente a 1,26 m³ e densidade do material a ser compostado igual a 414 kg/m³. As leiras apresentavam formato de cone com as seguintes dimensões – altura de 1,0 m e diâmetro da base igual a 1,30 m. Além do mais, pode-se verificar que a leira era formada geralmente por 87%, em peso, de material verde e, 13% de castanhos. Considerando o volume, essa proporção muda para 71% de resíduos verdes e 29% de castanhos. Com relação ao composto peneirado, a quantidade média produzida por leira foi de 89 kg e volume de 0,25 m³.

A partir do fechamento da leira, iniciava-se o controle e monitoramento da mesma. A cada dois dias o operador de pátio verificava a temperatura e também a umidade, que era avaliada pelo método da bolota (KIEHL, 2004). O revolvimento manual da leira era realizado a cada dois dias (Figura 4.11).

Figura 4.11: À esquerda, medição da temperatura da leira e, à direita operação de revolvimento da leira.

Foto: Luciana M. Massukado, 2007

A partir de 2 ou 3 semanas, quando os resíduos se encontravam bastante secos, realizava-se a trituração da leira a fim de homogeneizar o tamanho das partículas (Figura 4.12).

Figura 4.12: Verificação da umidade – teste da bolota (esquerda) e processo de trituração da leira (direita)

Foto: Luciana M. Massukado, 2007.

A primeira rega da leira era realizada após a trituração utilizando-se regadores de 5 (cinco) litros. O processo de compostagem durava em média 90 a 120 dias. Ao final, a leira era peneirada e o composto ensacado e distribuído aos moradores do bairro São Carlos III ou utilizado nas áreas verdes e horta da escola. A Figura 4.13 mostra o composto embalado e sua entrega aos participantes do projeto.

Figura 4.13. Composto ensacado (esquerda) e entrega a um dos participantes (direita).

Foto: Luciana M. Massukado (2006)

O composto produzido no pátio também foi utilizado para adubar uma pequena horta experimental na própria escola. O objetivo foi comparar visualmente a diferença na produção e no crescimento da cenoura e da beterraba em um solo sem adubação e outro com aplicação de composto. O melhor desempenho do solo tratado com o composto demonstrou, à primeira vista, a viabilidade do uso agrícola desse composto. A Figura 4.14 ilustra a diferença de comportamento observada como resultado da adubação com o composto produzido.

Figura 4.14: Teste visual para avaliação do desempenho no crescimento da cenoura e beterraba em área sem composto (à esquerda) e área com adição composto (à direita).

Foto: Luciana M. Massukado (2006).

Para otimizar o gerenciamento do pátio foram elaboradas planilhas de acompanhamento para cada leira que continha informações sobre temperatura, quantidade de resíduos verdes e castanhos, data de início da leira etc. Também foram produzidos materiais informativos para auxiliar a população na separação dos resíduos compostáveis (APÊNDICE B).

4.3. Parâmetros analisados do composto de lixo

A análise dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos foi realizada para o composto de lixo produzido em três locais diferentes:

- Pátio de Compostagem: unidade descentralizada onde a pesquisa foi realizada;
- Horta Municipal: unidade descentralizada de compostagem gerenciada pela PMSC e localizada na própria horta municipal;
- Usina de Reciclagem e Compostagem (URC): localizada no município de Garça/SP.

Todas as amostras foram coletadas segundo recomendações da NBR 10.007 (ABNT, 2004) e armazenadas em sacos plásticos. Cada amostra era identificada com uma etiqueta com as seguintes informações: nome do responsável, data de coleta, tempo de compostagem, material de entrada e finalidade do composto.

O Quadro 4.1 a seguir resume os parâmetros que foram analisados para o composto de lixo, a metodologia empregada e o local de realização dos ensaios.

Quadro 4.1.: Relação dos parâmetros analisados, local e metodologia utilizada

Parâmetros	Unidade	Local	Metodologia
Umidade	%	Lab. de solos e Lab de Ecotoxicologia	EMBRAPA (1997); Monteiro;Frighetto(2000)
Granulometria		Lab. De Solos	EMBRAPA
Densidade	g/cm ³	Pátio de Compostagem	
pH	----	Lab. de Hidráulica e Saneamento e Lab. de ecotoxicologia	EPA (1994) e Monteiro;Frighetto (2000)
CTC	Cmolc/Kg	IAC	Rodella e Alcarde (1994)
Capacidade de retenção de água	%	Lab. de ecotoxicologia	Monteiro;Frighetto (2000)
Condutividade elétrica	mS/cm µS/cm	Lab. de ecotoxicologia	Alvarenga et al. (2006)
Carbono Orgânico	g/Kg	EMBRAPA	Kiehl (1985)
Nitrogênio Total	g/Kg	EMBRAPA	Oliveira et al. (2000)
Matéria Orgânica		EMBRAPA	Nogueira e Souza (2205)
Relação C/N	----	EMBRAPA	Kiehl (1985)
Macro e micronutrientes	g/Kg	EMBRAPA	Kiehl (1985)
Metais pesados	Mg/Kg	IAC	Oliveira et al. (2000)
Coliformes totais	NMP/ 100mL	Bioeng	Nogueira e Souza (2005)
Coliformes fecais	NMP/ 100mL	Bioeng	EPA (1995) SW-846, método 3051
Ovos viáveis de helmintos		Bioeng	APHA (1998)
Salmonela	NMP/ 100mL	Bioeng	APHA (1998)

Para o composto de lixo produzido no Pátio de Compostagem e na Horta Municipal foi também montado o teste de toxicidade aguda com minhocas da espécie *Eisenia andrei*. No composto da URC não foi possível realizar esse teste devido à grande quantidade de rejeitos presentes (cacos de vidro, fios de cobre, papel picado, plásticos etc).

4.3.1. Parâmetros físicos

Os parâmetros físicos avaliados do composto orgânico foram: temperatura, densidade, umidade e granulometria. A temperatura das leiras foi medida as segundas, quartas e sextas-feiras pela manhã.

A densidade do material foi medida no início do processo e no final. Para tanto, utilizou-se uma balança eletrônica e um balde graduado.

A determinação da umidade foi realizada para o composto maturado, em triplicata, seguindo a metodologia de análise de solo descrita pela EMBRAPA (1997):

- Colocar 10 g de amostra em lata de alumínio numerada e de peso conhecido;.
- Transferir para estufa a 105°-110°C e deixar durante 24 horas;
- Retirar o material da estufa e transferir para o dessecador para deixar esfriar;
- Pesar o material

A determinação da granulometria do composto foi realizada no Laboratório de solos, do Departamento de Geotencia (EESC/USP). O equipamento utilizado no ensaio foi o agitador de peneiras eletromecânico de bancada da Solotest, com capacidade para 8 peneiras mais tampa e fundo.

A metodologia utilizada foi da EMBRAPA (1979) descrito por Barreira (2005) conforme descrito a seguir:

- Coletar 400 g de amostra da leira em diferentes pontos;
- Homogeneizar a amostra e quartear em laboratório até se obter uma massa de 100 g
- Agitar mecanicamente por 10 minutos utilizando as seguintes peneiras: nº 4, 5, 6, 10, 18, 20, 35 e 50;
- Pesar o material retido em cada peneira

A partir das porcentagens retidas classificou-se o composto em granulado, pó, farelado e farelado grosso conforme a Instrução Normativa 23/2005 do Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

O modelo da planilha utilizada para realizar o ensaio de granulometria encontra-se no Anexo A.

4.3.2. Parâmetros químicos

As análises químicas realizadas pela pesquisadora foram pH e condutividade elétrica.

A determinação do pH foi realizada para amostras do composto maturado utilizando-se a metodologia baseada no procedimento SW-846-9045C (EPA, 1995) assim descrito por Abreu et al. (2006).

- Pesar 20 g de resíduo em frasco plástico;
- Adicionar 20,0 mL de água destilada;
- Agitar a amostra em um agitador magnético por 5 min e deixar em repouso por 15 min;
- Mergulhar o eletrodo em suspensão e realizar leitura do pH.

As análises de macro e micronutrientes, assim como de metais pesados e capacidade de troca catiônica foram realizadas, respectivamente, no laboratório da EMBRAPA Agropecuária Sudeste e no laboratório de Qualidade do Solo do Instituto Agrônomo de Campinas. A análise de metais pesados seguiu o procedimento SW-846, método 3051 da EPA, o qual é reconhecido pela Instrução Normativa IN nº 24 (MAPA, 2007). A capacidade de troca catiônica em material orgânico foi determinada segundo o método proposto por Rodella e Alcarde (1994).

4.3.3. Parâmetros microbiológicos

A análise microbiológica do composto foi realizada no laboratório da empresa Bioeng – Serviços de Análise de Qualidade de Água Ltda., que analisou a quantidade de coliformes totais, coliformes fecais, *salmonella spp*, coliformes termotolerantes e ovos viáveis de helmintos. Os ensaios foram efetuados de acordo com a 20ª Edição do Standard Methods (APHA, 1998).

4.3.4 Ensaio de toxicidade aguda

Os testes de toxicidade aguda foram realizados no Laboratório de Ecotoxicologia do Núcleo de Estudo em Ecossistemas Aquáticos, que está localizado no Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada da Escola de Engenharia de São Carlos/USP.

O organismo-teste utilizado no ensaio agudo foi a minhoca da espécie *Eisenia andrei*. Os testes foram baseados nas normas OECD 207 (OECD, 1984), ISO 11262-1 (ISO, 1993) e NBR 15537 (ABNT, 2007). Essa espécie foi escolhida pois apresenta curto ciclo de vida. Sua reprodução é intensa (2 a 5 casulos/semana), com juvenis saindo do casulo após 3 a 4 semanas e tornando-se adultas em 7 a 8 semanas (OECD, 1984).

A norma OECD recomenda que se utilize um solo artificial para a condução de ensaios de toxicidade, padronizado pela mistura de areia industrial, caulim e matéria orgânica, na proporção, em peso, de 7:2:1. A matéria orgânica indicada por essa norma é a turfa de esfagno (*sphagnum peat*). Devido à dificuldade de aquisição e utilização da turfa e considerando a recomendação da NBR 15537 (ABNT, 2007) quanto à utilização da fibra de coco como matéria orgânica, optou-se por utilizá-la como componente da mistura. Essa mistura de areia industrial, caulim e fibra de coco foi denominada por Garcia (2004) de solo artificial tropical (TAS).

Após o preparo, o solo artificial deve ter umidade de 35%, peso seco, e pH em torno de $6,0 \pm 0,5$, sendo ajustado, quando necessário, pela adição de doses adequadas de carbonato de cálcio. A Figura 4.15. mostra o aspecto físico do solo artificial tropical.

Figura 4.15: Aparência física do TAS – Solo Artificial Tropical, composto pela mistura de areia, caulim e fibra de coco na proporção, em peso, de 7:2:1.

Fonte: Luciana M. Massukado, 2008

A procedência dos materiais e organismos utilizados nos testes foram:

- areia normal Brasileira: cedida pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). Produzida de acordo com a NBR 7214:82. Identificação 100 –material retido entre as peneiras de abertura nominal de 0,3 mm e 0,15 mm;

- minhocas: compradas da empresa Anhumus Agroambiental (Campinas/SP). Espécie *Eisenia andrei*;
- argila branca (caulim) foi adquirida comercialmente da empresa Labsynth Produtos para Laboratório Ltda;
- fibra de coco: comprada da empresa Amafibra (Artur Nogueira/SP). O tipo de fibra foi o substrato agrícola Golden Mix T-80.

As substâncias-testes utilizadas nos ensaios foram: o composto orgânico proveniente do Pátio de Compostagem e da Horta Municipal operacionalizada pela Prefeitura Municipal de São Carlos por meio das Secretarias Municipais de Desenvolvimento Sustentável, Ciência e Tecnologia (SMDSCT) e de Agricultura e Abastecimento (SMAA).

A Figura 4.16., a seguir, apresenta o composto já peneirado do Pátio de Compostagem e da Horta Municipal, respectivamente.

Figuras 4.16: À esquerda, composto peneirado proveniente do pátio de compostagem e à direita, composto proveniente da Horta Municipal.

Fonte: Luciana M. Massukado, 2008

4.3.4.1. Manutenção e alimentação dos organismos em laboratório

O substrato (esterco bovino mais fibra de coco), antes de ser utilizado, foi submetido a ciclos de congelamento de 48 h, seguidos de descongelamento, por um período de uma

semana a um mês. Esse procedimento tem como objetivo eliminar outros organismos presentes no substrato.

A umidade do substrato foi ajustada semanalmente adicionando-se água destilada quando necessário. Essa verificação da umidade do substrato foi apenas visual, não devendo o mesmo estar demasiadamente seco, nem úmido a ponto de escorrer líquido quando uma quantidade é pressionada na mão.

Após a aquisição, as minhocas eram retiradas do substrato e transferidas para o meio de cultivo já preparado no laboratório. Esse substrato de cultivo consiste na mistura de esterco bovino e fibra de coco na proporção de 50:50 (v:v).

As minhocas foram mantidas em caixas plásticas com capacidade para 1000 g (Figura 4.17), sendo alimentadas quinzenalmente com flocos de aveia previamente cozidos em água destilada ou esterco bovino seco. Com relação à temperatura, as culturas foram mantidas a $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$. As culturas ficaram sob regime de 12 horas de luz e 12 horas de escuro, com uma intensidade de luz de 400-800 lux.

Figura 4.17: Sala de cultivo onde as minhocas permanecem em caixas plásticas até serem utilizadas nos ensaios.

Fonte: Luciana M. Massukado, 2008

Outro cuidado foi aclimatar as minhocas durante pelo menos 24 horas antes da realização dos ensaios. Para tanto, as minhocas são mantidas no TAS acrescido de água destilada, que foi utilizado como controle nos ensaios.

Os procedimentos de congelamento, ajuste da umidade do substrato, preparo do cultivo, aclimação e alimentação das minhocas foram realizados pela pesquisadora Maria

Edna T. Nunes, cuja pesquisa de doutorado é avaliar o impacto da utilização de agrotóxicos sobre a fauna edáfica por meio de ensaios ecotoxicológicos com *Eisenia andrei* em solo artificial e solo natural.

4.3.4.2. Definição dos tratamentos

Para montar o experimento, inicialmente foram definidos os tratamentos que seriam avaliados para cada substância-teste (fertilizante orgânico).

Optou-se por utilizar diluições da substância-teste no TAS nas seguintes proporções (peso seco): 100%, 75%, 50%, 25% e 10%. Além dessas diluições buscou-se também calcular qual a diluição da substância-teste correspondente a sua dose recomendada para aplicação agrícola.

Como as doses recomendadas podem variar de 20 a 120 t/ha.ano, dependendo do teor de nitrogênio no fertilizante, do tipo de solo, do clima e da cultura, adotou-se a dose de 120 t/ha.ano. Este foi considerado o pior cenário, em que uma quantidade muito grande de composto orgânico, proveniente da compostagem de resíduos sólidos urbanos, é adicionada ao solo.

O procedimento para calcular a quantidade, em peso, de substância-teste a ser misturada ao TAS considerou duas situações. A primeira, na qual a dose recomendada foi calculada com base na área do pote onde o experimento seria realizado, e, a segunda considerando a densidade do solo.

Para o primeiro caso, calculou-se primeiramente a área do pote utilizado no ensaio ($132,66\text{cm}^2$). Em seguida, transformou-se a quantidade de composto correspondente a dose recomendada para 1 hectare, obtendo-se um valor equivalente de 159 g para uma área de $132,66\text{ cm}^2$. Como no pote foram colocados 500 g de TAS, a dosagem seria de 159 g/500g de TAS, ou seja, 318g/kg de TAS. Em termos de diluição, essa proporção seria equivalente a 32%.

A conversão da dose recomendada pelo método da densidade considerou o valor de $1,5\text{ g/cm}^3$, bastante representativo para os solos brasileiros, tomando por base os dados apresentados por Gomes e Spadotto (2004). Considerando que a camada de solo com matéria orgânica encontra-se nos primeiros 10 cm e que, essa camada é utilizada para horticultura, inferiu-se que a dosagem recomendada de 120t/ha seria equivalente a $120\text{t}/1000\text{m}^3$.

Se a densidade do solo é de $1,5 \text{ g/cm}^3$, para 1000 m^3 tem-se o equivalente a $1,5 \times 10^9 \text{ g}$. Então, por regra de três, a dose recomendada foi calculada como 120.000 kg de composto para $1,5 \times 10^9 \text{ g}$ de solo. Portanto, para 1 kg, corresponderia a 0,08 kg de composto. Dessa forma, a dose recomendada calculada pelo método da densidade seria de 80g de composto por kg de solo (80g/kg), equivalente a uma diluição de 8%.

Os valores da dose recomendada (DR), assim como aqueles correspondentes ao dobro da dose recomendada (2DR) foram acrescentados às diluições iniciais. Assim, os tratamentos testados foram: 100%, 75%, 64% (2DRA), 50%, 32% (DRA), 25%, 16% (2DRD), 10% e 8% (DRD), em que DRA significa dose recomendada por área e DRD dose recomendada por densidade.

O tratamento controle correspondeu a 100% de TAS. Todos os tratamentos foram montados em triplicata.

4.3.4.3. Determinação dos parâmetros de umidade, pH, capacidade de retenção de água e condutividade elétrica dos substratos-teste

Antes de iniciar o teste agudo foram determinados os parâmetros de umidade, pH e capacidade de retenção de água e condutividade elétrica dos compostos (Pátio de Compostagem e Horta Municipal) e do solo tropical artificial (TAS). A metodologia da umidade e do pH foi a realizada pela equipe do Laboratório de ecotoxicologia.

As análises de umidade e capacidade de retenção de água são importantes para ajustar a quantidade de água que cada componente (TAS, composto pátio e composto horta) deveria receber, de forma que a umidade final do tratamento fosse equivalente a 50% da capacidade de retenção de água dos mesmos. Todas as análises foram realizadas com os compostos peneirados em malha de 2 mm de forma a se obter uma padronização da granulometria.

Umidade

A determinação da umidade foi realizada para o TAS, composto do pátio e da horta em triplicata, de acordo com metodologia descrita a seguir (MONTEIRO, FRIGHETTO, 2000).

- Pesar 5 g do material, em recipiente de peso reconhecido, em balança analítica;
- Transferir para estufa a 65°C (deixado por 24 horas);
- Retirar o material e transferir para o dessecador para deixar esfriar;
- Pesar o material

pH – Potencial Hidrogeniônico

A determinação do pH foi realizada para o TAS, composto do pátio e da horta em duplicata, e foi baseada na metodologia de análise de solo descrita a seguir (MONTEIRO, FRIGHETTO, 2000):

- Colocar 10 ml de solo em copo plástico de 100 ml;
- Adicionar 25 ml de água destilada;
- Agitar a amostra em um agitador magnético por 15 min e deixar em repouso por 30 min;
- Mergulhar o eletrodo em suspensão e realizar leitura do pH.

Capacidade de retenção de água

A determinação da capacidade de retenção de água foi realizada para o TAS, composto do pátio e da horta em duplicata (Figura 4.18). O controle, também em duplicata, correspondeu à passagem de água apenas pelo papel de filtro.

Figura 4.18: Ensaio para determinação da capacidade de retenção de água. Da esquerda para direita têm-se os frascos do composto da horta, do pátio e do controle (somente água).

Fonte: Luciana M. Massukado, 2008

A metodologia foi baseada em Monteiro e Frighetto (2000) conforme descrita a seguir:

- Pesar 20 g de material e 100g de água destilada em balança analítica;
- Colocar o material em um funil com papel filtro montado sobre um erlenmeyer, cujo peso inicial também foi determinado;
- Adicionar aos poucos a água destilada sobre o material contido no papel de filtro.
- Deixar repousar por uma noite, sendo os frascos cobertos com papel alumínio para evitar a evaporação;
- Pesar o erlenmeyer com a água percolada, que passou pelo material.

O cálculo da capacidade de retenção de água é dado pela seguinte fórmula:

$$CRA(\%) = \left(\frac{Wi - Wp - Wra + Wma}{Wms} \right) * 100 \quad \text{Eq. 5.3}$$

Onde:

Wi = peso inicial de água (g);

Wp= peso da água percolada (g);

Wra= peso da água retido na amostra contendo somente água (g);

Wma= peso de água já contida no material (g);

Wms = peso seco do material (g).

Ressalta-se que o peso de água retido no papel de filtro, no controle, é descontado do peso de água retido nas amostras.

Condutividade elétrica

A determinação da condutividade elétrica foi realizada para amostras de solo artificial tropical (TAS) e as substâncias-teste e seguiu a metodologia descrita por Alvarenga et al. (2006) que é semelhante ao descrito por Abreu et al. (2006). A metodologia de Alvarenga foi escolhida para poder comparar os resultados da condutividade elétrica obtidos nesta pesquisa com aqueles conseguidos em seu trabalho. A proporção utilizada nesse ensaio foi o extrato

solo-água na proporção 1:5 (m:v), com leitura em condutivímetro com célula de 1 cm. A condutividade elétrica foi avaliada no condutivímetro da marca Orion, modelo 145 Aplus. A seguir, descreve-se o procedimento para realização desse ensaio:

- Pesar 10 g de amostra;
- Transferir para um elenmeyer e Adicionar 50 mL de água destilada;
- Tampar o elenmeyer e colocar a amostra para agitar em agitador horizontal com movimento circular, rotação de 220 min^{-1} , por 1 hora;
- Deixar descansar por 10 min;
- Filtrar, através de papel filtro;
- Medir o líquido percolado.

4.3.4.4. Descrição do ensaio de toxicidade aguda

Os testes de toxicidade aguda com o TAS foram realizados para determinar a Concentração Letal Média (CL_{50}) da substância-teste (composto pátio e horta) para uma população de *Eisenia andrei*. Os ensaios foram conduzidos em potes plásticos redondos contendo, cada um, aproximadamente 500g de substrato seco (diluições do composto no TAS). Para cada substância-teste foram realizados 9 (nove) tratamentos, ou seja, 9 (nove) diluições do composto no solo artificial: 100%, 75%, 64%, 50%, 32%, 25%, 16%, 10% e 8%, como já explicado no item 5.2.4.2. Os potes plásticos foram identificados com o tratamento e o número da réplica (1, 2 ou 3) e suas tampas perfuradas de modo a permitir a oxigenação do meio. O preparo das misturas foi realizado manipulando-se o tratamento menos contaminado (100% de TAS) até o mais contaminado (100% de substância-teste). A mistura de TAS, substância-teste e água destilada foi realizada, manualmente, em uma bandeja plástica e depois transferida para os potes de ensaio. A Figura 4.19, a seguir, apresenta a aparência dos substratos-teste, nas diluições utilizadas.

Figura 4.19: Evolução da coloração dos tratamentos testados de acordo com o aumento da quantidade de substância-teste em relação ao TAS.

Fonte: Luciana M. Massukado, 2008

Após aclimação no TAS por um período de no mínimo 24 horas e antes de serem colocadas nos potes correspondentes a cada tratamento, as minhocas foram lavadas em água destilada e seca em papel de filtro (Figura 4.20). As minhocas utilizadas no ensaio

apresentavam clitelo desenvolvido e pesavam entre 200 e 400 mg. Em cada recipiente foram adicionadas 10 minhocas.

Figura 4.20: À esquerda, minhocas aclimatadas no TAS. À direita, 600 minhocas lavadas em água destilada para, em seguida, serem adicionadas aos recipientes com os tratamentos.

Fonte: Luciana M. Massukado, 2008

Os recipientes foram distribuídos aleatoriamente sobre a bancada do laboratório (Figura 4.21), na qual permaneceram por 14 dias, sob temperatura de $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$, em regime de 12 horas de luz e 12 horas de escuro.

Figura 4.21: Distribuição aleatória dos recipientes na bancada do Laboratório de Ecotoxicologia.

Fonte: Luciana M. Massukado, 2008

Para os testes de toxicidade aguda, foram obtidos gráficos com os valores de mortalidade/concentração, estimando-se a concentração letal média (CL_{50}), com limites de confiança de 95%, pelo método Trimmed-Spearman-Kärber.

4.4. Desenvolvimento de Software

O software desenvolvido teve como foco os resíduos sólidos domiciliares. No entanto, por ser um software livre, o mesmo poderá aceitar outros componentes ou plataformas, como os resíduos de construção e demolição, resíduos de serviços de saúde e resíduos sólidos industriais.

SIMGERE – Simulação para a gestão de resíduos sólidos – é o seu nome. A pesquisadora optou por manter o mesmo nome do software que foi desenvolvido durante o seu mestrado, uma vez que essa nova versão calcula a vida útil do aterro sanitário com mais possibilidades de cenários.

Para o levantamento de requisitos do software foi elaborada uma lista de ações a serem desempenhadas. Assim, as funções definidas foram:

- Simular a gestão de resíduos sólidos domiciliares em termos de vida útil do aterro sanitário;
- Disponibilizar um cadastro de experiências em compostagem;
- Cadastrar experiências de compostagem;
- Fornecer um banco de dados sobre composição gravimétrica dos RSD;
- Apresentar um link para contato com o desenvolvedor;
- Permitir que o usuário imprima e salve os seus arquivos.

No Apêndice C estão listados alguns municípios que já possuem a caracterização física dos seus resíduos sólidos domiciliares. Esse levantamento foi realizado por meio de extensa revisão de artigos científicos e contatos por e-mail e telefone. As informações foram utilizadas para constituir o banco de dados do software o qual será necessário para o cálculo da simulação da vida útil do aterro sanitário.

Os fluxogramas de decisão foram utilizados para modelar as funcionalidades do SIMGERE, sendo que para o cálculo da vida útil do aterro sanitário foram utilizadas as planilhas do Excel como ferramenta de apoio.

Após a modelagem do sistema, iniciou-se a etapa de programação que foi realizada por um profissional especializado contratado. Essa etapa foi constantemente acompanhada pela pesquisadora, uma vez que várias dúvidas (de cálculo ou funcionamento do sistema)

precisavam ser resolvidas. A programação do SIMGERE foi realizada por etapas, possibilitando que a pesquisadora pudesse realizar testes de validação nas etapas que já tinham sido concluídas. Assim, as etapas de programação obedeceram a seguinte ordem de link: *Contato; Diagnóstico de RSD; Banco de dados sobre experiências de compostagem; Apresentação; Sobre os desenvolvedores e Simulação da vida útil do aterro sanitário.*

Ao final, criou-se uma área administrativa de acesso restrito. A função dessa área é verificar e aprovar as novas entradas no sistema com relação às experiências de compostagem e composição gravimétrica de RSD.

4.4.1. Aplicação do software para o gerenciamento de resíduos sólidos domiciliares de São Carlos/SP

Para realizar a aplicação do software SIMGERE para o gerenciamento dos resíduos sólidos domiciliares de São Carlos/SP foi necessário coletar, previamente, informações sobre o cenário atual desse gerenciamento. Esses dados foram levantados junto à Secretaria Municipal de Desenvolvimento Sustentável, Ciência e Tecnologia (SMDSCT), responsável pelo programa municipal de redução e minimização de resíduos sólidos e à Secretaria Municipal de Obras e Serviços Públicos (SMOSP), atualmente responsável pelo gerenciamento do aterro sanitário municipal.

4.4.1.1 Gerenciamento dos resíduos sólidos de São Carlos

A Prefeitura Municipal de São Carlos é a responsável pela gestão e pelo gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos (RSU) do município, que delega essa função para a Secretaria Municipal de Desenvolvimento Sustentável, Ciência e Tecnologia. A Figura 4.22 apresenta o organograma da gestão dos resíduos sólidos dentro do quadro da administração municipal.

Figura 4.22: Inserção da gestão de resíduos sólidos no organograma hierárquico da Prefeitura Municipal de São Carlos.

Fonte: PMSC (2007).

Cabe mencionar que o serviço de varrição de vias públicas e de limpeza e manutenção de praças e áreas verdes são executados pela Secretaria Municipal de Obras e Serviços Públicos (SMOSP), que desde 2008 passou também a gerenciar a operação do aterro sanitário municipal.

O Poder Público Municipal é responsável pela gestão dos resíduos sólidos urbanos englobando as atividades de instituição de uma política de resíduos sólidos, planejamento e fiscalização dos serviços. Em São Carlos, a operacionalização dos serviços de coleta, transporte, tratamento e destinação final dos Resíduos Sólidos Domiciliares – RSD - e dos Resíduos de Serviços de Saúde – RSS – são terceirizadas, sendo a Prefeitura responsável pela fiscalização desses serviços. O Quadro 4.2 discrimina a responsabilidade pelas atividades de gerenciamento de acordo com o tipo de resíduo gerado.

Quadro 4.2: Responsáveis pelo gerenciamento e pela de gestão de diferentes tipos de resíduos produzidos no município de São Carlos/SP, 2008.

Tipo de resíduo	Geradores	Coleta/transporte/ Disposição	Gestão
Resíduos Sólidos Domiciliares (RSD)	Residências, comércio, indústria, serviços	Vega Engenharia Ambiental S.A.	PMSC
Resíduos de Construção e Demolição (RCD)	Residências, comércio, indústria, serviços, obras municipais	Gerador e prestadores de serviços especializados	PMSC
Resíduos de serviços de saúde (RSS)	Hospitais, clínicas, postos de saúde, farmácias, veterinárias	Vega Engenharia Ambiental S.A.	PMSC
Resíduos Sólidos Industriais (RSI)	Indústrias	Indústrias	Indústrias
Resíduos de poda e capina (RPC)	PMSC	PMSC	PMSC
Resíduos de Feiras e de varrição	PMSC	PMSC	PMSC
Resíduos Recicláveis	Residências, comércio, indústria, serviços	PMSC e cooperativas de coleta seletiva	PMSC e cooperativas de coleta seletiva
Resíduos compostáveis	Residências, comércio, indústria, serviços	PMSC	PMSC
Resíduos perigosos	Residências, comércio, indústria, serviços	PMSC e gerador	PMSC e gerador
Óleos e gorduras	Residências, comércio, indústria, serviços	PMSC	PMSC e cooperativas de coleta seletiva

Fonte: PMSC (2007/2008).

Com relação à legislação, nas últimas décadas, São Carlos avançou instituindo diversas leis para subsidiar o gerenciamento dos resíduos sólidos, sendo elas:

- Lei Municipal nº 11.338 de 16 de setembro de 1997 – cria o programa de coleta seletiva e reciclagem de lixo em São Carlos (alterada pela Lei Municipal nº 13.457 de 17 de novembro de 2004);
- Lei Municipal nº 12.300 de 14 de dezembro de 1999 – Dispõe sobre a instalação de coletores de pilhas e bateria na cidade;
- Lei Municipal nº 12.350 de 5 de janeiro de 2000 – Cria o programa de coleta seletiva de lixo nas repartições públicas do Poder Executivo de São Carlos;

- Lei Municipal nº 12.464 de 7 de abril de 2000 – Cria o programa de coleta seletiva de lixo nas escolas municipais de São Carlos;
- Lei Municipal nº 12.465 de 7 de abril de 2000 – Cria o programa de coleta seletiva de lixo nas indústrias de São Carlos;
- Lei Orgânica Municipal revisão de 2001.
 - Artigo 2º, Parágrafo 2º - As seguintes iniciativas, dentre outras, serão priorizadas no Código Ambiental Municipal;
 - I – coleta seletiva de resíduos e sua reciclagem preferencialmente através das cooperativas populares;
- Lei Municipal nº 13.173 de 26 de junho de 2003 – Dispõe sobre o acondicionamento de lixo em edifícios residenciais e comerciais, e dá outras providências;
- Lei Municipal nº 13.316 de 5 de maio de 2004 – Dispõe sobre a utilização de resíduos sólidos em ruas, estradas vicinais e como barreira de erosão de córregos e rios;
- Lei Municipal nº 13.867 de 12 de setembro de 2006. Institui o Plano Integrado de Gerenciamento de resíduos da construção civil e o sistema para a gestão destes resíduos;
- Lei Municipal nº 14.171 de 09 de agosto de 2007. Autoriza a instituição do “Programa para Destinação e recolhimento de óleo vegetal ou Gordura”.

Outros assuntos – resíduos de serviços de saúde; cobrança pelo serviço de coleta, transporte, tratamento e disposição final; resíduos compostáveis - ainda devem ser discutidos para que leis específicas sejam publicadas.

4.4.1.2 Gerenciamento dos Resíduos Sólidos Domiciliares

São Carlos coleta atualmente 145 t/d de resíduos sólidos domiciliares, sendo 60% de matéria orgânica, 20% de resíduos recicláveis e 20% de outros (fraldas, tecidos, borrachas, couro etc) (FRESCA, 2007). Esses valores são importantes para o estabelecimento de metas para os programas de coleta seletiva de resíduos recicláveis e compostáveis.

A coleta de RSD abrange 100% da área urbana a qual está dividida em 15 setores. Nos três setores centrais a frequência de coleta é diária, pois são responsáveis por 50% do total de resíduos coletados. Nos demais setores e nos dois distritos pertencentes ao município, Água Vermelha e Santa Eudóxia, a coleta de RSD ocorre em dias alternados.

A forma de disposição final dos RSD foi, até novembro de 2007, o aterro sanitário municipal, localizado na Fazenda Guaporé, zona rural do município, distante da sede municipal em 15 km. Porém, devido autuação da CETESB (vida útil do aterro esgotada) e a demora no processo de licenciamento para a construção de nova célula, os RSD começaram a ser dispostos em aterro sanitário privado localizado a 65 km de São Carlos. Assim, os custos de coleta, transporte e disposição final que eram de aproximadamente R\$110,00/t aumentaram para R\$ 160,00/t (SMOSP, 2008). Com a conclusão das obras da nova célula, prevê-se que a partir de agosto de 2008 os resíduos voltem a ser dispostos no aterro sanitário de São Carlos por mais 2 anos (vida útil da célula). Cabe mencionar que estudos locais para a implantação de um novo aterro já foram iniciados.

A coleta seletiva no município foi implementada em 2002 sendo atualmente operacionalizada por três cooperativas de catadores com apoio da PMSC. São coletados em torno de 3 t/d de resíduos recicláveis em 70% da área urbana. Cada cooperativa abrange um setor pré-determinado da cidade por dia (Figura 4.23). A coleta é realizada porta-a-porta pelas cooperativas que utilizam caminhão fornecido pela prefeitura (Figura 4.24). Os resíduos coletados são encaminhados para as centrais de triagem onde são triados, prensados e armazenados para comercialização (Figuras 4.25). O custo de operação da coleta seletiva (transporte, equipamentos de proteção individual, energia elétrica, manutenção e recursos humanos) é de R\$ 205,28 por tonelada. Atualmente a Prefeitura pretende expandir o programa de coleta seletiva colocando, em locais estratégicos, alguns Pontos de Entrega Voluntária (PEV's). A Figura 4.26 ilustra o modelo de um PEV. Os resíduos serão coletados pelas cooperativas de catadores.

Figura 4.23: Mapa dos setores da coleta seletiva de São Carlos/SP. O mapa está dividido por cooperativas e por dias de coleta.

Fonte: PMSC (2007)

Figura 4.24: À esquerda, caminhão utilizado pela cooperativa de catadores para realizar a coleta seletiva. À direita, cooperado realizando coleta porta-a-porta dos resíduos recicláveis.

Foto: PMSC (2005)

Figura 4.25: Barracão de triagem de materiais recicláveis de uma das cooperativas existentes em São Carlos/SP.

Foto: Luciana M.Massukado, 2006

Figura 4.26: Modelo dos PEV's que serão instalados no município para a entrega voluntária de resíduos recicláveis.

Fonte: PMSC (2008)

Em 2006 foi iniciado um projeto piloto para a coleta dos resíduos orgânicos provenientes de restaurantes, lanchonetes, mercados e varejões, sendo estes encaminhados para a horta municipal a fim de serem compostados (Figura 4.27). Atualmente são recolhidos

cerca de 1,5 t/d provenientes de 50 estabelecimentos. O custo de operação deste sistema (coleta, transporte e operação da compostagem) é de R\$ 84,00 por tonelada (PMSC, 2007).

Figura 4.27: Horta Municipal de São Carlos/SP – à esquerda, leiras de compostagem com resíduos provenientes da coleta de compostáveis e, à direita canteiros de hortaliças que utilizam o composto produzido.

Foto: Christiana Vianna, 2007.

O programa de gerenciamento de resíduos compostáveis conta com a adesão de aproximadamente 50 estabelecimentos, dentre restaurantes, lanchonetes, supermercados, universidades, escolas estaduais e hospitais que, juntos, geram cerca de 1,5 toneladas por dia de resíduos orgânicos. A Figura 4.28 mostra os cartazes utilizados para a divulgação do programa junto aos estabelecimentos participantes.

Figura 4.28: Cartazes de divulgação do Programa de Resíduos Compostáveis da Prefeitura Municipal de São Carlos/SP.

Fonte: PMSC (2008)

Observa-se que São Carlos tem desenvolvido diversos programas para gerenciar os resíduos sólidos domiciliares produzidos no município. Porém, existem ainda gargalos que devem ser rapidamente solucionados, como é o caso da disposição dos RSD no aterro sanitário municipal, seja para terminar as obras de ampliação seja para agilizar o processo para viabilização de nova área para destinar os resíduos.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir são apresentados e discutidos os resultados das análises do composto produzido no Pátio de Compostagem (Figura 5.1), na Horta Municipal (Figura 5.2) e na Usina de Reciclagem e Compostagem (Figura 5.3). Tanto o Pátio de Compostagem e a Horta Municipal se localizam em São Carlos/SP, sendo o primeiro o objeto desta pesquisa e o segundo um projeto piloto gerenciado pela Prefeitura Municipal.

A Usina de Reciclagem e Compostagem está localizada na zona rural do município de Garça/SP, pertencendo a UGRHI 20 – Aguapeí. Essa usina é operada por uma empresa privada contratada pela Prefeitura e, segundo o Inventário Estadual de Resíduos Sólidos da CETESB, essa usina opera em condições adequadas, com valores de IQC (Índice de Qualidade de Compostagem) igual a 9,3.

Figura 5.1 Pátio de Compostagem - processo de leiras revolvidas realizado em local coberto, São Carlos/SP.
Foto: Luciana M. Massukado (2008)

Figura 5.2: Horta Municipal – vista geral das leiras, processo de leiras revolvidas a céu aberto, São Carlos/SP.
Foto: Luciana M. Massukado (2008)

Figura 5.3: Usina de Reciclagem e Compostagem – vista geral das leiras, sistema Gavazzi com processo de leiras revolvidas a céu aberto, Garça, SP.
Foto: Luciana M. Massukado (2008)

A primeira observação a ser feita a partir das Figuras 5.1 a 5.3 é a diferença dos três processos com relação à escala, proteção a intempéries e tipo de material a ser compostado. Quanto ao tamanho, o Pátio de Compostagem é o que apresenta menor capacidade de tratamento, visto ser um projeto de pesquisa. É nítida a diferença entre a composição das leiras nesses processos, principalmente, a da usina de reciclagem e compostagem que mesmo realizando a triagem dos resíduos sólidos domiciliares misturados, ainda sobram muitos rejeitos que são compostados juntamente com a matéria orgânica. O Quadro 5.1 a seguir apresenta informações sobre o processo de compostagem em cada uma dessas unidades.

Quadro 5.1: Quadro comparativo dos processos de compostagem realizados no Pátio de Compostagem, Horta Municipal e Usina de Reciclagem e Compostagem

Informação	Pátio de compostagem	Horta Municipal	Usina de Reciclagem e Compostagem
Local	São Carlos/SP	São Carlos/SP	Garça/SP
Natureza	Pesquisa	Municipal	Privado e município fiscaliza
Tipo de planta	Descentralizada	Descentralizada	Centralizada
Ano de início	2005 ¹	2006	1993
Tipo de resíduo	Resíduos orgânicos de 60 domicílios e resíduos da merenda escolar	Resíduos de restaurantes, lanchonetes, varejões, supermercados. ²	Resíduos sólidos domiciliares
Tipo de coleta	Seletiva	Seletiva	Misturada
Área (m ²)	100	1000	32.000 ³
Método de compostagem	Leiras revolvidas manualmente	Leiras revolvidas com pá carregadeira	Sistema Gavazzi e leiras revolvidas com pá carregadeira
Quantidade tratada (t/d)	0,1 a 0,2	1 a 2	30
Uso do composto	Doado aos participantes	No próprio local	Venda
Funcionários	1 e 3 pesquisadores	2	15 sendo 2 para compostagem
Equipamentos	Balança eletrônica, triturador de resíduos domiciliar, termômetro digital	Pá carregadeira, termômetro digital	Peneira rotativa, esteira transportadora, prensa hidráulica, moega, esteira de elevação
Licenciamento	Não	Não	Sim (instalação e operação)

¹ Iniciou com o projeto do CDCC e em 2006 passou para esta pesquisa de doutorado

² composto, na maioria, por resíduos de preparo de refeição (folhas, talos, cascas etc)

³ inclui a usina de reciclagem e barracões

5.1. Parâmetros analisados para o composto de lixo

Por questões de organização este capítulo será subdividido em análises dos parâmetros físicos e químicos, metais pesados, microrganismos patogênicos e teste agudo.

5.1.1. Parâmetros físicos e químicos

Dentre as análises físicas do composto destacam-se o monitoramento da temperatura e da umidade e granulometria do composto maturado. Os parâmetros químicos analisados foram pH, macro e micro nutrientes e capacidade de troca catiônica.

5.1.1.1. Temperatura

O monitoramento da temperatura foi realizado somente no Pátio de Compostagem, pois tanto na Horta Municipal quanto na Usina de Reciclagem e Compostagem, a medição não era feita, pois não havia termômetros. A frequência da medição foi a cada dois dias. As Figuras 5.1 a 5.8 apresentam os gráficos de temperatura das leiras montadas no ano de 2007, as quais foram agrupadas de acordo com a estação (primavera, verão, outono, inverno). É importante destacar que as temperaturas foram medidas sempre entre 8:30 h e 9:00 h.

Figura 5.1: Gráfico temporal de acompanhamento da temperatura das leiras 01, 02, 32 e 33 cujo processo se desenvolveu durante o verão.

Figura 5.2: Gráfico temporal de acompanhamento da temperatura das leiras 03 e 04 cujo processo se desenvolveu durante as estações verão e outono.

Figura 5.3: Gráfico temporal de acompanhamento da temperatura das leiras 05, 06 e 07 cujo processo se desenvolveu durante o outono.

Figura 5.4: Gráfico temporal de acompanhamento da temperatura das leiras 08 a 12 cujo processo se desenvolveu durante as estações outono e inverno.

Figura 5.5: Gráfico temporal de acompanhamento da temperatura das leiras 13 e 14 cujo processo se desenvolveu durante o inverno.

Figura 5.6: Gráfico temporal de acompanhamento da temperatura das leiras 16, 18, 19, 20 e 21- cujo processo se desenvolveu durante as estações inverno e primavera.

Figura 5.7: Gráfico temporal de acompanhamento da temperatura das leiras 22 e 23 cujo processo se desenvolveu durante a primavera.

Figura 5.8: Gráfico temporal de acompanhamento da temperatura das leiras 25 a 31 cujo processo se desenvolveu durante as estações da primavera e verão.

A partir desses gráficos pode-se inferir que as estações do ano tiveram pouca influência no desenvolvimento do processo de compostagem, visto que 15 leiras tiveram seu início e fim nas estações: primavera (2), primavera-verão (7), verão (4) e verão-outono (2), enquanto outras 15 tiveram início e fim nas estações: outono (3), outono-inverno (5), inverno (2), inverno-primavera (5). Além do mais, a variação de temperatura ambiente no pátio de compostagem, durante o ano de 2007, foi de $22 \pm 1,7$ °C.

Analisando esses gráficos é possível verificar que das 30 leiras somente quatro (L22, L23, L27 e L30) não alcançaram temperaturas acima de 70° C, o que não causa problemas ao processo, uma vez que elas atingiram e mantiveram a fase termófila (45 a 65 °C) por quatro semanas consecutivas. Por outro lado, as leiras 29, 32 e 33 alcançaram temperaturas superiores a 70° C, mas não conseguiram conservar a fase termófila por mais que 3 semanas, provavelmente devido à pouca quantidade de água recebida 105, 125 e 70 litros, respectivamente, ou falhas no revolvimento da leira. No caso das leiras 32 e 33 houve o agravante das mesmas terem sido montadas com pequenas dimensões (altura = 0,50 m e raio = 1,00 m) estando mais sujeitas às variações climáticas (temperatura e vento).

Com relação à quantidade de água recebida em cada leira, a média foi de 203 litros por leira. As leiras que mais receberam água, acima de 300 litros, foram àquelas montadas

durante o inverno, posto a umidade relativa do ar ser mais baixa nessa época. Por outro lado, as leiras iniciadas no verão tiveram a menor quantidade de água, cerca de 125 litros cada uma.

As Figuras 5.9 e 5.10 apresentam o gráfico de temperatura de duas leiras em relação à temperatura ambiente.

Figura 5.9: Acompanhamento de temperatura da leira 01 desenvolvida no verão.

Figura 5.10: Acompanhamento de temperatura da leira 15 desenvolvida no inverno.

Observa-se pelos gráficos das Figuras 5.9 e 5.10 que a temperatura da leira foi maior no início da compostagem, caracterizando a fase termófila. Com o decorrer do processo de decomposição, a temperatura tende a diminuir até se aproximar ao do ambiente. É interessante notar nesses gráficos que a trituração da leira (linha pontilhada em vermelho) produz um aumento da temperatura da leira, uma vez que a homogeneização do tamanho das partículas permite uma maior taxa de decomposição dos materiais.

5.3.1.2. Umidade, pH e granulometria

A determinação da umidade, pH e granulometria do composto produzido no Pátio de Compostagem foi realizada para 15 leiras. A mesma determinação foi realizada somente para 1 (uma) amostra do composto proveniente da Horta Municipal e 1 (uma) da Usina de Reciclagem e Compostagem.

A umidade média do composto maturado do Pátio de Compostagem foi de 30% e pH de 8,5. Para a Horta Municipal a umidade foi de 28% e pH de 7,8. Quanto à Usina de Reciclagem e Compostagem, a análise desses parâmetros resultou em umidade igual a 57% e pH de 7,8. Para todas as amostras, a natureza física do composto foi classificada como farelado. Cabe destacar que para o composto da URC foram encontrados cacos de vidro que passaram pela peneira com malha 2 mm.

A partir dos resultados infere-se que os compostos de lixo produzidos no Pátio e na Horta enquadram-se dentro dos limites estabelecidos pela Instrução Normativa nº 23 (MAPA, 2005), na qual a umidade deve ser no máximo igual a 50% e pH no mínimo 6,5. Já o composto proveniente da URC excede o limite estabelecido para o parâmetro umidade.

5.3.1.3. Matéria orgânica, capacidade de troca de cátionica, macro e micronutrientes

Conhecer a disponibilidade de nutrientes é essencial no que se refere à qualidade do composto para seu uso e comercialização. A Tabela 5.1 apresenta os valores obtidos do teor de matéria orgânica, carbono, nitrogênio, capacidade de troca catiônica e macro e micronutrientes dos compostos produzidos no Pátio, na Horta e na URC comparando, quando possível, com a legislação existente e com os valores orientadores para solo da CETESB (2005).

Tabela 5.1. Sistematização dos resultados da análise do composto do Pátio, da Horta e da Usina de Reciclagem e Compostagem para teor de matéria orgânica, capacidade de troca catiônica, carbono, nitrogênio, relação C/N, macro e micronutrientes e valores limites estabelecidos pela legislação e pela CETESB.

Parâmetro	LEIRAS PÁTIO									PÁTIO média	HORTA	URC	IN 23/2005	CETESB
	1	2	3	11	12	27	28	29	30					
CTC (mmol/kg)	NA	NA	NA	387	373	250	317	318	215	310	194	284	---	---
Matéria orgânica (%)	39.33	36.06	30.1	40.79	38.11	35.64	34.76	35.53	42.24	37.0	21.8	27.73	mín 40%	---
Carbono orgânico (%)	21.85	20.03	16.72	22.66	21.17	19.8	19.31	19.74	23.47	20.5	12.11	15.41	mín 15%	---
Nitrogênio (%)	1.91	1.67	1.4	2.32	2.21	2.38	2.14	2.21	2.23	2.1	0.95	1.38	mín 1	---
Relação C/N	11.41	11.99	11.97	9.76	9.57	8.3	9.03	8.91	10.51	10.2	12.75	11.17	max 18/1	---
Relação CTC/C	NA	NA	NA	17.08	17.62	12.63	16.42	16.11	9.16	15.10	16.02	18.43	mín 20%	---
Ca (g/kg)	25.78	30.32	22.57	23.07	23.71	25.54	32.88	29.04	25.77	26.5	30.23	37.58	---	---
Mg (g/kg)	2.32	2.33	2.02	1.99	2.2	2.13	2.44	2.23	2.23	2.2	3.91	3.96	---	---
P (g/kg)	3.92	4.31	4.37	5.85	4.54	3.91	4.68	4.58	4.72	4.5	2.72	5.11	---	---
K (g/kg)	8.42	11.72	10.63	10.05	11.72	11.38	9.96	12.3	12.88	11.0	6.31	6.4	---	---
S (g/kg)	2.89	2.83	2.44	3.04	3.15	2.49	2.72	2.89	2.72	2.8	2.14	1.24	---	---
Cu (mg/kg)	29.77	29.93	22.46	21.11	23.64	16.2	19.47	22.58	19.22	22.7	57.76	813	---	Max 35
Fe (g/kg)	33.88	29.44	28.86	25.90	25.24	26.14	26.93	30.77	26.77	28.21	33.27	25.46	---	---
Mn (mg/kg)	215.28	181.4	158.11	202.36	231.17	135.08	148.11	181.92	124.77	175.4	965.5	373	---	---
Zn (mg/kg)	89.38	82.8	59.57	89.57	125.35	51.7	49.5	75.32	52.34	75.1	147.18	661	---	Max 60

NA: não analisado

Os dados da Tabela 5.1 permitem inferir que somente a relação C/N de todas as amostras se enquadrou nas exigências da legislação apresentando valores inferiores a 18/1. Em contrapartida, a relação CTC/C foi insatisfatória para todas as amostras.

O composto produzido no Pátio de Compostagem foi o que mais se ajustou aos parâmetros estabelecidos pela legislação (teor de carbono orgânico e nitrogênio, relação C/N e quantidade de cobre). Apesar do teor de matéria orgânica ter sido inferior ao estabelecido pela IN nº 23/2005, ele foi 70% maior que o composto da Horta Municipal e 35% superior ao da Usina de Reciclagem e Compostagem.

Já o composto proveniente da Horta Municipal foi o que menos se enquadrou nos limites estabelecidos pela IN nº 23/2005, porém o valor excedido foi pequeno. Com relação aos valores orientadores para solo da CETESB, os teores de cobre e zinco, apesar de estarem acima dos valores de referência de qualidade, não atingem os de intervenção, enquadrando-se na categoria de valores de prevenção que é a concentração de determinada substância, acima da qual podem ocorrer alterações prejudiciais as funções primárias, protegendo-se os receptores ecológicos.

Numa avaliação global, o composto da Usina de Reciclagem e Compostagem apresentou maior concentração de cobre (813 mg/kg) na amostra, sendo 15 e 35 vezes superior quando comparado aos valores obtidos nas amostras do Pátio (22.7 mg/kg) e da Horta (57.76 mg/kg), respectivamente. Comparando-se essas concentrações com as normas internacionais (européia, americana e canadense) observa-se que a amostra de composto do Pátio de Compostagem enquadra-se em todos os limites, inclusive o da Holanda que estabelece o limite de 25 mg/kg para composto muito limpo. No caso do composto proveniente da Horta, o cobre não se enquadra somente no limite da Holanda pra um composto muito limpo. Já o composto produzido na Unidade de Reciclagem e Compostagem estaria atendendo somente as normas da Dinamarca e Portugal (1000 mg/kg).

Com relação aos valores orientadores para solo no estado de São Paulo, a quantidade de cobre no composto da usina excedeu não só o valor de referência de qualidade como também o valor de intervenção (600 mg/kg). Esse valor é a concentração de determinada substância no solo acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana, considerando um cenário de exposição genérico. O elevado valor do cobre no composto pode ser atribuído a presença de metais ferrosos na massa a ser compostada.

O teor de zinco foi outro micronutriente metálico que apresentou alta concentração no composto da usina de reciclagem e compostagem (661 mg/kg), enquadrando-se entre o valor de intervenção agrícola e residencial. Comparando esse valor com os limites estabelecidos para a qualidade do composto de alguns países europeus, verifica-se que o composto se enquadra somente em classes cuja aplicação seja para paisagismo, jardinagem ou áreas degradadas.. Cosméticos (BARREIRA, 2005) e borracha (EGREJA FILHO et al, 1999; MELO et al., 2000) são as principais fontes de zinco presentes nos resíduos sólidos domiciliares, além do zinco ser utilizado também como revestimento de muitos metais.

5.3.1.4 Metais pesados

A Tabela 5.2 a seguir resume os teores de metais presente no composto de lixo do Pátio de Compostagem, da Horta Municipal e da usina de reciclagem e compostagem.

Tabela 5.2. Sistematização dos resultados da análise de metais pesados para o composto do Pátio, da Horta e da Usina de Reciclagem e Compostagem e valores limites estabelecidos pela legislação.

Substância (mg/kg)	LEIRAS PÁTIO									HORTA	URC	IN 27/2006
	1	2	3	11	12	27	28	29	30			
Cd	<1,0	<1,0	<1,0	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	3
Pb	<1,0	<1,0	<1,0	23	7,8	1,5	<0,5	1,3	2,9	3,7	125	150
Cr	13,7	16,2	14,1	23,3	24,3	17,8	<0,5	17,4	31,1	10,8	25,3	200
Ni	<1,0	<1,0	<1,0	1,6	1,4	1,9	<0,5	0,8	2,1	<0,5	19,5	70
As	NA	NA	NA	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	20
Hg	NA	NA	NA	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	1
Se	NA	NA	NA	<0,5	58,1	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	80

Tabela 5.3. Sistematização dos resultados da análise de metais pesados para o composto do Pátio, da Horta e da Usina de Reciclagem e Compostagem e valores orientadores para solo (CETESB, 2005).

Compostagem e Valores Orientadores para Solo (CETESB, 2006).									
Substância (mg/kg)	Pátio		Horta	URC	Valores orientadores para Solo (mg/kg de peso seco)				
	Menor valor*	Maior valor			Referência de qualidade	Prevenção	Intervenção		
							Agrícola	Residencial	Industrial
Cd	<0,5	<1,0	<0,5	<0,5	<0,5	1,3	3	8	20
Pb	<1,0	23,0	3,7	125	17	72	180	300	900
Cr	13,7	31,1	10,8	25,3	40	75	150	300	400
Ni	0,8	2,1	<0,5	19,5	13	30	70	100	130
As	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	3,5	15	35	55	150
Hg	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,05	0,5	12	36	70
Se	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,25	2	25	50	100

* excluído a leira 28, no qual todos os metais foram menores que 0,5 mg/kg

Os resultados da Tabela 5.2 apontam para uma não contaminação do composto de lixo por metais pesados uma vez que todos os teores estão abaixo dos estabelecidos pela IN nº 27/2006. Comparando-se os resultados da concentração de metais pesados, no composto do Pátio de Compostagem e no da Horta Municipal com os valores orientadores para solos, conclui-se que todos eles estão abaixo dos valores de referência de qualidade, podendo-se atribuir esse resultado à coleta seletiva do material compostável.

Como na Usina de Reciclagem e Compostagem os resíduos chegam misturados, a concentração dos metais pesados chumbo e níquel ultrapassaram os valores de referência para solos, sendo o primeiro enquadrado na categoria de intervenção agrícola. Nesse caso, recomenda-se que esse composto não seja utilizado em plantas que tendam a acumular chumbo, como o alface, que acumula esse metal pesado no tecido foliar (Melo et al, 2000).

5.3.3. Análises microbiológicas

Segundo Carmargo e Berton (2006, p 62), “a simples presença de vírus, ovos de helmintos, bactérias, cistos de protozoários no lodo de esgoto não pressupõe a infecção de seres humanos e de animais porque, para infectar os hospedeiros, necessitam estar presentes em doses mínimas. Assim, enquanto os helmintos necessitam de apenas um ovo viável, as bactérias e vírus precisam, pelo menos, de uma centena para causar infecção.”

A Tabela 5.4 apresenta os resultados da análise microbiológica do composto de lixo proveniente do Pátio de Compostagem, Horta Municipal e Usina de Reciclagem e Compostagem.

Tabela 5.4. : Resultado da análise de organismos patogênicos do composto

Parâmetro	LEIRAS PÁTIO										IN	
	1	2	3	11	12	27	28	29	30	HORTA	URC	27/2006
coliformes fecais (NMP/g ST)	<2.2	<2.2	<2.2	<2.2	<2.2	<2.2	<2.2	<2.2	<2.2		<2.2	<2.2
coliformes totais (NMP/g ST)	240	600	89000	85	158	2	3	345	28		500	312
Salmonella (NMP/ 4 g)	<2.2	ausente	14	50	90	<2.2	<2.2	<2.2	<2.2		<2.2	<2.2
coliformes termotolerantes (NMP/g de MS)	NA	NA	NA	NA	NA	7	15	136	8		45	681
Ovos viáveis de helmintos (nº ovos/4g ST)	NA	NA	NA	NA	NA	0	0	0	NA		NA	NA
												1

A partir da Tabela 5.4 pode-se afirmar que a não presença de ovos de helmintos no composto pode ser decorrente da compostagem ter sido realizada somente com os RSD, não havendo adição de esgoto doméstico. Com relação aos coliformes termotolerantes, todas as amostras se enquadram dentro do limite estabelecido pela IN nº 27/2006.

Com relação à salmonella observa-se que as leiras 3, 11 e 12 tiveram valores elevados, o que pode ter sido ocasionado por algum erro em laboratório, uma vez que para destruir esse microrganismo é necessário atingir temperatura da leira superior a 60°C por 30 minutos, o que de fato ocorreu. Na análise das leiras do Pátio de Compostagem o número mais provável de coliformes totais foram os que tiveram maior variação, desde 2 NMP/g até $8,9 \times 10^4$ NMP/g.

5.3.4. Teste de Toxicidade Aguda

Como mencionado no capítulo Materiais e Métodos o ensaio agudo foi realizado para avaliar a toxicidade de duas substâncias-teste: 1) composto de lixo produzido no Pátio de Compostagem e 2) Composto de lixo produzido na Horta Municipal. Na Tabela 5.5 são apresentadas as características desses dois compostos.

Tabela 5.5: Características físicas, químicas e bacteriológicas das substâncias-teste utilizadas no ensaio de toxicidade aguda e limites estabelecidos pela legislação brasileira e CETESB.

Variável	Pátio	Horta	IN 23/2005 e 27/2006	Valores de referência (CETESB , 2005)
Umidade	17,78	33,57	Max 50%	---
pH	8,29	8,48	Mín 6,5	---
CRA (%)	83,83	102,85	---	---
CTC (mmol/kg)	318	194	---	---
Matéria orgânica (%)	35,53	21,8	Mín 40	---
Carbono orgânico (%)	19,74	12,11	Mín 15	---
Nitrogênio (%)	2,21	0,95	Mín 1	---
Relação C/N	8,91	12,75	Max 18/1	---
Relação CTC/C	16,11	16,02	Mín 20	---
Condutividade elétrica (mS/cm)	7,48	1,76	---	---
Sólidos totais dissolvidos (mg/L)	4030	865	---	---
K solúvel (g/kg)	9,67	3,66	---	---
Na solúvel (g/kg)	6,61	0,65	---	---
N-NH ₄ (mg/kg)	456,67	40,00	---	---
N-NO ₃ (mg/kg)	837,43	337,33	---	---
Macronutrientes				
Ca (g/kg)	29,04	30,23	---	---
Mg (g/kg)	2,23	3,91	---	---
P (g/kg)	4,58	2,72	---	---
K (g/kg)	12,30	6,31	---	---
S (g/kg)	2,89	2,14	---	---
Micronutrientes				
Cu (mg/kg)	22,58	57,76	---	35
Fe (mg/kg)	30769	33267	---	---
Mn (mg/kg)	181,92	965,52	---	---
Zn (mg/kg)	75,32	147,18	---	60
Metais pesados (mg/kg)				
Cádmio (Cd)	<0,5	<0,5	3	<0,5
Chumbo (Pb)	1,3	3,7	150	17
Cromo (Cr)	17,4	10,8	200	40
Arsênio (As)	<0,5	<0,5	20	3,5
Mercurio (Hg)	<0,5	<0,5	1	0,05
Selênio (Se)	<0,5	<0,5	80	0,25
Níquel (Ni)	0,8	<0,5	70	13
Microbiológico				
Coliformes fecais (NMP/g)	<2,2	<2,2	---	---
Coliformes totais (NMP/g)	345	500	---	---
Coliformes termotolerantes (NMP/g MS seca)	136	45	1.0000	---
Salmonella (NMP/4g)	<2,2	<2,2	Ausência em 10 g de MS	---

Para o TAS, composto por areia (70%), caulim (20%) e fibra de coco (10%), foram determinados os parâmetros de umidade (5,79%); pH (6,19); capacidade de retenção de água (61,08%) e, condutividade elétrica (0,171 mS/cm). Os tratamentos utilizados no teste foram diluições de 100%, 75%, 64%, 50%, 32%, 25%, 16%, 10% e 8% da substância-teste no TAS. Também foi montado um recipiente contendo somente o TAS que foi utilizado como controle.

Os resultados obtidos nos ensaios de toxicidade aguda para o composto de lixo proveniente do Pátio de Compostagem são apresentados na Tabela 5.6 a seguir.

Tabela 5.6: Resultados do Teste de Toxicidade Aguda do composto de lixo produzido no Pátio de Compostagem, São Carlos, 2008.

Composto de Lixo – Pátio de Compostagem (27/05/2008)				
Tratamentos	Réplicas	Número de organismos mortos		
		1ª leitura (03/06/2008)	2ª leitura (10/06/2008)	
Controle	1	0	0	
	2	0	0	
	3	0	0	
8%	1	0	0	
	2	0	0	
	3	0	0	
10%	1	0	0	
	2	0	0	
	3	0	0	
16%	1	10	10	
	2	7	8	
	3	9	9	
25%	1	10	10	
	2	10	10	
	3	10	10	
32%	1	10	10	
	2	10	10	
	3	10	10	
50%	1	10	10	
	2	10	10	
	3	10	10	
64%	1	10	10	
	2	10	10	
	3	10	10	
75%	1	10	10	
	2	10	10	
	3	10	10	
100%	1	10	10	
	2	10	10	
	3	10	10	
		LC ₅₀ (%)	13,25%	
		Intervalo de confiança	12,60% - 13,93%	

É importante salientar que as minhocas ficaram extremamente agitadas ao serem introduzidas no recipiente que continha 100% de composto de lixo do Pátio, resultando na morte de todas em 15 minutos (Figura 5.11). Nos recipientes com concentrações entre 25% e 75%, logo na primeira leitura (7 dias), as minhocas já estavam mortas e em estado de decomposição, verificado pela presença de fungos.

Figura 5.11: Minhocas mortas na superfície do substrato, aos 15 minutos após introdução em recipiente com 100% de composto de lixo proveniente do Pátio de Compostagem.

A análise dos resultados foi realizada com o auxílio do programa Trimmed Spearman-Kärber, o qual estimou a CL_{50} (concentração capaz de causar efeito letal em 50% dos organismos) equivalente a $13,25 \pm 5\%$ (concentração) de composto de lixo, com intervalos de confiança de 95%. Analisando esse resultado e transformando-o para valores da dose recomendada para aplicação agrícola, conclui-se que a dose de 120 t/ha (8%) está abaixo da CL_{50} . A situação torna-se preocupante quando a CL_{50} é analisada sob o ponto de vista da conversão pela área, geralmente mais comum, na qual a dose recomendada de 120 t/ha (32%) deveria ser reduzida para no máximo 50 t/ha (13,25%).

No entanto, ressalta-se que esse teste considerou uma única aplicação do composto, o que não garante que doses sucessivas de composto de lixo possa causar danos às minhocas. Segundo Abreu et al. (2005, p. 448), “a dose de uso agrícola de um resíduo orgânico deve ser limitada por causa da carga salina, que ao longo de aplicações sucessivas poderá acarretar sanlinização do solo e danos fisiológicos e nutricionais às plantas.” Outro aspecto importante é com relação aos outros microrganismos existentes no solo. Moreira et al. (2008) realizaram testes de reprodução em duas espécies do solo – minhoca (*Eisenia andrei*) e colêmbolos (*Folsomia candida*) – considerando a aplicação de lodo de esgoto e outros resíduos orgânicos no solo. Esses autores observaram que os colêmbolos mostraram-se mais sensíveis às aplicações de composto do que as minhocas.

A Figura 5.12 apresenta o resultado do cálculo da CL_{50} (%) para o composto de lixo do Pátio de Compostagem, calculado pelo programa *Trimmed Spearman-Karber (Tsk) Program Version 1.5* (EPA, 1990).

Figura 5.12: Resultado da LC_{50} , para composto de lixo, pelo programa Trimmed Spearman-Karber (Tsk) Program Version 1.5

A Tabela 5.7 apresenta os resultados obtidos nos ensaios de toxicidade aguda para o composto de lixo proveniente da Horta Municipal.

Tabela 5.7: Resultados do Teste de Toxicidade Aguda para o composto de lixo produzido na Horta Municipal

Composto de Lixo – Horta Municipal (27/05/2008)			
Tratamento	Nº da Réplica	Número de organismos mortos	
		1ª leitura (03/06/2008)	2ª leitura (10/06/2008)
Controle	1	0	1
	2	0	0
	3	0	0
8%	1	1	1
	2	0	0
	3	0	0
10%	1	0	0
	2	0	0
	3	2	2
16%	1	0	0
	2	0	0
	3	0	0
25%	1	0	0
	2	0	0
	3	0	0
32%	1	0	0
	2	0	0
	3	0	0
50%	1	0	0
	2	1	1
	3	0	0
64%	1	1	1
	2	1	1
	3	0	0
75%	1	0	1
	2	0	0
	3	0	0
100%	1	0	0
	2	1	1
	3	0	0
LC₅₀ (%)			

Analisando os resultados obtidos na contagem das minhocas para o composto de lixo proveniente da Horta Municipal, observa-se que não houve para nenhum tratamento mortalidade acima de 50%. Nesse caso, o programa *Trimmed Spearman-Kärber (Tsk) Program Version 1.5* não pôde ser utilizado para o cálculo da CL₅₀.

A Figura 5.13 apresenta a comparação da porcentagem de mortalidade entre o composto de lixo proveniente do Pátio de Compostagem e da Horta Municipal.

Figura 5.13: Porcentagem de mortalidade de minhocas da espécie *Eisenia andrei* submetidas à diferentes substâncias-teste e com diferentes concentrações. O solo artificial tropical (TAS) foi utilizado como controle.

A partir da análise das Tabelas 5.6 e 5.7 e a Figura 5.13, observa-se que, apesar dos dois compostos de lixo serem provenientes da compostagem de RSD com separação na origem, o composto produzido pela Horta Municipal apresentou-se muito menos tóxico ao organismo-teste (*Eisenia andrei*), inclusive para doses mais elevadas do que a recomendada, tanto em termos da conversão por densidade como pela área. Analisando as características desses dois compostos na Tabela 5.5 verifica-se que uma das diferenças entre os dois compostos foi a condutividade elétrica. Enquanto no composto da horta esta era da ordem de 1,76 mS/cm, o do pátio apresentava valores 4 vezes maiores (7,48 mS/cm).

Essa diferença pode ser atribuída ao fato do composto produzido no Pátio de Compostagem receber resíduos orgânicos constituídos basicamente de sobra de alimentos das refeições (alimentos condimentados). Ademais, as leiras eram dispostas em local protegido das intempéries (chuvas) não havendo, dessa forma, lixiviação dos sais. Por outro lado, as leiras da Horta Municipal foram conduzidas a céu aberto e recebiam, principalmente, resíduos orgânicos constituídos de restos de preparo de alimentos (talos, folhas, cascas de

frutas e legumes, etc). É interessante relatar que alguns países europeus, que já realizam a coleta seletiva de resíduos orgânicos, rejeitam restos de carne e peixe devido ao elevado teor de sal e putrescibilidade (ACR, 2005).

Alvarenga et al. (2006) realizaram estudo sobre as características químicas e ecotoxicológicas de composto proveniente de três diferentes tipos de resíduos orgânicos biodegradáveis – lodo de esgoto, composto de lixo proveniente da coleta misturada e composto de resíduos de poda – considerando o seu uso na agricultura. As concentrações testadas foram 100%, 75%, 50% e 25%. Os resultados obtidos mostraram que o lodo de esgoto apresentou índice elevado de Zn e significativa mortalidade para o teste agudo com minhocas ($CL_{50} = 59,1\%$). O composto de lixo apresentou os maiores efeitos tóxico no teste agudo ($CL_{50} = 21,4\%$) sendo que a concentração de metais pesados (Cd=4,3; Cr=56; Cu=357; Ni=56; Pb=269 e Zn=583, em mg/kg) e a alta condutividade elétrica (5,69 mS/cm) foram considerados os responsáveis pela maior toxicidade do composto de lixo. Para o composto de resíduos de poda não foi calculada concentração letal, pois a mortalidade não foi superior a 50% em nenhum dos tratamentos.

Para tentar identificar o que estava causando a elevada condutividade no composto foram realizadas análises quanto ao teor de sais solúveis (sódio e potássio), além da determinação do teor de amônia e nitrato presente no composto. Pesquisas revelam (MELO et al., 2000; OLIVEIRA et al., 2002; ABREU et al., 2005) que a aplicação de composto de lixo pode aumentar a condutividade elétrica do solo devido aos altos teores de sais nos resíduos, como o sódio e o potássio. Como consequência pode-se provocar a salinização do solo devido à elevada concentração de íons além de provocar efeitos fisiológicos irreversíveis às plantas.

Na Tabela 5.8, é possível verificar que o potássio e, principalmente, o sódio apresentaram, no composto do Pátio, valores muito maiores que os da horta. O mesmo ocorreu com a amônia e o nitrato.

Tabela 5.8: Valores de condutividade elétrica, potássio e sódio solúvel, nitrogênio total, nitrogênio amoniacal e nitrogênio nitrato para amostras do composto do Pátio e da Horta.

Parâmetro	Pátio	Horta
Condutividade elétrica (mS/cm)	7,48	1,76
K solúvel (g/kg)	9,67	3,66
Na solúvel (g/kg)	6,61	0,65
Nitrogênio (%)	22,15	9,5
N-NH ₄ (mg/kg)	456,67	40,00
N-NO ₃ (mg/kg)	837,43	337,33

Os dados da Tabela 5.8 confirmam a hipótese da condutividade ter sido responsável pela alta mortalidade das minhocas. Em seu estudo, Oliveira et al. (2002, p. 533) afirmaram que “Tendo em vista a composição química do composto de lixo é provável que os aumentos na CE do solo foram devidos à degradação da matéria orgânica dos resíduos e conseqüente solubilização predominantemente de íons NH_4^+ , NO_3^- , Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , SO_4^- e Mg^{2+} .” Acrescenta ainda que “a condutividade elétrica no solo, em áreas tratadas com composto de lixo, deve ser monitorada para se evitar possíveis efeitos salinos sazonais.”

KLAR (1988) afirma que as culturas respondem diferentemente aos valores de condutividade elétrica, sendo que os efeitos da salinidade para as plantas são negligenciáveis entre 0 e 2 mS/cm; 2 a 4 mS/cm pode ocorrer restrição do desenvolvimento de algumas culturas; de 4 a 8 mS/cm muitas culturas diminuem a produção e de 8 a 16 mS/cm só algumas plantas produzem satisfatoriamente. Com relação ao uso do composto de lixo no solo, Silva et al. (2002) recomendam a manutenção da condutividade abaixo de 4dS/m (4mS/cm), enquanto Abreu et al. (2005) são mais restritivos, considerando o valor de 2 mS/cm como crítico.

Para investigar melhor a relação entre condutividade elétrica e toxicidade realizou-se a determinação desse parâmetro ao final do teste para os tratamentos que apresentaram sobreviventes (Tabela 5.9).

Tabela 5.9: Determinação da condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) dos tratamentos que tiveram sobreviventes. Extrato solo-água 1:5 (m:v)

Tratamento	Condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	
	Pátio	Horta
8%	1081	407
10%	1278	507
16%	1901	612
25%	---	714
32%	---	879
50%	---	1164
64%	---	1385
75%	---	1547
100%	---	1933

A partir da Tabela 5.9, pode-se observar que a concentração de 16% do composto do Pátio de Compostagem, no qual ainda houve sobreviventes, apresentou condutividade elétrica próxima ao valor obtido no tratamento 100% da Horta Municipal. Portanto, infere-se que existe uma relação entre a toxicidade do composto e a sua condutividade elétrica.

Ao final dos ensaios, realizou-se a pesagem das minhocas para verificar o ganho ou perda de biomassa com relação ao início do teste. Utilizou-se o método estatístico ANOVA – teste de *Dunnet*, para uma variável, para testar a hipótese de que o peso das minhocas não é alterado pela introdução do composto de lixo nos tratamentos do experimento. Como esse teste requer no mínimo três réplicas (pesos) para cada tratamento, os de 16% a 100% do Pátio de Compostagem não puderam ser comparados com o controle. Para o composto da horta, todos os tratamentos puderam ser comparados ao controle. A Tabela 5.10 apresenta somente o peso inicial e final para os tratamentos que não tiveram 100% de mortalidade.

Tabela 5.10: Resultado do monitoramento dos pesos médios das minhocas, antes e após o ensaio de toxicidade aguda

Tratamento	Peso médio minhocas (mg)					
	Pátio			Horta		
	início	fim	variação %	início	Fim	Variação %
Controle	325.0	263.0	-19	325	263	-19
8%	331.7	408.0	23*	326	323	-1
10%	282.3	343.0	22*	322	345	7*
16%	270.5	155.0	-43	312	330	6
25%	---	---	---	362	365	1*
32%	---	---	---	331	371	12*
50%	---	---	---	312	390	25*
64%	---	---	---	331	393	19*
75%	---	---	---	307	432	41*
100%	---	---	---	308	447	45*

* apresentou diferença estatística significativa

Ao analisar esses dados (Tabela 5.10), observa-se que para o composto de lixo produzido no Pátio de Compostagem o ganho de peso da minhoca somente é verificado nos tratamentos onde não houve mortalidade (8% e 10%). Por outro lado, no tratamento com concentração de 16%, onde somente 3 organismos sobreviveram, a perda de peso correspondeu a 43%. Com relação ao composto produzido na Horta Municipal, com exceção do tratamento com a dose recomendada (8%), todos apresentaram ganho de peso, sendo mais expressivo para os tratamento de 75% e 100%. No controle, houve perda de peso equivalente a 19%, o que pode ser explicado pela menor disponibilidade de matéria orgânica para as minhocas.

Comparando-se as pesagens da dose recomendada e da concentração 10%, entre o pátio e a horta, observa-se que o composto do pátio apresentou ganhos de peso, enquanto o da horta houve perda ou pequeno ganho. Isso pode ser atribuído ao maior teor de matéria orgânica do pátio (35%) que o da horta (22%) e também à pequena concentração de composto em relação ao TAS, balanceando dessa forma, os valores de condutividade elétrica para o tratamento.

Para o Pátio, o resultado do teste de *Dunnet* apontou que os tratamentos 8% e 10%, quando comparados ao controle, aumentaram de maneira significativa o peso das minhocas submetidas ao experimento ($p < 0.01$). Para o composto da Horta, o resultado do teste indicou que os tratamentos 10%, 25%, 32%, 50%, 64%, 75% e 100%, quando comparados ao controle, aumentaram de maneira significativa o peso das minhocas submetidas ao experimento ($p < 0.01$), enquanto os tratamentos 8% e 16%, não produziram alterações no peso das minhocas investigadas (não significativo).

5.3.4.1. Segundo ensaio de Toxicidade Aguda

Como o primeiro teste de toxicidade aguda com composto proveniente do Pátio resultou em 100% de mortes a partir da concentração de 25%, decidiu-se montar outro teste com diluições menores, a fim de encontrar um valor mais preciso de CL_{50} . As novas concentrações testadas foram 4%, 8%, 12%, 16%, 20% e 24%. Em termos de dose recomendada isso significa aplicações de 60, 120, 180, 240, 300 e 360 t/ha, no caso da conversão pela densidade e, de 14, 30, 45, 60, 75 e 90 t/ha, para conversão pela área. A Tabela 5.11 apresenta os valores de condutividade elétrica, umidade, pH e capacidade de retenção de água para o composto do Pátio e para o TAS.

Tabela 5.11: Parâmetros medidos antes do novo teste de toxicidade aguda

Parâmetro	Pátio	TAS
Condutividade elétrica (mS/cm)	6,45	0,21
Umidade (%)	18,31	6,83
pH	8,17	5,67
CRA (%)	81,23	65,31

Os resultados obtidos no segundo ensaio de toxicidade aguda para o composto de lixo proveniente do Pátio de Compostagem são apresentados na Tabela 5.12, a seguir.

Tabela 5.12: Resultados do segundo teste de Toxicidade Aguda o composto de lixo produzido no Pátio de Compostagem.

Composto de Lixo – Pátio de Compostagem (01/07//2008)				
Tratamento	Nº da Réplica	Número de organismos mortos		
		1ª leitura (08/07/2008)	2ª leitura (15/07/2008)	
Controle	1	0	0	
	2	0	0	
	3	0	0	
4%	1	0	0	
	2	0	0	
	3	0	0	
8%	1	0	0	
	2	1	1	
	3	0	0	
12%	1	0	1	
	2	0	0	
	3	0	0	
16%	1	1	2	
	2	1	1	
	3	0	0	
20%	1	9	9	
	2	9	9	
	3	10	10	
24%	1	10	10	
	2	10	10	
	3	10	10	
		LC₅₀ (%)		16,25%
		Intervalo de confiança		17,15 – 18,11%

A análise de todos os tratamentos, realizada com o auxílio do programa Trimmed Spearman-Kärber, resultou um valor estimado de CL₅₀ (concentração capaz de causar efeito letal em 50% dos organismos) equivalente a $16,25 \pm 5\%$ (concentração) de composto de lixo, com intervalos de confiança de 95% para o segundo teste agudo (Figura 5.14).

Figura 5.14: Resultado da LC_{50} para segundo teste com composto de lixo, pelo programa Trimmed Spearman-Karber (Tsk) Program Version 1.5

Quanto à dose recomendada, a mesma análise realizada para o primeiro teste agudo cabe para este novo teste. Assim, analisando sob o ponto de vista da conversão pela densidade, observa-se que a dose recomendada (8%) encontra-se abaixo da concentração letal. Por outro lado, a conversão pela área (32%) está acima da concentração letal. Nesse caso, a dose para aplicação do composto, quando feita conversão pela área, deve ser no máximo igual a 60 t/ha.

Na Figura 5.15 são apresentados os resultados obtidos nos testes de toxicidade aguda utilizando-se o composto de lixo.

Figura 5.15 Relação entre as concentrações de composto de lixo e a porcentagem de mortalidade de *Eisenia andrei* no teste de toxicidade aguda.

Ao final dos ensaios, realizou-se a pesagem das minhocas para verificar o ganho ou perda de biomassa com relação ao início do teste. A Tabela 5.13 apresenta somente o peso inicial e final para os tratamentos que não tiveram 100% de mortalidade.

Tabela 5.13: Pesagem das minhocas ao final do teste de toxicidade aguda para analisar a variação na biomassa.

Tratamento	Peso médio minhocas (mg)		
	Início	Pátio fim	variação %
controle	246.0	201.0	-18
4%	257.0	299.3	16*
8%	244.0	327.3	34*
12%	247.0	273.4	11
16%	239.0	186.2	-22
20%	238.0	135.0	-43
24%	242.0	---	---

* apresentou diferença estatística significativa

A partir da comparação da Tabela 5.13 com a Tabela 6.10 observa-se que a perda de peso das minhocas no controle foi muito semelhante (19% e 18%). O resultado da aplicação

do teste de *Dunnet* mostrou que os tratamentos 4% e 8%, quando comparados ao controle, aumentaram de maneira significativa o peso das minhocas submetidas ao experimento ($p < 0.01$), enquanto os tratamentos 12%, 16% e 20%, quando comparados ao controle, não produziram alterações no peso das minhocas investigadas (não significativo).

Apesar da CL_{50} ser igual a uma concentração de 16,25% de composto de lixo no TAS, ressalta-se que este resultado deve ser analisado com cautela, uma vez que a perda de peso da minhoca a partir da concentração de 16% foi de 22%. Assim, é possível que essa concentração possa ter efeitos significativos para a espécie *Eisenia andrei* em um teste de reprodução.

5.4. Desenvolvimento do Software

SIMGERE – Simulação para a Gestão de Resíduos Sólidos – é o nome do software que foi desenvolvido em ambiente *web*, que está, provisoriamente, hospedado no site www.rodrigopedra.com.br/luciana, até que o domínio na escola de engenharia seja disponibilizado. As funções do SIMGERE são cadastrar a composição gravimétrica dos resíduos gerados num município; calcular a vida útil do aterro sanitário e cadastrar ou consultar experiências de compostagem. O esquema geral do funcionamento do SIMGERE pode ser visualizado na Figura 5.16 a seguir.

Figura 5.16: Representação do esquema de funcionamento do SIMGERE

Na sequência são apresentadas interfaces do software que são: tela “Principal – referente à apresentação do SIMGERE” (Figura 5.17), “Diagnóstico dos resíduos sólidos domiciliares”; “Simulação da vida útil do aterro sanitário”, “Banco de dados sobre

experiências de compostagem”; “Contato” e a área interface destinada à área administrativa do sistema.

Figura 5.17.: Tela inicial do software SIMGERE contendo uma breve apresentação do mesmo.

Para cada interface foram realizados, quando necessário, fluxogramas de decisão para facilitar a programação do software. O Quadro 5.2, a seguir, apresenta a legenda utilizada em todos os fluxogramas de decisão.

Quadro 5.2: Legenda utilizada nos fluxogramas de decisão

LEGENDA	
Símbolo	Significado
—————	Processado pelo sistema
-----	Entrada do usuário
○	Início ou Término
▭	Lembretes e avisos
◇	Ponto de Decisão
▭	Ação

Fonte: adaptado de NBR ISO 9004-4 (1993)

A Figura 5.18 corresponde ao fluxograma do link “Diagnóstico dos RSD”, que divide-se em duas possibilidades, 1) o usuário conhece e quer cadastrar a composição

gravimétrica dos RSD do município e 2) o usuário não conhece a composição e irá adotar de outro município que tenha características semelhantes ao seu. Esse passo é importante para a etapa da simulação da vida útil do aterro sanitário, onde será necessário ter os dados quanto à porcentagem de resíduos orgânicos, resíduos recicláveis e rejeitos, para realizar as simulações.

No caso em que a composição é conhecida (Figura 5.19) o usuário poderá cadastrar quantos componentes forem necessários, desde que agrupados pelas categorias “resíduos recicláveis” e “resíduos não recicláveis”. A “matéria orgânica” é a única que não permite mais de uma categoria. À medida que os dados são digitados, o programa gera automaticamente um gráfico de barras com a distribuição, porcentagem em peso, dos resíduos. O botão “salvar” tem duas funções – salvar a composição no próprio site e, salvar um arquivo em texto que não fica disponível na internet.

A Figura 5.20 corresponde ao link “Diagnóstico dos RSD” no qual o usuário não conhece a composição gravimétrica, porém quer cadastrá-la importando a composição de outro município com características semelhantes ao seu, por exemplo, população, desenvolvimento econômico ou região. Nesse caso o usuário pode ver as composições gravimétricas disponíveis e selecionar uma que seja mais adequada a sua realidade. A diferença nesse caso é no botão “Salvar”, no qual a composição é salva com a informação de que a composição foi baseada no município “x”, que foi selecionado. Uma vantagem do sistema é que não é possível que um município importe a composição de outro cuja composição já tenha sido importada.

Figura 5.18: Fluxograma de decisão utilizado para o link “Diagnóstico dos RSD”

SIMGERE
 SIMULAÇÃO PARA A GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Apresentação
 Diagnóstico de RSD
 Aterro Sanitário
 Simulação da vida útil
 Banco de Dados de Experiências de Compostagem
 Contato
 Sobre os Desenvolvedores

Diagnóstico da Gestão de Resíduos Sólidos Domiciliares (RSD)

Escolha um Município

Estado:

Município:

Dados Para Contato

Nome:

E-mail:

Dados Gerais

População: habitantes

Taxa de crescimento: % ao ano

Produção de Resíduos: t/d

Produção per capita: 0,66 Kg/hab.dia

A composição gravimétrica dos RSD é conhecida? ☒ Sim ☐ Não

Composição gravimétrica

Ano do Diagnóstico:

Composição Gravimétrica dos RSD

Matéria Orgânica %

Adicionar Resíduos Recicláveis

Quantas classes de resíduos recicláveis foram caracterizadas?

Descrição	Valor
<input type="text" value="Papel"/>	<input type="text" value="6,44"/> %
<input type="text" value="Plástico filme"/>	<input type="text" value="7,63"/> %
<input type="text" value="Plástico rígido"/>	<input type="text" value="2,84"/> %
<input type="text" value="Vidro"/>	<input type="text" value="1,67"/> %
<input type="text" value="Embalagem cartonada"/>	<input type="text" value="1,36"/> %
<input type="text" value="Metal e alumínio"/>	<input type="text" value="1,31"/> %

Adicionar Rejeitos

Quantas classes de rejeitos ou resíduos não-recicláveis foram caracterizadas?

Descrição	Valor
<input type="text" value="Outros"/>	<input type="text" value="20,09"/> %

Total

100,00%

Figura 5.19: Exemplo do link “Diagnóstico dos RSD” quando a composição gravimétrica é conhecida.

SIMGERE
SIMULAÇÃO PARA A GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Diagnóstico da Gestão de Resíduos Sólidos Domiciliares (RSD)

Escolha um Município

Estado:

Município:

Dados Para Contato

Nome:

E-mail:

Dados Gerais

População: habitantes

Taxa de crescimento: %/ano

Produção de Resíduos: t/d

Produção per capita: 0,66 Kg/hab.dia

A composição gravimétrica dos RSD é conhecida? ☐ Sim ☒ Não

Composição gravimétrica

É possível utilizar a composição gravimétrica de outro município que apresente características semelhantes: população, localização geográfica, vocação (serviços, agricultura ou indústria). Deseja adotar a composição gravimétrica de outro município?

☒ Sim ☐ Não

Município com características semelhantes

Por favor selecione um estado e um município e veja as composições existentes. Depois escolha uma delas.

Estado:

Município	Ano	Escolha um Diagnóstico
Indaiatuba	2005	ver ☒
São Carlos	2005	ver ☐

Figura 5.20: Exemplo do link “Diagnóstico dos RSD” quando a composição gravimétrica não é conhecida.

Para construir a página referente ao cálculo da vida útil do aterro sanitário foi necessário elaborar fluxogramas de decisão a fim de facilitar a programação. A Figura 5.21 corresponde ao primeiro fluxograma do link “Simulação da vida útil do aterro sanitário” que é referente ao cadastro de dados gerais do município e das características do aterro (volume disponível, índice de compactação e volume de cobertura. A Figura 5.22 mostra esse fluxograma na forma como é vista pelo usuário.

Figura 5.21 Fluxograma de decisão para o cálculo da vida útil do aterro sanitário – Passo 1

SIMGERE
 SIMULAÇÃO PARA A GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Apresentação
 Diagnóstico de RSD
 Aterro Sanitário
 Simulação da vida útil
 Banco de Dados de Experiências de Compostagem
 Contato
 Sobre os Desenvolvedores

Simulação de Aterro Sanitário

Escolha um Município:

Estado:

Município:

Dados Gerais

Data da simulação:

Nome da simulação:

Período da simulação: anos

População: habitantes

Taxa de crescimento da População: % ao ano

Quantidade de Resíduos encaminhada para Aterro Sanitário: t/d

Quantidade de Resíduos per capita encaminhada para Aterro Sanitário: 0,67 Kg/hab.dia

Projeção da quantidade de resíduos encaminhada ao Aterro Sanitário

Haverá variação na taxa per capita de resíduos encaminhados para o aterro sanitário? ☐ Não, será constante ☒ Sim, em % ao ano

Ano	População	Quantidade de Resíduos per capita encaminhada para Aterro Sanitário (Kg/hab.dia)	Quantidade de RSD no aterro (t/d)
2008	220.000	0,67	147
2009	224.378	0,67	151
2010	228.843	0,68	156
2011	233.397	0,69	161
2012	238.042	0,70	166
2013	242.779	0,70	170
2014	247.610	0,71	176
2015	252.537	0,72	181
2016	257.563	0,72	186
2017	262.688	0,73	192

Dados do Aterro Sanitário

Volume disponível: m³

Índice de Compactação: t/m³

Volume de Cobertura: %

Selecione o cenário de gestão que mais se assemelhe ao seu município:

☒ Coleta regular + Aterro Sanitário (CR + AS)

☐ Coleta regular + Coleta seletiva com central de triagem e beneficiamento + Aterro Sanitário (CR + CS/CTB + AS)

☐ Coleta regular + Usina de reciclagem e compostagem + Aterro Sanitário (CR + URC + AS)

☐ Coleta regular + Coleta seletiva com central de triagem e beneficiamento + Coleta seletiva com unidade de compostagem + Aterro Sanitário (CR + CS/CTB + CS/UC + AS)

Descreva a gestão dos RSD de seu município:

Gostaria de acrescentar alguma alternativa no atual sistema de resíduos?

☒ Não

☐ Coleta seletiva com central de triagem e beneficiamento (CS/CTB)

☐ Usina de reciclagem e compostagem (URC)

☐ Coleta seletiva com central de triagem e beneficiamento + Coleta seletiva com unidade de compostagem (CS/CTB+CS/UC)

Gerar Relatório no formato MS-Word

Figura 5.22: Representação do Passo 1 para calcular a vida do aterro sanitário. Nesse caso o cenário atual de gestão é CR+AS e, o usuário não quis acrescentar nenhuma nova opção.

Na Figura 5.23 observa-se o fluxograma de decisão relativo ao segundo passo para calcular a vida útil do aterro sanitário. Nesse passo o usuário escolhe o cenário atual de gestão dos resíduos e insere informações referentes à simulação (inserção de nova alternativa de gestão, taxa de crescimento da geração per capita, dados sobre a eficiência da nova alternativa). Foram disponibilizadas quatro possibilidades de cenários para a gestão dos resíduos sólidos domiciliares, apresentados no Quadro 5.3.

Quadro 5.3: Descrição dos cenários de gestão de resíduos sólidos domiciliares

CENÁRIO	DESCRIÇÃO
1 - Coleta regular + Aterro Sanitário (CR + AS)	Esta é a situação atual de muitos municípios, em que todo o resíduo proveniente da coleta regular é encaminhado para o aterro sanitário.
2 - Coleta regular + coleta seletiva com central de triagem e beneficiamento + aterro sanitário (CR +CS/ CTB + AS)	Nesse cenário, a coleta regular continua e os resíduos são encaminhados para o aterro. Porém, introduz-se a coleta seletiva dos resíduos recicláveis, que pode abranger toda a cidade ou apenas parte dela. Os resíduos provenientes da coleta seletiva são levados para a central de triagem e beneficiamento.
3 – Coleta regular + usina de reciclagem e compostagem + aterro sanitário (CR + URC + AS)	Nesse cenário é introduzido um novo elemento ao sistema, a usina de reciclagem e compostagem. Os resíduos coletados são encaminhados para a usina de reciclagem e compostagem, onde a parcela reciclável é separada para ser comercializada, e a parcela orgânica é encaminhada para o processo de compostagem. O rejeito desse processo é, então, encaminhado para o aterro sanitário.
4 - Coleta regular + coleta seletiva com central de triagem e beneficiamento + coleta seletiva com unidade de compostagem + aterro sanitário (CR + CS/CTB + CS/UC + AS)	Nesse cenário considera-se a implantação da coleta seletiva dos resíduos recicláveis e dos resíduos orgânicos. Essa coleta pode abranger toda a cidade ou apenas parte dela. Os resíduos provenientes da coleta seletiva de recicláveis são encaminhados para a central de triagem e beneficiamento. E os resíduos orgânicos coletados seletivamente são levados para uma unidade de compostagem. Tanto os resíduos da coleta regular quanto os rejeitos dos outros processos são encaminhados para o aterro sanitário.

Figura 5.23: Fluxograma de decisão para o cálculo da vida útil do aterro sanitário – Passo 2

As Figuras 5.24 a 5.27 apresentam as sub-rotinas utilizadas para os cenários em que é possível inserir uma nova alternativa de gestão.

Figura 5.24. Fluxograma de decisão para o cálculo da vida útil com a inserção da alternativa CS/CTB no cenário CR+AS.

Figura 5.25. Fluxograma de decisão para o cálculo da vida útil com a inserção da alternativa URC no cenário CR+AS.

Figura 5.26: Fluxograma de decisão para o cálculo da vida útil com a inserção da alternativa CS/CTB e CS/UC no cenário CR+AS.

Figura 5.27: Fluxograma de decisão para o cálculo da vida útil com a inserção da alternativa CS/UC no cenário CR+CS/CTB+AS.

Nas Figuras 5.28 a 5.34 pode-se observar as telas correspondentes a cada um dos fluxogramas construídos – passo 2 - para calcular a vida útil do aterro sanitário.

Selecione o cenário de gestão que mais se assemelhe ao seu município:

☒ Coleta regular + Aterro Sanitário (CR + AS) ?

☐ Coleta regular + Coleta seletiva com central de triagem e beneficiamento + Aterro Sanitário (CR + CS/CTB + AS) ?

☐ Coleta regular + Usina de reciclagem e compostagem + Aterro Sanitário (CR + URC + AS) ?

☐ Coleta regular + Coleta seletiva com central de triagem e beneficiamento + Coleta seletiva com unidade de compostagem + Aterro Sanitário (CR + CS/CTB + CS/UC + AS) ?

Descreva a gestão dos RSD de seu município:

Gostaria de acrescentar alguma alternativa no atual sistema de resíduos?

☐ Não

☒ Coleta seletiva com central de triagem e beneficiamento (CS/CTB)

☐ Usina de reciclagem e compostagem (URC)

☐ Coleta seletiva com central de triagem e beneficiamento + Coleta seletiva com unidade de compostagem (CS/CTB+CS/UC)

Escolha um diagnóstico existente do município

Município	Ano	Escolha um Diagnóstico
São Carlos	2005	ver ☒

Caso não tenha encontrado o diagnóstico desejado é necessário cadastrá-lo em [Diagnóstico de RSD](#) para continuar

CS/CTB

Quando será implantada a coleta seletiva e a central de triagem e beneficiamento?

☐ Será implantada este ano

☒ Será implantado em anos

Eficiência da coleta seletiva e central de triagem e beneficiamento

Qual será a porcentagem inicial de resíduos recicláveis desviada do aterro sanitário? %

Nos anos seguintes a eficiência desse sistema será aumentada?

☐ Não

☒ Sim, em % ao ano

Varição máxima permitida: 16,24 %

Eficiência final do sistema: 44,32 %

[Gerar Relatório no formato MS-Word](#)

Figura 5.28: Representação do Passo 2 para calcular a vida do aterro sanitário. Nesse caso o cenário atual de gestão é CR+AS e, o usuário inseriu a alternativa CS/CTB na simulação.

Selecione o cenário de gestão que mais se assemelhe ao seu município

☒ Coleta regular + Aterro Sanitário (CR + AS)
 ☐ Coleta regular + Coleta seletiva com central de triagem e beneficiamento + Aterro Sanitário (CR + CS/CTB + AS)
 ☐ Coleta regular + Usina de reciclagem e compostagem + Aterro Sanitário (CR + URC + AS)
 ☐ Coleta regular + Coleta seletiva com central de triagem e beneficiamento + Coleta seletiva com unidade de compostagem + Aterro Sanitário (CR + CS/CTB + CS/UC + AS)

Descreva a gestão dos RSD de seu município:

Gostaria de acrescentar alguma alternativa no atual sistema de resíduos?

☐ Não
 ☐ Coleta seletiva com central de triagem e beneficiamento (CS/CTB)
 ☒ Usina de reciclagem e compostagem (URC)
 ☐ Coleta seletiva com central de triagem e beneficiamento + Coleta seletiva com unidade de compostagem (CS/CTB+CS/UC)

Escolha um diagnóstico existente do município

Município	Ano	Escolha um Diagnóstico
São Carlos	2005	ver

Caso não tenha encontrado o diagnóstico desejado é necessário cadastrá-lo em [Diagnóstico de RSD](#) para continuar

URC

Quando será implantada a Usina de Reciclagem e Compostagem?

☐ Será implantada este ano
 ☒ Será implantado em anos

Eficiência da Usina de Reciclagem e Compostagem

Qual será a porcentagem inicial de resíduos recicláveis e resíduos orgânicos desviada do aterro sanitário?

%

Nos anos seguintes a eficiência desse sistema será aumentada?

☐ Não
 ☒ Sim, em % ao ano

Variação máxima permitida: 10,41 %

Eficiência final do sistema: 57,43 %

Gerar Relatório no formato MS-Word

Figura 5.29: Representação do Passo 2 para calcular a vida do aterro sanitário. Nesse caso o cenário atual de gestão é CR+AS e, o usuário inseriu a alternativa URC na simulação.

Selecione o cenário de gestão que mais se assemelhe ao seu município

☒ Coleta regular + Aterro Sanitário (CR + AS)
 ☐ Coleta regular + Coleta seletiva com central de triagem e beneficiamento + Aterro Sanitário (CR + CS/CTB + AS)
 ☐ Coleta regular + Usina de reciclagem e compostagem + Aterro Sanitário (CR + URC + AS)
 ☐ Coleta regular + Coleta seletiva com central de triagem e beneficiamento + Coleta seletiva com unidade de compostagem + Aterro Sanitário (CR + CS/CTB + CS/UC + AS)

Descreva a gestão dos RSD de seu município:

Gostaria de acrescentar alguma alternativa no atual sistema de resíduos?

☐ Não
 ☐ Coleta seletiva com central de triagem e beneficiamento (CS/CTB)
 ☐ Usina de reciclagem e compostagem (URC)
 ☒ Coleta seletiva com central de triagem e beneficiamento + Coleta seletiva com unidade de compostagem (CS/CTB+CS/UC)

Escolha um diagnóstico existente do município

Município	Ano	Escolha um Diagnóstico
São Carlos	2005	ver ☒

Caso não tenha encontrado o diagnóstico desejado é necessário cadastrá-lo em [Diagnóstico de RSD](#) para continuar

CS/CTB

Quando será implantada a coleta seletiva e a central de triagem e beneficiamento?

☒ Será implantada este ano
 ☐ Será implantado em anos

Eficiência da coleta seletiva e central de triagem e beneficiamento

Qual será a porcentagem inicial de resíduos recicláveis desviada do aterro sanitário? %

Nos anos seguintes a eficiência desse sistema será aumentada?

☐ Não
 ☒ Sim, em % ao ano

Variação máxima permitida: 14,31 %

Eficiência final do sistema: 46,54 %

CS/UC

Quando será implantada a coleta seletiva e unidade de compostagem para os resíduos orgânicos?

☐ Será implantada este ano
 ☒ Será implantado em anos

Eficiência da coleta seletiva e unidade de compostagem

Qual será a porcentagem inicial de resíduos orgânicos desviada do aterro sanitário? %

Nos anos seguintes a eficiência desse sistema será aumentada?

☐ Não
 ☒ Sim, em % ao ano

Variação máxima permitida: 13,99 %

Eficiência final do sistema: 56,28 %

[Gerar Relatório no formato MS-Word](#)

Figura 5.30: Representação do Passo 2 para calcular a vida do aterro sanitário. Nesse caso o cenário atual de gestão é CR+AS e, o usuário inseriu a alternativa CS/CTB e CS/UC na simulação.

Selecione o cenário de gestão que mais se assemelhe ao seu município

☐ Coleta regular + Aterro Sanitário (CR + AS)

☒ Coleta regular + Coleta seletiva com central de triagem e beneficiamento + Aterro Sanitário (CR + CS/CTB + AS)

☐ Coleta regular + Usina de reciclagem e compostagem + Aterro Sanitário (CR + URC + AS)

☐ Coleta regular + Coleta seletiva com central de triagem e beneficiamento + Coleta seletiva com unidade de compostagem + Aterro Sanitário (CR + CS/CTB + CS/UC + AS)

Descreva a gestão dos RSD de seu município:

Gostaria de acrescentar alguma alternativa no atual sistema de resíduos?

☒ Não

☐ Coleta seletiva com unidade de compostagem (CS/UC)

Escolha um diagnóstico existente do município

Município	Ano	Escolha um Diagnóstico
São Carlos	2005	ver

Caso não tenha encontrado o diagnóstico desejado é necessário cadastrá-lo em [Diagnóstico de RSD](#) para continuar

CS/CTB

Eficiência da coleta seletiva e central de triagem e beneficiamento

Qual a porcentagem atual de resíduos recicláveis desviada do aterro sanitário? %

Nos anos seguintes a eficiência desse sistema será aumentada? ☐ Não ☒ Sim, em % ao ano

Varição máxima permitida: 39,50 %

Eficiência final do sistema: 11,79 %

Gerar Relatório no formato MS-Word

Figura 5.31: Representação do Passo 2 para calcular a vida do aterro sanitário. Nesse caso o cenário atual de gestão é CR+AS e, o usuário não inseriu nova alternativa.

Selecione o cenário de gestão que mais se assemelhe ao seu município

☐ Coleta regular + Aterro Sanitário (CR + AS)
 ☒ Coleta regular + Coleta seletiva com central de triagem e beneficiamento + Aterro Sanitário (CR + CS/CTB + AS)
 ☐ Coleta regular + Usina de reciclagem e compostagem + Aterro Sanitário (CR + URC + AS)
 ☐ Coleta regular + Coleta seletiva com central de triagem e beneficiamento + Coleta seletiva com unidade de compostagem + Aterro Sanitário (CR + CS/CTB + CS/UC + AS)

Descreva a gestão dos RSD de seu município:

Gostaria de acrescentar alguma alternativa no atual sistema de resíduos?

☐ Não
 ☒ Coleta seletiva com unidade de compostagem (CS/UC)

Escolha um diagnóstico existente do município

Município	Ano	Escolha um Diagnóstico
São Carlos	2005	ver ☒

Caso não tenha encontrado o diagnóstico desejado é necessário cadastrá-lo em [Diagnóstico de RSD](#) para continuar

CS/CTB

Eficiência da coleta seletiva e central de triagem e beneficiamento

Qual a porcentagem atual de resíduos recicláveis desviada do aterro sanitário? %

Nos anos seguintes a eficiência desse sistema será aumentada?
 ☒ Não
 ☐ Sim, em % ao ano

Varição máxima permitida: 0 %

Eficiência final do sistema: 0 %

CS/UC

Quando será implantada a coleta seletiva e unidade de compostagem para os resíduos orgânicos?
 ☒ Será implantada este ano
 ☐ Será implantado em anos

Eficiência da coleta seletiva e unidade de compostagem

Qual será a porcentagem inicial de resíduos orgânicos desviada do aterro sanitário? %

Nos anos seguintes a eficiência desse sistema será aumentada?
 ☒ Não
 ☐ Sim, em % ao ano

Varição máxima permitida: 0 %

Eficiência final do sistema: 0 %

Gerar Relatório no formato MS-Word

Figura 5.32: Representação do Passo 2 para calcular a vida do aterro sanitário. Nesse caso o cenário atual de gestão é CR+CS/CTB+AS e, o usuário inseriu a alternativa CS/UC.

Selecione o cenário de gestão que mais se assemelhe ao seu município

☐ Coleta regular + Aterro Sanitário (CR + AS)
 ☒ Coleta regular + Coleta seletiva com central de triagem e beneficiamento + Aterro Sanitário (CR + CS/CTB + AS)
 ☐ Coleta regular + Usina de reciclagem e compostagem + Aterro Sanitário (CR + URC + AS)
 ☐ Coleta regular + Coleta seletiva com central de triagem e beneficiamento + Coleta seletiva com unidade de compostagem + Aterro Sanitário (CR + CS/CTB + CS/UC + AS)

Descreva a gestão dos RSD de seu município:

Escolha um diagnóstico existente do município

Município	Ano	Escolha um Diagnóstico
São Carlos	2005	ver

Caso não tenha encontrado o diagnóstico desejado é necessário cadastrá-lo em [Diagnóstico de RSD](#) para continuar

URC

Eficiência da Usina de Reciclagem e Compostagem

Qual a porcentagem atual de resíduos recicláveis e resíduos orgânicos desviada do aterro sanitário? %

Nos anos seguintes a eficiência desse sistema será aumentada? ☐ Não ☒ Sim, em % ao ano

Variação máxima permitida: 9,28 %

Eficiência final do sistema: 69,81 %

[Gerar Relatório no formato MS-Word](#)

Figura 5.33: Representação do Passo 2 para calcular a vida do aterro sanitário. Nesse caso o cenário atual de gestão é CR+URC+AS.

Selecione o cenário de gestão que mais se assemelhe ao seu município

☐ Coleta regular + Aterro Sanitário (CR + AS) ?
☐ Coleta regular + Coleta seletiva com central de triagem e beneficiamento + Aterro Sanitário (CR + CS/CTB + AS) ?
☐ Coleta regular + Usina de reciclagem e compostagem + Aterro Sanitário (CR + URC + AS) ?
☒ Coleta regular + Coleta seletiva com central de triagem e beneficiamento + Coleta seletiva com unidade de compostagem + Aterro Sanitário (CR + CS/CTB + CS/UC + AS) ?

Descreva a gestão dos RSD de seu município:

Escolha um diagnóstico existente do município

Município	Ano	Escolha um Diagnóstico
São Carlos	2005	ver ☒

Caso não tenha encontrado o diagnóstico desejado é necessário cadastrá-lo em [Diagnóstico de RSD](#) para continuar

CS/CTB

Eficiência da coleta seletiva e central de triagem e beneficiamento

Qual a porcentagem atual de resíduos recicláveis desviada do aterro sanitário? %

Nos anos seguintes a eficiência desse sistema será aumentada? ☐ Não ☒ Sim, em % ao ano

Variação máxima permitida: 29,15 %

Eficiência final do sistema: 35,18 %

CS/UC

Eficiência da coleta seletiva e unidade de compostagem

Qual a porcentagem atual de resíduos orgânicos desviada do aterro sanitário? %

Nos anos seguintes a eficiência desse sistema será aumentada? ☐ Não ☒ Sim, em % ao ano

Variação máxima permitida: 39,50 %

Eficiência final do sistema: 11,79 %

Gerar Relatório no formato MS-Word

Figura 5.34: Representação do Passo 2 para calcular a vida do aterro sanitário. Nesse caso o cenário atual de gestão é CR+CS/CTB+CS/CTB.

Dando sequência ao SIMGERE, a próxima interface refere-se ao “Banco de Dados de Experiências de Compostagem”. Esse *link* permite tanto cadastrar uma nova experiência quanto consultar as existentes (Figuras 5.35, 5.36 e 5.37). A maioria das iniciativas de compostagem cadastrada está baseada no banco de dados elaborado pela Sandec – Departamento de Água e Saneamento em países em desenvolvimento do Instituto Federal Suíço de Ciências Aquáticas e Tecnologia (<http://sandec.instanthost.ch>). A idéia é tentar aumentar esse banco de dados incluindo as experiências brasileiras em compostagem.

Figura 5.35: Interface que explica o objetivo desse banco de dados e que fornece as opções de cadastro e consulta de experiências de compostagem.

Nome	Local	Início	
Comunidade urbana de Moramanga	Moramanga (Madagascar)	2006	Ver
Pátio de Compostagem	escola estadual Bento da Silva Cesar - São Carlos (Brasil)	2006	Ver
Instituto de Gestao de Residuos	Guinéa (Guiné)	2005	Ver
Projeto de reciclagem de residuos	Gianyar (Indonésia)	2004	Ver
Estação internacional Vermigold	Mumbai (Índia)	2002	Ver
Planta de Co-Compostagem IWWI-SANDEC Buobai	Gana (Gana)	2002	Ver
Planta Municipal de Compostagem de La Pintana	Santiago (Chile)	2002	Ver
Planta de Co-compostagem ACTS	Bangalore (Índia)	2001	Ver

Figura 5.36: Interface para consulta de experiências de compostagem. Como procedimento padrão o programa mostra todas as experiência, mas usuário pode aplicar um filtro por país ou método de compostagem.

SIMGERE
 SIMULAÇÃO PARA A GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Apresentação
 Diagnóstico de RSD
 Aterro Sanitário
 Simulação da vida útil
 Banco de Dados de Experiências de Compostagem
 Contato
 Sobre os Desenvolvedores

Banco de Dados de Experiências de Compostagem

Dados Gerais

Nome da experiência:

Localização:

País:

Natureza: ☐ Privado ☐ Público ☐ ONG ☐ Incliativa da Comunidade ☐ Outra

Tipo de Planta de Compostagem:

Ano de Início:

Informações sobre o sistema de Compostagem:

Tipo de Coleta:

Tipo de Resíduo:

Área: m²

Método de Compostagem:

Funcionários:

Capacidade de Tratamento: t/d

Custos e Produção

Custo de Implantação: (em dólares americanos)

Custo de Operação: (em dólares americanos)

Produção de Composto: kg/d

Preço de Venda: US\$/kg

Consumidores:

Dados para Contato

Nome:

E-mail:

Dados Complementares

Legislação:

Equipamentos:

Observação:

Arquivo:

Envie um arquivo de imagem, pdf, ou no formato Microsoft® Word com informações adicionais sobre esta experiência de compostagem. (Tamanho máximo do arquivo: 3MB)

Figura 5.37: Interface para cadastro de experiências de compostagem.

Por fim, a Figura 5.38 mostra a interface “Contato”.

Figura 5.38: Interface para que o usuário possa entrar em contato com o pesquisador, seja para solucionar alguma dúvida ou sugerir algum melhoramento.

5.5. Aplicação para São Carlos

A aplicação do software SIMGERE para o gerenciamento dos resíduos sólidos domiciliares de São Carlos foi realizada simulando-se 27 diferentes cenários para calcular a vida útil no novo aterro sanitário que será implantado no município. O Quadros 5.4 apresenta as informações gerais utilizadas para a simulação.

Quadro 5.4: Resumo das informações utilizadas para realizar a simulação da vida útil para o aterro sanitário de São Carlos/SP

Ano atual	2008
População atual	220.000 habitantes
Taxa de crescimento	1,99% a.a
Período da simulação	25 anos
Resíduos encaminhados para o aterro**	152 t/d
Volume do novo aterro	2.000.000 m ³
Índice de compactação*	0,7 t/m ³
Volume de cobertura*	20%
Composição dos resíduos sólidos	
Resíduos orgânicos	59,08%
Resíduos recicláveis	20,83%
Outros	20,09%
Coleta seletiva	3t/d (equivale a 9,8% do total de recicláveis)
Coleta de compostáveis	1,5 t/d (equivale a 1,7% do total de compostáveis)
Cenário atual	CR + CS/CTB +CS/UC + AS

* valores estimados

** considerando 5 t/d de particulares

A Tabela 5.14 apresenta os cenários que foram simulados com as respectivas variações na produção per capita de resíduos, na eficiência da central de triagem e beneficiamento e na eficiência da unidade de compostagem. O valor atual da produção per capita é 0,69 kg/hab.dia.

Tabela 5.14: Simulação de diferentes cenários de gerenciamento de RSD para estimar a vida útil do aterro sanitário de São Carlos/SP

Simulação	Variação da eficiência			Valor PPC final	Eficiência final				Vida útil
	Variação PPC				CTB		UC		
		CTB	UC						
					t/d	%	t/d	%	
1	0	0	0	0,69	3,0	9,8	1,5	1,7	18 anos e 5 meses
2	0,5	0	0	0,76	3,0	9,8	1,5	1,7	17 anos e 8 meses
3	1,0	0	0	0,83	3,0	9,8	1,5	1,7	17 anos e 1 mês
4	0	5	0	0,69	9,9	24,8	1,5	1,7	18 anos e 7 meses
5	0	10	0	0,69	24,6	59,9	1,5	1,7	19 anos
6	0,5	5	0	0,76	10,0	24,8	1,5	1,7	17 anos e 11 meses
7	0,5	10	0	0,76	23,8	59,9	1,5	1,7	18 anos e 3 meses
8	1,0	5	0	0,83	11,8	24,8	1,5	1,7	17 anos e 3 meses
9	1,0	10	0	0,83	25,9	59,9	1,5	1,7	17 anos e 7 meses
10	0	0	5	0,69	3,0	9,8	5,2	4,3	18 anos e 6 meses
11	0	0	10	0,69	3,0	9,8	10,7	10,4	18 anos e 8 meses
12	0,5	0	5	0,76	3,0	9,8	5,3	4,3	17 anos e 9 meses
13	0,5	0	10	0,76	3,0	9,8	11,7	10,4	17 anos e 11 meses
14	1,0	0	5	0,83	3,0	9,8	5,8	4,3	17 anos e 2 meses
15	1,0	0	10	0,83	3,0	9,8	12,8	10,4	17 anos e 4 meses
16	0	5	5	0,69	10,6	24,8	5,2	4,3	18 anos e 8 meses
17	0	5	10	0,69	10,6	24,8	12,1	10,4	18 anos e 11 meses
18	0	10	5	0,69	24,6	59,9	5,6	4,3	19 anos e 1 mês
19	0	10	10	0,69	24,6	59,9	12,1	10,4	19 anos e 11 meses
20	0,5	5	5	0,76	10,6	24,8	5,2	4,3	18 anos
21	0,5	5	10	0,76	10,6	24,8	12,1	10,4	18 anos e 2 meses
22	0,5	10	5	0,76	24,6	59,9	5,2	4,3	18 anos e 4 meses
23	0,5	10	10	0,76	24,6	59,9	12,1	10,4	18 anos e 7 meses
24	1,0	5	5	0,83	10,9	24,8	5,3	4,3	17 anos e 4 meses
25	1,0	5	10	0,83	10,9	24,8	11,3	10,4	17 anos e 6 meses
26	1,0	10	5	0,83	22,9	59,9	5,3	4,3	17 anos e 8 meses
27	1,0	10	10	0,83	22,9	59,9	11,3	10,4	17 anos e 10 meses

A partir da análise da Tabela 5.14 infere-se que o pior resultado é o da simulação 3, no qual a produção per capita de resíduos aumenta em 1% a.a, passando de 0,690 kg/hab.dia para 0,830 kg/hab.dia, e a eficiência da central de triagem e beneficiamento e da unidade de compostagem não aumentam com o passar do tempo. Nessa situação, a vida útil do aterro sanitário foi estimada em 17 anos e 1 mês.

No extremo oposto, o melhor aproveitamento do aterro ocorreu na simulação 19, na qual a produção per capita permanece constante durante o período da simulação e a eficiência, tanto da central de triagem e beneficiamento quanto da unidade de compostagem aumentam a uma taxa de 10% a.a. Para essa simulação, a vida útil do aterro foi de 19 anos e 11 meses.

Outras simulações também apresentaram bons resultados como foi o caso da 5, 17 e 18, todas próximas de 19 anos para a vida útil. Uma observação interessante nessas

simulações é que elas têm em comum a variação nula na produção per capita dos resíduos, demonstrando assim, a importância da implementação de estratégias que visem principalmente a não geração de resíduos.

6. CONCLUSÕES

Com relação à implantação de unidades descentralizadas de compostagem tem-se que:

- Um fator de incentivo à implantação de programas municipais de compostagem foi a participação da população no projeto. Para tanto, é necessário haver um esforço contínuo em monitorar essa atividade, informando sempre a população sobre os benefícios da compostagem.
- A participação da população foi considerada positiva no que se refere a qualidade dos resíduos separados. Uma das hipóteses é que a separação dos resíduos orgânicos é mais simples que a dos resíduos recicláveis, pois não requerem limpeza e tampouco precisam ser armazenados por período mais longo.

- Quanto à frequência de participação, conclui-se que foi importante adotar a estratégias de sacolas diferenciadas e realizar a coleta dos compostáveis nos mesmos dias da coleta regular. Portanto, sistemas de coleta de fácil utilização (coleta porta a porta, frequência adaptada a coleta regular, utilização de sacolas diferenciadas) podem melhorar não somente a participação da população, mas também, a taxa de desvio dos resíduos dos aterros e qualidade do composto produzido a partir da coleta seletiva.
- Apesar de existir a coleta seletiva de compostáveis é necessário que, na unidade de compostagem, seja realizada a triagem de possíveis materiais indesejáveis, sendo mais frequentes os papéis de bala, tampinhas de garrafas e sachês metalizados no caso do Pátio de Compostagem;

Com relação à avaliação da qualidade do composto de lixo conclui-se que:

- Apesar do composto produzido no Pátio de Compostagem se enquadrar nos padrões de qualidade estabelecidos pela legislação brasileira, os resultados do ensaio agudo realizado com minhocas da espécie *Eisenia andrei* indicaram toxicidade do composto. A partir desse teste, infere-se que a avaliação dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos do composto de lixo não são suficientes para assegurar a sua qualidade.
- A análise ecotoxicológica, por meio de ensaio agudo com minhocas (*Eisenia andrei*) comprovou toxicidade do composto, com taxas de mortalidade significativas ($p < 0,05$) a partir da concentração de 16% de composto em solo artificial tropical. Portanto, esse ensaio mostrou-se eficiente para complementar o diagnóstico final sobre a qualidade do composto.
- A alta condutividade elétrica ($CE = 7,45 \text{ mS/cm}$) do composto proveniente do Pátio de Compostagem foi a responsável por sua toxicidade, uma vez que os teores de metais pesados estiveram muito abaixo dos limites estabelecidos pela legislação. Dessa forma, sugere-se que a condutividade elétrica seja incluída na legislação brasileira como um indicador de qualidade do composto de lixo. Para este estudo foi identificado um valor limite de 2 mS/cm (2 dS/m).

Com relação ao software SIMGERE, conclui-se que:

- O fato do mesmo ser on-line facilita o acesso à informação, seja com relação aos valores da composição gravimétrica dos resíduos nos municípios, sejam as experiências de compostagem;
- A função para simular a vida útil do aterro sanitário proporciona testar rapidamente uma infinidade de diferentes cenários de gerenciamento, sendo útil para levantar questionamentos e subsidiar a tomada de decisão antes que uma ação seja implementada;
- a característica “livre” do software permite que novas funções e módulos sejam inseridos no software de modo a melhorá-lo constantemente;
- a simulação da vida útil para o novo aterro sanitário de São Carlos, a partir de 27 cenários, apresentou informações importantes, como por exemplo, a dependência da variável produção per capita de resíduos sobre o resultado final das simulações.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Há uma tendência mundial em se adotar a compostagem como parte do gerenciamento dos resíduos sólidos domiciliares. Porém, a implantação de programas municipais de compostagem deve partir da premissa de uma coleta seletiva da fração orgânica, de forma a se obter, ao final do processo, um composto de melhor qualidade. A implementação da coleta seletiva de resíduos orgânicos requer indubitavelmente esforços e investimentos por parte da população e da administração municipal. Contudo, os custos dessa coleta e dos gastos relativos à sensibilização da população podem ser compensados por economias no tratamento e disposição dos resíduos sólidos.

O estudo do local onde será implantada uma unidade de compostagem é fundamental para evitar problemas com a população do entorno, principalmente com relação aos odores. Portanto, direção dos ventos, presença de residências e pontos de ônibus próximos aos locais da compostagem pode afetar negativamente a imagem do processo de compostagem.

As unidades descentralizadas de compostagem podem ser uma alternativa viável aos municípios, pois tratam os resíduos próximos ao local onde este foi gerado, diminuindo o custo de transporte, além de poder atuar como um centro de educação ambiental para a população do entorno.

A legislação brasileira vem avançando na elaboração de padrões de qualidade do composto de lixo, apesar da concentração de metais pesados ainda serem bastante permissivos se comparados com os estabelecidos por países europeus. Seria interessante criar classes para o uso do composto de acordo com o seu padrão de qualidade. Sugerem-se três classes: o composto com menor exigência seria utilizado somente para cobertura de aterros; uma segunda classe que permitiria o uso do composto em projetos de paisagismo e, a terceira classe, com limites mais restritivos, seria destinada para a agricultura. Uma melhoria para avaliação da qualidade do composto de lixo seria incluir nos padrões de qualidade do composto, limites máximos para condutividade elétrica e materiais inertes presentes no composto de lixo

8. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Como forma de complementar e dar continuidade a esta pesquisa, sugere-se alguns trabalhos para serem desenvolvidos:

- Atualizar o software SIMGERE com novos módulos do sistema de resíduos sólidos, tais como os resíduos de serviços de saúde, resíduos de construção e demolição e resíduos sólidos domiciliares;
- Aprofundar o estudo sobre a qualidade do composto de lixo a partir da realização dos ensaios ecotoxicológicos: teste agudo, teste de reprodução e teste de evitação;
- Estudar e propor diferentes doses de aplicação do composto de lixo em função da qualidade deste composto, do solo, do cultivo e das condições climáticas locais;
- Investigar a viabilidade econômica de se implementar unidades descentralizadas de resíduos (compostagem, ecopontos, centrais de triagem, etc).

9. REFERÊNCIAS

- ABREU JUNIOR., C. H.; MURAOKA, T. LAVORANTE A. F. & ALVAREZ, V. F. C. Condutividade elétrica, reação do solo e acidez potencial em solos adubados com composto de lixo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 635-647, 2000.
- AKUTSU, J.; REIS, L. F. R.; WALTERS, G. Emprego de Algoritmos Genéticos (AGs) no Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos em Nível Regional. **Sociedade Brasileira de Pesquisadores Nikkeis**, São Paulo, v. 6, p. 198-202, 2002. Número especial
- ALI, M. **Sustainable composting**: Cases studies and guidelines for developing countries. Water, Engineering and Development Centre, Loughborough University, UK, 2004. 123 p.
- ALTINBAS, M.; GENCISOY E.B.; CIFTCI, D.I.; ARIKAN, O.A.; DEMIR, I.; OZTUKR, L.; YILDIZ, S.; CIFTCI, T.; CAKMAK, I.; OZTURK, I. Full-scale aerobic composting of municipal solid waste of Istanbul metropolitan. In: International Waste Management and Landfill Symposium, 11, 2007, S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy. **Proceedings Sardinia...** Cagliari, Italy.
- ALVARENGA, P.; PALMA, P.; GONÇALVES, A. P.; FERNANDES, R. M.; CUNHA-QUEDA, A. C.; DUARTE, E.; VALLINI, G. Evaluation of chemical and ecotoxicological characteristics of biodegradable organic residues for application to agricultural land. **Environmental International**, v.33, p.505-513, 2007.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard Methods for the examination of water and wastewater**. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, 20th ed. Washington, 1998.
- ANDRADE, A.L. Pensamento Sistêmico: Um Roteiro Básico para perceber as Estruturas da Realidade Organizacional. **REAd – Revista eletrônica de Administração**, n. 4, 1997. Disponível em <[http:// read.adm.ufrgs.br/read05/artigo/andrade.htm](http://read.adm.ufrgs.br/read05/artigo/andrade.htm)>. Acesso em: 15 dez. 2005.
- ANDREOLI, C. V.; FERREIRA, A.C.; CHERUBINI, C.; TELES, C.R.; CARNEIRO, C.; FERNANDES, F. Higienização do Lodo de Esgoto. In: ANDREOLI, C.V. **Resíduos Sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Rio de Janeiro: ABES, 2001.
- ARROIO, A.; SANTOS, F. **Programação para web utilizando PHP**. Ed. Centro de Comunicação da UNICAMP. Campinas: 2002. 53 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2007**. São Paulo: 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13.591** : Compostagem: Terminologia. Rio de Janeiro, 1996.
- _____. **NBR 15537**: Ecotoxicologia terrestre: Ecotoxicidade aguda: Método de ensaios com minhocas. Rio de Janeiro, 2007.
- _____. **NBR 10.007** : Resíduos sólidos: Amostragem. São Paulo, 2004.

ASSOCIATION OF CITIES AND REGIONS FOR RECYCLING AND SUSTAINABLE RESOURCE MANAGEMENT – ACR. **Gestão dos resíduos domésticos biodegradáveis: Que perspectivas para as autoridades locais europeias?** 2005. 126 p. Disponível em: http://www.lipor.pt/upload/Lipor/ficheiros/Guia%20Gest%C3%A3o%20de%20res%C3%ADduos%20dom%C3%A9sticos%20biodegrad%C3%A1veis_vers%C3%A3o%20final.pdf. Acesso em 10 de maio de 2008.

AYUSO, M.; PASCUAL, J.A.; GARCIA, C.; HERNANDEZ, T. Evaluation of Urban Wastes for Agricultural Use. **Soil Science Plant Nutrition**. Japanese Society of Soil Science and Plant Nutrition, v. 42, p. 105-111, 1996.

BAASCH, S.S. **Um sistema de suporte multicritério na gestão dos resíduos sólidos dos municípios catarinenses**. Tese (Doutorado). Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1995.

BADE, O.; STREESE, J.; SEKITO, T.; STEGMANN, R. Integrated concept for decentralized waste water and biowaste treatment. In: International Waste Management and Landfill Symposium, 10, 2005, S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy. **Proceedings Sardinia...** Cagliari, Italy.

BAKKEN, S.S.; AULBACH, A.; SCHIMID, E.; WINSTEAD, J.; WILSON, L.T.; LERDORF, R.; ZMIEVSKI, A.; AHTO, J. **Manual de PHP**. 2002. 1719 p.

BARREIRA, L.P. **Avaliação das usinas de compostagem do estado de São Paulo em função da qualidade dos compostos e processos de produção**. Tese. (Doutorado). Programa de Pós Graduação em Saúde Pública, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.

BARRIOS, S.; FERNANDEZ, R.; VAZQUEZ, F.; FONT, X. Composting activity in Catalonia. **Biocycle**. Journal of composting & organics recycling, v. 45, p. 64-66, 2004.

BECK, K. **Extreme Programming Explained** – Embrace Change. Addison-Wesley. 1999.

BIDONE, F. R. A.; POVINELLI, J. (1999). **Conceitos básicos de resíduos sólidos**. São Carlos: EDUSP, 1999. 109 p.

BRASIL. Decreto nº 4954, de 14 de janeiro de 2004. Aprovar o regulamento da Lei nº 6894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, destinados à agricultura, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 15 jan. 2004. Seção 1, Página 2.

_____. Lei nº 6894, de 16 de dezembro de 1980. Dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, destinados à agricultura, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 17 dez. 1980. Seção 1, Página 25289.

_____. Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Aprova as definições e normas sobre as especificações e garantias, a tolerância, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura. Instrução Normativa nº 23, 31 de agosto de 2005. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 8 set. 2005. Seção 1, Página 12.

_____. Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Aprova as definições e normas sobre as especificações e garantias, a tolerância, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes minerais, destinados à agricultura, conforme anexos a esta instrução normativa.. Instrução Normativa nº 05, 23 de fevereiro de 2007. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 1 mar. 2007. Seção 1, Página 10.

_____. Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Aprova as disposições sobre a classificação e os registros de estabelecimentos e produtos, as exigências e critérios para embalagem, rotulagem, propaganda e para prestação de serviço. Instrução Normativa nº 10, 06 de maio de 2004. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 12 mai. 2004. Seção 1 , Página 12.

_____. Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Dispõe sobre fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes, para serem produzidos, importados ou comercializados, deverão atender aos limites estabelecidos nos Anexos I, II, III, IV e V desta Instrução Normativa no que se refere às concentrações máximas admitidas para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas. Instrução Normativa nº 27, 05 de junho de 2006. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 9 jun. 2006. Seção 1 , Página 15.

_____. Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Aprova os Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes Minerais, Orgânicos, Organo-Minerais e Corretivos, disponíveis na Coordenação-Geral de Apoio Laboratorial - CGAL/SDA/MAPA, na Biblioteca Nacional de Agricultura – BINAGRI e no sítio do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento Instrução Normativa nº 28, 27 de julho de 2007. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 31 jul. 2007. Seção 1, Página 11.

BRINTON, W.F. An international look at compost standards. **Biocycle**. p. 74-76. April, 2001

CAMARGO, O. A. ; BERTON, R.S. A disposição de rejeitos em solos agricultáveis. In: João Carlos de Andrade; Mônica Ferreira de Abreu. (Org.). **Análise química de resíduos sólidos para monitoramento e estudos agroambientais**. 1 ed. Campinas: Instituto Agronômico, 2006, v. 1, p. 57-66.

CAMPOS, R.R. **Características de sistemas integrados de gestão empresarial desenvolvidos sob o modelo de software livre: informações para suporte à fase de seleção e viabilidade de instalação em pequenas empresas**. Dissertação (mestrado). 2006. Programa de pós-graduação em Engenharia de Produção. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, SP. 225 p.

CARMICHAEL, C. J. **Economic and social aspects of food waste composting alternatives for New York State Communities**. 1999. Thesis (Master of Science Degree). College of Environmental Science and Forestry, State University of New York. Syracuse, NY. 147 p.

CASTRO, M.C.A.A. **Avaliação da eficiência das operações unitárias de uma usina de reciclagem e compostagem na recuperação dos materiais recicláveis e na transformação da matéria orgânica em composto**. 1996. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós Graduação em Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, SP.

CHAMBERS, L.D. **The practical handbook of genetic algorithms, applications**. 2000. Chapman & Hall/CRC. 2 edition. Florida, EUA.

COLEY, D.A. **An Introduction to Genetic Algorithms for Scientists and Engineers** 1999. World Scientific Publishing Co.Pte. Ltd.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Solo: teste de toxicidade com Eisenia foetida (minhoca): método de ensaio**. Norma Técnica L6.401. São Paulo: Cetesb. 1990. 13p.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. **Manual do usuário do programa de computador Biogás: geração e uso energético – versão 1.0**. CETESB, Secretaria do Meio Ambiente, Ministério da Ciência e Tecnologia. São Paulo: SMA: CETESB: MCT, 2006. 1 CD-

ROM. Disponível também em <<http://www.cetesb.sp.gov.br/biogas>>. Acessado em: 12 de dezembro de 2007.

COSTA, F.O; SILVA, F.C.; RODRIGUES, L.H.A.; BERTON, R.S.; CHITOLINA, J.C.; BALESTEIRO, S.D.; MORAES, M. F. Sistemáticas para aplicação do composto de lixo urbano em solos agrícolas no estado de São Paulo: critério e sistema especialista. **Anais**. Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2003. Ribeirão Preto, SP.

COSTI, P. et al.. An environmentally sustainable decision model for urban solid waste management. **Waste Management**, v. 24, p.277-295, 2004.

DE BERTOLDI M, VALLINI G, PERA A. The biology of composting: A review. **Waste Management & Resource** 1983; p. 153-176.

DE BERTOLDI M. Composting in the European Union. **BioCycle**. p.74-75., jun 1998.

DIAZ, L.F.; SAVAGE, G.M. Factors that affect the process. In: Diaz, L.F.; De Bertoldi, M.; Bidlingmaier, W. (Org). *Compost Science and Technology*. 1 ed. Stentiford. 2007, p. 49-65.

DICK, W.A.; MCCOY, E.L. Enhancing soil fertility by addition of compost. In: Hoitink e Keener, editors. **Science and Engineering of Composting: design, environmental, microbial and utilization aspectos**. Wooster (Ohio): The Ohio State University; 1993, p. 622-644.

EGREJA FILHO, F.B; REIS, E.L.; JORDÃO, C.L.; PEREIRA NETO, J.T. Avaliação quimiométrica da distribuição de metais pesados em composto de lixo urbano domiciliar. **Química Nova**. V.22, 1999, p. 324-328.

EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Rio de Janeiro, 1979.

EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Rio de Janeiro, 1997 2 edicao..

ENAYETULLAH, I; SINHA, A.H.M.M. (2001). Potentials Of Organic Waste Recycling Through Composting In Khulna City. In: **Oborjana o Paribesh Newsletter**. Disponível em: <http://www.wasteconcern.org/> Acesso em : 15 de set 2006.

ENVIRONMENT AND PLASTICS INDUSTRY COUNCIL – EPIC e Corporations Supporting Recycling - CSR. **Integrated solid waste management tools** : “Measuring the environmental performance of waste management systems.” Canadá: 2000. 22 p.

ENVIRONMENTAL CANADA (EC). Environmental Technology Centre. Biological Test Method: Tests for Toxicity of Contaminated Soil to Earthworms (*Eisenia andrei*, *Eisenia fetida* or *Lumbricus terrestris*). EPS 1/RM/43. 2004 (with 2007 amendments). 184p. Ottawa, Ontário, Canadá.

ERISSON, O.; FROSTELL, B.; BJÖRKLUND, A.; ASSEFA, G.; SUNDQVIST, J.O.; GRANATH, J.; CARLSSON, M., BAKY, A.; THYSELIUS, L. OWARE – a simulation tool for waste management. **Resources, Conservation and Recycling**. V 36, p. 287-307, 2002.

ETSU for the Departament of Trade and Industry. **An introduction to household waste management**. Oxforshire, UK: 1998. 55 p.

FEHR, M.; CALÇADO, M.R. A coleta diferenciada do lixo domiciliar funciona. **Saneamento Ambiental**. São Paulo, nº 11, p. 24-28, 2000.

FEISTHAUER, N. Usings earthworm behaviour to assess contaminated soil. *Environmental Science & Engineering*.2003. Disponível em <http://www.esemag.com/0503/earthworm.html>. Acesso em 15 de abril de 2008.

FERNANDES, F.; SILVA, S.M.C.P. **Manual Prático para Compostagem de Biossólidos**. 1999. Rio de Janeiro: ABES.

FIORUCCI, P. ET al.. Solid Waste Management in Urban Areas Development and Application of a Decision Support System. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 00, p. 1-28, 2002.

FORTES NETO, P. **Compostagem manual de lixo domiciliar urbano através de leiras estáticas e revolvidas**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Microbiologia Agrícola e do Meio Ambiente. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS.

FRESCA, F.R.C. **Estudo da geração de resíduos sólidos domiciliares no município de São Carlos, SP, a partir da caracterização física**. 2007. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, SP.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – FEAM. ICMS Ecológico. Disponível em: http://www.feam.br/index.php?option=com_content&task=view&id=76&Itemid=99. Acesso em: 20 de novembro de 2007.

GARCIA, M. **Effects of pesticides on soil fauna: development of ecotoxicological test methods for tropical regions**. 2004, 291 f. Tese (Doutorado) – Hohen Landwirtschaftlichen Fakultät, Universidade de Bonn.

GARCIA, M. **Effects of pesticides on soil fauna: development of ecotoxicological test methods for tropical regions**. 2004, 291 f. Tese (Doutorado) – Hohen Landwirtschaftlichen Fakultät, Universidade de Bonn.

GOMES, M. A. F.; SPADOTTO, C. A. Subsídio à avaliação de risco ambiental de agrotóxicos em solos agrícolas brasileiros. **Comunicado Técnico**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente. 5p. 2004.

GOOGLE EARTH. Foto aérea. 2008.

GROSSI, M.G.L. **Avaliação da qualidade dos produtos obtidos de usina de compostagem brasileira de lixo doméstico através da determinação de metais pesados e substâncias orgânicas tóxicas**. Tese (Doutorado). 1993. Universidade de São Paulo, SP.

HOGG, D.; BARTH, J.; FAVOINO, E.; CENTEMERO, M.; CAIMI, V.; AMLINGER, F.; DEVLIEGHER, W.; BRINTON, W.; ANTLER, S. Comparasion of compost standards within the EU, North America and Australia. Oxon, **The Waste and Resources Action Programme-WRAP**, 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. 2002. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2000. Rio de Janeiro: 2002. 397 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 11262-1. Soil quality: effects of pollutants on earthworms (*Eisenis fetida*)**. Part 2: Determination of acute toxicity using soil substrate. Genebra: ISO. 1993.

_____. **ISO 11262-2. Soil quality: effects of pollutants on earthworms (*Eisenia fetida*)**. Part 1: Determination of effects on reproduction. Genebra: ISO. 1993.

_____. **ISO 11262-1. Soil quality: effects of pollutants on earthworms (*Eisenis fetida*)**. Part 2: Determination of acute toxicity using soil substrate. Genebra: ISO. 1993.

_____. **ISO 11262-2. Soil quality: effects of pollutants on earthworms (*Eisenia fetida*)**. Part 1: Determination of effects on reproduction. Genebra: ISO. 1993.

_____. **ISO 15799. Draft International Standard. Soil quality:** guidance on the ecotoxicological characterization of soils and soils materials. Genebra: ISO. 2001. 30p.

_____. **ISO/DIS 17512-1- Soil Quality** – Avoidance test for testing quality of soils and effects of chemicals on behavior – Part 1: Test with earthworms (*Eisenia foetida* and *Eisenia Andrei*). 2005

KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. São Paulo: Agronômica Ceres. 492 p., 1985.

KIEHL, E.J. **Manual de Compostagem:** Maturação e Qualidade do Composto. 4ª ed. Piracicaba, SP. 173 p., 2004.

KLAR, A.E. **A água no sistema solo–planta–atmosfera**. 2.ed. São Paulo: Nobel, 1988. 408p.

KRANERT, M.; BEHNSEN, A. Managing organic residuals in Europe. **Biocycle** p.67-70, Ago. 2001.

KUBO, M.M. **FMMG: Um Framework para jogos multiplayer móveis**. Tese (Doutorado). 2006. Programa de Pós-Graduação em Engenharia. Escola Politécnica. Universidade de São Paulo. São Paulo.

LIMA, N.C.; NUNES, M. E. T.; ESPÍNDOLA, E. L. G. Assessment of chromium and chlorpyrifos effects on *Eisenia foetida* (Annelida, Oligochaeta) through avoidance and acute toxicity tests. In: VIII Congresso Latinoamericano "Ecotoxicología y Desarrollo Sostenible", 2007, Montevideo. **Anais**, 2007. p. 71-71.

LOPEZ-REAL, J.M. Agroindustrial waste composting and its agricultural significance. **Proceedings of the Fertilizer Society**, n. 293, p. 1-26, 1990.

LUPATINI, G. **Desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão em escolha de áreas para aterro sanitário**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.

MAC DONALD, M. Solid Waste Management models: a state of the art review. **Journal of solid waste technology and management**, v. 23, n.2, p.73-83, 1996.

MAGERA, M. **VERDES – Viabilidade Econômica de Reciclagem dos Resíduos Sólidos**. 2007. Software Livre. Versão 1.4. Disponível em: < <http://www.reciclaveis.com.br/suprim/verdes/>>. Acesso em: 10 de janeiro de 2008.

MANTOVANI, J.R.; FERREIRA, M. E.; CRUZ, M.C.P; BARBOSA, J.C. Alterações nos atributos de fertilidade em solo adubado com composto de lixo urbano. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 29, p. 817-824, 2005.

MASSUKADO, L.M. **Sistema de Apoio à Decisão: Avaliando cenários de gestão integrada de resíduos sólidos urbanos domiciliares**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP.

MELO, W.J.; MARQUES, M.O.; MELO, V.P.; CINTRA, A.A.D. Uso de resíduos em hortaliças e impacto ambiental. **Horticultura Brasileira**, v.18, p. 67-82, 2000. Suplemento.

MERILLOT, J.M. Perspectives and state of the art of composting in France. In: Marco de Bertoldi, Paolo Sequi, Bert Lemmes, Tiziano Papi. **Science of Composting** Part 2. 1ª edição. England: Chapman & Hall (Edit), 1996, p. 648 – 690.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Instrução Normativa nº 23** - aprova as definições e normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos Fertilizantes Orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e

biofertilizantes destinados à Agricultura. 2005. Disponível em:

[http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-](http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/consultarLegislacao.do?operacao=visualizar&id=13025)

consulta/consultarLegislacao.do?operacao=visualizar&id=13025. Acesso em: nov de 2006

MONTEIRO, R. T. R.; FRIGHETTO, R. T. S. Determinação da umidade, pH e capacidade de retenção de água do solo. In: FRIGHETTO, R. T. S.; VALARINI, P. J. **Indicadores biológicos e bioquímicos da qualidade do solo**: manual técnico. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente. p.37- 40. 2000.

MOREIRA, R.; SOUSA, J.P.; CANHOTO, C. Biological Testing of a digested sewage sludge and derived composts. **Bioresource Technology** (2008), doi: 10.1016/j.biortech.2008.02.046

MORRISEY, A.J.; BROWNE, J. Waste Management models and their application to sustainable waste management. **Waste Management**, v.24, p. 297-308, 2004.

NEWMAN, D. Organic Waste Treatment in Italy, a European Leader. In: ISWA – Hacia un Sistema Integral de Residuos Solidos Urbanos, 2005, Buenos Aires, Argentina. 2005. **Anais CD...** Buenos Aires: 2005.

NOGUEIRA, A.R.A., SOUZA, G.B. **Manual de Laboratório: Solo, água, nutrição vegetal, nutrição animal e alimentos**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2005. 313p.

NUNES, M. E. T. ; LIMA, N. C. ; ESPÍNDOLA, E. L. G. Characterization of agricultural activities of Bom Repouso (MG) and their ecotoxicological effects assessment using tests with *Eisenia foetida* (Annelida, Oligochaeta). In: XVII SETAC Europe Annual Meeting, 2007, Porto, Portugal. Abstract Book, 2007.

O'BRIEN, J. A. Sistemas de informação para apoio à decisão gerencial. In: _____. **Sistemas de informação e as decisões gerenciais na era da Internet**. São Paulo: Ed. Saraiva, 2001. p. 246 – 258.

OBENG, L.A.; WRIGHT, F.W. The co-composting of domestic solid and human wastes. **W Bank Techn Paper**. N. 57, 102 p., 1987.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). **Guideline for Testing of Chemicals n. 207**: Earthworm Acute Toxicity Test. Paris: OECD. 1984.

_____. **Guideline for Testing of Chemicals n. 207**: Earthworm Acute Toxicity Test. Paris: OECD. 1984.

OLIVEIRA, F. C. **Disposição de “resíduo orgânico” e composto de lixo urbano num Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar**. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2000. 247p. (Tese de Doutorado).

OLIVEIRA, F.C.; MATTIAZZO, M.E.; MARCIANO, C.R.; ABREU JR.; C.H. Alterações em atributos químicos de um Latossolo pela aplicação de composto de lixo urbano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. V.37, n.4, p. 529-538, 2002.

OLIVEIRA, S.C. **Estudos sobre métodos de compostagem de resíduos sólidos domésticos: grau de maturação e qualidade do composto**. 2001. Tese (Doutorado em Química). Universidade Estadual Paulista, Campus Araraquara, SP.

PARCHEN, C.A.P. **Condução, monitoração e avaliação do processo de compostagem natural de lixo urbano**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS.

PARR, J.F.; PAPENDICK, R.I. Strategies for improving soil productivity in developing countries with organic wastes. In: **Fourth International Conference of the International Federation of Organic Agriculture Movements**. 1982. Cambridge, Mass.

PAUL, J.G.; FLORA, R.J.; BUQUIRAN, M.; PALMA, J.D.; CADIZ, L. Composting as a suited tool to enhance waste management in rural areas in the Philippines. **Proceedings Sardinia 2007**. Eleventh International Waste Management and Landfill Symposium. S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy. 2007

PAVAN, W. **Técnicas de engenharia de software aplicadas à modelagem e simulação de doenças de plantas**. Tese (Doutorado). 2007. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária. Universidade de Passo Fundo. Rio Grande do Sul.

PEREIRA NETO, J.T. SILVA, C.A.B.; LELIS, M. P. N. Reciclon 2.0: uma avaliação financeira sobre a implantação de unidades de triagem e compostagem de resíduos sólidos urbanos. **Anais**. In: 21º Congresso Brasileiro de engenharia Sanitária e Ambiental. João Pessoa: ABES. 2001.

PESSIN, N.; FERNANDES, F.; PANAROTTO, C.T.; FINOTTI, A.R.; SCHNEIDER, V.E.; SILVA, S.M.C.P.; HOSSAKA, A.L.; TELH, M. Métodos de transformação e aproveitamento da fração orgânica: minimização da quantidade de resíduos dispostos em aterro. In: CASTILHOS JR, A.B. **Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos com ênfase na proteção dos corpos d'água: prevenção, geração e tratamento de lixiviados de aterros sanitários**. Rio de Janeiro, ABES, PROSAB. 2006. p. 17-64.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS. Secretaria Municipal de Desenvolvimento Sustentável, Ciência e Tecnologia. Informações de custos do sistema de resíduos sólidos domiciliares. Contato pessoal. Jan/2007.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO – PNUD. Índice de Desenvolvimento Humano – Municipal 2000. Disponível em: [http://www.pnud.org.br/atlas/ranking/IDH-M%2091%2000%20Ranking%20decrecente%20\(pelos%20dados%20de%202000\).htm](http://www.pnud.org.br/atlas/ranking/IDH-M%2091%2000%20Ranking%20decrecente%20(pelos%20dados%20de%202000).htm). Acesso em: 20 novembro de 2007.

REIS, C.R. **Caracterização de um processo de software para projetos de software livre**. Dissertação (mestrado). 2003. Programa de pós-graduação em Engenharia de Produção. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, SP. 158 p.

REIS, M.F.P. **Avaliação do processo de compostagem de resíduos sólidos urbanos**. Tese (Doutorado). 2005. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS.

REZENDE, F.A. **Aceleração do processo de compostagem de resíduos sólidos: avaliação de fertilizante obtido em uma usina de compostagem no litoral norte da Bahia**. Dissertação (Mestrado). 2005. Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Meio Ambiente. Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia. Salvador, BA.

RODELLA, A.A.; ALCARDE, J.C. Avaliação de materiais orgânicos empregados com fertilizantes **Scientia Agrícola**, v 51(3), 556-563, 1994, Piracicaba, SP

RODRIGUES, M.S. Resíduos orgânicos como matéria prima para compostagem. **Anais**. I SICOM – Simpósio sobre compostagem. Botucatu, SP. 2004.

RÖMBKE, J.; KNACKER, T. Standardisation of terrestrial ecotoxicological effect methods: an example of successful international co-operation. **J. Soils & Sediments**, v. 3, n. 4, p. 237-238, 2003.

ROTHENBERGER, S.; ZURBRÜGG, C.; ENAYETULLAH, I.; SINHA, A.H.M.M. **Decentralized Composting for cities of low-and Middle- Income Countries** – A users' Manual. Publisher: Waste Concern; Bangladesh and Switzwerland. 2006. 109 p.

SALEH, A.M. **Adoção de Tecnologia: um estudo sobre o uso de software livre nas empresa.** Dissertação (Mestrado). 2004. Departamento de Administração da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade. Universidade de São Paulo. São Paulo, SP. 148 p.

SAVAGE, G.M. The importance of waste characteristics and processing in the production of quality compost. In: Marco de Bertoldi, Paolo Sequi, Bert Lemmes, Tiziano Papi. **Science of composting.** Part 2. 1ª edition. England: Chapman & Hall (edit), 1996. pp. 784-791.

SCREMIN, L. B. **Desenvolvimento de um sistema de apoio ao gerenciamento de resíduos de construção e demolição para municípios de pequeno porte.** Dissertação (Mestrado). 2007. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC.

SENESE N. Composted materials as organic fertilizers. **The Science of the Total Environment.** p. 521-542, 1989.

SHARMA, V. K.; CANDITELLI, M.; FORTUNA, F.; CORNACCHIA. Processing of Urban and Agro-industrial residues by aerobic composting: Review. **Energy conservation and management.** 1997. v.38, n.5, p.453-478.

SHEPERD JR., M.W. The microbiological analysis of composting. Thesis (Master of Science Microbiology). School of Clemson University. 2007. United States of America.

SILVA, F.C.; BERTON, R.S.; CHITOLINA, J.C; BALESTEIRO, S.D. Agropecuária: Uso agrícola do composto de lixo no Estado de São Paulo: recomendações técnicas. Campinas, MAPA, EMBRAPA, 2002. (Circular Técnica da Embrapa Informática Agropecuária)

SILVA, F.C.; COSTA, F.O., ZUTIN, R., RODRIGUES, L.H; BERTON, S.B.; SILVA, A.E.A. **Sistema Especialista para aplicação do composto de lixo urbano na agricultura.** Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2002. Disponível em: <http://www.cnptia.embrapa.br/files/doc22.pdf> Acesso em: 04 de março de 2008.

SIMONETTO, E.O. **Sistema de Apoio à Decisão aplicado ao Planejamento Operacional da Coleta Seletiva de Resíduos Sólidos.** Tese (Doutorado). 2004. Programa de Pós-Graduação em Administração. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS.

SISINNO, C.L.S.; BULUS, M.R.M.; RIZZO, A.C.; MOREIRA, J.C. Ensaio de comportamento com minhocas (*Eisenia fétida*) para avaliação de áreas contaminadas: resultados preliminares para contaminação por Hidrocarbonetos. **J. Braz. Soc. Ecotoxicol.**, v1, n.2, 2006, p. 137-140.

SISTEMA ESTADUAL DE DADOS – SEADE. Perfil municipal. Disponível em <http://www.seade.gov.br/produtos/perfil/perfil.php>. Acessado em: 10 de janeiro de 2008.

SLATER, R.A.; FREDERICKSON, J. Composting Municipal Waste in UK: some lessons from Europe, **Resources, Conservation and Recycling.** Reino Unido, v. 32, p. 359-374.

STAKOFSKY, A. Municipal solid waste composting developments in the US. In: **Biocycle.** p.58-64, Dez. 2001.

SUNDBERG, C., S. SMÄRS AND H. JONSSON. 2004. Low pH as an inhibiting factor in the transition from mesophilic to thermophilic phase in composting. **Bioresource Technology.** 95: 145 – 150.

TOMÉ JR, J. B. **Manual para interpretação de análise de solo.** Guaíba: Agropecuária, 1997.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). 1994. **Composting of Yard Trimmings and Municipal Solid Waste**, EPA/530/R91-003, 151 p.

_____. **Test Methods for evaluating solid waste, Physical/Chemical Methods**. 3th ed. U.S Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste and Emergency Response. U.S. Government Printing Office: Washington, D.C. 1995.; SW-846.
<http://www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/test/main.htm>

VIOTTI, P.; PELETTINI, A.;POMI, R.; INNOCETTI, C. Genetic Algoritihms as a promising tool for optimisation of the MSW collection routes. **Waste Management & Research**. 2003. v21, p.292-298.

WISARD - **Waste-Integrated Systems for Assessment of Recovery and Disposal**. Produced by Ecobilan. Disponível em: < http://www.ecobilan.com/uk_wisard.php>. Acesso em: 10 jan. 2008.

ZURBRÜGG, C.; DRESCHER, S.; RYTZ, I.; ENAYETULLAH, I. Decentralised composting in Dhaka, Bangladesh – Production of compost and its marketing. **Anais**. In. ISWA 2002 Annual Congress, Istanbul, 2002.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Sistematização de experiências em compostagem descentralizada

Nome	Localização	Natureza	Início	Coleta	Tipo de Res	Processo de compostagem	funcionários	Capacidade de tratamento (t/d)	Custo de implantação (US\$/t)	Custo de operação (US\$/t)	Produção de composto (kg/d)	Venda coposto (US\$/t)	Consumidores
Planta de Compostagem Luz Verde	Província de Val Paraíso, Chile	Privado	2000	S	Estерco bovino e resíduos de mercado	Leiras manual	11	1,1 a 5	1895574,00	SI	SI	SI	fazendeiros, lojas de jardinagem
Planta de Compostagem Bailey Road	Dhaka, Bangladesh	Privado e comunidade	1999	S	RSD com separacao na fonte	Leiras manual	2	0,1 a 1	3240,00	SI	100 a 150	41,48	Empresa privada local de fertilizantes
Planta de Compostagem Dholpur	Dhaka, Bangladesh	ONG	2000	S	RSD com separacao na fonte	Leiras manual	6	1,1 a 5	14259,63	SI	400 a 500		Empresa privada local de fertilizantes
Planta de Compostagem Green Road	Dhaka, Bangladesh	Parceria Público Privada	2000	S	RSD com separacao na fonte	Compostagem manual em box	6	1,1 a 5	6996,18	SI	250 a 300	41,48	Empresa privada local de fertilizantes
Centro de Ecologia e Energia	Tuzla, Bosnia e Herzegovina	Privado e comunidade	2004	S	Gramma, resíduos de Ong's, escolas	Compostagem manual em box	2	0,1 a 1	1295,55	SI	SI	não vende	SI
Planta de Compostagem de La Pintana	Santiago, Chile	Municipal	2002	S	resíduos de poda e resíduos orgânicos de mercados	Leiras manual	4	1,1 a 5	1047,43	SI	15000	não vende.	O composto é utilizado pela municipalidade
Comunidade Água do Norte	Provincia de Maipo, Chile	Municipal	1999	S	resíduos da agroindústria, lodo de esgoto e poda	Leiras mecanizadas	2	SI	959,50	SI	SI	SI	é vendido para pequenos fazendeiros
Reciclagem Industrial AS	Santiago, Chile	Privado	1993	S	SI	Leiras mecanizadas	8	11 a 50	1681069,00	SI	15000	SI	fazendeiros, lojas de jardinagem
Planta de Co-Compostagem Sandec Duobai	Gana, África		2002	S	RSD e lodo de esgoto	Leiras manual	5	0,1 a 1	12931,30	SI	SI	não é vendido	fazendeiros rural e urbano

Nome	Localização	Natureza	Início	Coleta	Tipo de Res	Processo de compostagem	funcionários	Capacidade de tratamento (t/d)	Custo de implantação (US\$/t)	Custo de operação (US\$/t)	Produção de composto (kg/d)	Venda coposto (US\$/t)	Consumidores
Instituto de Gestão de Resíduos	Guinéa, África	município e comunidade	2005	S	Resíduos de mercado e poda	SI	SI	0,1 a 1	SI	SI	SI	SI	Agricultura peri-urbana
Iniciativa dos Moradores de Pammal	Chennai, Índia	Privado e comunidade		M	RSD	vermicompostagem	3	0,1 a 1	258,63	SI	0,025	219,73	residências e organizações com jardim
Orichd Ecotel Mumbai	Mumbai, Índia	Privado	2000	S	SI	vermicompostagem	2	0,1 a 1	2068,1	SI	10	não vende	é utilizado no próprio hotel
Organizacao residencial Kalyan Nagar	Karnataka, Índia	Comunidade e ONG	1988	S	RSD	Compostagem manual em box	31	0,1 a 1	19156,82	SI	0,015	129,44	residências e organizações com jardim
Esquema de compostagem Colônia Sindh	Pune, Índia	Privado e comunidade	2000	M	RSD	vermicompostagem	7	0,1 a 1 ⁶	1423,82	SI	30	107,43	residentes da colônia e vizinhança
Iniciativa Residencial Sandu Lane	Mumbai, Índia	Privado e comunidade		S	RSD	Compostagem manual em box	4	0,1 a 1	273,78	SI		286,81	residentes do bairro
SHOW	Bangalore, Índia	Privado e comunidade	1999	S	RSD	Compostagem manual em box	3	0,1 a 1	2085,89	SI	0,005	177,3	residentes do bairro
Planta de Co-compostagem ACTS	Bangalore, Índia	ONG	2001	S	RSD + esgoto	Compostagem manual em box	4	0,1 a 1	SI	SI	SI	SI	SI
Comunidade de Compostagem Kriens	Kriens, Suíça	Municipal	SI	S	RSD	Compostagem manual em box	2	SI	1955,52	SI	10	SI	composto é doado para a comunidade
Planta Municipal Local	Balangoda, Sri Lanka	Municipal	2000	S	RSD	Compostagem mecanizada em leiras	8	5 a 10	23975,82	SI	700	80	Floricultura

Nome	Localização	Natureza	Início	Coleta	Tipo de Res	Processo de compostagem	funcionários	Capacidade de tratamento (t/d)	Custo de implantação (US\$/t)	Custo de operação (US\$/t)	Produção de composto (kg/d)	Venda copomposto (US\$/t)	Consumidores
Fundacao Artacharya em Galle	Mount Lavinia, Sri Lanka	ONG	1996	SI	RSD - separado na fonte	Compostagem em quintal	SI	SI	SI	SI	100 a 150	194,4	uso próprio e jardins de escola
Universidade de Peradeniya	Provincia Central, Sri Lanka	SI	SI	M	SI	SI	10	5 a 10	93311,28	SI	1200 a 1500	38,88	Não é usado na agricultura por conter contaminantes proprios moradores e floristas
Projeto Madapatha	Boralesgamuwa , Sri Lanka	ONG	1998	S	Resíduo de mercados	Compostagem manual em leiras	2	0,1 a 1	SI	SI	700	90 a 200	
Centro Sarupohora	Wagawatte, Sri Lanka	ONG	SI	M	RSD	Compostagem manual em leiras	12	5 a 10	77759,4	SI	800	77,76	Plantacao de chá, viveiros e fazendeiros
Planta de Compostagem	Bais City/Negros Oriental, Filipinas	Municipal	2001	S	Resíduos castanhos	vermicompostagem	SI	1,1 a 3	SI	SI	100	59,61	fazendeiros, moradores, floristas
Comunidade urbana de Moramanga	Moramanga, Madagascar	Municipal	2006	S	RSD e resíduos de mercado	compostagem manual em box	6	0,1 a 1	207,35	SI	30	SI	ainda está em estudo potenciais consumidores
Comunidade urbana de Moramanga	Moramanga, Madagascar	Municipal	2006	S	RSD e resíduos de mercado	compostagem manual em box	6	0,1 a 1	207,35	SI	30	SI	ainda está em estudo potenciais consumidores
Projeto de reciclagem de resíduos	Gianyar, Indonésia	ONG	2004	M	SI	compostagem manual de leiras	27	1,1 a 5	112.751,13	SI	1500	36,29	empresas de fertilizantes, agricultura rural, viveiros e horticultura

Nome	Localização	Natureza	Início	Coleta	Tipo de Res	Processo de compostagem	funcionários	Capacidade de tratamento (t/d)	Custo de implantação (US\$/t)	Custo de operação (US\$/t)	Produção de composto (kg/d)	Venda coposto (US\$/t)	Consumidores
Residentes de Diamond Garden	Mumbai, Índia	Privado + comunidade	1999	M	SI	Compostagem manual em leiras	2	0,1 a 1	142,56	SI	12	215,13	composto é dado para os moradores. Vendedores de produtos de jardinagem
Estação internacional Vermigold	Mumbai, Índia	privado	2002	S	Resíduos de mercado	vermicompostagem	9	1,1 a 5	1167,12	SI	SI	não vende	o composto é doado
Iniciativa da vizinhança Shyam Nagar	Mumbai, Índia	Privado + comunidade	2000	S	SI	Pit composting	1	0,1 a 1	SI	SI	3	não vende	doa para os moradores participantes e uso em áreas verdes
Pátio de Compostagem	São Carlos, SP	Pesquisa	2005*	S	RSD separados na fonte	Leiras revolvidas manualmente	1	0,1	4.000,00	SI	16	Não vende	Comunidade e escola
Horta Municipal	São Carlos, SP	Municipal	2006	S	Resíduos de restaurantes, varejões, mercados	Leiras revolvidas	2	1 a 2	SI	42,00*	SI	Não vende	Utilizado na horta

* encerrado em 2008

** só coleta

SI: sem informação

Fonte: Adaptado de Sandec – Departamento de Água e Saneamento em países em desenvolvimento do Instituto Federal Suíço de Ciências Aquáticas e Tecnologia (<http://sandec.instanthost.ch>).

APÊNDICE B – Conjunto de planilhas e materiais informativos utilizados no Pátio de Compostagem

Planilha de controle da montagem da leira

LEIRA 01
Data	Peso (kg)			Compostável	
	Compostável	Reciclável	Rejeito	Volume (l)	Densidade (kg/m³)
Total					
Descrição					
Material Compostável					
Reciclável					
Rejeito					

Placa utilizada para identificação da leira

<p>LEIRA 01</p> <p>Início: 03/12/2007</p> <p>Peso: 376,35 kg Volume: 920 l</p> <p>Densidade: 409,08 kg/m³</p> <p>MC: 96,8 % peso e 77,2% vol</p> <p>Folha seca : 3,2 % e 22,8 %vol</p>
--

Planilha de controle de temperatura

<div style="text-align: center;"> PÁTIO DE COMPOSTAGEM FICHA DE ACOMPANHAMENTO DE TEMPERATURA </div>
Data	Hora	umidade	Leira 01		Leira 02		Leira 03		Leira 04	
			Temp	Rega	Temp	Rega	Temp	Rega	Temp	Rega
1/jun										
2/jun										
3/jun										
4/jun										
5/jun										
6/jun										
7/jun										
8/jun										
9/jun										
10/jun										
11/jun										
12/jun										
13/jun										
14/jun										
15/jun										
16/jun										
17/jun										
18/jun										
19/jun										
20/jun										
21/jun										
22/jun										
23/jun										
24/jun										
25/jun										
26/jun										
27/jun										
28/jun										
29/jun										
30/jun										

]Etiqueta utilizada para identificar a amostra para ser analisada

<div style="text-align: center;"> Pátio de Compostagem </div>
Responsável:	
Identificação:	
Data de coleta:	
Composição:	
Tempo de compostagem:	

Folders distribuídos à população com orientações sobre a separação do resíduo

O que é?

"ABC da Compostagem" é um projeto criado pelo CDCC/USP para ajudar o município a cuidar dos resíduos que são produzidos.

Por quê?

A Prefeitura Municipal de São Carlos, por meio das cooperativas de catadores, faz a coleta seletiva dos resíduos recicláveis.

Mas e o restante dos resíduos que são produzidos em nossas casas, para onde vão? Se você respondeu "para o aterro sanitário municipal" você acertou!

Agora PENSE BEM...

Será que todo o restante dos resíduos que não são coletados pelas cooperativas deveriam estar indo ao aterro sanitário? Não, pois nós podemos também separar parte destes resíduos que são os Materiais Compostáveis.

Desta forma estaremos contribuindo ainda mais para diminuir o volume de resíduos do aterro! Além de que, a compostagem destes materiais gera um tipo de adubo que pode ser utilizado em suas hortas e jardins.

Você é muito importante

Você e seus familiares serão pessoas importantes para o sucesso desse projeto, pois será por meio da sua participação que poderemos propor ao município uma nova forma de cuidar dos resíduos.

Participe

Separe e coloque o material compostável (aquilo que pode virar adubo) nas sacolas que serão cedidas pelo projeto.

Ao lado está o modelo da sacola que você irá receber.

Caso seu material compostável não caiba nesta sacola, utilize uma sacola comum e amarre junto com a que você recebeu.

Dias de coleta

A coleta será realizada nos mesmos dias e horários da coleta pública municipal, ou seja, segundas, quartas e sextas feiras pela manhã.

Você deve colocar a sacola com o material compostável no mesmo dia e horário que você deixa o seu resíduo na rua.

Sugestões & Dúvidas

Você pode dar sugestões e tirar suas dúvidas conversando com os agentes do projeto no CDCC/USP. (Contato Luciana Hein)

Telefone: 3373-9772

E-mail: rsd@cdcc.sc.usp.br

O que são os resíduos sólidos domiciliares?

São materiais que não conseguimos dar utilidade em nossas casas e jogamos fora.

Por que cuidar dos resíduos?

Se os resíduos não forem encaminhados para locais adequados, podem causar problemas como a dengue, poluição da água, do solo etc. .

O Projeto ABC da Compostagem

Busca alternativas para diminuir os problemas causados pelos resíduos sólidos domiciliares.

A SUA FAMÍLIA PARTICIPA DO PROJETO

O que fazer?

Para cada material há um destino diferente.

Os recicláveis que são: vidro, papel, plástico e metal devem ser entregues para a coleta seletiva ou catadores.

Os compostáveis que são os restos de alimentos e podas devem ser colocados na sacola laranja e deixados para o agente coletor do projeto.

Os rejeitos, ou seja, aqueles que não são recolhidos por catadores, coleta seletiva ou para compostagem devem ser colocados no saco de lixo que serão recolhidos pela coleta municipal.

Ligue os resíduos aos seus destinos

ABC da Compostagem

VISITE O PÁTIO!

Materiais Compostáveis

- Cascas de frutas e legumes
- Talos de verduras
- Restos de alimentos
- Casca de ovo
- Borra/Filtro de café
- Saquinho de chá
- Guardanapo de papel
- Papel toalha
- Folhas e flores
- Mato/ poda de jardim

O que continua indo para a coleta comum

- embalagens plásticas e tetra pak,
- Restos de medicamentos, sondas, agulhas, curativos
- Bombriil e esponja
- embalagem aluminizada
- pilhas e lâmpadas

Dias de coleta do material compostável

Todas 2ª, 4ª e 6ª feiras pela manhã

Dúvidas: Luciana Massukado e Paulo Ruffino (16) 3373-9772 e-mail: falecomalu@gmail.com

Realização: EESC Faculdade de Engenharia de São Carlos

Apoio Financeiro: FAPESP

Parcerias:

Conhecendo...

"ABC da Compostagem" é um projeto criado pelo CDCC/USP para ajudar o município a cuidar dos resíduos sólidos domiciliares que são produzidos.

Objetivos ...

Dar um destino adequado aos *Materiais Compostáveis*, transformando-os em composto – reduzindo assim a quantidade de material que chega ao aterro sanitário - já que a Prefeitura Municipal de São Carlos, através das cooperativas de catadores, realiza a coleta seletiva dos resíduos recicláveis.

O que são Materiais Compostáveis ?

São aqueles resíduos que se degradam facilmente por meios naturais.

Atrás deste folder você encontra alguns exemplos de materiais compostáveis.

Como funciona o Pátio de Compostagem

O composto pronto pode ser utilizado para o cultivo de alimentos e flores que, depois de consumidos, serão descartados novamente

Pelas manhãs, a equipe do Projeto ABC da Compostagem s passa coletando as sacolas.

Aqui no pátio, as sacolinhas com o material compostável são pesadas

Depois de 90 dias de revolvimento temos o composto pronto.

Tempo de Compostagem 60 a 90 dias

Os materiais compostáveis são depositados nas leiras, e revolvidos pelo Sr. Wilson.

A equipe faz a separação dos compostáveis, recicláveis e os rejeitos.

APÊNDICE C – Sistematização da composição gravimétrica de alguns municípios brasileiros

Município	Estado	Ano*	Composição gravimétrica em peso (%)						Fonte
			Papel/ Papeloão	Vidro	Plástico	Metal	Matéria Orgânica	Outros	
SUDESTE									
Belo Horizonte	MG	1993	13,50	2,32	6,50	2,70	69,80	5,18	Latorre citado por NUNESMAIA
Betim	MG	1996	15,64	1,05	10,20	3,73	55,33	14,05	RIBEIRO
Botucatu	SP	1997	7,61	1,99	8,41	3,86	74,11	4,02	OLIVEIRA, S.
Campinas	SP	1996	19,76	1,67	15,22	4,39	45,66	13,51	Prefeitura Municipal de Campinas
Catas Altas	MG	-----	8,00	2,00	14,00	2,00	51,00	23,00	Adaptado LANGE, SIMOES E FERREIRA
Itamogi	MG	2002	6,60	1,60	11,70	2,20	67,80	10,10	PELEGRINO
Jaboticabal	SP	2001	11,50	2,00	13,50	6,50	41,50	25,00	Prefeitura Municipal de Jaboticabal
Manhuaçu	MG	1992	12,28	3,96	5,99	3,65	68,89	5,23	Adaptado Pereira Neto citado por FEAM
Passos	MG	1996	11,80	1,80	10,50	2,00	69,00	4,00	SLU
Ponte Nova	MG	1992	13,46	1,96	6,06	2,22	71,04	5,26	Adaptado Pereira Neto citado por FEAM
Presidente Prudente	SP	2001	21,00	2,60	8,90	5,40	55,00	7,10	BORGES
Rio Claro	SP	1985	15,20	2,10	5,50	3,50	62,80	10,90	citado por GOMES e POVINELLI
Rio de Janeiro	RJ	2001	18,71	3,52	19,77	1,96	51,65	4,39	COMLURB
São Carlos	SP	1989	21,30	1,10	8,50	5,40	56,70	7,00	GOMES e POVINELLI
São Paulo	SP	1991	16,40	1,30	16,70	3,30	48,20	14,10	LIMBURB
São Sebastião	SP	-----	18,50	2,80	7,90	3,30	49,00	18,50	ALVES E BLAUTH
Timóteo	MG	1992	10,77	2,92	6,89	4,09	71,16	4,17	Adaptado Pereira Neto citado por FEAM
Ubá	MG	1992	12,67	2,50	5,04	5,26	67,50	7,03	Adaptado Pereira Neto citado por FEAM
Uberlândia	MG	2000	7,00	3,00	11,00	3,00	72,00	4,00	FEHR e CALÇADO
Viçosa	MG	1992	9,36	2,50	4,80	2,90	75,30	5,14	Adaptado Pereira Neto citado por FEAM
Vitória	ES	1996	19,12	2,69	11,77	3,25	53,10	10,07	MANZO
NORDESTE									
Aracaju	SE	1999	10,03	2,16	7,89	1,72	75,01	3,19	LEITE, F.S.S
Caicó	RN	2001	13,73	0,15	24,17	0,60	16,12	45,23	IDEMA
Camaçari	BA	2001	4,20	2,10	7,00	0,30	59,40	27,00	GORGATI et al.
Extremoz	RN	2001	8,72	1,26	6,14	2,34	65,48	16,06	IDEMA
Feira de Santana	BA	1990	11,01	0,88	6,68	2,53	66,95	11,95	Barrios citado por NUNESMAIA
Fortaleza	CE	1996	14,56	2,15	10,69	3,92	46,82	21,86	EMLURB
Itabuna	BA	1999	9,00	1,20	13,00	1,90	48,20	26,70	Aquino Consultores e Associados Ltda

Município	Estado	Ano*	Composição gravimétrica em peso (%)						Fonte
			Papel/ Papelão	Vidro	Plástico	Metal	Matéria Orgânica	Outros	
NORDESTE									
João Pessoa	PB	1998	4,36	0,89	9,06	1,89	63,95	19,85	FLORES NETO et al.
Jucurutu	RN	2001	6,93	11,88	7,92	1,00	15,84	56,43	IDEMA
Lençóis	BA	1993	1,98	1,48	4,95	1,28	61,86	28,45	Nunesmaia e Dias citado por NUNESMAIA
Macau	RN	2001	8,13	0,52	9,97	4,46	17,58	59,34	IDEMA
Mossoró	RN	2001	14,59	1,84	18,36	1,36	30,43	33,42	IDEMA
Natal	RN	2001	11,50	0,71	6,01	2,43	57,33	22,02	IDEMA
Parnamirim	RN	2001	9,87	0,81	4,68	1,84	69,19	13,61	IDEMA
Pau dos Ferros	RN	2001	16,88	0,00	8,13	0,63	40,00	34,36	IDEMA
Rio Formoso	PE	----	3,58	1,12	10,36	1,64	79,28	4,02	FERREIRA et al
Salvador	BA	2000	16,18	2,87	17,10	3,66	46,85	13,34	OLIVEIRA, A. M. V.
Santa Cruz	RN	2001	3,48	0,93	13,52	3,55	25,15	53,37	IDEMA
NORTE									
Manaus	AM	1997	18,94	2,18	8,62	4,31	58,69	7,26	ANDRADE E SCHALCH
CENTRO OESTE									
Campo Grande	MS	1985	19,00	3,00	6,00	3,00	62,00	18,00	CEPIS
SUL									
Bento Gonçalves	RS	2000	8,20	3,20	11,10	3,30	51,50	22,70	PESSIN, SCHNEIDER E PANAROTTO
Caxias do Sul	RS	2002	11,82	2,42	14,62	2,49	45,97	22,69	BIANCHI
Curitiba	PR	1998	8,62	1,25	12,35	3,23	67,05	7,50	DLU Curitiba
Florianópolis	SC	2002	14,61	4,10	15,18	3,37	45,10	17,64	ARRUDA
Maringá	PR	2001	17,65	3,12	17,65	5,01	52,15	8,59	BARROS JR e TAVARES
Porto Alegre	RS	2002	9,73	3,42	11,75	9,93	43,81	27,36	DMLU
Presidente Lucena	RS	----	11,00	1,50	8,00	1,50	45,00	33,00	Adaptado de GOMES et al
Rio Grande	RS	1997	19,03	3,66	9,51	6,58	51,24	9,98	Adaptado PMRG citado por OLIVIERA, A.S.D

* ano em que foi realizada a caracterização

ANEXO A - Planilha utilizada para ensaio de peneiramento do composto

EESC	DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA LABORATÓRIO DE GEOTECNIA	USP
PENEIRAMENTO DE MATERIAL GRANULAR - MB-32		
Material : _____	#	M _s (#____) g
Local : _____		P _r (#____) %
Saco : _____ Prof. : _____ m		ΣP _r (#____) %
Massa de sólidos : _____ (g)		P _p (#____) %
M _{s,0} = _____		
ΣM _s (#____) = _____		
ΔM _s = _____		
Vibrador : _____ Tempo : _____ min		
Data : _____ Operador : _____		
Obs : _____		
	Prato	

PENEIRAS (ABNT : EB - 22)

0	200	140	100	70	50	40	30	20	16	12	8	6	4	6,8	9,5	13,5	19	27	38	54	76	100
10																						90
20																						80
30																						70
40																						60
50																						50
60																						40
70																						30
80																						20
90																						10
100																						0

ΣP_r

7 8 9 0,1 2 3 4 5 6 7 8 9 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

P_p

100 90 80 70 60 50 40 30 20 10 0

TAMANHO DAS PARTÍCULAS (mm)

NBR 6502/95

AREIA			PEDREGULHO		
FINA	MÉDIA	GROSSA	FINO	MÉDIO	GROSSO

Classificação : _____

D (10) = _____ D (30) = _____ D (60) = _____ C_u = _____ C_c = _____

SGS - LAB 004 / 95