

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM ÁREA DE PROTEÇÃO AOS
MANANCIAIS - MUNICÍPIO DE SÃO LOURENÇO DA SERRA - SP:
COMPOSTAGEM E IMPACTO AMBIENTAL**

CLÁUDIA QUEIROZ GORGATI

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP – Câmpus de
Botucatu, para obtenção do título de
Doutor em Agronomia – Área de Con-
centração em Energia na Agricultura.

BOTUCATU-SP
Fevereiro – 2001

“Se podes olhar, vê.

Se podes ver, repara”

Jose Saramago (Ensaio sobre a cegueira)

Ao meu pai Orlando,

aos meus irmãos Rita, Andréa e Roberto,

ao Henrique,

por me ensinarem o real valor das coisas.

DEDICO

Agradecimento

À Prefeitura de São Lourenço da Serra – SP na pessoa do Prefeito Lener do Nascimento Ribeiro, pela grande colaboração na execução do experimento, possibilitando o desenvolvimento de procedimentos práticos na resolução de problemas específicos.

Espera-se com os resultados retribuir-se o interesse e boa vontade demonstrados pela Administração.

Obrigada

Agradecimentos

Ao Prof. Dr. Jorge de Lucas Júnior, pela dedicação como orientador e amigo.

Aos Professores Mário Benincasa, Antenor Pasqual, Ademércio Paccolla e João Antonio Galbiatti pelas contribuições na banca.

Ao Prof. Dr. Luiz Carlos Pavani pela amizade e carinho.

Ao Conselho do Curso Energia na Agricultura pela oportunidade.

À Capes pela concessão da bolsa.

Aos funcionários da Prefeitura de São Lourenço da Serra pela grande ajuda.

A todos os funcionários do Depto. de Engenharia Rural da FCAV - Jaboticabal.

À Teresa Tarlé Pissarra e Maria Benincasa pela atenção na elaboração do sumary.

Ao Carlos, à Carol, Giane, Silvia e Zilá, pelas conquistas do dia - a - dia.

A todos que de alguma maneira colaboraram para a realização desse trabalho.

SUMÁRIO

	Página
1 RESUMO.....	01
2 SUMMARY.....	03
3 INTRODUÇÃO.....	05
4 REVISÃO DE LITERATURA.....	08
4.1 Compostagem.....	11
4.2 Legislação.....	19
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	22
5.1 O município de São Lourenço da Serra.....	23
5.2 Definição do experimento.....	24
5.3 Caracterização física do lixo.....	25
5.4 Área experimental.....	25
5.5 Coleta do lixo para confecção das leiras.....	26
5.6 Compostagem.....	26
5.6.1 Confecção das leiras.....	26
5.6.2 Condução das leiras.....	27
5.6.2.1 Coleta de amostras.....	28
5.6.3 Processamento das leiras.....	28
5.7 Medição de chuva.....	29
5.8 Determinações efetuadas.....	29
5.8.1 Características químicas do lixo enleirado e do composto.....	29
5.8.2 Análise do chorume coletado.....	31
5.8.2.1 Produção de chorume durante o processo de compostagem.....	31
5.8.2.2 Características químicas do chorume.....	32
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
6.1 Caracterização física do lixo.....	34
6.2 Compostagem.....	35
6.2.1 Condução das leiras.....	36

	Página
6.2.1.1 Acompanhamento da temperatura.....	36
6.2.1.2 Volume do material enleirado.....	42
6.2.2 Processamento das leiras.....	47
6.2.3 Características químicas do lixo enleirado e do composto.....	48
6.3 Análise do chorume.....	56
6.3.1 Produção de chorume durante o processo de compostagem.....	56
6.3.2 Características químicas do chorume coletado.....	62
7 CONCLUSÕES.....	68
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71

LISTA DE QUADROS

Quadro	Página
1 Quantidade de fração orgânica de lixo urbano, utilizada na montagem das leiras, nas quatro estações do ano (kg).....	27
2 Componentes do lixo urbano domiciliar de São Lourenço da Serra – SP, em por estação do ano, e projeção média diária de cada componente, por dia. (%) (kg/dia).....	35
3 Temperaturas médias semanais, temperaturas máximas obtidas durante o processo de compostagem, e os dias em que ocorreram as máximas. (°C).....	37
4 Redução do volume das leiras de compostagem ao longo do processo, nas estações do ano, para as leiras descobertas e cobertas. (m ³)	42
5 Redução do volume e área ocupada das leiras durante treze semanas (m ²).....	46
6 Peso e umidade, inicial e final, do lixo enleirado e do composto nas as quatro estações do ano, para as leiras descobertas e cobertas (kg) (%).....	47
7 Rendimento de composto das leiras conduzidas, nas quatro estações do ano (%).....	48
8 Teores de N, C, MOC, MOR , ST, SV e C/N do lixo enleirado e do composto para as quatro estações do ano para as leiras descobertas e cobertas (%) (g)	50
9 Teores médios de C nos três tratamentos, lixo, leira descoberta e leira coberta, nas quatro estações do ano, para as leiras descobertas e cobertas (%).....	50
10 Teores médios de N nos três tratamentos, lixo, leira descoberta e leira coberta, nas quatro estações do ano, para as leiras descobertas e cobertas (%).....	51
11 Teores médios de P nos três tratamentos, lixo, leira descoberta e leira coberta, nas quatro estações do ano, para as leiras descobertas e cobertas (%).....	52

Quadro	Página
12 Teores de macro nutrientes e micronutrientes, do lixo enleirado e do composto para as quatro estações do ano, nas leiras descobertas e cobertas (%) (mg/kg).....	54
13 Teores de Cu, Pb e Cr no lixo enleirado e no composto para as quatro estações do ano para as leiras descobertas e cobertas (mg/kg).....	55
14 Volume de chuva que incidiu sobre a área de compostagem das leiras, e volume de chorume, produzido durante o processo nas quatro estações do ano, nas leiras descobertas e cobertas (Litro).....	57
15 Quantidade da água adicionada às leiras cobertas, quantidade de chuva que incidiu sobre a área de compostagem, volume de chorume produzido durante o processo, e teores de ST, SV, DQO e DBO nas amostras coletadas, nas quatro estações do ano, nas leiras descobertas e cobertas (Litro) (mg/Litro).....	62
16 Teores de macro nutrientes e micronutrientes, do chorume produzido durante o processo para as quatro estações do ano, nas leiras descobertas e cobertas (%) (mg/kg)....	65
17 Teores de Cu, Pb e Cr no lixo enleirado e no composto para as quatro estações do ano para as leiras descobertas e cobertas (mg/kg).....	66

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1 Temperatura diária nas quatro estações do ano das leiras descobertas (Dias).....	38
2 Temperaturas diárias nas quatro estações do ano das leiras cobertas (Dias)	39
3 Temperaturas médias semanais nos ensaios de primavera (a), verão (b), outono (c) e inverno (d), das leiras descobertas e cobertas ($^{\circ}\text{C}$).....	41
4 Redução do volume nas quatro estações do ano das leiras descobertas (m^3).....	43
5 Redução do volume nas quatro estações do ano das leiras cobertas (m^3)	43
6 Redução média anual do volume das leiras descobertas e cobertas, e equações polinomiais obtidas (m^3).....	43
7 Teores médios de C, nos três tratamentos, para as quatro estações do ano (%).....	51
8 Volume acumulado de chuva sobre a área de compostagem e chorume produzido nas quatro estações do ano para as leiras descobertas e cobertas (Litro).....	59
9 Linha de tendência, equação da reta e valor de R^2 entre o volume de chuva incidente sobre a área da leira e o volume de chorume produzido no ensaio de Primavera (Litro)....	60
10 Linha de tendência, equação da reta e valor de R^2 entre o volume de chuva incidente sobre a área da leira e o volume de chorume produzido no ensaio de Verão (Litro).....	61
11 Linha de tendência, equação da reta e valor de R^2 entre o volume de chuva incidente sobre a área da leira e o volume de chorume produzido no ensaio de Outono (Litro).....	61
12 Linha de tendência, equação da reta e valor de R^2 entre o volume de chuva incidente sobre a área da leira e o volume de chorume produzido no ensaio de Inverno (Litro).....	61

1 RESUMO

O estudo foi realizado no Município de São Lourenço da Serra – SP, localizado à 55km da capital do Estado de São Paulo, pertencendo a Região Metropolitana de São Paulo - RMSP.

O experimento foi desenvolvido em duas fases, primeiro realizou-se a caracterização física do lixo municipal, para em um segundo momento coletar o material que seria a matéria –prima para a compostagem, ou seja, a fração orgânica do lixo urbano.

Foram constituídas leiras de compostagem com a fração orgânica do lixo urbano do município, considerando-se duas leiras por estação do ano, sendo uma com cobertura, e outra sem cobertura com o objetivo de avaliar, também, a interferência da chuva sobre o volume e características do chorume produzido durante o processo de compostagem e qualidade do composto.

Para as determinações de qualidade do lixo, dos compostos e dos chorumes produzidos nos diferentes ensaios, utilizou-se o Laboratório de Biodigestão Anaeróbia do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal, da Universidade Estadual Paulista – UNESP.

No que se refere a compostagem foram coletados dados de composição química do lixo e do composto obtido, variações de temperaturas nas leiras descobertas e cobertas, redução de volume das leiras durante o processo de compostagem.

As análises do chorume basearam-se na coleta de dados referentes à quantidade produzida durante a compostagem e suas características químicas, bem como a interferência da chuva no seu volume.

Quanto a qualidade do composto, os resultados indicam que o composto produzido em leiras descobertas não apresenta diferenças em suas características químicas (concentração de nutrientes) em relação ao que foi produzido em leiras cobertas porém deve-se considerar os rendimentos obtidos nas duas leiras de acordo com a estação do ano.

As análises do chorume demonstraram que há estreita ligação entre incidência de chuva sobre a área de compostagem e a quantidade de chorume produzida.

Os dados do experimento demonstraram que a cobertura da área de compostagem é um fator a ser considerado e seu custo deve ser analisado juntamente com o custo de um sistema para tratamento de chorume.

2 SUMMARY

The study was carried out in the Municipal District of São Lourenço da Serra - SP, located at 55km from São Paulo state capital. The region belongs to the Metropolitan Area of São Paulo – RMSP.

The experiment was developed in two phases. The first stage consisted of municipal waste characterization. On the second stage, the feedstock for composting, composed by the urban waste organic fraction, was collected.

The composting windrows were built by the urban waste organic fraction. Two windrows were adapted for each season of the year, one covered and other uncovered, to evaluate the rain interference over the volume and characteristic of the compost and leachate produced during the composting process.

For the waste, compost and leachate quality evolution, it was used the Laboratory of Anaerobic Digestion of the Department of Rural Engineering of the Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus of Jaboticabal, at the State University of São Paulo - UNESP.

Data related to compost and waste chemical characterization, covered and uncovered windrows temperature range, and windrows volume reduction during the composting process were collected.

The leachate analysis were based on the volume produced during the composting process, its chemical characteristics, and rain interference on the end volume.

Comparing the compost produced on the covered and uncovered windrows, no differences have been show the product chemical characteristics (nutrients concentration). However the windrows yields according to the incidence over the composting area and the volume produced.

Experiment data indicated that to cover the compost area is o fact to be considered. It's cost must be analised taking into account the leachate treatment cost.

3 INTRODUÇÃO

A geração e o destino do lixo é um dos maiores desafios a ser enfrentado pela sociedade moderna. Conhecido também como resíduo sólido, o lixo é resultante de atividades de origem industrial, comercial, agrícola, doméstica, de serviços de saúde, de transporte e de abastecimento de água e de energia. De forma geral, o lixo tem sido disposto em áreas não licenciadas pelos órgãos ambientais e em condições tecnicamente inadequadas, o que implica em sérios riscos à saúde pública e ao meio ambiente.

A inexistência de políticas governamentais integradas e de critérios no gerenciamento dos resíduos e o acelerado processo de urbanização, proporcionou um cenário de extrema gravidade em todo o país.

A Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, elaborada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 1991, mostra que no Brasil eram produzidas

241 mil toneladas de lixo por dia, sendo que, deste total, 130 mil toneladas eram representadas por resíduos domiciliares e as 111 mil toneladas restantes, por resíduos industriais, de saúde, comerciais e públicos. Este mesmo estudo indica que, deste total, apenas 24% recebe tratamento adequado.

A grave situação sanitária do País pode ser avaliada quando se verifica que, na década de 50, cerca de 70% dos seus 40 milhões de habitantes viviam nas cidades, o que, na década de 90, passou a cerca de 75%, dos 141 milhões de habitantes, sendo que, dessa porcentagem, 40% concentra-se nas nove regiões metropolitanas mais industrializadas do País: São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Recife, Porto Alegre, Fortaleza, Curitiba, Belém e Salvador.

O Estado de São Paulo, o mais desenvolvido do país e com os maiores índices de concentração urbana e de industrialização, não apresenta condição diferente do Brasil como um todo. Só de lixo domiciliar, são geradas 18.232 toneladas/dia. Desse total, apenas 11% são dispostos em sistemas considerados seguros do ponto de vista ambiental e sanitário, segundo dados do Inventário Estadual de Resíduos Sólidos, elaborado pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (Cetesb), citado em SMA, (1998).

A consequência direta deste quadro é uma série de impactos ambientais de grande porte, especialmente o assoreamento de rios, devido ao lançamento de detritos, a contaminação do solo e de lençóis subterrâneos pelos compostos produzidos durante a degradação dos resíduos, a poluição atmosférica e a disseminação de doenças pela proliferação de vetores como insetos e roedores.

Uma política pública para a gestão de resíduos sólidos deve considerar não só alternativas tecnológicas para evitar os impactos ambientais, mas também os aspectos

sócio-econômicos relacionados com a questão da limpeza urbana, do tratamento e disposição final adequada dos resíduos, inclusive com ações de prevenção à sua geração, o que determina a participação de todos os segmentos da sociedade, na busca de soluções alternativas, social e ambientalmente adequadas.

Sendo assim, é preciso reorientar os atuais padrões de produção e consumo, promovendo a eficiência dos processos industriais e reduzindo os desperdícios para assim dar prioridade ao atendimento das necessidades básicas da população, quais sejam, alimentação, saúde, educação, moradia, e estabelecer padrões sustentáveis que reduzam as pressões ambientais e as desigualdades sociais.

Desta forma, objetivou-se neste trabalho a obtenção de parâmetros que sirvam como subsídios na tomada de decisões sobre o melhor destino dos resíduos sólidos urbanos de municípios com características semelhantes às de São Lourenço da Serra - SP, no que se refere ao manejo da fração orgânica do lixo, com o uso do processo de compostagem e a avaliação do chorume gerado.

4 REVISÃO DE LITERATURA

O lixo em FINEP (1977) é definido como todo o resíduo sólido resultante da atividade das aglomerações humanas. Estes resíduos podem ser objetos que não possuem mais valor ou utilidade, porções de materiais sem significação econômica, sobras de processamento industrial ou doméstico. Com relação a essa definição deve-se observar que o conceito de utilidade é relativo, pois o que é considerado rejeito para um determinado setor, pode servir de matéria-prima para um outro segmento, ou ainda ser reaproveitado, na mesma atividade com uma outra função. Costuma-se classificar o lixo urbano em quatro grandes grupos: o lixo de origem doméstica, o de origem nas atividades do comércio e da indústria, o lixo público e o lixo proveniente de fontes especiais como hospitais, quartéis, etc.

Os resíduos sólidos são classificados pela ABNT e citado por Schalch (1991), como sendo aqueles nos estados sólidos e semi-sólidos, resultam de atividades da

comunidade, podendo ser, de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, de serviços, de varrição e agrícola. Ficam incluídos nesta definição, os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos, cujas particularidades, tornem inviável seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face a melhor tecnologia disponível.

Com fontes tão diversas, a composição do lixo varia muito de acordo com a localidade, época do ano e nível econômico da população. Qualquer que seja essa composição, pode-se separar os componentes em fração orgânica composta de materiais decomponíveis e fração inorgânica com materiais mais resistentes, sendo que ambas podem ser recicladas.

Kroeger *et al.* (1998), relata que pelo menos 30% do lixo urbano e uma grande proporção de resíduos industriais pode ser biologicamente tratado via compostagem e digestão anaeróbia, e essa quantidade recuperável da fração orgânica é de aproximadamente 60 milhões de toneladas/ano – em torno de 40% do total de lixo produzido na Europa.

Em trabalho realizado em Urbana (EUA), Pfeffer (1974), mostra que o lixo municipal é composto de 78%, em peso úmido, por papéis, folhas, madeiras, tecidos e combustíveis. Quando se considera o peso seco, esses materiais representam 52%. Materiais como vidro, metal e pedras correspondem a 28% do peso seco. No lixo utilizado pelo autor foram determinados valores médios de: sólidos voláteis, 81,8%; carbono, 44,1%; carboidratos totais, 52,75%; fósforo, 0%; nitrogênio, 0,68%; hidrogênio, 57%; celulose, 35,8% e poder calorífico, 4.172,49 kcal/Kg.

De acordo com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), citado por Lima (1991), a composição do lixo de São Paulo em 1979 é 37,8% de matéria orgânica putrescível; 32,65% de papel, papelão, tecido, e madeira; materiais como metal, vidros, pedras correspondem a 20,1%. Quanto às características físico-químicas o lixo da cidade apresenta relação carbono nitrogênio (C/N) = 25,8; peso específico = 192 Kg/m³; sólidos voláteis 32,3% e poder calorífico superior = 4267 Kcal/Kg.

A separação de material recuperável na fase de coleta do lixo urbano é exercida por dois fatores fundamentais: existência de mercado para a colocação de material e despertar a consciência cívica da população para a idéia da recuperação de recursos do lixo. Esta separação pode ser feita com a participação direta da população, através da coleta seletiva em suas várias formas, ou nas usinas de compostagem após a coleta.

Na literatura são apresentadas várias opções para a disposição final do lixo, como: aterros sanitários, usinas de compostagem, digestão anaeróbia, incineração e outros. A escolha de uma delas depende das características e disponibilidade financeira do local.

Nos Estados Unidos, de acordo com Glenn & Rigler (1989), eram gerados anualmente 250 milhões de toneladas de lixo urbano, estimando-se uma produção de 1 tonelada por habitante a cada ano. Observa-se, que os estados com maior exploração rural, apresentam uma geração “per capita” mais baixa, ao passo que nos Estados com alta densidade populacional a geração média de lixo supera 1 tonelada “per capita”. Do total do lixo produzido, 97,1% recebe disposição especial, sendo 82% destinados a aterros sanitários, 8,4% incinerados e 5,9% reciclados (incluindo compostagem).

No caso do município de São Lourenço da Serra – SP, são coletados diariamente cerca de 6 toneladas de lixo que são encaminhados ao aterro sanitário do município vizinho de Itapeverica da Serra sem qualquer forma de recuperação de suas frações.

4.1 Compostagem

A compostagem não é uma prática nova, pois, vem sendo aplicada há alguns séculos no Oriente, principalmente na China. Essa técnica foi conhecida no Ocidente, provavelmente a partir de observações feitas pelo professor F. H. King do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, em 1909, e pelos experimentos de Sir Albert Howard, considerado o pai da compostagem, inglês que trabalhou vários anos na Índia, nas primeiras décadas do século XX (Peixoto, 1988).

De acordo com Kiehl (1985), o composto é resultado de um processo controlado de decomposição bioquímica de materiais orgânicos transformados em um produto mais estável e utilizado como fertilizante. A compostagem é uma técnica idealizada para se obter mais rapidamente e em melhores condições, a desejada estabilização da matéria orgânica.

De acordo com Bidone (1995), o processo de compostagem pode ser dividido em três fases: - inicial de 1 a 2 dias, onde os compostos solúveis (açúcares) são decompostos; - termofílica onde são degradados principalmente celulose e lipídeos; e - estabilização, um período durante o qual ocorre um declínio da temperatura, diminuição na taxa de decomposição e recolonização do composto por outros microrganismos.

Segundo Peixoto (1988), durante a compostagem, há despreendimento de gás carbônico, água (na forma de vapor) e energia, devido a ação dos microrganismos. Parte da energia é usada para crescimento e movimento, sendo o restante liberado na forma de calor, que se procura conservar na leira (monte) em compostagem. Como resultado a leira se aquece, atinge uma temperatura elevada, resfria e atinge o estágio de maturação. O composto final, húmus, é constituído de partes resistentes dos resíduos orgânicos, produtos decompostos e microrganismos mortos e vivos. Entende-se que a terminologia húmus não deve ser utilizada para denominação do composto, uma vez que a matéria orgânica humificada aparece no solo.

A eficiência do processo de compostagem depende de fatores físicos, como a temperatura, aeração e umidade e de fatores químicos, como o pH. As condições ambientes são importantes para o desenvolvimento microbiológico durante o processo bem como as características nutricionais do resíduo.

Nakasaki *et al.* (1990), estudaram o efeito da concentração de oxigênio sobre as reações na compostagem do lixo. Concluíram que o suprimento suficiente de oxigênio para as reações aeróbias é essencial para a degradação dos ácidos orgânicos intermediários, promovendo uma rápida compostagem.

Em trabalho realizado no Canadá, Fernandes & Zhan (1994), estudaram a distribuição e variação da temperatura em pilhas aeradas de composto de esterco de galinha, e obtiveram temperatura de 45 °C em dois dias. A aeração foi feita com o uso de tubos plásticos colocados sob a pilha, os resultados indicam que a difusão e a convecção são importantes mecanismos de aeração passiva.

Estes trabalhos demonstram a importância do revolvimento do material enleirado durante o processo, pois a falta de oxigênio provoca a diminuição da temperatura da

leira antes do tempo previsto, este fato pode ser detectado, se logo após ser revolvida, a leira apresentar elevação da temperatura.

Conforme Pereira Neto, citado por Bidone (1995), a umidade ótima para o processo de compostagem situa-se em torno de 50%. Valores menores que 40% inibem a atividade biológica e maiores que 70% podem provocar anaerobiose Kiehl, (1985).

Na compostagem aeróbia normalmente não existe necessidade de adição de substâncias para controle de pH, havendo apenas o cuidado para que o pH inicial não seja na faixa alcalina, o que levaria a pesadas perdas do nitrogênio pela volatilização da amônia. Ao final do processo, o pH deve ficar compreendido entre 7,5 e 9,0 , de acordo com Spitzner Jr., citado por Bidone (1995).

Quanto ao aspecto nutricional, os nutrientes são utilizados pelos microrganismos como fonte de energia para construir e manter sua estrutura e organização, merecendo destaque entre eles, o carbono e o nitrogênio.

Para a maior eficiência da compostagem, é desejável que a C/N da matéria prima a ser compostada esteja em torno de 30-40/1. Isto se deve ao fato de que os microrganismos que realizam a fermentação absorvem carbono e nitrogênio idealmente nesta proporção, com 2/3 do carbono sendo eliminados na forma de gás carbônico, ficando 1/3 imobilizado no protoplasma celular, resultando uma relação C/N igual a 10/1.

Chanyasak *et al.* (1982), em trabalho de acompanhamento de mudanças na composição química e transformação do nitrogênio no extrato da água coletada durante o processo de compostagem, verificaram que a razão C/N, diminuiu durante a compostagem, obtendo para o composto maturado relação C/N de 5,88.

No que diz respeito à redução do volume da leira durante a compostagem, Peixoto (1988) cita uma perda que pode variar em torno de 50 a 70% e que cada metro cúbico de composto produzido pode pesar mais de 1000Kg. Ressalta-se que os cálculos feitos nesse sentido são aproximados, pois variam conforme o tipo e quantidade dos resíduos utilizados.

Comparando a redução em peso, entre uma leira conduzida experimentalmente e outra conduzida pela usina de compostagem, Construfert, em São José do Rio Preto – SP, Gorgati & Lucas Jr. (1996) obtiveram valores de 50% e de 40%, respectivamente para as duas leiras.

Existem várias técnicas de compostagem de resíduos sólidos municipais, porém antes de aplicá-las alguns fatores econômicos e ambientais devem ser considerados, dentre eles merece destaque a energia envolvida nas diversas etapas.

Amazonas citado por Campani *et al.* (1996) fornece dados de equivalência na substituição de adubo mineral por composto orgânico em termos energéticos que seria de: uma tonelada equivalente de petróleo (tep) para cada tonelada de composto orgânico utilizado. No caso da recuperação energética pela reciclagem dos diversos materiais encontrados no lixo de Porto Alegre, o cálculo de Campani *et al.* (1996) foi realizado com base na quantidade de energia (Kcal/Kg) necessária para a produção dos materiais a partir do material virgem e do material reciclado. Os dados mostram uma economia de 20.235,6tep/ano.

Avaliando o consumo energético em um sistema de compostagem acelerada de lixo doméstico com lodo de esgoto, Diaz *et al.* (1986), apresentam interessantes resultados para as diversas fases do sistema. Obtiveram um consumo energético no processo de produção, transporte e aplicação do composto em culturas, igual a 34,4 kWh/t de lixo,

porém destacam economia energética relacionada com disponibilidade de nutrientes, menor esforço das máquinas de preparo dos solos que receberam o composto e redução da erosão. Somente com o item redução da erosão, consegue-se economia de 61 kWh/ha-ano a cada tonelada de composto aplicado, considerando para este cálculo, a economia de energia empregada na produção do fertilizante mineral necessário para reposição dos nutrientes que se perdem com a erosão.

Xin *et al.* (1992), ressalta as vantagens da compostagem como método de tratamento de lixo urbano quando comparado ao aterro e a incineração: baixo custo operacional, pouca poluição ambiental e benefícios da utilização do produto final, os problemas relacionados com a presença de metais pesados no composto podem ser resolvidos, tendo-se uma separação eficiente do material.

Os efeitos da matéria orgânica sobre as propriedades do solo, são ressaltados Kiehl (1985), por contribuir substancialmente para o crescimento e desenvolvimento das plantas. A matéria orgânica exerce influências benéficas sobre as propriedades físicas, químicas, físico-químicas e biológicas do solo, revertendo tudo no aumento da produção.

Este fato é destacado por Diaz *et al.* (1986) quando se referem à redução da demanda de fertilizantes minerais e da quantidade de energia requerida para o preparo do solo, bem como a redução da erosão com a conseqüente preservação das características desejáveis do solo.

Neste sentido, Avnimelech *et al.* (1990), estudando o efeito de composto de lixo urbano em solos argilosos, afirma que quando o composto é aplicado na superfície ao invés de ser incorporado ao solo, ocorre aumento de retenção de água em

camadas mais profundas e com isso diminuiu a resistência a penetração em camadas de até 60cm de profundidade.

De acordo com Talashilkar & Vimal (1986), em trabalho realizado em Nova Deli, revelam que mais de 25% da dose de nitrogênio recomendada para o arroz pode ser substituído por composto de resíduos sólidos urbanos enriquecido com uréia. No caso do fósforo, 50% da dose recomendada para o arroz pode ser feita através de composto enriquecido com superfosfato.

Quanto à aplicação em culturas, Giordano *et al.* (1975), realizaram experimento de campo com aplicação de sulfato de zinco, composto de lixo e lodo de esgoto. Verificaram que a produção de forragem de milho foi maior com a aplicação de lodo e composto, e que a concentração de zinco foi maior na forragem que recebeu sulfato de zinco, sendo que nos grãos não houve diferença na concentração. A repetição do experimento não demonstrou aumento nas concentrações de metais pesados, tanto nas forragens como nos grãos. A concentração de cádmio foi maior nas forragens e nos grãos quando se utilizou o lodo e o composto. As concentrações de cádmio e níquel foram maiores quando se utilizou lodo de esgoto.

Rosen *et al.* (1993), estudando a utilização de composto de lixo urbano na horticultura, verificou que o composto melhora as propriedades físicas do solo, assim como aumenta a capacidade de retenção de água, o composto pode suprir a planta com nutrientes essenciais, contudo a quantidade é baixa, a suplementação com fertilizantes é necessária com N, P e K, o autor ainda ressalta o problema com os altos índices de boro e de sais solúveis muitas vezes contribuindo para a fitotoxicidade e diminuição do crescimento.

A presença de metais pesados no composto de lixo, é um aspecto que deve ser analisado com cuidado, pois o lixo domiciliar apresenta em sua constituição uma grande quantidade de pilhas, baterias de relógios e brinquedos, que ao se degradarem liberam metais pesados, sendo ressaltada a grande importância de uma boa seleção do lixo antes da compostagem.

No Brasil, não se tem uma legislação específica sobre o assunto, mas países como a Alemanha têm definidos os teores de metais pesados permitidos em composto a partir de lixo urbano, e segundo Grossi, citado por Queiroz (1998) os limites máximos permitidos para composto na Alemanha pela Associação Federal para Qualidade do Composto (BGGK) em mg/Kg são: Cd, 1,5; Pb, 150; Cu, 100; Cr, 100; Ni, 50 e Zn, 400. Em estudos realizados com objetivo de avaliar a qualidade do composto quanto a presença de elementos indesejáveis como metais pesados e vidro, concluíram que uma separação na fonte, ou seja, nas residências é mais eficiente do que quando essa separação é feita em locais onde o lixo é misturado antes de ser selecionado, Parks *et al.* (1997); Goldstein (1997).

Vários estudos têm sido desenvolvidos com o objetivo de avaliar a forma como os metais pesados se comportam no solo e na planta, quais os efeitos que eles provocam no meio em que são dispostos.

Bresin (1995), realizou estudos com o objetivo de examinar os efeitos do composto de lixo urbano, adicionado sobre a produção comercial de grama, analisar a modificação química e física do solo adicionado de composto lixo urbano e coleta de dados a respeito da interferência ambiental da adição de composto no solo, os resultados mostraram que o aumento do conteúdo de metais (Pb Zn e Cd) no solo foram localizados na camada de 0 – 5 cm, abaixo desta camada, o conteúdo de metais no solo foi semelhante à testemunha. Com

relação a contaminação da água subterrânea, os resultados mostram não houve impacto mensurável na água subterrânea por metais pesados.

De acordo com Gillis (1992), alguns pesquisadores dizem que se os metais pesados estiverem na forma iônica podem ser absorvidos pela planta, mas a grande maioria dos metais está no solo de forma não disponível para absorção, portanto o solo pode conter níveis altos de metais pesados, porém estes, podem não estar presentes nos alimentos.

Businelli *et al.* (1996), em estudo realizado por seis anos acompanhando o processo de acumulação de metais pesados no solo, movimento dentro do perfil do solo e sua disponibilidade para plantas de milho após repetidas aplicações de composto de lixo urbano, relata que o metal pesado adicionado não causou contaminação das plantas, nem da água subterrânea, concluindo que o metal pesado não percola pela camada arável do solo. Dentre os metais pesados, apenas cobre, zinco e chumbo tiveram suas concentrações aumentadas nas plantas e somente o primeiro alcançou altas concentrações nos grãos, porém, não causaram fitotoxicidade visível às plantas.

Um outro aspecto a ser considerado quando se estuda a compostagem dos resíduos sólidos urbanos, é a produção de chorume durante a transformação da matéria orgânica. No caso específico do lixo, as águas das chuvas, percolando através da massa de resíduos, transportam um líquido de cor negra, denominado chorume ou sumeiro, característico dos materiais orgânicos em decomposição.

Segundo Luz, citado por Lima (1991) o chorume provém de três fontes principais: 1) umidade natural do lixo, que se agrava sensivelmente nos períodos de chuva; 2) água de constituição dos vários materiais, que sobra durante a decomposição; 3) líquido proveniente da dissolução da matéria orgânica pelas enzimas expelidas pelas bactérias.

Uma vez que o chorume carrega consigo características do seu material de origem, o chorume originado no processo de compostagem de lixo urbano, pode conter além da alta carga orgânica, certa quantidade de elementos tóxicos como metais pesados, o que desta forma poderá contaminar o solo e águas subterrâneas.

Werner *et al.* (1996), em trabalho realizado no Departamento de Recursos Naturais de Iowa, concluem que diante de alternativas de tratamento de chorume como, tratamento no local para descarga no rio, pré – tratamento para posterior tratamento público, e aplicação no solo, a aspersão do chorume sobre a leira foi o que se apresentou mais viável economicamente, tendo ainda as vantagens de: aumentar significativamente a atividade microbiológica no processo, reduzir componentes orgânicos, a imobilização de metais e outros inorgânicos, além de fornecer água para manutenção da umidade necessária para o processo.

4.2 Legislação

Devido a estreita ligação entre o lixo e a saúde pública, existe a necessidade de se criar normas que regulamentem todo o processo, desde a geração até a disposição final e neste aspecto cabe à União legislar, traçar normas gerais e linhas mestras. A partir delas é que o poder estadual edita regras próprias, mais específicas e de acordo com a realidade de cada Estado. Assim, leis federais e estaduais balizarão a competência dos municípios, aos quais, cabe a organização e execução dos serviços de limpeza pública, coleta, tratamento e destinação final do lixo.

O poder federal, realizou muito pouco, desde que foi aprovado o Código Nacional de Saúde, em 1961 no que se refere a resíduos sólidos. Além do que cabe à

União definir a política industrial do país, de onde decorrem questões de poluição ambiental por resíduos gerados pelos processos de produção.

Desde 1980, temos a Lei Federal 6.938, que dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente, que ainda não foi regulamentada. Atualmente está em discussão na Câmara Federal, um anteprojeto de lei voltado para a saúde pública e que contempla a questão dos resíduos sólidos. Este projeto aglutinou várias propostas, valendo destacar que entre elas está o Projeto de Lei 3.339/92, que trata da Política Nacional de Resíduos Sólidos. (SMA/CEPAM- Secretaria do Meio Ambiente-Coordenadoria de Educação Ambiental, 1998).

O Estado, em termos de legislação sobre o lixo, preocupou-se mais com as questões ligadas à saúde pública e meio ambiente. Como é a instância fiscalizadora dos municípios nessa questão, todos os Estados proíbem disposição de lixo a céu aberto, tratam do lixo industrial, de lixo tóxico e contaminado, e proíbem alimentar animais com o lixo *in natura*.

Cabe à Secretaria de Estado do Meio Ambiente e aos órgãos que compõem o Sistema Estadual de Meio Ambiente a tarefa de fiscalizar e controlar o manejo, o tratamento e as formas de destinação final dos resíduos sólidos urbanos: industrial, domiciliar e de serviços de saúde. No Estado de São Paulo a Cetesb tem exercido essa função, é ela que tem a tarefa de conceder o licenciamento ambiental para o funcionamento das unidades de disposição final do lixo.

A política de resíduos elaborada recentemente no estado de São Paulo, incorpora as propostas da Agenda 21, o anteprojeto prevê, em seus princípios: a responsabilidade do gerador, pós-consumo e por danos; como prevenção prevê padrões sustentáveis de produção e consumo, prevenção da poluição, minimização de resíduos, direito

à informação, educação ambiental; participação social, cooperação institucional, gradação de metas, racionalidade de processos, regularidade, continuidade e universalidade.

O município, através da Prefeitura e de suas secretarias, com base nas decisões federais e estaduais, legisla sobre a operacionalização dos serviços, fixando normas sobre acondicionamento, coleta, transporte e destinação do lixo domiciliar e resíduos do serviço de saúde, varrição de ruas e praças, por meio de um instrumento chamado Código de Limpeza Urbana.

No caso do município de São Paulo, a Lei Orgânica de 04 de abril de 1990 estabelece a possibilidade do município gerenciar os serviços de limpeza, de coleta e destino do lixo através de parcerias, concessões e permissão a empresas ou terceiros, desde que se enquadrem nos padrões de eficiência e respeitem os princípios da qualidade de vida e de defesa do meio ambiente, SMA/CEPAM, 1998.

Além da legislação específica para lixo em cada município ou estado, algumas regiões ainda estão sujeitas à legislações restritivas como a de Proteção aos Mananciais, que só permitem a disposição de resíduos sólidos nesse locais em algumas áreas e mesmo assim mediante a uma série de medidas rigorosas.

5 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Município de São Lourenço Serra – SP, cujas coordenadas geográficas são latitude 23° 51' 02'' S e longitude 46° 56' 36'' W. O clima da região é classificado como Tropical úmido (Af), com pluviosidade média anual de 2500 a 2700 mm. O município está localizado à 55km da capital do Estado de São Paulo e o experimento desenvolveu-se no período de março de 1998 a março de 1999. Para as determinações de qualidade do lixo, dos compostos e dos chorumes produzidos nos diferentes ensaios, utilizou-se o Laboratório de Biodigestão Anaeróbia do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal, da Universidade Estadual Paulista – UNESP.

5.1 O município de São Lourenço da Serra

São Lourenço da Serra situa-se na região metropolitana de São Paulo – RMSP, distante 52 km do marco zero da capital (praça da Sé), com população em torno de 13 mil habitantes (IBGE, 1996). Porém, atualmente, com 6.000 eleitores e 3.500 estudantes, infere-se uma população de 13.000 habitantes, a qual é aumentada nos finais de semana, feriados, período de férias, dado ao grande número de chácaras e sítios de recreio.

Seu território com extensão de 152 km², está inserido no remanescente de Mata Atlântica do Estado de São Paulo, e totalmente abrangido pela zona de proteção aos mananciais, definida e regulamentada pelas Leis Estaduais 898/75 e pelo Decreto 9714/77.

Esta condição, porém, se manteve por mais de vinte anos, com uma realidade nada condizente com a preservação que se pretendia instalar com a referida legislação. O estado não foi capaz de gerenciar eficientemente a situação e, se as leis impediram o crescimento industrial da região, não impediram que a desvalorização imobiliária ocorrida, provocasse a ocupação desordenada da zona dos mananciais.

Atualmente, a legislação vigente é a Lei Estadual 9.866/97, com a qual se pretende proteger estas áreas adotando como unidade de planejamento e gestão, as bacias hidrográficas, ainda em processo de implementação.

Com relação ao destino dos resíduos sólidos urbanos gerados nestas regiões, a legislação anterior proíbe qualquer forma de disposição de resíduos nessas áreas, mas a legislação atual prevê a disposição de resíduos sólidos em área de proteção aos mananciais considerando-se algumas restrições legais, dispostas em seu art.20 seção II, cap. IV.

A produção de lixo no município apresenta-se em torno de 6 toneladas diárias, que atualmente são depositadas no aterro sanitário do município vizinho, Itapeccerica da Serra, distante 25 km, e que também se encontra em área de proteção ambiental.

5.2 Definição do experimento

O experimento foi desenvolvido em duas fases, primeiro realizou-se a caracterização física do lixo do município, para em uma outra etapa coletar o material que foi utilizado como matéria-prima para a compostagem, a fração orgânica do lixo urbano.

A caracterização do lixo foi realizada nas quatro estações do ano, durante três dias consecutivos, a metodologia para caracterização não permitiu a utilização do lixo amostrado para montagem das leiras, por este motivo as leiras foram confeccionadas em dias diferentes aos da caracterização física.

Foram conduzidas leiras de compostagem com a fração orgânica do lixo urbano do município, adotando-se duas leiras por estação do ano, sendo uma com cobertura, e outra sem cobertura com o objetivo de avaliar, também, a interferência da chuva sobre o volume e características do chorume produzido durante o processo de compostagem.

5.3 Caracterização física do lixo

A caracterização física do lixo foi realizada no Aterro Sanitário do município de Itapeverica da Serra – SP, para onde é encaminhado todo o lixo de São Lourenço da Serra.

A composição física do lixo foi obtida através da análise percentual de seus componentes mais comuns, tais como: vidro, plástico, lata, alumínio, PET, etc.

A metodologia aplicada está descrita em IPT (1995), onde se utiliza o processo de quarteamento da pilha resultante da descarga de um caminhão, que terá todos seus receptáculos (saquinhos) rompidos e esvaziados, o material resultante é homogeneizado ao máximo com o auxílio de uma pá carregadeira, para então se coletar quatro amostras de 100 litros. Em cada uma dessas amostras efetuou-se a separação de cada fração e em seguida pesou-se cada uma delas para sua quantificação e caracterização.

Nesta fase do estudo, foi obtida também a densidade média do lixo amostrado, fazendo-se uso de um recipiente de volume conhecido e o peso da amostra.

5.4 Área experimental

O experimento foi realizado no município de São Lourenço da Serra, sendo que as leiras foram montadas na zona rural do município. O local foi previamente preparado, com duas rampas de concreto com declividade de 3% medindo 1,50m de largura por 4,00m de comprimento, sendo que em sua extremidade inferior um cano coletor

encaminhava o chorume até uma caixa de amianto coberta, com capacidade de 500 litros colocada em um nível inferior.

A cobertura de uma das leiras foi feita com lona plástica Sansuy com dimensão de 3,00m x 5,00m, colocada sobre uma estrutura de madeira a 1,50m do piso permitindo ventilação adequada da mesma.

A leira descoberta esteve sujeita às condições climáticas locais.

5.5 Coleta do material para confecção das leiras

O material para montagem do experimento foi coletado no aterro sanitário do município de Itapeccerica da Serra para onde é levado o lixo de São Lourenço da Serra, diariamente.

A cada período de coleta do material, foi realizada uma caracterização física do lixo (conforme descrito no item 5.3), durante três dias da semana, pois o itinerário da coleta se repete a cada três dias.

5.6 Compostagem

5.6.1 Confecção das leiras

Foram confeccionadas leiras subsequentes, duas a cada estação do ano, uma coberta e outra descoberta. O material utilizado foi a fração orgânica de lixo domiciliar

urbano produzido pelo município em estudo e coletado no local de disposição final, rompendo-se cada invólucro coletado das residências e deles separando-se a fração desejada, uma vez que no município não há qualquer forma de coleta seletiva.

A quantidade de material coletado variou conforme as condições do momento da coleta, o peso do material foi quantificado utilizando-se uma balança Filizzola com capacidade de 100kg, apresentando-se os valores obtidos no Quadro 1. O material foi homogeneizado utilizando-se uma pá carregadeira para revirá-lo no local da coleta.

Quadro 1. Quantidade de fração orgânica de lixo urbano, em kg, utilizada na montagem das leiras, nas quatro estações do ano.

Tratamentos	----- Estações -----			
	Primavera	Verão	Outono	Inverno
 kg			
Leira descoberta	388,3	362,0	318,2	531,4
Leira coberta	408,0	385,0	428,1	470,0

5.6.2 Condução das leiras

A condução do processo de compostagem foi a mesma para todas as leiras. Conforme necessidade foram feitos revolvimentos e/ou rega, considerando-se a temperatura e umidade do material enleirado. O monitoramento da temperatura foi realizado diariamente utilizando-se termômetro digital INSTRUTERM – Th 1200C e para as regas fez-se uso de um pulverizador costal com capacidade de 20 litros.

As dimensões de cada leira, foram medidas no início e a cada trinta dias, durante todo o experimento, sendo as medições efetuadas com trena e régua e modificando-se a forma da leira para seção transversal retangular, facilitando-se as medidas em altura, largura e comprimento das leiras.

5.6.2.1 Coleta de amostras

Durante o processo de compostagem foram coletadas duas amostras de cada leira, uma do material cru, lixo (no dia da montagem) e outra ao final do processo com o material já curado e peneirado, totalizando no final do experimento, doze amostras, quatro do lixo enleirado e oito de composto.

A amostragem foi feita coletando-se uma amostra composta de quatro locais da leira e assim obtendo-se uma amostra única, com peso variando entre 4kg e 5 kg. Em seguida as amostras foram encaminhadas para o laboratório de Biodigestão Anaeróbia localizado no Departamento da Engenharia Rural do Câmpus de Jaboticabal – UNESP, onde foram realizadas as análises.

5.6.3 Processamento das leiras

Ao término de cada período de compostagem, em torno de 90 dias, peneirou-se o material, utilizando-se peneira com malha de 0,5cm, em seguida pesou-se o composto obtido e o rejeito.

5.7 Medição de chuva

Para medição da precipitação pluviométrica, utilizou-se pluviômetro de acrílico, de seção circular da marca, GEHARA com capacidade máxima de 140 mm e precisão de 1mm.

5.8 Determinações efetuadas

5.8.1 Características químicas do lixo enleirado e do composto

A análise do composto foi baseada na verificação dos teores de carbono total, matéria orgânica compostável (MOC), matéria orgânica resistente à compostagem (MRC), demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, cobre, zinco, manganês, ferro, cromo, chumbo, níquel e cádmio.

As quantificações referentes à matéria orgânica e DQO foram realizadas de acordo com Kiehl (1985), através da quantificação de carbono orgânico e matéria orgânica total. O método para determinação da matéria orgânica total, utiliza a análise através da perda por ignição, também citada como perda ao rubro ou perda por combustão, onde o material previamente seco à 65°C é submetido à temperatura de 550°C em mufla.

A determinação do carbono orgânico fundamenta-se no fato da matéria orgânica oxidável ser atacada pela mistura sulfocrômica, utilizando-se o próprio calor formado pela reação do dicromato de potássio com o ácido sulfúrico como fonte calorífica. O excesso

de agente oxidante que resta deste ataque é determinado por titulação com sulfato ferroso. O método oferece a vantagem de não oxidar a fração de matéria orgânica não decomponível durante o processo de compostagem.

As quantificações dos teores de nitrogênio, estão descritas em A.O.A.C. (1970), utilizando-se digestão sulfúrica para obtenção do extrato. Para a determinação analítica utilizou-se o método Semi-micro Kjeldahl, o princípio do método baseia-se na transformação do nitrogênio amoniacal $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$ em amônia (NH_3) , a qual é fixada pelo ácido bórico e posteriormente titulada com H_2SO_4 até nova formação de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ na presença de indicador ácido/base.

As determinações dos elementos: potássio, cálcio, magnésio, cobre, zinco, manganês, ferro, cromo, chumbo, níquel e cádmio, foram realizadas em Espectrofotômetro de Absorção Atômica (GBC 932 AAA), no Laboratório de Digestão Anaeróbia no Departamento da Engenharia Rural do Câmpus de Jaboticabal – UNESP.

Os dados de teores de carbono, nitrogênio e fósforo obtidos nos ensaios de primavera, verão, outono e inverno referentes ao lixo enleirado e composto obtido nas leiras descobertas e cobertas, foram submetidos à análise variância e teste de Tukey para comparação de médias no SAS System.

5.8.2. Análise do chorume

5.8.2.1 Produção do chorume durante o processo de compostagem

O chorume produzido pela compostagem das leiras, e pela incidência de chuvas, no caso da leira descoberta, foi coletado nas caixas de amianto, e a medição feita utilizando-se balde plástico previamente graduado em litros e de uma proveta de vidro com capacidade de 1000 mL.

Pela grande quantidade de chorume produzido na leira descoberta, houve necessidade de adaptação de um hidrômetro para medir a vazão, cuja escala permitia a medição dos valores obtidos diretamente em litros.

O chorume foi coletado e quantificado a cada dia, quando coletou-se uma amostra de 500ml, totalizando 106 amostras no final de um ano de coleta somando-se as duas leiras.

As amostras foram encaminhadas para o laboratório de Biodigestão Anaeróbia no Departamento da Engenharia Rural do Câmpus de Jaboticabal – UNESP, onde foram realizadas as análises.

Os dados de incidência de chuva sobre a área de compostagem e de produção de chorume nas leiras que permaneceram descobertas foram submetidos a análise de Correlação utilizando-se o SAS System.

5.8.2.2 Características químicas do chorume

Nas amostras de chorume analisou-se teores de Sólidos Totais (ST) e Sólidos Voláteis (SV), fazendo-se uso de micro fibra para filtração a vácuo do líquido e posterior secagem à 65° C para obtenção de ST, seguida de queima em mufla à 550 °C por duas horas, obtendo-se SV.

Os parâmetros de DQO e DBO das amostras de chorume foram determinadas a partir de metodologia descrita em Adans (1990).

As determinações dos elementos: potássio, cálcio, magnésio, cobre, zinco, manganês, ferro, cromo, chumbo, níquel e cádmio, foram realizadas em Espectrofotômetro de Absorção Atômica (GBC 932 AAA), no Laboratório de Digestão Anaeróbia no Departamento da Engenharia Rural do Câmpus de Jaboticabal – UNESP.

Foram determinados também teores de nitrogênio e fósforo de acordo com A.O.A .C. (1970).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Serão apresentados e discutidos a seguir os resultados obtidos nos quatro ensaios de compostagem durante um ano, um a cada estação do ano, na seguinte seqüência: primavera, verão, outono e inverno.

Optou-se por apresentar de forma separada os resultados e discussão referentes ao processo de compostagem e os do chorume produzido, em função do composto representar um potencial de reciclagem ao passo que o chorume pode representar um potencial de perda de nutrientes e impacto ambiental.

6.1 Caracterização física do lixo

No Quadro 2 são apresentadas, em porcentagem, as quantidades dos diversos componentes do lixo, as quais foram obtidas nas quatro épocas do ano. São apresentados também dados que refletem a projeção, em kg/dia, considerando-se uma produção média diária no município de 6000 kg, bem como os valores de densidade aparente, em kg/m³, e umidade do lixo, em porcentagem.

Observa-se que a composição física do lixo urbano do município apresentou poucas variações durante o ano, com valor médio de material orgânico de 64%, resultando em 36% de material considerado inorgânico, proporções semelhantes as encontradas em Lima (1991) e IPT (1995) na caracterização do lixo de outros municípios.

Os dados ressaltam que, para o município de São Lourenço da Serra, considerando-se a possibilidade de recuperação de materiais como, o material orgânico (64%), metais não ferrosos (2,8%), PET (1,1%), papel e papelão (17,5%) e vidro (1,4%), através de processos de reciclagem, diminuir-se-ia cerca de 80% a quantidade de lixo encaminhada ao aterro, ou seja, diariamente deixariam de ser aterrados aproximadamente 5000 kg de lixo, com reflexo direto no aumento da vida útil do aterro.

Gillis (1992), em estudo realizado com todos os municípios E.U.A. mostra que 65% do lixo municipal é material orgânico recuperável, sendo 40% papelão e 25% restos de alimentos, e 23,5% metal, plástico e vidro, e prevê que com a recuperação desse material, os aterros que recebiam 73% do lixo em 1988, poderiam passar a receber 50% em 2000, medidas legais como a proibição de encaminhamento de lixo de jardim ao aterro, forcem soluções alternativas e mais sensatas para o problema.

Quadro 2 . Componentes do lixo urbano domiciliar de São Lourenço da Serra – SP, em porcentagem, por estação do ano, e projeção média diária de cada componente, em quilogramas por dia.

Fração	Primavera	Verão	Outono	Inverno	Média	Projeção
	----- % -----					Kg/dia
Mat. Org.	63	67,5	64,3	61,3	64,0	3841,5
Metal ferroso	2,9	5,05	4,6	3,3	4,0	237,8
Alumínio	1,9	2,95	3,7	2,5	2,8	165,7
Papel	5,8	7,3	6,5	6,3	6,5	388,5
Papelão	9,2	6,9	8,2	11,5	9,0	537,0
Plástico	10,8	5,42	8,3	7,6	7,8	468,8
PET	1,3	1,28	0,9	1,1	1,1	68,7
Vidro	1,6	0,5	1,2	2,3	1,4	84,0
Outros	3,5	3,1	2,3	5,1	3,5	210,0
Total	100	100	100	100	100	6000,0
Den.aparente (kg/m ³)	165	142	191	219	179,2	
Umidade (%)	71	69	73	81	73,5	

Com uma densidade média de 179,2 kg/m³ e produção média diária de 6000 kg, como o que se observou para o município de São Lourenço da Serra sem procedimentos de separação e reciclagem, necessita-se diariamente de aproximadamente 33,5m³ de espaço no aterro sanitário.

6.2 Compostagem

As leiras de compostagem foram confeccionadas com material coletado no local de disposição final do lixo urbano. Procedeu-se a abertura dos recipientes (saquinhos) para a separação das diferentes frações e coleta da fração orgânica até ser obtida

quantidade adequada para a montagem das leiras de cada ensaio, conforme demonstrado no Quadro 1. Foram necessários de dois a três dias consecutivos de coleta para a montagem de cada um dos ensaios.

As quantidades utilizadas em cada leira, variaram de acordo com as condições do momento de coleta. Por se tratar de material que apresenta variação sazonal, não foi possível coletar exatamente as mesmas quantidades de material em todas as estações do ano.

6.2.1 Condução das leiras

6.2.1.1 Acompanhamento da temperatura

No período em que as leiras permaneceram no pátio de compostagem, efetuou-se a medição da temperatura duas vezes ao dia, pela manhã e no começo da tarde.

O Quadro 3, mostra as temperaturas médias semanais, as temperaturas máximas obtidas durante os ensaios e o dia em que ocorreram, em cada estação do ano.

As Figuras 1 e 2 mostram as temperaturas médias semanais obtidas durante a condução do experimento nas quatro estações do ano, respectivamente para as leiras descobertas e cobertas.

Quadro 3 . Temperaturas médias semanais, temperaturas máximas obtidas durante o processo de compostagem, em °C e os dias em que ocorreram as máximas.

Semanas	Primavera		Verão		Outono		Inverno	
	D	Co	D	Co	D	Co	D	Co
1	55,6	61,4	63,1	61,7	59,0	63,3	50,4	60,5
2	47,0	51,6	61,6	63,3	60,4	57,0	58,9	62,8
3	42,0	42,6	49,7	52,4	45,6	43,9	42,8	50,4
4	38,6	38,9	43,7	45,6	40,7	43,2	41,2	41,8
5	36,5	29,1	41,1	43,3	32,3	42,7	33,2	36,6
6	27,4	24,6	35,8	38,6	30,9	37,8	30,4	30,3
7	26,8	25,7	29,5	33,8	26,6	31,1	32,5	27,3
8	24,2	24,9	27,0	29,4	24,0	25,9	27,5	26,6
9	25,6	25,2	22,5	25,3	28,2	27,5	26,8	24,2
10	23,8	23,6	22,2	19,6	24,6	28,3	23,4	21,8
11	22,6	22,1	21,9	21,6	24,4	24,2	23,0	21,2
12	22,0	21,5	20,4	21,0	23,7	21,2	20,9	21,0
13	21,6	21,2	-	-	22,7	21,2	21,2	21,0
14	-	-	-	-	22,6	21,1	21,2	21,0
15	-	-	-	-	21,0	21,2	-	-
Temp. Máxima	62,5	62,2	69,3	69	73	77	78	74
Pico de temp. (Dias)	3°	4°	6°	7°	6°	4°	5°	5°

D. = Leiras descobertas, Co. = Leiras cobertas.

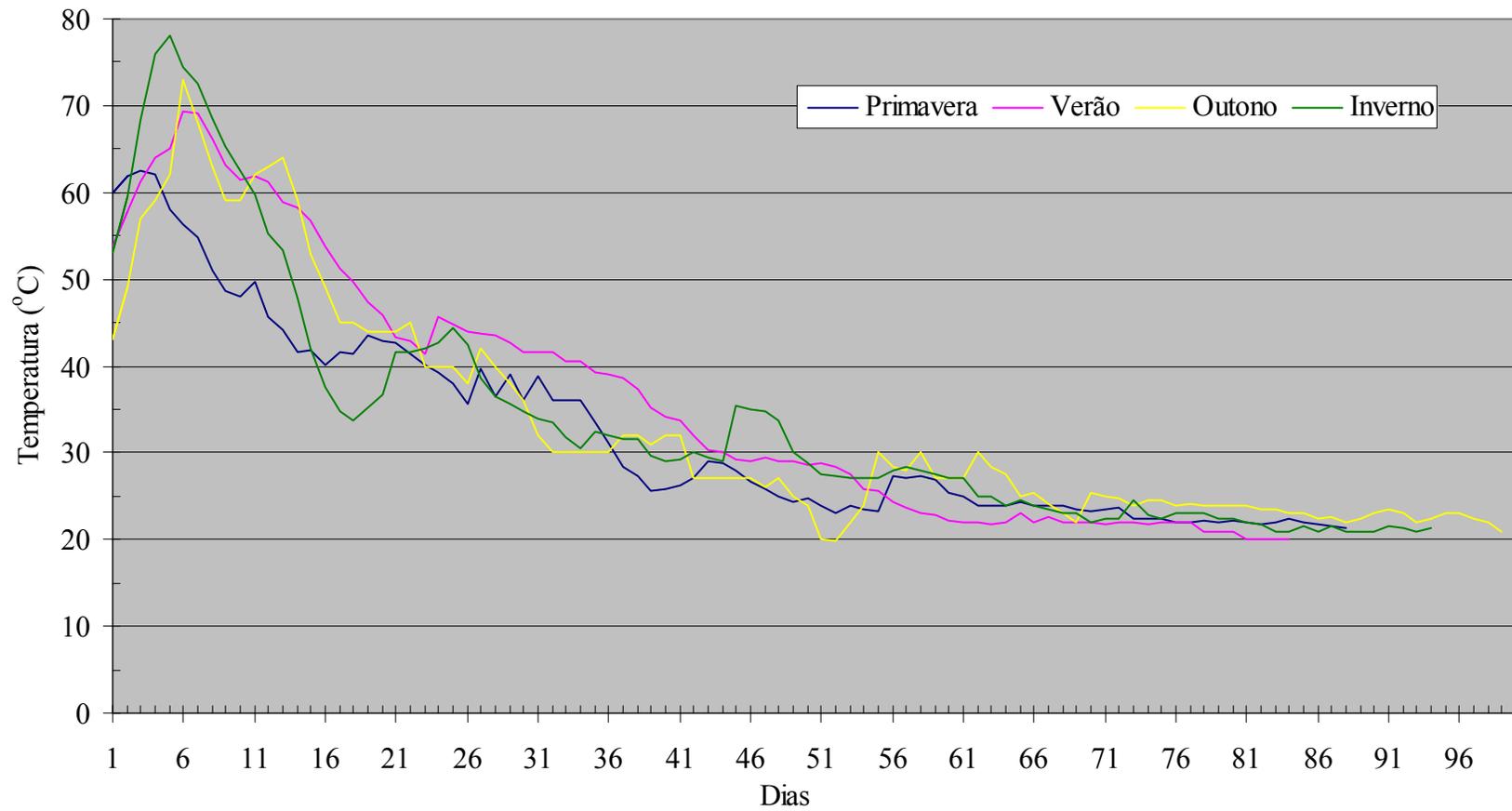


Figura 1 . Temperatura diária nas quatro estações do ano, para as leiras descobertas, em dias após a montagem.

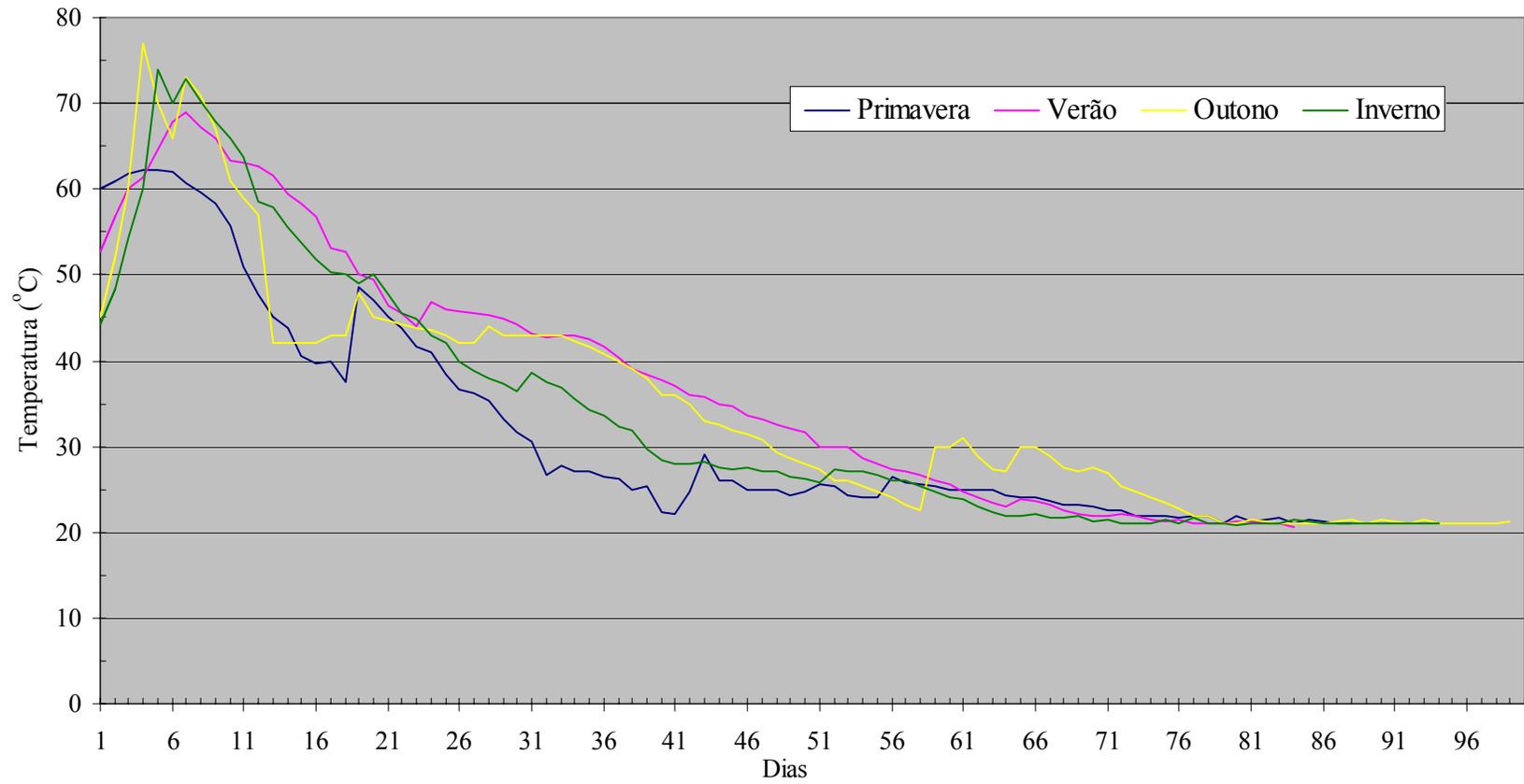


Figura 2 . Temperaturas diárias das leiras nas quatro estações do ano para as leiras cobertas..

Observando-se o Quadro 3 e Figuras 1 e 2, nota-se que as temperaturas máximas ocorreram na primeira semana de compostagem em todas as estações, independentemente da leira estar com ou sem cobertura. A diferença entre os tratamentos leira descoberta e coberta, no que se relaciona a pico de temperatura, foi pequena (1 dia). Observa-se também que, em todas as estações, tanto nas leiras descobertas quanto nas cobertas, a temperatura estava abaixo de 30°C após 42 dias de processo de compostagem.

As Figuras 3a, 3b, 3c e 3d mostram as curvas de variação de temperatura nas leiras cobertas e nas descobertas ao longo do ensaio em cada estação do ano.

Quando se compara as curvas de temperaturas médias das leiras coberta e descoberta, verifica-se que em todas as estações as variações foram semelhantes, e as duas apresentaram um mesmo padrão.

Ao dados indicam que, a cobertura das leiras não interfere de forma negativa durante o processo de compostagem, no que se relaciona à temperatura.

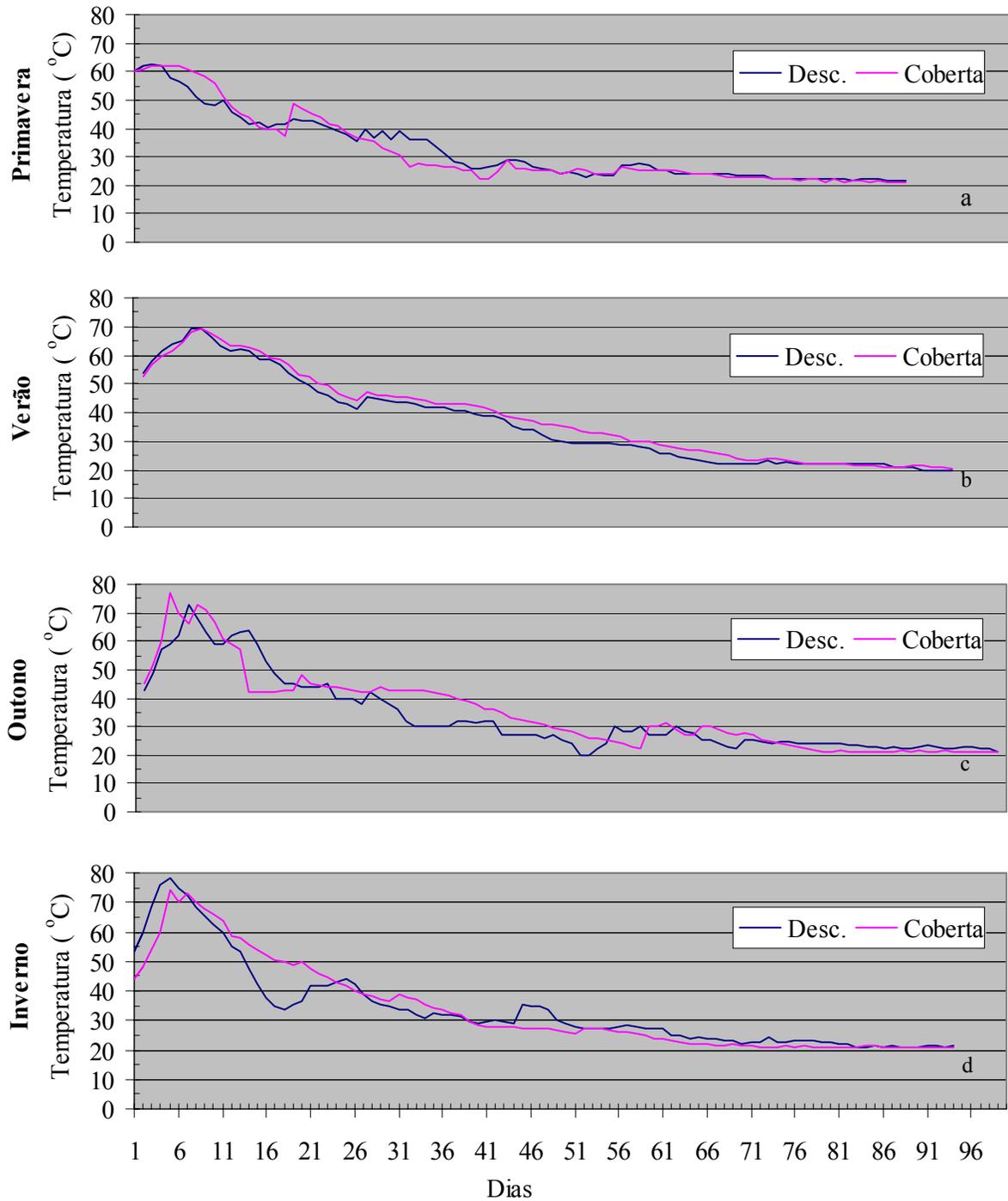


Figura 3. Temperaturas médias semanais, das leiras descoberta e coberta nos ensaios de primavera (a), verão (b), outono (c) e inverno (d).

6.2.1.2 Volume do material enleirado

No Quadro 4 são apresentados os volumes, em m³, do material enleirado durante o período de compostagem e as reduções totais, em porcentagem, a cada período. As medidas são referentes ao volume inicial, e após os 30, 60 e 90 dias.

Quadro 4 . Redução do volume das leiras de compostagem ao longo do processo, nas quatro estações do ano, para as leiras descobertas e cobertas.

Leiras	Inicial	15 dias	30 dias	60 dias	Final	Red. (%)
		----- Volume (m ³) -----				
P.D.	2,34	1,78	1,33	1,16	1,08	53,85
P.Co.	2,21	1,71	1,31	1,13	1,05	52,50
V.D.	2,60	1,85	1,39	1,13	1,10	57,69
V.Co.	3,00	2,23	2,61	2,17	1,97	34,33
O.D.	2,76	2,07	1,67	1,43	1,34	51,45
O.Co.	3,64	2,85	2,25	1,9	1,77	51,38
I.D.	1,99	1,32	0,96	0,82	0,78	60,08
I.Co.	2,73	1,97	1,48	1,21	1,09	60,07
Médias						
D.	2,42	1,75	1,34	1,13	1,07	55,77
Co.	2,89	2,19	1,91	1,60	1,47	49,57

P = primavera, V = verão, O = outono, I = inverno;

D = leira descoberta, Co = leira coberta.

Os valores apresentados no Quadro 4 mostram que as reduções variaram de 41,3 a 58,7%, valores estes que representam significativa redução da área utilizada por uma leira ao longo do processo de compostagem, podendo esta área ser liberada para outras leiras.

As Figuras 4 e 5 mostram as curvas de redução de volume das leiras descobertas e cobertas, nas quatro estações, onde observa-se que houve maior redução do volume nos primeiros 15 dias. Comparando-se as estações entre si verifica-se um padrão de redução homogêneo nas curvas, o mesmo acontecendo quando se compara as leiras descobertas com as cobertas.

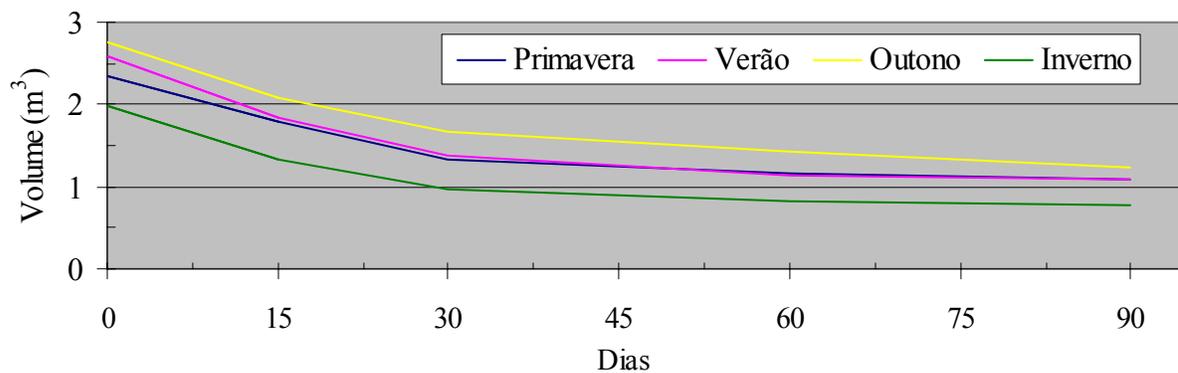


Figura 4. Redução do volume das leiras nas quatro estações do ano, para as leiras descobertas em, m³.

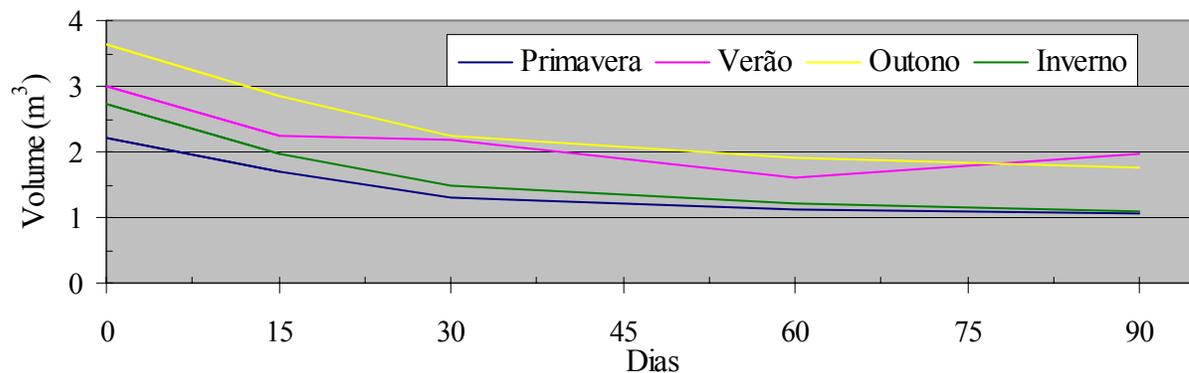


Figura 5. Redução do volume nas quatro estações do ano, para as leiras cobertas, em m³.

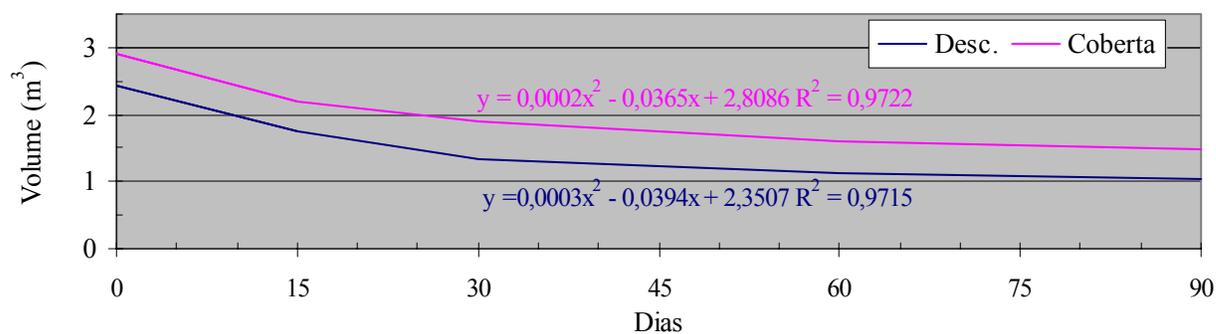


Figura 6. Redução média anual do volume das leiras descobertas e cobertas.

Os efeitos da cobertura da leira na redução do volume podem ser observados na Figura 6, na qual são apresentadas as curvas e equações obtidas com os dados médios das quatro estações do ano para as leiras cobertas e descobertas.

As equações polinomiais obtidas ($y = 0,0003x^2 - 0,0394x + 2,3507$, para leiras descobertas e $y = 0,0002x^2 - 0,0365x + 2,8086$, para leiras cobertas) podem ser utilizadas para a otimização de espaço planejamento e dimensionamento de pátios destinados à compostagem, uma vez que determinam a liberação de área durante o processo em função da redução do volume das leiras.

Tais equações podem ser utilizadas, no caso do município de São Lourenço da Serra, considerando-se uma produção média diária de 6.000 kg de lixo “in natura”, com uma fração orgânica passível de sofrer o processo de compostagem igual a apresentada no Quadro 2, ou seja, 3.841,5 kg.

Um exemplo de como poderão ser utilizadas as equações que demonstram as reduções de volume das leiras cobertas e descobertas, na otimização de pátios de compostagem para o município de São Lourenço da Serra, deve partir da definição da dimensão inicial das leiras, a qual é função do número de dias em que será acumulado o lixo para confecção de uma leira. Assim, para leiras confeccionadas com lixo correspondente à uma semana, ter-se-ia: a) Quantidade de fração orgânica do lixo de uma semana = 26.890,5 kg; b) Densidade média do lixo = 161,3 kg/m³; c) Volume de lixo correspondente = 166,71 m³, ou seja, volume inicial da leira.

Considera-se a redução de volume expressiva até 56 dias após a montagem das leiras e um tempo de compostagem de 90 dias até a obtenção do composto.

Considera-se também que as leiras serão montadas e mantidas com seção transversal igual a uma parábola com base de 5 metros e 1,80 metros de altura, definida pela equação $y = - 0,288 x^2 + 1,44 x$. Isto implica em área da seção transversal igual a 5,985 m². Para um volume inicial de 166,71 m³ ter-se-ia comprimento de leira igual a 27,86 m, ou seja, 139,27 m² de área requerida no início de cada leira.

Para 90 dias de compostagem ter-se-ia 13 leiras no pátio, ocupando área total conforme demonstrada no Quadro 5, ou seja, 1.110,04 m². Portanto, se a opção for trabalhar com leiras cobertas, o município deve investir na construção de pátio de compostagem que tenha cobertura de aproximadamente 1.500 m², considerando-se área para movimentação de homens e máquinas.

Quadro 5. Redução do volume e área ocupada em m², das leiras, durante treze semanas .

Semanas	Volume (m ³)													Área (m ²)
	Leira 1	Leira 2	Leira 3	Leira 4	Leira 5	Leira 6	Leira 7	Leira 8	Leira 9	Leira 10	Leira 11	Leira 12	Leira 13	
0	139,27													139,27
1	125,90	139,27												265,17
2	111,94	125,90	139,27											377,11
3	99,75	111,94	125,90	139,27										476,86
4	89,33	99,75	111,94	125,90	139,27									566,19
5	80,69	89,33	99,75	111,94	125,90	139,27								646,88
6	73,81	80,69	89,33	99,75	111,94	125,90	139,27							720,69
7	68,71	73,81	80,69	89,33	99,75	111,94	125,90	139,27						789,40
8	65,38	68,71	73,81	80,69	89,33	99,75	111,94	125,90	139,27					854,77
9	63,82	65,38	68,71	73,81	80,69	89,33	99,75	111,94	125,90	139,27				918,59
10	63,82	63,82	65,38	68,71	73,81	80,69	89,33	99,75	111,94	125,90	139,27			982,41
11	63,82	63,82	63,82	65,38	68,71	73,81	80,69	89,33	99,75	111,94	125,90	139,27		1.046,22
12	63,82	63,82	63,82	63,82	65,38	68,71	73,81	80,69	89,33	99,75	111,94	125,90	139,27	1.110,04
13	63,82	63,82	63,82	63,82	63,82	65,38	68,71	73,81	80,69	89,33	99,75	111,94	125,90	1.034,58

6.2.2 Processamento das leiras

Ao término de cada período de compostagem as leiras, cobertas e descobertas, foram pesadas, peneiradas e novamente pesadas obtendo-se assim o rendimento em composto.

Quadro 6 . Peso e umidade inicial e final do lixo enleirado e do composto, em quilogramas e porcentagem, nas quatro estações do ano, para as leiras descobertas e cobertas.

Leiras	Peso (kg)		Umidade (%)	
	Inicial	Final	Inicial	Final
P.D	388,3	176,5	71	63
P.Co.	408,0	151,3	71	52
V.D	362,8	214,8	69	67
V.Co.	385,0	169,7	69	55
O.D	318,0	129,8	73	57
O.Co.	428,0	154,1	73	49
I.D	531,4	156,5	81	60
I.Co.	470,0	97,4	81	45
Médias				
D.	400,0	169,4	73,5	61,7
Co.	422,7	143,1	73,5	50,2

P = primavera, V = verão, O = outono e I = inverno

D = leira descoberta, Co = leira coberta.

No Quadro 7 são apresentados os valores de rendimento obtidos com base na matéria seca. Verifica-se que o rendimento variou pouco entre as estações do ano, bem como entre as leiras que permaneceram descobertas e cobertas.

Os valores de rendimento obtidos mostraram-se superiores aos quantificados por Gorgati & Lucas Jr. (1996) que foram de 40% de composto a partir da compostagem da fração orgânica de lixo urbano no município de São José do Rio Preto - SP.

Quadro 7 . Rendimento de composto das leiras conduzidas, em porcentagem, nas quatro estações do ano para as leiras descobertas e cobertas.

Leiras	MS inicial (kg)	MS final (kg)	Rendimento (%)
P.D.	112,7	65,3	58,0
P.Co.	160,8	72,6	45,2
V.D.	184,9	70,9	38,4
V.Co.	151,5	76,4	50,4
O.D.	106,2	55,8	52,6
O.Co.	115,6	78,6	68,0
I.D.	98,5	62,6	63,5
I.Co.	84,8	53,6	63,2
Médias			
D.	125,6	63,65	53,1
Co.	128,2	70,3	52,9

P = primavera, V = verão, O = outono, I = inverno;
D = leira descoberta, Co = leira coberta.

Se tomarmos como umidade recomendada para composto em torno de 50% Kiehl (1985), a quantidade média de fração orgânica produzida diariamente (3.841,5kg), valores médios de umidade do lixo enleirado (73,5%) e de rendimentos (53,1% e 52,9%) das leiras descobertas e cobertas, teríamos para o município uma produção média diária de 1.081,11kg de composto nas leiras que permaneceram descobertas e 1.077 kg de composto nas leiras cobertas.

6.2.3 Características químicas do lixo enleirado e do composto

O Quadro 8, mostra os dados referentes aos teores de nitrogênio total (N), carbono total[©], matéria orgânica compostável (MOC) matéria orgânica resistente à compostagem (MOR), demanda química de oxigênio (DQO), teor de sólidos totais (ST), sólidos voláteis (SV) e relação C/N, do lixo e do composto obtido após cada período de compostagem.

Observando-se os dados do Quadro 8 nota-se teores de N total no lixo “in natura” entre 1,59 e 2,53 %, superiores aos obtidos em Gorgati & Lucas Jr. (1996), os quais encontraram valores de N igual a 0,96% para o material inicial. Observa-se também, uma tendência de teores mais elevados de N nas leiras que permaneceram cobertas.

Observando-se os dados referentes a carbono orgânico total, nota-se redução dos teores partindo-se do lixo para o composto em todas as estações do ano. Comparando-se as leiras descobertas e cobertas, verifica-se que os valores de C obtidos para as leiras cobertas são menores, indicando maior degradação do material inicial, os valores de MOC, DQO e SV obtidos reforçam esse fato que se repete em todas as estações do ano fato este reforçado no Quadro 9 e na Figura 7.

Esses dados, juntamente com os valores de MOR, sempre maiores nas leiras que permaneceram cobertas, indicam que a cobertura das leiras favoreceu o processo de compostagem do material, no que se refere a degradação de matéria orgânica

Os valores de C/N obtidos no lixo podem ser considerados abaixo do ideal para o processo de compostagem, quando o recomendado por Kiehl (1985) é em torno de 25 ou 30/1, porém, nota-se uma redução dessa relação ao longo do processo indicando uma estabilização do material orgânico, obtendo-se compostos com C/N média de 11 para as leiras descobertas e 6,6 para as leiras que permaneceram cobertas.

Tais valores se aproximam dos encontrados em Cravo *et al.* (1998) onde verifica-se valores médios de C/N que variam entre 11–13, determinado em compostos de lixo urbano obtidos em várias usinas de compostagem brasileiras, assim como em Queiroz *et al.* (1998), com valores de 11 e 18 respectivamente para composto a partir de lixo não selecionado e lixo selecionado.

Quadro 8 -Teores de Nitrogênio, Carbono, (MOC), (MOR), em porcentagem, (ST), (SV), em gramas, e C/N, do lixo e do composto obtido nas quatro estações do ano para as leiras descobertas e cobertas.

Leiras	N (%)	C (%)	MOC (%)	MOR (%)	DQO (mg/g)	SV (g)	ST (g)	C/N
P.1	2,53	26,76	48,24	18,36	714,49	66,60	92,41	10,59
P.2D.	1,28	12,42	22,32	40,35	333,58	62,67	91,43	9,69
P.2Co.	1,28	10,23	18,36	43,57	271,93	61,93	87,12	7,97
V.1	1,79	24,47	44,10	23,43	653,17	67,53	91,28	13,69
V.2D.	1,4	17,55	31,68	33,78	469,22	65,46	96,67	12,57
V.2Co.	1,54	10,46	18,72	60,11	277,26	63,83	92,08	6,75
O.1	1,59	28,26	50,94	14,88	754,48	65,82	90,42	1780
O.2D.	1,03	14,81	26,64	50,63	394,57	61,25	80,01	14,37
O.2Co.	1,4	12,09	21,78	58,34	322,59	60,12	76,16	8,64
I. 1	1,91	26,79	48,24	16,44	714,49	64,68	92,06	14,03
I.2D.	1,95	16,16	29,16	26,82	431,89	55,98	91,68	8,31
I.2Co.	1,98	13,00	11,81	54,35	174,89	54,16	92,48	3,31

P= primavera, V= verão, O= outono e I= inverno;

1=lixo, 2= composto obtido;

D= leira descoberta, Co = leira coberta.

Quadro 9. Teores médios de C em porcentagem, nos três tratamentos, lixo, leira descoberta e leira coberta, nas quatro estações do ano, para as leiras descobertas e cobertas.

	Primavera	Verão	Outono	Inverno	Médias
Lixo	26,8Aa	24,5Aa	28,3Aa	26,8Aa	26,6Aa
L. descoberta	12,4A b	17,6Ab	14,8Ab	16,2Ab	14,89Ab
L. coberta	10,2Ac	10,4Ac	12,1Ac	13Ac	11,50Ac
F estação (est)					0,3845 ^{NS}
F tratamento (tra)					0,0001**
F est x tra					0,2604 ^{NS}
C. V.					14,9631
R2					0,9043

*F< 0,05 significativo a 5%; **F< 0,01 significativo a 1%; NS F> 0,05 não significativo.

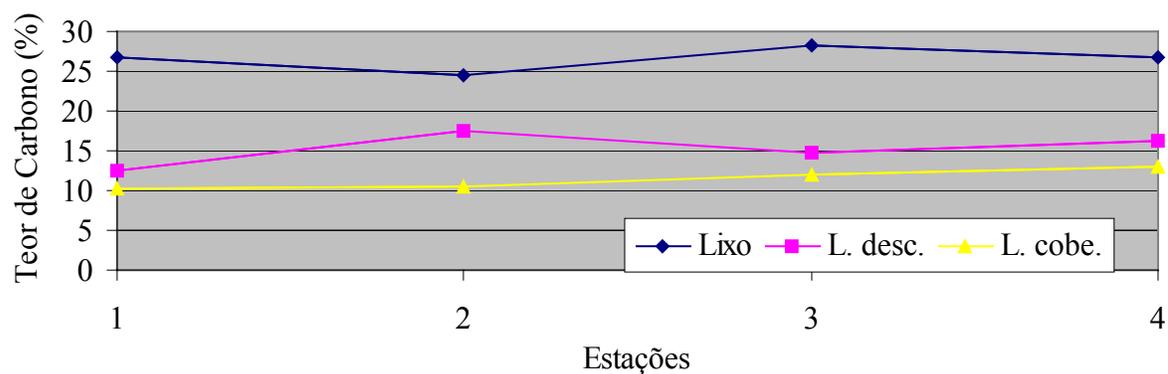


Figura 7. Teores médios de carbono, nos três tratamentos lixo, leira descoberta e leira coberta, nas quatro estações, Primavera (1), Verão (2), Outono (3) e Inverno (4).

Quadro 10. Teores médios de N em porcentagem, nos três tratamentos, lixo, leira descoberta e leira coberta, nas quatro estações do ano, para as leiras descobertas e cobertas

	Primavera	Verão	Outono	Inverno	Média
Lixo	2,53a	1,79a	1,59a	1,91 a	1,95 a
L. descoberta	1,28b	1,4a	1,03a	1,95 a	1,63 b
L. coberta	1,28b	1,54a	1,40a	1,98 a	1,41 b
F estação (est)					0,0210
F tratamento (tra)					0,0015
F est x tra					0,0072
C. V.					19,2190
R2					0,6859

F < 0,05 significativo a 5%; F < 0,01 significativo a 1%; F > 0,05 não significativo.

Quadro 11. Teores médios de P em porcentagem, nos três tratamentos, lixo, leira descoberta e leira coberta, nas quatro estações do ano, para as leiras descobertas e cobertas

	Primavera	Verão	Outono	Inverno	Médias
Lixo	0,23a	0,18a	0,18a	0,29 a	0,22a
L. descoberta	0,12ab	0,09a	0,09a	0,09 b	0,10b
L. coberta	0,15ab	0,08a	0,12a	0,10 b	0,09b
F estação (est)					0,2219
F tratamento (tra)					0,0001
F est x tra					0,2041
C. V.					35,6211
R2					0,7108

F < 0,05 significativo a 5%; F < 0,01 significativo a 1%; F > 0,05 não significativo.

Os teores de macro e micro nutrientes são apresentados no Quadro 12, no qual observa-se teores de cálcio variando entre 0,3 e 2,9 g/100g, potássio entre 0,64 e 2,88 g/100g e magnésio entre 0,2 e 0,5 g/100g, estes valores estão próximos aos encontrados em Cravo (1998), com teores médios para cálcio, potássio e magnésio respectivamente iguais a 2,5; 0,8 e 0,4 g/100g, para composto de lixo urbano obtido em várias usinas de compostagem do Brasil.

Em Queiroz et al. (1998), encontra-se teores para Ca de 0,002g/100g, Mg de 0,001g/100g e para K teores de 0,004g/100g, valores bem inferiores aos encontrados no presente trabalho.

No Quadro 12, ainda, observa-se teores de cobre entre 14 e 80 mg/kg, bem inferiores aos valores toleráveis em compostos de lixo da Alemanha Associação Federal para Qualidade do Composto (BGGK) igual a 100mg/kg, assim como o zinco aparece com teores entre 50 a 136 mg/kg e os limites aceitáveis pela mesma Associação, são de 400 mg/kg, segundo Grossi (1993).

Os teores de ferro estão dentro da faixa encontrada nos compostos descritos em Cravo (1998) e, por se tratar de um elemento de baixa solubilidade e não tóxico Alloway (1990), seu teor nos compostos não é preocupante.

O Ni apareceu apenas em um período e ainda assim, com teores abaixo do tolerável (50 mg/kg) em compostos de lixo da Alemanha, Grossi (1993).

No caso do município de São Lourenço da Serra, conforme discutido no item 6.2.2, a produção de aproximadamente 390kg de composto, em matéria seca, com leiras descobertas representaria uma quantidade média diária de 5,65 kg de N; 0,390 de P; 7,1kg de K; 5,1 kg de Ca e 0,273 kg de Mg, para as leiras cobertas os 513 kg de composto, em matéria seca, aos valores seriam: 7,9 kg de N; 0,72 kg de P; 11,2 kg de K; 8,5 kg de Ca e 0,154 kg de Mg.

Quadro 12 – Teores de macronutrientes, em porcentagem, e micronutrientes, em mg/kg, do lixo enleirado e do composto obtido, nas quatro estações do ano e nos dois tratamentos, leira coberta e descoberta.

Leiras	-----g/100g-----						-----mg/kg-----					
	C	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Ni	Zn	Mn	Fe	Na
P.1	26,8	2,53	0,23	1,87	2,90	0,04	20	20	60	327,6	16134	41.8
P.2D.	12,4	1,28	0,15	0,64	0,30	0,02	14	4	54	212	19666	4
P.2Co.	10,2	1,28	0,12	0,56	0,80	0,02	22	0	56	248	20840	6
V.1	24,5	1,79	0,18	2,37	0,40	0,03	13	0	42,1	199,12	14192	25.74
V.2D.	17,6	1,4	0,09	1,5	0,50	0,05	80	0	120	240	30000	3.3
V.2Co.	10,4	1,54	0,08	2,56	2,80	0,03	30	0	56,7	306,7	28333	33.3
O.1	28,3	1,59	0,18	3,05	2,70	0,04	52	0	69,1	271,6	15239	25.2
O.2D.	14,8	1,03	0,09	2,83	2,20	0,03	33	0	83,3	440	23667	33.3
O.2Co.	12,1	1,4	0,12	3,36	0,90	0,05	57	0	136,7	196,7	31967	30
I.1	26,8	1,91	0,29	2,88	1,80	0,03	22	0	46,8	146,6	10037	51.2
I.2D.	16,2	1,95	0,09	2,3	2,20	0,03	26	0	50	116	14620	32
I.2Co.	13	1,98	0,10	2,28	2,10	0,03	26	0	60	126	15800	30
Médias												
D.	20,3	1,45	0,10	1,81	1,30	0,03	38,25	1	76,82	252,0	21988	18,15
Co.	15,23	1,55	0,14	2,19	1,65	0,03	33,75	0	77,3	219,2	24235	24,8

P= primavera, V= verão, O= outono e I= inverno;

1= material enleirado, 2= composto obtido;

D= leira descoberta, Co = leira coberta.

Quadro 13. Teores de Cu, Pb e Cr , em mg/kg, no lixo enleirado e no composto nas quatro estações do ano, para as leiras descobertas e cobertas

Leiras	Chumbo (mg/kg)	Cádmio (mg/kg)	Cromo (mg/kg)
P.1	28,27	1,51	24,00
P.2D.	0	1,60	34,00
P.2Co.	24,05	1,40	28,00
V.1	21,70	1,31	23,10
V.2D.	4,00	2,66	73,30
V.2Co.	11,0	3,00	23,30
O.1	9,29	1,50	17,40
O.2D.	0	2,33	46,62
O.2Co.	6,61	2,33	30,20
I.1	18,03	1,47	13,83
I.2D.	0	1,42	0
I.2Co.	8,00	1,43	0

P= primavera, V= verão, O= outono e I= inverno;

1= material enleirado, 2= composto obtido;

D= leira descoberta, Co = leira coberta.

Observando-se os teores de Chumbo, Cádmio e Cromo Quadro 13, obtidos nas leiras que permaneceram descobertas e cobertas, nota-se valores mais baixos de Pb nas leiras descobertas, enquanto que os teores de Cr e Cd foram menores nas leiras que permaneceram cobertas.

Os maiores teores de Cr observados nas leiras descobertas dos ensaios de primavera, verão e outono, com relação ao material original, devem ser considerados com relação a sua concentração, uma vez que ocorre significativa redução na matéria seca em relação ao início do processo.

Cravo et al (1998), em estudo comparativo entre compostos produzidos a partir de lixo urbano em algumas usinas no Brasil, encontrou teores médios de Cd de 2,83 mg/kg, os teores encontrados para Pb e Cr foram respectivamente 238,90 e 89,84 mg/kg.

Queiroz et al (1998), comparando teores de metal pesado em composto de lixo urbano selecionado e não selecionado, encontrou valores de Cd 1,9 mg/kg no composto de lixo não selecionado e 0,0 no composto de lixo selecionado. Para o Pb os valores foram 53 e 5,6 mg/kg para lixo selecionado e não selecionado respectivamente e para Cr 51 e 23 mg/kg.

Os teores desses metais encontrados no composto estão dentro dos limites máximos permitidos pela Associação Federal para Qualidade do Composto (BGGK), na Alemanha, para Pb 150 e Cr 100 mg/kg, quanto ao Cd observou-se teores acima do estabelecido 1,5 mg/kg.

6.3 Análise do chorume

6.3.1 Produção de chorume durante o processo de compostagem

Durante a execução de cada ensaio, mediu-se a quantidade de chorume produzido no processo e coletou-se amostras para posterior análise. Mediu-se também, a precipitação pluviométrica que incidiu sobre a área de compostagem que permaneceu descoberta. Os valores de volume de chuva e chorume medidos são mostrados no Quadro 14.

Observando-se os dados do Quadro 14, nota-se que a produção de chorume pelas leiras que permaneceram descobertas chegou a ser quase 2 mil vezes maior do que na coberta que foi de zero no ensaio de verão, por exemplo, indicando que a influência da incidência de chuva na produção de chorume é muito significativa. Nas demais estações os valores não foram tão extremos mas, em todas elas a diferença de volume de chorume produzido pelas duas leiras, é bem nítida.

Quadro 14. Volume de chuva que incidiu sobre a área de compostagem das leiras, e volume de chorume, produzido durante o processo nas quatro estações do ano, nas leiras descobertas e cobertas, em Litros

Leiras	Volume de chuva ------(Litros) -----	Volume de chorume -----
P.D.	2568	1909
P.Co.	0	17
V.D.	2845	1980
V.Co.	0	0
O.D.	1062	382
O.Co.	0	12
I.D.	996	615
I.Co.	0	17

P = primavera, V = verão, O = outono, I = inverno;
D = leira descoberta, Co = leira coberta.

A Figura 8, mostra as curvas de produção de chorume durante o processo de compostagem, e a incidência de chuva sobre a área de compostagem das leiras, acumuladas em sete dias, em todas as estações do ano, nas leiras cobertas e descobertas, onde nota-se que em todas as estações do ano a produção de chorume na leira descoberta esteve diretamente relacionada com a incidência de chuva, e nas leiras que permaneceram cobertas a produção de chorume não se mostrou significativa.

Nas Figuras 9, 10, 11 e 12, as equações lineares que relacionam o volume de chuva incidente o volume de chorume produzido nas leiras que permaneceram

descobertas, (primavera $Y = 0,8638x + 1,9158$; verão $Y = 0,8077x - 4,305$; outono $y = 0,3885x - 0,3327$ e inverno $y = 0,564x + 0,4976$) permitem a estimativa de produção de chorume a partir do volume de chuva sobre a área de compostagem, o que seria de grande importância para o dimensionamento de um sistema de tratamento de chorume.

Aplicando-se as equações que relacionam chuva incidente e chorume produzido para o município de São Lourenço da Serra, onde o volume de chuva na estação mais chuvosa (verão) e na menos chuvosa (inverno) foi de respectivamente de 2845 e 996 litros, ter-se-ia uma produção de chorume de 3528 L no verão e de 1.765 L no inverno, considerando-se a área de compostagem utilizada no experimento (6 m^2).

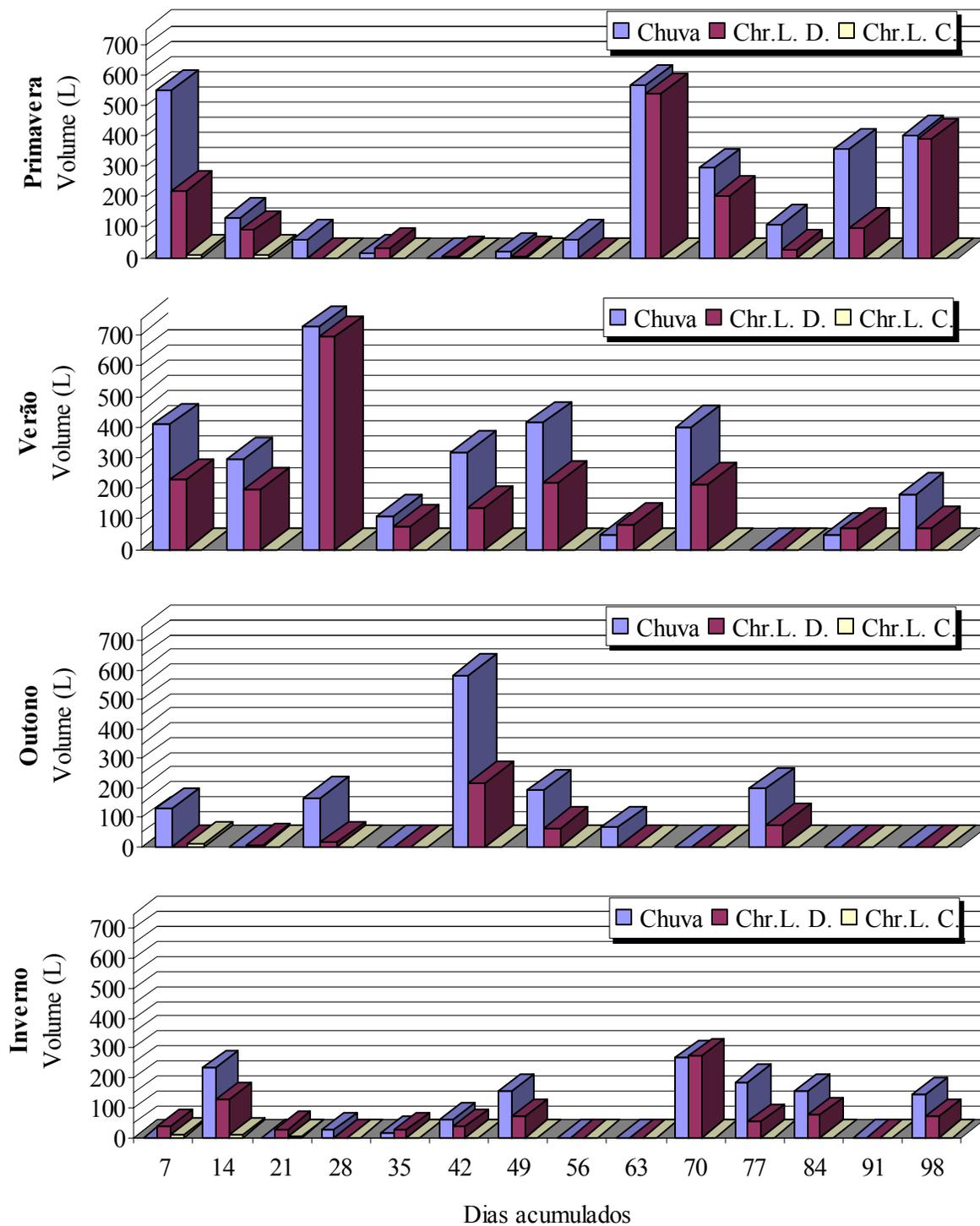


Figura 8. Volume acumulado de chuva sobre a área de compostagem, e chorume produzido, em litros, para as quatro estações do ano, nas leiras descobertas e cobertas.

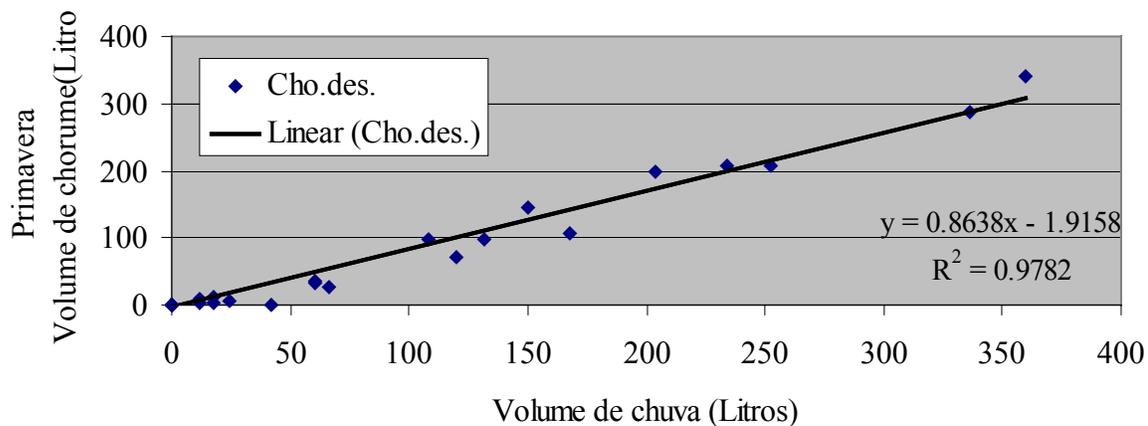


Figura 9. Linha de tendência, equação da reta e valor de R^2 entre o volume de chuva incidente sobre a área da leira e o volume de chorume produzido no ensaio de Primavera

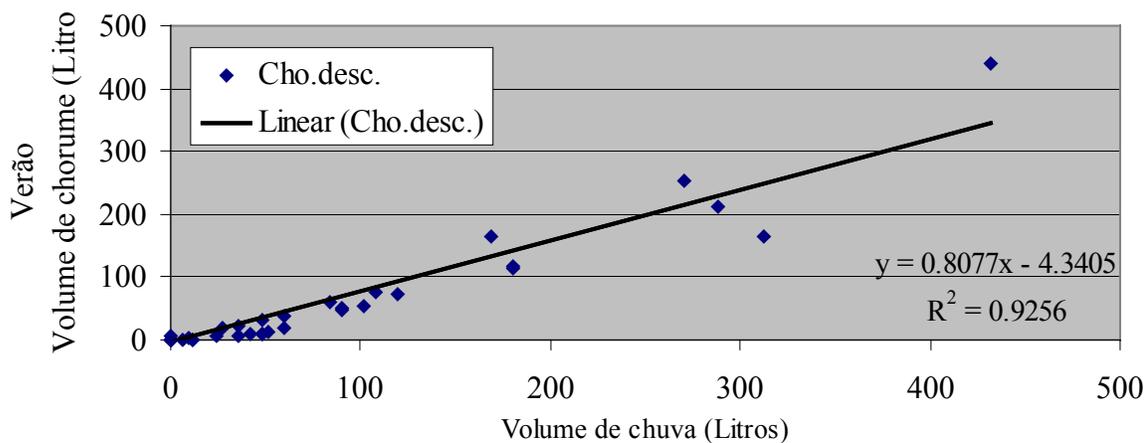


Figura 10. Linha de tendência, equação da reta e valor de R^2 entre o volume de chuva incidente sobre a área da leira e o volume de chorume produzido no ensaio de Verão

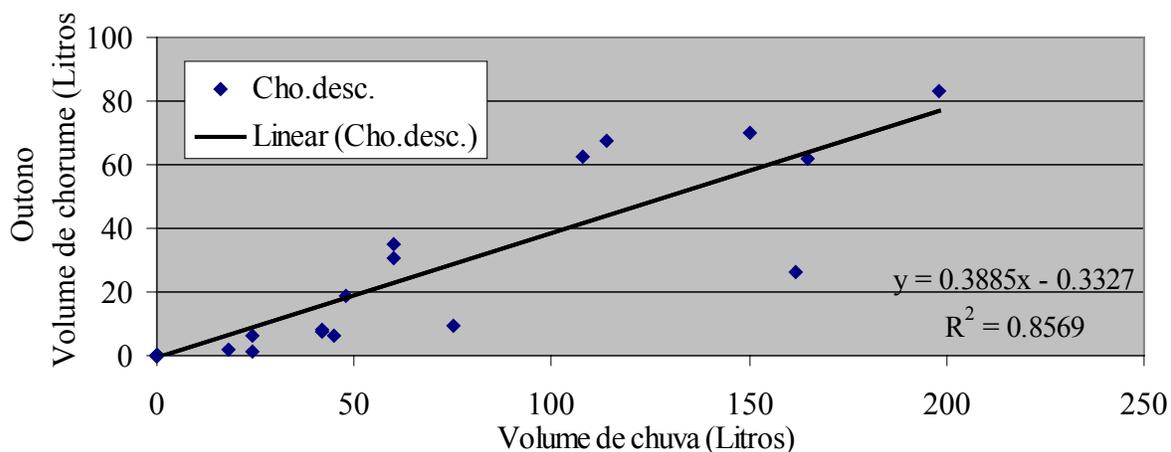


Figura 11. Linha de tendência, equação da reta e valor de R^2 entre o volume de chuva incidente sobre a área da leira e o volume de chorume produzido no ensaio de Outono

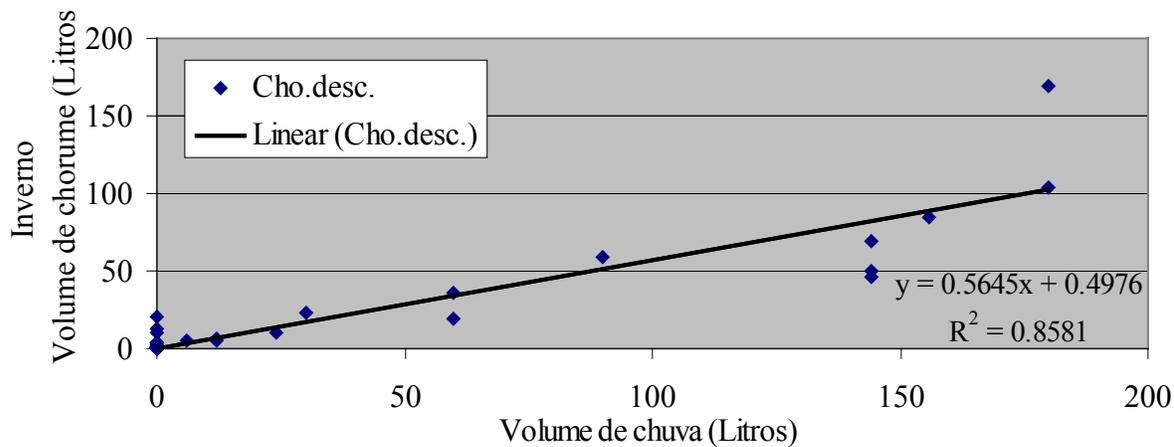


Figura 12 Linha de tendência, equação da reta e valor de R^2 entre o volume de chuva incidente sobre a área da leira e o volume de chorume produzido no ensaio de Inverno.

6.3.2 Características químicas do chorume coletado

O resultados das análises efetuadas no chorume coletado durante o processo serão apresentados a seguir, em valores totais por estação do ano para leiras que permaneceram descobertas e cobertas.

O Quadro 15, mostra a quantidade de chuva que incidiu sobre a área de compostagem, volume de chorume produzido durante o processo, quantidade de água adicionada às leiras cobertas, teores de sólidos totais, sólidos voláteis, demanda química de oxigênio e demanda bioquímica de oxigênio, para as quatro estações, nas leiras descobertas e cobertas.

Quadro 15 . Quantidade da água adicionada às leiras cobertas, quantidade de chuva que incidiu sobre a área de compostagem, volume de chorume produzido durante o processo, em Litros, e teores de ST, SV, DQO e DBO, em mg/Litro, nas amostras coletadas, nas quatro estações do ano, nas leiras descobertas e cobertas

Leiras	Água ad. (litro)	Chuva (litro)	Chorume (litro)	ST (mg/litro)	SV (mg/litro)	DQO mg/litro	DBO mg/litro
P.D.	0	2568	1909	22331	10589,5	31683	6820
P.Co.	72	0	17	26295	14050	36096	4550
V.D.	0	2845	1980	8297,5	5332,5	19200	1652
V.Co.	80	0	0	-	-	-	-
O.D.	0	1062	382	4277	2697,5	2270,898	465,6434
O.Co.	40	0	12	16490	10772,5	11531,12	65127,71
I. D.	0	996	615	18407,5	12712	72542,6	7433,389
I. Co.	0	0	17	51852,5	18295,5	11420,91	95189,01

P = primavera, V = verão, O = outono, I = inverno;
D = leira descoberta, Co. = leira coberta.

Em Berrueta e Castrillon (1991), são apresentados valores médios de DQO de chorume de aterro sanitário variando de 6649 a 15425 mg/L.

Torres *et al* (1997) estudando a viabilidade de depuração biológica, em sistema de fluxo contínuo, do chorume produzido pelo aterro de Palmira (Colômbia), observaram valores de DQO de 11.000 e 3.000 mg/L respectivamente para os períodos seco e chuvoso.

No caso do município de São Lourenço da Serra, considerando-se a situação de maior produção de chorume, leira descoberta na estação de verão, a produção de 1980 L de chorume com valores de DBO de 1652 mg/L de chorume, representa uma DBO total da ordem de 3.270.960 mg de O₂, para este mesmo período não houve produção de chorume na leira que permaneceu coberta.

Pelas quantidades de água adicionada nas leiras cobertas durante o processo de compostagem e volume de chorume produzido pelas mesmas, Quadro 15, pode-se afirmar que a recirculação do chorume sobre as leiras, neste caso, seria viável evitando-se o problema com a disposição do chorume e enriquecendo o composto produzido.

A importância da cobertura das leiras fica ressaltada se for considerado que o volume de chorume gerado nas leiras cobertas de Primavera = 17 litros, Verão = 0, Outono = 12 litros e Inverno = 17 litros, é bem menor do que a quantidade de água que foi utilizada em adição para correção da umidade das leiras, ao passo que para as leiras descobertas, a chuva que incidiu sobre as leiras superou a quantidade que seria necessária para correção da umidade, permitindo a geração de aproximadamente 1980 litros de chorume na leira descoberta de verão em uma área de 6 m².

Tomando-se a área necessária para compostagem, conforme calculado no item 6.2.1.2 (1500 m²), observa-se que seriam gerados no período de verão 495.135 litros

de chorume, os quais não poderiam retornar à leira e teriam que ser tratados antes da disposição final.

Deve-se analisar a questão sob o ponto de vista econômico: investimento em pátio com cobertura e minimização de impacto ambiental sem necessidade de tratamento do chorume ou investimento em pátio de compostagem sem cobertura, porém com necessidade de sistema de coleta, tratamento e disposição final do chorume gerado, além dos custos operacionais de manejo do chorume.

O Quadro 16 mostra a caracterização química do chorume coletado durante o processo de compostagem das leiras conduzidas durante a primavera, verão outono e inverno, nos dois tratamentos, descobertas e cobertas.

Em Torres et al (1997), encontra-se teores de N total = 5,25 mg/L, fósforo total = 2,97 mg/L, níquel = < 0,005 mg/L, cobre = 0,059 mg/L, ferro = 12,85 mg/L e magnésio = 27,12 mg/L, para chorume de aterro sanitário.

Para o município de São Lourenço da Serra, com os teores apresentados no Quadro 16 e com a quantidade de chorume produzida, conforme Quadro 15, ter-se-ia em torno de 276g de N no total de chorume produzido durante a estação de primavera pela leira descoberta, enquanto que na leira coberta essa quantidade é de 6,9g de N, em torno de quarenta vezes menor.

Quadro 16. Teores de macronutrientes e micro nutrientes em mg/L de chorume produzido durante o processo de compostagem nas quatro estações do ano, para as leiras descobertas e cobertas.

Leiras	Chor. (litros)	N	P	K	Mg	Ca	Cu	Fe	Mn	Zn	Na	Ni
		----- mg/L-----										
P.D.	1909	144.77	12.76	54.35	0.02	0.01	0.04	2.08	0.80	0.08	0.23	0.01
P.Co.	16.88	410.68	21.85	414.84	0.33	0.18	0.07	3.81	0.30	0.12	1.35	0.08
V.D.	1980.5	189.80	19.27	58.84	0.04	0.51	0.04	4.79	0.10	0.07	0.32	0.02
V.Co.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O.D.	381.79	365.88	17.83	96.58	0.03	0.00	0.02	4.03	0.08	0.01	0.42	0.00
O.Co.	12.45	1527.5	86.33	603.31	1.48	6.87	0.08	23.59	2.17	0.42	2.36	0.06
I.D.	614.97	726.45	32.79	316.04	0.25	0.57	0.12	4.62	0.47	0.13	0.75	0.03
I.Co.	16.9	3069.1	66.10	756.11	1.22	2.65	0.11	19.02	1.46	0.28	2.19	0.07

P = primavera, V = verão, O = outono, I = inverno;
D = leira descoberta, Co. = leira coberta.

No Quadro 17, são apresentados os teores de chumbo, cádmio e cromo no chorume coletado nas quatro estações do ano, para as leiras descobertas e cobertas.

Quadro 17. Teores de Cu, Pb e Cr , em mg/L, no chorume produzido durante o processo nas as quatro estações do ano para as leiras descobertas e cobertas.

Leiras	Chorume (litros)	Chumbo mg/L	Cádmio mg/L	Cromo Mg/L
P.D.	1909	0,183	0,046	0,010
P.Co.	17	0,129	0,056	0,020
V D.	1980	0,321	0,045	0,013
V Co.	0	0	0	0
O.D.	382	0,005	0	0,014
O.Co.	12	0,031	0,002	0,082
I.D.	615	0,109	0,026	0,063
I.Co.	17	0,273	0,014	0,050

P = primavera, V = verão, O = outono , I = inverno;
D = leira descoberta, Co. = leira coberta.

Em Berrueta e Castrillon (1991), são apresentados valores de Pb, Cd e Cr, para chorume de aterro sanitário, de 1,0; 0,08 e 0,6 mg/L, respectivamente.

Em Torres et al (1997), encontra-se teores de N total = 5,25 mg/L, F total = 2,97 mg/L, Pb < 0,01 mg/L, Cd < 0,001 e Cr < 0,003 mg/L.

Embora os valores estejam próximos quando se compara as leiras descobertas e cobertas, deve-se atentar para as quantidades de chorume obtidas, no ensaio de inverno, por exemplo, os teores de Pb para o total de chorume produzido é de 67,12 mg para a leira descoberta e de 4,6 mg para a leira coberta, assim como o Cr no ensaio de outono, com teores totais de 5,6 mg para leiras descobertas e 1,02 mg.

7 CONCLUSÕES

O estudo realizado com a compostagem da fração orgânica do lixo urbano do município de São Lourenço da Serra – SP, permitiu as seguintes conclusões:

1. Embora não tenha ocorrido diferenças entre as leiras cobertas e descobertas no que se relaciona à temperaturas observadas durante o processo de compostagem e qualidade do composto em termos de concentração de nutrientes, os valores de matéria orgânica compostável e matéria orgânica resistente à compostagem indicaram que houve maior estabilização no composto obtido nas leiras cobertas.

2. As equações que refletem o decréscimo de volume das leiras pode permitem o dimensionamento de pátios de compostagem de forma a otimizar os espaços, ao passo que a equações de correlação entre chuva e geração de chorume permitem uma previsão de volume total de chorume, permitindo o dimensionamento de sistemas de tratamento. A

quantidade de chorume gerada pela leira coberta, foi muito inferior a que permaneceu descoberta e insuficiente para corrigir o teor de umidade das leiras, o que significa não necessidade de sistema de tratamento de chorume quando se adota a cobertura do pátio.

3. Os dados do experimento demonstraram que a cobertura da área de compostagem é um fator a ser considerado e seu custo deve ser analisado juntamente com o custo de um sistema para tratamento de chorume.

4. No caso específico do município de São Lourenço da Serra, com uma produção diária de lixo de 6 toneladas, os resultados demonstraram que:

- seria possível produzir em torno de 1 tonelada de composto por - dia, cobrindo-se ou não o pátio de compostagem;

- a separação dos vários componentes do lixo do município, com uma destinação especial de vidro, papel e papelão, alumínio, PET e do material orgânico, reduziria em torno de 80% a quantidade diária de lixo encaminhada ao Aterro sanitário de Itapecerica da Serra;

- a compostagem da fração orgânica do lixo do município diminuiria em aproximadamente 33 m³, o volume de lixo encaminhado ao Aterro sanitário;

- os resultados referentes à redução de volume das leiras durante o processo de compostagem, demonstram que em cerca de 90 dias, o volume inicial das leiras reduz cerca de 50%, exigindo uma área de aproximadamente 1500m² para compostar a fração orgânica do lixo, em leiras com quantidade acumulada de uma semana;

- cabe à Administração municipal optar pela cobertura da área de compostagem, visando o manejo de menor quantidade de chorume produzido, ou o dimensionamento de um sistema de tratamento para a quantidade de chorume gerada quando não se adota a cobertura de um pátio de compostagem.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADANS, V.D. Water and waste water examination manual. Michigan: Lewis Publishers, 1990. 247p.

A.O.A.C. Official methods of analysis of Association of official Analytical Chemists. 11 ed. Washington, 1970. 1075p.

AVNIMELECH, Y., COHEN, N. A., SHKEDI, D. The effect of municipal solid waste compost on the fertility of clay soils. *Soil Technology*, 3, 275-284, 1990.

BERRUETA, J., CASTRILLON L. Anaerobic treatment of leachates in UASB reactors. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 50(1):33-37, 1992.

- BIDONE, F.R.A. *A vermicompostagem dos resíduos sólidos de curtume, brutos e previamente lixiviados, utilizando composto de lixo urbano como substrato*. São Carlos, 1995. 184 p.
Tese (doutorado)- Escola de Engenharia de São Carlos- USP.
- BRESIN, V. T. Use of MSW compost in comercial sod production. *Biocycle*, 68-72, maio 1995.
- BUSINELLI, M. , GIGLIOTTI, G., GIUSQUIANI, P.L. Trace element fate in soil profile and corn plant after massive applications of urban waste compost: a six year study. *Agrochimica*, 40:4, 145-152, 1996.
- BUSINELLI, M. , GIGLIOTTI, G., GIUSQUIANI, P.L. Heavy metals in the Environment- Mobility of heavy metals in urban solid waste – amended soils. *J. Environ. Qual.* 21:330-335, 1992.
- CAMPANI, D.B., MACCARINI, A., PERUFO, M. Balanço energético dos resíduos sólidos urbanos. In : CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, XXV, 1996, São Paulo. *Anais . . .* São Paulo: SBEA, FCAVJ-UNESP-Jaboticabal.
- CHANYASAK, V., HIRAI, M., KUBOTA, H. Changes of chemical components and nitrogen transformation in water extracts during composting of garbage. *Journal of fermentation technology* , 5, 60 : 439-446, 1982.
- CRAVO, M. S. , MURAOKA, T., GINÉ, M.F. Caracterização química de compostos de lixo urbano de algumas usinas Brasileiras. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 22:547-553, 1998.

- DIAZ, L.F., GOLUEKE, C.G., SAVAGE, G.M. Energetics of compost production and utilization. *Biocycle*, Emmaus, p.49-54. 1986.
- FERNANDES,L., ZHAN,W. Temperature distribution and variation in passively aerated static compost piles. *Bioresource Technology* , p.257-263,1994.
- FINEP - Financiadora de estudos e projetos - *Disposição do lixo no Brasil e suas perspectivas*. Rio de Janeiro: Ed. IBICT 1977. V .1/p. 1-30.
- GILLIS, A. M. Shrinking the trash heap. *Bioscience*. vol. 42 nº2, 90-93, 1992.
- GIORDANO, P.M., MORTVEDT, J.J., MAYS, D.A. Effect of municipal wastes on crop yields and uptake of heavy metols. *J. Environ Qual.*, Madison, v. 4/p.394-399. 1975.
- GLENN, J. RIGGLER, D. Were does the waste go?. *Biocycle*, Emmaus, p. 34-39, 1989.
- GOLDSTEIN, J. Monitoring compost process and quality. *Biocycle*, 48-49, julho 1997.
- GORGATI, C.Q, & LUCAS JR., J. *Fração orgânica de lixo urbano como substrato para biodigestor e como matéria –prima para compostagem e vermicompostagem*. São Paulo, 1996. p.79, (Dissertação Mestrado) - Universidade Estadual Paulista/UNESP.
- IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas, CEMPRE – Compromisso Empresarial para reciclagem. *Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado*. Niza Silva Jardim (Coord.) São Paulo, p. 278, 1995.
- KIEHL, E.J. *Fertilizantes orgânicos*. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1985. 492p.
- KROEGER, B. , BARTH, J. Composting process in Europe. *Biocycle*, 65-68, Abril 1998.

- LIMA, L.M.Q. *Tratamento de lixo*. São Paulo: Ed. Hemus, 1991. 240p.
- NAKASAKI, K., YAGUCHI, H., SASAKI, Y., KUBOTA, H. Effects of oxygen concentration on composting of garbage. *J.Fernunt. Bioeng. Shiznoka*, v. 70, n°6/431-433. 1990.
- PARKS., R., WERF, D. Van der. *Collecting and composting source separated organics*. *Biocycle*, 84-85, Abril 1997.
- PEIXOTO, E.T.G. *Compostagem: opção para o manejo orgânico do solo*. Londrina: IAPAR, 1988. 48p. (Circular 57).
- PFEFFER, J.T. Temperature effects on anaerobic fermentation of domestic refuse. *Biotechnology and bioengineering*, New York, v.16 / p. 1771-1784, 1974.
- QUEIROZ, J.E.G.;LIMA,J.S., FERNANDES,G.B. Estudo sobre o efeito de composto orgânico no crescimento de milho (*Zea mays L.*) : Lixo selecionado X lixo não selecionado. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA ,1998, Salvador - BA. p.201.
- REINHARDT, T. D., POHLAND, F.G. The assimilation of organic hazardous waste by municipal solid waste landfills. *Society for Industrial Microbiology*, 8:193-200, 1991.
- ROSEN, C. J.; HALBACH JR.; SWANSON, B. T. Horticultural uses of municipal solid waste composts. *Hortecchnology*, 3:2, 167-173, 1993.
- SCHALCH, V. *Análise comparativa do comportamento de dois aterros sanitários semelhantes e correlações dos parâmetros do processo de digestão anaeróbia..*) São Paulo, 1991. 220p. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos - USP.

SMA/CEPAM-Secretaria do Meio Ambiente/ Coordenadoria de Educação Ambiental. *Guia pedagógico do lixo*. José Flávio de Oliveira (Coord.). São Paulo, 96p. 1998.

TALASHILKAR,S.C., VIMAL,O.P. Studies on increasing the use efficiency of N and P fertilizers in combination with city solid waste. *Journal Indian Society of soil science*. 34:780-784, 1986.

XIN, T. H.; TRAINA, S. J.; LOGAN, T. J. Chemical properties of municipal solid waste composts. *J. Environ. Qual.* 21:318-329, 1992.

WERNER, M. Using leachate on the Windrows. *Biocycle*, p. 59-61, 1996.