

JEFERSON DE AZEVEDO

**ESTUDO AMBIENTAL/ECONÔMICO DO COMPOSTO ORGÂNICO
DO SISTEMA DE BENEFICIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS
URBANOS DA USINA DE IRAJÁ,
MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO.**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em Geociências da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do grau de mestre. Área de Concentração: Geoquímica Ambiental.

**Orientador: Prof. Dr. Emmanoel Vieira da Silva Filho
Co-orientador: Prof. Dr. Raimundo Nonato Damasceno**

**NITERÓI
2000**



JEFERSON DE AZEVEDO

**Mestre em Geociências
Pós-graduado em Eng. Sanitária e Ambiental
Pós-graduado em Docência Superior
Consultor Ambiental
Químico**

**Emails: jeffazevedo@ig.com.br
jeffazevedo@brfree.com.br
jeffazevedo@yahoo.com.br**

A994 Azevedo, Jeferson

Estudo ambiental/econômico do composto orgânico do Sistema de Beneficiamento de Resíduos Sólidos Urbanos da Usina de Irajá, Município do Rio de Janeiro / Jeferson de Azevedo. - Niterói:[s.n.],2000.

120 f.

Dissertação (Mestrado em Geociências - Geoquímica) - Universidade Federal Fluminense, 2000.

1. Gestão ambiental. 2. Resíduos sólidos urbanos - beneficiamento. 3. Compostos orgânicos. 4. Metais pesados. 5. Adubo orgânico de lixo – nutrientes. Nutrientes em composto de lixo. 6. Lixo urbano. 7. Geoquímica – Teses, I. Título

CDD 574.5209815

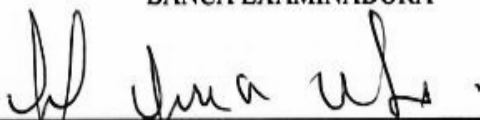
JEFERSON DE AZEVEDO

ESTUDO AMBIENTAL/ECONÔMICO DO COMPOSTO ORGÂNICO DO SISTEMA DE
BENEFICIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANO DA USINA DE IRAJÁ, MUNICÍPIO
DO RIO DE JANEIRO.

Dissertação apresentada ao Curso de Pós - Graduação
em Geociências da Universidade Federal Fluminense,
como requisito parcial para a obtenção do Grau de
Mestre. Área de Concentração: Geoquímica Ambiental.

Aprovada em março de 2000.

BANCA EXAMINADORA



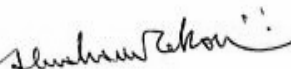
Prof. Dr. EMMANOEL VIEIRA DA SILVA FILHO – Orientador
UFF



Prof. Dr. RAIMUNDO NONATO DAMASCENO – Co-Orientador
UFF



Prof. Dr. JULIO CESAR DE FARIA ALVIM WASSERMAN
UFF



Prof. Dr. ABRAHAM ZAKON
UFRJ

NITERÓI
2000

**À SILVANA BORGES DA COSTA, MINHA COMPANHEIRA,
À BÁRBARA LAINE BORGES DE AZEVEDO, MINHA FILHA
E À MINHA FAMÍLIA: POR AJUDAREM E COMPREENDEREM,
MINHA AUSÊNCIA EM VÁRIOS MOMENTOS NESSE PERÍODO,
PELA PACIÊNCIA, ESTÍMULO E ATENÇÃO, QUE FORAM MUITO
IMPORTANTES NA MINHA FORMAÇÃO.**

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Emmanoel Vieira da Silva Filho, pela orientação, confiança e apoio em várias etapas superadas, que contribuíram na minha formação e realização do trabalho.

Ao Prof. Dr. Raimundo Nonato Damasceno, pela co-orientação, incentivo e amizade.

Ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e à Universidade Federal Fluminense, especialmente ao Departamento de Geoquímica Ambiental, pela oportunidade oferecida para a realização deste trabalho.

A todos os professores do Departamento de Geoquímica Ambiental, em especial Dr. Edson Dausacker Bidone, Dra. Cacilda Nascimento de Carvalho, Dr. Bruno Jean Turcq, Dr. Evandro Biassi Barbière, Dr. Hélio Monteiro Penha, Dr. Irving Foster Brown, Dr. John E. Lewis Maddock, Dr. Jorge João Abrão, Dr. Júlio César de Faria Alvim Wasserman, Dr. Ricardo Erthal Santelli, Dr. Sambasiva Rao Patchineelam e Dr. William Zamboni de Mello, pelos conhecimentos transmitidos e dedicação, durante o tempo de convivência.

À COMLURB, pelo acesso às instalações da Empresa e aos seus técnicos e funcionários. Em especial, ao M.Sc. Mauro Wanderley Lima, à Engenheira Química Gisele Carlomagno Surliuga e ao Químico Jorge Gonçalves Pires, do Centro de Pesquisas da COMLURB, pelas informações, análises efetuadas, pela gentileza e atenção, com que me receberam para retirar várias dúvidas.

Às seguintes pessoas: Dr. Abraham Zakon, Dr. Cleverson Vítório Andreoli, Dr. Edmar José Kiehl, Dr. Edson Dausacker Bidone,

Quím. Francisco de Assis Rodrigues Sertã, Eng. José Felício Haddad, Dr. Júlio César de Faria Alvim Wasserman, M.Sc. Maria das Graças Oliveira Nascimento, Dr. Manoel Silva Cravo e Dr. William Zamboni de Mello, por suas valiosas observações.

À todos os colegas do curso de Geoquímica, em especial (Edimar, Ana Paola, Márcia, Paulo, Renato Barcellos, Théo, Renato Campello, Everaldo, Alexandre, Aires, Mário, Otoniel, Cláudia Jamal, Regina, Cláudia Costa e Izilda), pelas trocas de informações e experiências em vários momentos do curso, bem como pelos bons momentos vividos.

Aos colegas e funcionários do Laboratório do Departamento de Geoquímica da UFF, pelas análises efetuadas.

Ao Nivaldo Camacho Teles e à todos os funcionários da secretaria do curso e à D. Antônia Vicente de Oliveira, pela paciência e dedicação durante o curso.

Às bibliotecárias da UFF/Departamento de Geoquímica Ambiental (Neide e Sandra), às bibliotecárias do IBGE/Gen. Canabarro (Maria Teresa, Vânia, Edna) e demais funcionários, pela colaboração e acesso as bibliografias.

Aos colegas e amigos do IBGE, que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho.

Aos professores, funcionários e alunos do Colégio Municipal Alzira Araújo da Prefeitura do Município do Rio de Janeiro, pelo apoio no desenvolvimento do trabalho.

Aos amigos Fernando de Castro Filho, Adriano Silveira da Silva, Oswaldo Ferreira Mendes, Antônio Carlos Tavares da Cruz, Luiz Carlos de Abreu Nascimento, Jorge Henrique Pereira da Silva Neves, Daelson Vianna, Cláudio de Paiva Moulin, Adenir Pereira de Araújo Moulin, Isac Esteves, José Luís Alves de Oliveira, Carlos Bernardo Tavares Bomtempo e João Anastácio Pereira Neto, pelo apoio e amizade em vários momentos do curso.

SUMÁRIO

Folha de aprovação	3
Dedicatória	4
Agradecimentos	5
Lista de tabelas	10
Lista de ilustrações	13
Lista de abreviaturas	15
Resumo	16
Abstract	17
1 INTRODUÇÃO	18
2 OBJETIVOS	23
3 BASE TEÓRICA	24
3.1 Resíduos sólidos urbanos	24
3.2 Empregos do composto orgânico	29
3.3 Compostagem	30
3.3.1 Potencial de recuperação energética via compostagem	33
3.3.2 Composto orgânico resultante da usina de Irajá	34
3.3.3 Panorama estatístico da compostagem em algumas localidades	35
3.4 Metais pesados no composto orgânico	41
3.4.1 Fontes antropogênicas	41

	8
3.4.2 Contaminação do composto orgânico por metais pesados	44
3.5 Legislações referentes à metais pesados em compostos orgânicos	44
3.6 Benefícios e vantagens provenientes da utilização do composto orgânico	46
4 ÁREA DE ESTUDO	47
5 SISTEMA DE BENEFICIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DA USINA DE IRAJÁ	50
5.1 Composição típica dos resíduos sólidos urbanos da Usina de Irajá	50
5.2 Informações sobre a Usina de Irajá	52
6 MATERIAIS E MÉTODOS	55
6.1 Amostragem do composto orgânico de resíduos sólidos urbanos e análise estatística dos dados	55
6.2 Análises laboratoriais químicas e tratamento das amostras	55
6.2.1 Determinação da umidade	56
6.2.2 Determinação da granulometria	56
6.2.3 Determinações analíticas	57
6.3 Classificação do composto orgânico segundo os resultados analíticos	58
6.4 Avaliação do custo do transporte no sistema de beneficiamento de Irajá	58
6.5 Avaliação do valor agrícola e comercial do FERTILURB	58
6.6 Cálculo da quantidade de FERTILURB necessário para adubar ou reflorestar as áreas de campo antrópico no Município do Rio de Janeiro	59
6.7 Cálculo da taxa de desvio da usina de Irajá	59
6.8 Tratamento dos dados	59

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
7.1 Características químicas e físicas do FERTILURB	60
7.1.1 Metais pesados no FERTILURB	75
7.1.2 Parâmetros do FERTILURB	80
7.1.2.1 Interpretação dos resultados analíticos do FERTILURB, das Usinas de Irajá, Caju e Jacarepaguá	80
7.1.2.2 Granulometria do FERTILURB	85
7.2 Avaliação econômica de alguns parâmetros do FERTILURB	87
7.2.1 Custo do transporte no beneficiamento do FERTILURB	87
7.2.2 Custo de produção do composto orgânico e do FERTILURB	89
7.2.3 Preço agrícola do FERTILURB	90
7.2.4 Preço comercial do FERTILURB	93
7.3 Uso do FERTILURB	100
7.4 Cálculo da taxa de desvio dos resíduos sólidos urbanos para o Aterro de Gramacho	101
7.5 Vantagens da compostagem de resíduos sólidos urbanos no sistema de beneficiamento de resíduos sólidos urbanos de Irajá	104
8 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	105
8.1 CONCLUSÕES	105
8.2 RECOMENDAÇÕES	107
9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	108

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Composição gravimétrica percentual dos resíduos sólidos urbanos em países em desenvolvimento e na Alemanha	25
Tabela 2	Composição gravimétrica percentual dos resíduos sólidos urbanos no Brasil e cidades brasileiras de diferentes portes, entre o período de 1990 – 1995	26
Tabela 3	Percentagens da destinação final de lixo no Brasil, segundo as Grandes Regiões do Brasil (1989)	27
Tabela 4	Composição gravimétrica percentual do lixo da Cidade do Rio de Janeiro (1981 a 1998)	29
Tabela 5	Sistemas de compostagem de lixo no país, segundo os Estados da Federação/Localidade	37
Tabela 6	Situação das usinas de beneficiamento de resíduos sólidos urbanos no Estado do Rio de Janeiro – 1999	39
Tabela 7	Fontes de metais pesados nos resíduos sólidos urbanos	43

Tabela 8 Limites de tolerância de metais pesados em compostos orgânicos de resíduos sólidos urbanos, segundo alguns países	45
Tabela 9 Teores de metais pesados em composto orgânico de lodo de esgoto, segundo ANDREOLI et al. (1997)	46
Tabela 10 Relação dos bairros atendidos pela Usina de Irajá, no Município do Rio de Janeiro	48
Tabela 11 Teores médios, máximos, mínimos, desvios padrões e as variâncias das características físicas e químicas do FERTILURB da Usina de Irajá	66
Tabela 12 Concentrações dos teores de metais pesados no FERTILURB da Usina de Irajá – (11/08/98 à 18/06/99)	68
Tabela 13 Características físicas e químicas do FERTILURB da Usina de Irajá – (1995 à 1998/1999)	71
Tabela 14 Concentrações dos teores de metais pesados no FERTILURB da Usina de Irajá – (1994 – 1997 – 1998/1999)	74
Tabela 15 Teores médios, desvios padrões e intervalos de variação das concentrações de metais pesados no FERTILURB, em comparação com as legislações de alguns países e outros estudos	76
Tabela 16 Interpretação dos resultados analíticos do FERTILURB produzido pelas Usinas de Irajá (1998/1999, 1997, 1996 e 1995), Jacarepaguá (1996) e Caju (1996), segundo a metodologia de KIEHL & PORTA (1981)	81

Tabela 17	Análise granulométrica do FERTILURB retido em cada uma das peneiras	85
Tabela 18	Cálculo da distribuição dos grânulos e do diâmetro médio do FERTILURB	86
Tabela 19	Concentrações de NPK transferidas ao solo pela aplicação de 10, 15 e 20 t/ha do FERTILURB	91
Tabela 20	Comparação dos nutrientes (nitrogênio, fósforo e potássio) NPK, no composto orgânico de resíduos sólidos urbanos, com as formulações de fertilizantes minerais mais comercializadas, de acordo com KIEHL (1998)	92
Tabela 21	Composição dos fertilizantes minerais, preços dos nutrientes em dólares por tonelada	93
Tabela 22	Preço do FERTILURB da Usina de Irajá ao longo do estudo, segundo os nutrientes minerais (nitrogênio, fósforo e potássio)	94
Tabela 23	Preço agrícola do FERTILURB produzido pelas Usinas de Irajá (1995, 1996, 1997 e 1998/1999), Usina de Jacarepaguá (1996) e da Usina do Caju(1996), segundo os nutrientes minerais nitrogênio, fósforo e potássio	97
Tabela 24	Valores comerciais dos compostos orgânicos de resíduos sólidos urbanos produzidos pelas usinas da COMLURB e algumas localidades	99

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 Dinâmica do fluxo de contaminantes do lixo através do meio ambiente	19
Figura 2 Fluxograma simplificado do processo aeróbio (SANECOM) de beneficiamento dos resíduos sólidos urbanos	32
Figura 3 Localização da área de atendimento da Usina de Irajá no Município do Rio de Janeiro	49
Figura 4 Composição em percentagem da massa total dos resíduos sólidos domiciliares da Usina de Irajá (1995 – 1998/1999)	51
Figura 5 Fluxograma do sistema de beneficiamento/disposição do lixo da Usina de Irajá	53
Figura 6 Localização do sistema de beneficiamento dos resíduos sólidos urbanos de Irajá, do pátio de compostagem e do Aterro de Gramacho	54
Figura 7 Variação temporal das características físicas e químicas do FERTILURB da Usina de Irajá (11/08/98 à 18/06/99)	61

Figura 8 Variação temporal dos teores de metais pesados no FERTILURB, ao longo do experimento (11/08/98 à 18/06/99)

69

Figura 9 Preços dos compostos orgânicos de resíduos sólidos urbanos produzidos por várias localidades

99

LISTA DE ABREVIATURAS

ASAERJ – Associação dos Serviços Autorizados em Eletrônica do Rio de Janeiro
BID – Banco Interamericano de Desenvolvimento
CEE – Comunidade Econômica Européia
CEMPRE – Compromisso Empresarial para Reciclagem
COMLURB – Companhia Municipal de Limpeza Urbana do Rio de Janeiro
CTC – Capacidade de troca catiônica
DANO – Processo anaeróbico de compostagem de resíduos sólidos urbanos, mais utilizado no mundo
DIRTY MRF – Usina de processamento de resíduos misturados (sujos), através da catação
DMAE – Órgão responsável pelo abastecimento de água, coleta e tratamento de esgoto do Município de Porto Alegre
EPA – Environmental Protection Agency
EDTA – Eteno diamino tetra acético
EUA – Estados Unidos da América
FERTILURB – Nome do composto orgânico de resíduos sólidos urbanos produzido pela COMLURB
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A.
pH – potencial hidrogeniônico
PNSB – Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
PUCRS – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul
REDUC – Refinaria Duque de Caxias/ PETROBRAS-RJ
RSU – Resíduos Sólidos Urbanos
RSD – Resíduos Sólidos Domésticos
SANEPAR – Companhia de Saneamento do Paraná
SANECOM – Processo aeróbico de compostagem de resíduos sólidos urbanos, mais utilizado no Brasil
tEP – Tonelada equivalente de petróleo
TRIGA – Processo aeróbico de compostagem de resíduos sólidos urbanos
UFF – Universidade Federal Fluminense
UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

RESUMO

O presente estudo teve como objetivos: (1) Identificar as principais características físicas, químicas e físico-químicas do composto orgânico de resíduos sólidos urbanos denominado (FERTILURB), produzido pela COMLURB na Usina de Irajá; (2) Determinar os respectivos teores de metais pesados nas amostras do composto orgânico; e, (3) Relacionar os parâmetros agrícolas e o valor comercial em amostras colhidas no Sistema de Beneficiamento de Resíduos Sólidos de Irajá, na Cidade do Rio de Janeiro. Foram realizadas análises químicas envolvendo teores de metais pesados (Zn, Cu, Pb, Cd, Cr, Ni, Fe e Hg), pH, matéria orgânica, umidade, cálcio, nitrogênio total, fósforo total, potássio, resíduo mineral total, resíduo mineral insolúvel, resíduo mineral solúvel, carbono total, a relação carbono/nitrogênio (C/N), peso específico, e, o teor de inertes. Determinou-se ainda, a granulometria média do produto produzido. Os resultados do trabalho revelaram que os teores de metais pesados no fertilizante orgânico, estão em conformidade com os limites de tolerância adotados em países da Europa e da América do Norte. O valor do pH no composto orgânico estudado variou entre 7,1 e 7,8 durante o período de coleta das amostras (agosto de 1998 e junho de 1999). Já, os percentuais de matéria orgânica no FERTILURB variaram de 13,6 até 22,7%, no mesmo período, mantendo-se no nível baixo segundo a metodologia de KIEHL & PORTA (1981). O diâmetro médio de 4,3 mm para o composto orgânico, indica que o adubo possui as especificações de um fertilizante farelado grosso. O seu preço à granel variou de US\$ 13 a 19, apresentando um preço médio de US\$ de 16. A partir dos dados obtidos verifica-se que o produto em estudo, constitui-se numa importante fonte de nutrientes para o solo, apesar de possuir baixos teores de matéria orgânica e nitrogênio total. Quanto a presença de alguns metais pesados, verifica-se que estão acima dos limites de tolerância estabelecidos por alguns países e que o resíduo mineral total, apresenta consideráveis concentrações.

Palavras chaves: Beneficiamento de resíduos sólidos urbanos; composto orgânico; gestão ambiental; metais pesados; nutrientes em composto de lixo.

ABSTRACT

The present study had as objectives: (1) Identify the main chemical and physical characteristics, of the organic compounds from processed urban solid wastes (FERTILURB); (2) Determine concentrations of heavy metals in the samples of organic matter; and, (3) Relate agricultural parameters and commercial value of representative samples collected at the urban solid waste of the Irajá plant, in Rio de Janeiro city. Analyses were accomplished for (Zn, Cu, Pb, Cd, Cr, Ni, Fe and Hg), pH, organic matter, humidity, calcium, total nitrogen, total phosphorus, total phosphorus, total mineral residues, insoluble mineral residues, soluble mineral residues, total carbon, carbon/nitrogen (C/N), specific weight, and the content of inert substances. Texture was also determined. Results reveal that the contents of heavy metals in the organic fertilizer agree with the limits of tolerance adopted by European and North American. The pH values in the studied organic matter varied between 7,2 and 7,8 during the sampling period (August of 1998 and June of 1999). The organic matter content in FERTILURB varied from 13,6 to 22,7%, in the same period, which fit in the lower range according to the methodology described by KIEHL & PORTA (1981). The mean diameter of 4,2 mm for the organic composite, indicates that is classified as "thick forage fertilizer"(fertilizante farelado grosso). The barn price can vary from US\$ 13 to 19, with an average price of US\$ of 16. In spite of the low content of organic matter and total nitrogen, presence of some heavy metals with concentrations above the limits established for some countries and high concentrations of total mineral residues, from the obtained data, it was verified that the product constituted important source of nutrients to soil.

Key words: Use of urban solid residues; composite organic; environmental administration; heavy metals; nutritious capacity of urban residues.

1 INTRODUÇÃO

Um grande número de localidades urbanas e rurais, em todo mundo, vem sofrendo transformações ambientais danosas decorrentes do crescimento populacional, industrial e da oferta de bens de consumo descartáveis, gerando o lixo e resíduos industriais diversos, que necessitam cada vez mais de vazadouros e/ou aterros sanitários para sua disposição, muitas das vezes inadequadas a esse fim. Sem a infra-estrutura necessária para oferecer a destinação adequada aos resíduos sólidos, muitas dessas áreas tornam-se freqüentemente soluções improvisadas ou emergenciais, que acabam por se transformarem em definitivas, gerando uma série de transtornos que por vezes se refletem em problemas graves de saúde pública.

Estas soluções contribuem para o mau gerenciamento dos resíduos sólidos de origem doméstica, pública, comercial e industrial, gerados em várias partes do mundo, podendo acarretar a improdutividade de áreas, danos à saúde da população, problemas ambientais no ar, na água e no solo, proliferação de vetores (mosquitos, moscas, ratos e baratas), conforme mostra a Figura 1.

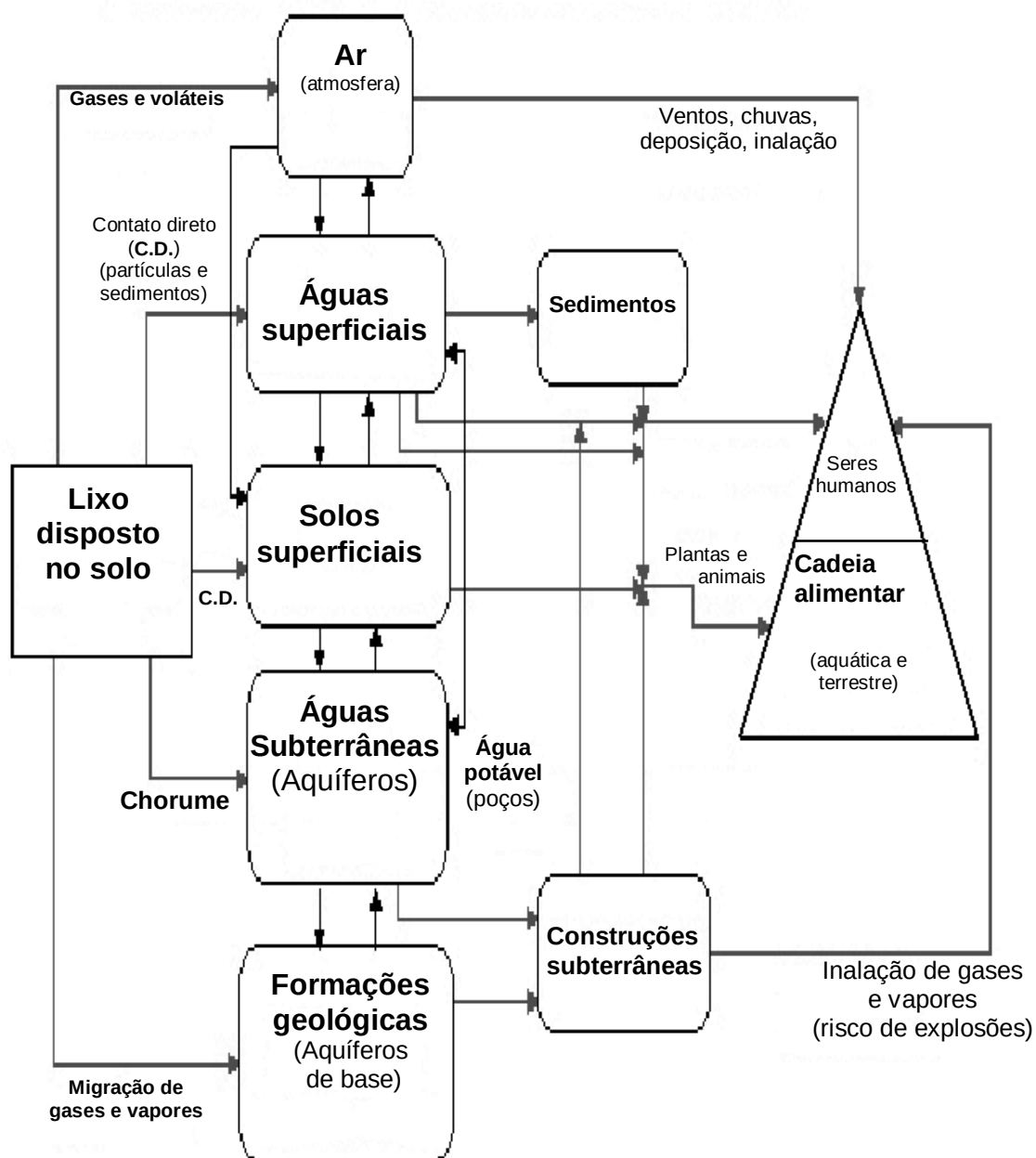


Figura 1 – Dinâmica do fluxo de contaminantes do lixo através do meio ambiente

Fonte: Empresa Engenharia e Geotécnia Ambiental (<http://www.geotch.limp3.htm>)

Desse modo, verifica-se que, tanto no Brasil como em outros países, os processos de beneficiamento de resíduos sólidos são elaborados e aplicados ou não para coleta seletiva, tratamento e destinação de resíduos sólidos urbanos e industriais, os quais aplicam-se, em geral, às grandes cidades.

Os subprodutos dessas tecnologias podem ser provenientes da reciclagem e/ou do beneficiamento dos resíduos e até mesmo do reaproveitamento para propósitos energéticos. Contudo, nem sempre é possível utilizar as mesmas técnicas de beneficiamento para todas as situações, pois têm que ser levados em consideração diferentes fatores, tais como: hábito cultural, composição do lixo, condições econômicas da população, custos de investimento e de operação, disponibilidade de tecnologia, clima e outros mais.

Dentre os processos conhecidos de beneficiamento do lixo, a compostagem vem se firmando como uma das mais interessantes soluções para o lixo em nosso país, desde a década de 60, quando foram implantadas as primeiras usinas de reciclagem/compostagem (BLEY JÚNIOR, 1993).

Nesse sentido, é importante salientar que são dois os processos de compostagem mais utilizados no mundo. O primeiro, a *compostagem natural*, onde o lixo sofre inicialmente a segregação dos materiais recicláveis, seleção eletromagnética, trituração, peneiramento e humificação no pátio de compostagem. O outro processo é denominado de *compostagem acelerada*, onde o lixo além de sofrer a segregação dos materiais recicláveis, seleção eletromagnética e trituração, passa ainda por um biodigestor, que tem a

função de acelerar a decomposição da matéria orgânica e posteriormente, é conduzido para humificação no pátio de compostagem.

Depois de humificado, o composto orgânico pode ser utilizado na fruticultura, horticultura, parques e jardins, projetos paisagísticos, reflorestamento, hortos e produção de mudas, recuperação de solos esgotados, controle da erosão, proteção de encostas e taludes, coberturas de aterros e etc. (PEIXOTO, 1988; COSTA, 1994; PEREIRA NETO, 1996). Por esses motivos, é importante conhecer o valor agrícola e comercial do composto orgânico, além dos teores de contaminantes químicos (metais pesados, agrotóxicos e dioxinas) neste tipo de produto.

O fertilizante orgânico produzido pelas usinas de compostagem de lixo pode ser empregado em várias atividades tendo em vista a quantidade de matéria orgânica, macronutrientes (C, N, P, S, K e Mg) (BATALHA, 1986) e micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn, Co e Ni) (GROSSI, 1993) que serão aplicados no solo.

Ainda com relação ao emprego do fertilizante orgânico em diversos ramos de atividades da sociedade, verificou-se, durante a revisão da literatura e observações de campo, que os usuários deste tipo de produto gostariam de utilizá-lo em maior escala, caso fossem minimizados entre outros os seguintes problemas: a melhoria do aspecto visual do produto; diminuição da quantidade de inertes; o custo do transporte até o local de aplicação; e, a inconstância no fornecimento por parte das usinas, podendo ser incluído, um controle dos teores de metais pesados e de outros contaminantes.

Apesar de todas as dificuldades com o manuseio deste tipo de fertilizante orgânico, cabe mencionar o reflorestamento médio de

300 ha/ano de áreas de campo antrópico no Município do Rio de Janeiro, que vem sendo realizado pela Secretaria de Meio Ambiente, através da Coordenadoria de Recuperação Ambiental, com a utilização do FERTILURB.

Quanto aos limites de tolerância de metais pesados em composto orgânico de resíduos sólidos urbanos, estabelecidos em alguns países, “resultam de adaptações de limites preestabelecidos para lodo de esgoto” (LAKE, 1987). No Brasil, só recentemente no Estado do Paraná, os técnicos da SANEPAR iniciaram o processo de regulamentação dos limites de tolerância para metais pesados em composto orgânico de lodo de esgoto, tomando-se por base os valores mínimos estabelecidos pela legislação da CEE.

No Estado do Rio de Janeiro, ainda não existem muitos estudos ambientais e econômicos sobre os compostos orgânicos de resíduos sólidos urbanos produzidos pelas usinas de reciclagem e compostagem, o que tem dificultado o planejamento e gestão dos resíduos sólidos, bem como a decisão de se recuperar e/ou implantar mais usinas desse tipo no Estado.

Desta forma, o presente estudo tem o intuito de contribuir com a avaliação ambiental/econômica do composto orgânico de resíduos sólidos urbanos (FERTILURB), produzido pela Usina de Irajá no Município do Rio de Janeiro.

2 OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivos:

↩ Avaliar os parâmetros (pH; matéria orgânica; umidade; relação C/N; cálcio; nitrogênio total; fósforo total; potássio; resíduo mineral total; resíduo mineral insolúvel; resíduo mineral solúvel; carbono total; peso específico; inertes, e granulometria) no composto orgânico de resíduos sólidos domiciliares (FERTILURB), beneficiado pela Usina de Irajá, no Município do Rio de Janeiro.

↩ Avaliar os teores de metais pesados (Zn, Cu, Pb, Cd, Cr, Ni, Fe e Hg) no FERTILURB, comparando-os aos limites de tolerância estabelecidos pelas legislações de países, metodologias e bibliografias.

↩ Determinar o potencial agrícola e comercial do FERTILURB, a partir da quantidade equivalente de nutrientes (nitrogênio, fósforo e potássio) encontrados na formulação do fertilizante mineral mais utilizado na agricultura.

3 BASE TEÓRICA

3.1 Resíduos sólidos urbanos

O Glossário de Engenharia Ambiental (BATALHA, 1986) apresenta o seguinte conceito para resíduo sólido: “material inútil, indesejável ou descartado, com conteúdo líquido insuficiente para que possa fluir livremente, nos estados sólido e semi-sólido, resultante de atividades da comunidade, sejam eles de origem doméstica, hospitalar, comercial, de serviços, de varrição e industrial”.

Resíduos sólidos urbanos “são os resíduos sólidos e semi-sólidos gerados num aglomerado urbano, excetuados os resíduos industriais, os hospitalares sépticos e aqueles advindos de aeroportos e portos” (FEEMA, 1992).

Atualmente, a população do mundo, gera 400.000.000 de toneladas de lixo por ano ou 1.100.000 t/dia; e se essa quantidade de lixo fosse colocada em sacos de 20 litros e enfileirada, a cada dia formaríamos uma linha com a distância entre a Terra e a Lua, ou ainda o equivalente a 92 estádios do Maracanã cheios de lixo por dia (MCI, 1992).

De acordo com PACHECO et al. (1996), na América Latina são gerados diariamente 250 mil toneladas de lixo doméstico, dos quais somente 30% (75.000 t) têm disposição adequada. Da quantidade que sobra, 98% do lixo é colocado a céu aberto, 1% é incinerado e 1% decomposto.

CARVALHO (1999), cita “que ainda hoje, 62% do lixo gerado nos EUA é destinado a 3.091 aterros sanitários e apenas 10% é

incinerado, percentual este que vem se mantendo inalterado nos últimos 6 anos, caracterizando a paralisação no desenvolvimento de metodologias alternativas, em função do seu alto custo e das dúvidas quanto às emissões perigosas”.

Na Europa, a tendência atual é queimar todo lixo produzido. Por exemplo na Suíça, atualmente, 80% do lixo é queimado e o restante, disposto em aterros (GANDOLLA¹, 1998)

A composição dos resíduos sólidos urbanos nas diversas partes do mundo é influenciada por diversos fatores, tais como: condições socioeconômicas, políticas e climáticas, hábitos e costumes da população, acesso a tecnologias diferenciadas, variações sazonais, etc. (FIGUEIREDO, 1995; NUNESMAIA, 1997).

Por esses motivos, vale observar os dados apresentados na Tabela 1, referente à composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos em alguns países. Verifica-se, que os restos orgânicos podem variar de 30 a 69% e os materiais recicláveis de 26 a quase 34%.

Tabela 1 - Composição gravimétrica percentual dos resíduos sólidos urbanos em países em desenvolvimento e na Alemanha

Composição dos resíduos sólidos	Países em desenvolvimento (*) (%)	Alemanha (**) (%)
Restos orgânicos	69,0	30,0
Papel e Papelão	12,0	16,0
Plásticos	6,0	5,4
Vidros	4,0	9,2
Metais	4,0	3,2
Outros	5,0	36,2

Fontes: (*) PEREIRA NETO, 1995; (**) EIGENHEER & SERTÃ, 1993

¹ Comunicação pessoal do Dr Mauro Gandolla (Professor da Escola Técnica de Lousanne -Suíça), através da palestra “Gerenciamento de Resíduos”, proferida no “II Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental”, em 27 de outubro de 1998, na PUCRS.

No Brasil, onde mais de 68 % da população vive em cidades com mais de 10 mil habitantes, é crescente a geração de lixo (ABES, 1982). Segundo OLIVEIRA & PASCAL (1998), são geradas 241.614 t/dia de resíduos sólidos urbanos (RSU), dos quais, cerca de 90.000 t/dia são de resíduos sólidos domésticos (RSD).

Comparando-se a composição do lixo em cidades brasileiras de portes diferentes, apresentadas na Tabela 2, observa-se que a porção orgânica do lixo está na faixa de 60% e as demais frações de recicláveis estão acima de 20% (NUNESMAIA,1997).

Tabela 2 - Composição gravimétrica percentual dos resíduos sólidos urbanos no Brasil e cidades brasileiras de diferentes portes, entre o período de 1990-1995

País e Cidades	Brasil (1)	São Paulo (1)	Belo Horizonte (3)	Fortaleza (1)
Número de habitantes	152.374.603 (2)	34.120.886 (2)	2.100.000 (3)	(*)
Composição gravimétrica percentual dos resíduos sólidos urbanos				
Restos orgânicos	65,00	69,15	79,40	58,55
Papel e Papelão	25,00	14,43	13,50	22,59
Plásticos	3,00	12,08	6,50	8,20
Vidros	3,00	1,10	2,30	3,32
Metais	4,00	3,24	2,70	7,34
Outros	*	*	4,60	*

Fontes: (1) IPT/CEMPRE, 1995; (2) IBGE, 1997b; (3) LATORRE, 1993

Nota: (*) Sem informação

De acordo com BIANCHINI (1998), a coleta de resíduos atinge 73% dos domicílios do país e apenas 1% de todo o lixo recolhido diariamente (em torno de 300 mil toneladas, 1/3 das quais de origem domésticas) passa por alguma forma de tratamento (reciclagem, compostagem ou incineração).

Os resultados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico do IBGE (1989) mostram que aproximadamente 55% dos resíduos gerados no país são destinados aos vazadouros a céu aberto (lixões) e 22% nos aterros controlados. Vale lembrar que essas formas de disposição dos detritos contribuem de alguma maneira para o agravamento das condições de vida da população. E que 13% do lixo, são encaminhados aos aterros sanitários. A Tabela 3 apresenta a distribuição dos municípios com destinação final de lixo, segundo as Grandes Regiões do Brasil.

Tabela 3 - Percentagens da destinação final de lixo no Brasil, segundo as Grandes Regiões do Brasil (1989)

Destino do lixo (%)	Grandes Regiões do Brasil				
	Norte	Nordeste	Sudeste	Sul	Centro-Oeste
Vazadouro a céu aberto	66,93	89,92	26,21	40,68	54,04
Vazadouro área alagada	22,79	0,73	0,36	0,03	0,02
Aterro controlado	3,98	5,45	24,63	51,99	27
Aterro sanitário	3,67	2,26	40,48	4,91	13,09
Aterro de resíduos especiais	-	0,17	0,09	0,17	-
Usina de compostagem	2,58	0,74	4,41	0,97	5,02
Usina de reciclagem	-	0,73	3,5	1,21	0,33
Usina de incineração	0,05	-	0,32	0,04	0,5
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Fonte: IBGE /PNSB, 1989

Finalmente, deve-se mencionar que no Brasil, a partir de 1989 até os dias de hoje, o percentual de lixo jogado a céu aberto, passou de 76% para 85% de todo o resíduo produzido (BIANCHINI et al., 1998).

No Estado do Rio de Janeiro são encontrados 91 municípios, agrupados em seis mesoregiões, cada uma das quais possuindo peculiaridades geográficas próprias (IBGE,1996).

Nessa linha de raciocínio, estima-se que a população do Estado para o ano 2000 esteja em torno de 13.316.455 habitantes (IBGE, 1996). A partir desse dado, calcula-se que são produzidos por dia no Estado do Rio de Janeiro 10.654 t de lixo, tomando-se por base a produção per capita de 0,80 kg/hab. dia (FIGUEIREDO, 1995).

Quanto ao serviço de coleta de lixo no Estado, 71% dos domicílios possuem esse tipo de serviço. Observando-se o dado apresentado, constata-se que a situação do lixo no Estado do Rio de Janeiro pode ser considerada deficiente em relação as suas necessidades.

A partir da produção per capita de 0,82 kg/hab.dia de lixo para o Município do Rio de Janeiro (GROSSI,1993) e da população de 5.504.000 habitantes (IBGE,1996), estima-se que a produção de resíduos sólidos urbanos no município esteja em torno de 4.510 t/dia.

De acordo com os dados divulgados pelo IBGE (1991) e RIO DE JANEIRO (1991), o percentual de coleta de lixo nos domicílios no município, está na faixa de 80 a 100%, considerado um dos maiores do Estado.

Preocupada com o gerenciamento da limpeza urbana no Município do Rio de Janeiro, a COMLURB vem desde 1981 realizando análises gravimétricas do lixo, acompanhando o seu comportamento e a diversificação.

Com base nas análises gravimétricas do lixo, relacionadas na Tabela 4, a Companhia Municipal de Limpeza Urbana – COMLURB confirmou a tendência de estabilização dos principais parâmetros de composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos da Cidade do Rio de Janeiro (COMLURB, 1998c).

Tabela 4 – Composição gravimétrica percentual do lixo da Cidade do Rio de Janeiro (1981 a 1998)

Componentes em (% p/p)	Anos (1981 a 1998)								
	81	86	89	91	93	95	96	97	98
Papel e papelão	41,72	38,54	31,54	27,11	23,95	24,05	22,26	21,08	22,22
Plástico	6,56	9,63	12,55	12,71	15,27	15,07	15,09	16,11	16,78
Vidro	3,70	2,84	2,83	2,19	3,03	2,62	3,63	3,22	3,68
Matéria orgânica total	34,96	32,79	40,98	48,56	40,60	45,43	48,81	49,09	48,51
Metal total	3,88	3,63	3,50	3,24	3,52	3,49	3,09	2,82	2,75
Inerte total	0,90	1,08	1,26	0,61	1,07	0,44	0,97	1,53	0,89
Folha	3,64	5,82	2,51	1,54	5,49	4,81	2,46	3,04	1,97
Madeira	1,09	1,33	0,91	0,41	1,17	0,96	0,53	0,76	0,68
Borracha	0,06	0,25	0,66	0,23	0,37	0,17	0,18	0,24	0,33
Pano e trapo	3,05	3,63	2,40	2,66	4,53	2,43	2,50	1,71	1,92
Couro	0,30	0,46	0,26	0,47	0,58	0,26	0,16	0,27	0,21
Osso	0,14	0,00	0,60	0,27	0,42	0,27	0,33	0,13	0,08
Parâmetros	Anos (1981 a 1998)								
	81	86	89	91	93	95	96	97	98
Peso específico (kg/m ³)	176,05	253,18	208,92	209,16	251,65	203,58	194,79	163,98	168,15
Teor de umidade (%)	53,22	45,36	54,48	63,61	57,20	64,54	70,20	67,02	63,67

Fonte: COMLURB, 1998c

3.2 Empregos do composto orgânico

De acordo com o CEMPRE (1998), já no ano 43 da era Cristã, o filósofo Virgílio relatava em seu livro “As Geórgias”, os procedimentos de transformação de restos de culturas e esterco animais amontoados se transformavam em material para ser aplicado nas terras de cultura e aumentar as colheitas. Na China e na Índia, a compostagem é uma prática “agro-sanitária” milenar.

LINDENBERG (1991), revela que a Holanda recolhia todo resíduo sólido gerado no país a uma usina de compostagem, com a finalidade de recuperar uma região de dunas de areia. Ainda segundo o autor, atualmente, podem ser encontrados neste local florestas, pastos e plantações, provenientes da utilização do composto orgânico.

Vários autores (PEIXOTO, 1988; COSTA, 1994; PEREIRA NETO, 1996) relatam que os compostos orgânicos de resíduos sólidos urbanos em nosso país vêm sendo empregados na fruticultura, horticultura, parques e jardins, projetos paisagísticos, reflorestamento, hortos e produção de mudas, controle da erosão, proteção de encostas e taludes, recuperação de solos esgotados e coberturas de aterros.

3.3 Compostagem

A compostagem é um método de tratamento dos resíduos sólidos pela fermentação da matéria orgânica contida nos mesmos, conseguindo-se a sua estabilização sob a forma de um adubo denominado composto (BATALHA, 1986).

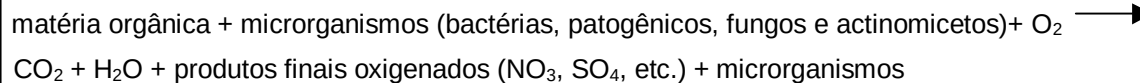
Portanto, o mecanismo básico que ocorre durante a compostagem é a decomposição ou estabilização da matéria orgânica, que é conduzida por uma população diversificada de fungos, bactérias e actinomicetos (BLEY Jr.,1998).

Assim, a compostagem acontece em duas fases distintas (BLEY Jr.,1998; PEREIRA NETO, 1996). A primeira, é conhecida como *fase de maturação*, quando ocorre o processo de humificação dos materiais orgânicos compostados, predominando nesta fase as reações *mesófilicas* (20 a 45⁰C). Já, na segunda fase, ocorrem as reações bioquímicas de oxidação mais intensas, predominantemente *termófilicas* (45 a 65⁰C).

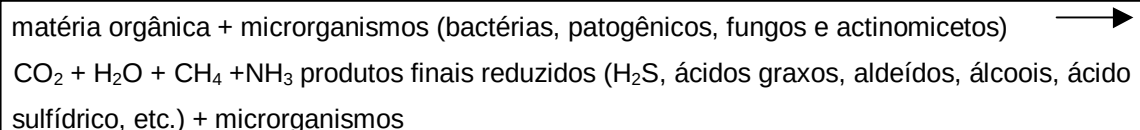
Depois dessas etapas, “a massa de resíduos entra num estágio de bio-estabilização da matéria orgânica, de pouca duração, iniciando, logo após, o período de humificação, quando as temperaturas se restringem ao estágio mesofílico” (MONTEIRO, 1999).

Segundo MONTEIRO (1999) o processo compostagem pode ser classificado em aeróbia e anaeróbia, em função da massa dos resíduos estar ou não em presença de oxigênio, como pode ser verificado a seguir:

a) Compostagem aeróbia:



b) Compostagem anaeróbia:



Nesse sentido, é importante ressaltar que o processo aeróbio vem sendo utilizado com mais freqüência pelos seguintes motivos: ausência de odores e incômodos; menor custo no beneficiamento e produção do composto orgânico, além da redução de cerca de 50% do peso e volume dos resíduos a serem aterrados (MONTEIRO, 1999). A Figura 2, apresenta o fluxograma simplificado do processo de compostagem aeróbio.

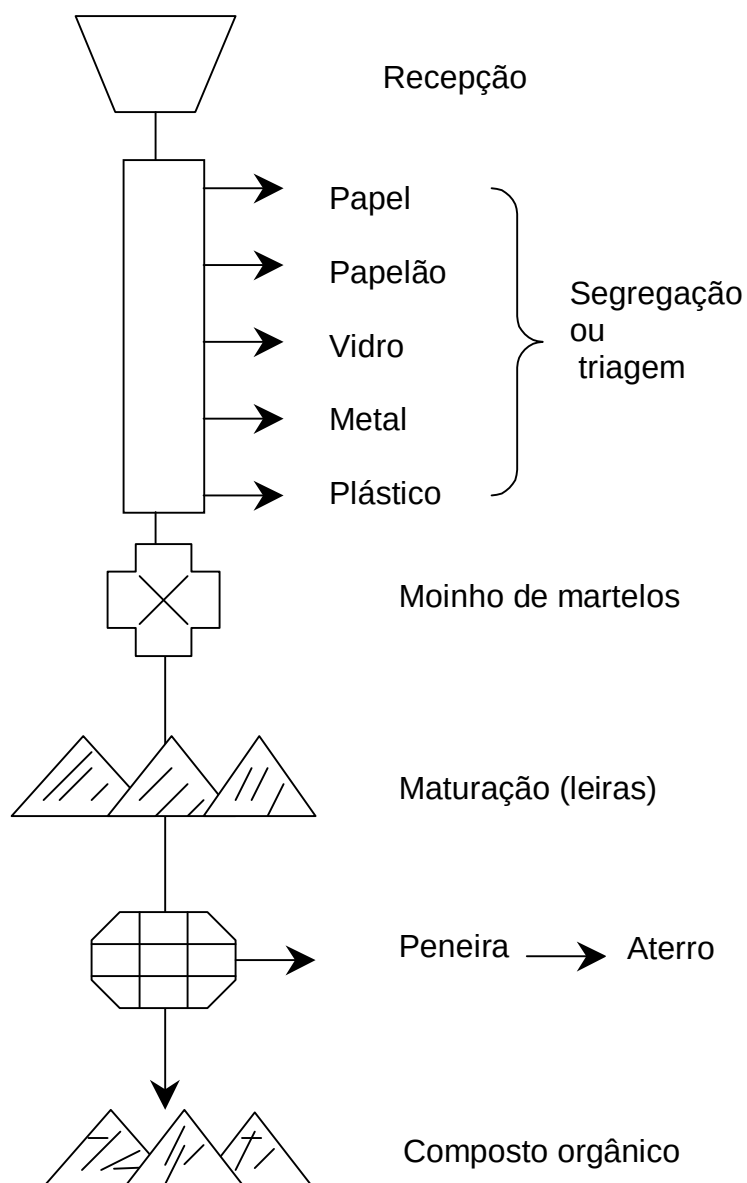


Figura 2 – Fluxograma simplificado do processo aeróbio (SANECOM) de beneficiamento dos resíduos sólidos urbanos

Segundo MONTEIRO (1999), o processo anaeróbio é pouco utilizado comercialmente, devido à possibilidade de produção de ácidos graxos, aldeídos, álcoois, ácido sulfídrico, etc.

Por último, merece ser ressaltado, que dentre os fatores que influenciam na rapidez e qualidade do processo de compostagem, merecem destaque: material a ser compostado, umidade, aeração, relação C/N, temperatura, pH e tamanho das partículas.

3.3.1 Potencial de recuperação energética via compostagem

Além das diversas vantagens econômicas, ambientais e sociais da compostagem, existem os benefícios energéticos provenientes desta forma de tratamento.

O DMAE (1994) fez uma comparação da recuperação energética dos resíduos urbanos pela compostagem: Em primeiro lugar, o autor mencionado anteriormente, “forneceu a equivalência da substituição de adubo químico por composto orgânico em termos energéticos. Onde uma tonelada equivalente de petróleo (tEP²), é igual a 17 toneladas de composto orgânico utilizado. O cálculo baseia-se na quantidade equivalente de nutrientes entre o adubo e o composto, sendo que a quantidade de energia necessária para obtenção do adubo químico é conhecida, chegando-se a um equivalente energético com mesmos índices nutricionais”. Mostra que “as perdas no processo de compostagem em relação à matéria-prima original, são representados por 35% de perdas de origem gasosa e por adensamento da massa em fermentação e 30% de perdas pela retirada dos rejeitos após o peneiramento do composto” (KIEHL, 1985).

² tEP (corresponde ao petróleo padrão de poder calorífico superior, PCS=10.800 kcal e densidade 0,864). BRASIL, MINISTÉRIO DE MINAS ENERGIA. Balanço Energético Nacional – BEN (Ministério das Minas e Energia, 152 p.1998).

3.3.2 Composto orgânico resultante da usina de Irajá

Composto orgânico ou fertilizante orgânico (termo adotado na legislação brasileira), “é a denominação genérica dada ao fertilizante orgânico resultante do processo de compostagem” (LIMA, 1995).

De acordo com PEREIRA NETO (1996), o material a ser compostado deve ter partículas com diâmetro de 10 a 35 mm, umidade na faixa de 55%, concentração adequada de nutrientes e uma relação C/N próxima de 30/1. É desejável ainda, que a quantidade de inertes no material a ser compostado ou no adubo seja a menor possível, pois a densidade média da matéria orgânica na base seca, é de 0,4 a 0,6 g/cm³ enquanto a densidade dos inertes varia de 1,6 a 1,8 g/cm³.

Segundo por KIEHL (1979) os compostos orgânicos foram classificados como:

- Composto cru: É aquele que está ainda em início de decomposição e é danoso às sementes e raízes se colocado em contato com elas. Antes de utilizá-lo, deve-se deixar curtir em montes durante no mínimo 30 dias.
- Composto bioestabilizado (semicurado): É aquele que apresenta pH <7,0 (KIEHL & PORTA, 1981) e não mais causa danos às sementes ou raízes quando em contato, porém, ainda não é um condicionador perfeito do solo, pois seu conteúdo em colóides é baixo; no solo, irá continuar seu processo de cura, enriquecendo-se em húmus.
- Composto humificado (curado): É o produto que possui pH >7,0 (KIEHL & PORTA, 1981) e sofreu processo completo de fermentação sendo o mais rico em nutrientes que passaram da forma orgânica para a mineral, assimilável pelas raízes e com maior teor de material coloidal, responsável pela sua capacidade de melhoria do solo.

Segundo KIEHL (1998a), os conceitos de maturidade e qualidade do composto orgânico são os seguintes:

- Maturidade do composto: É o resultado de uma correta decomposição microbiológica da matéria orgânica, originando nutrientes e húmus.
- Composto de qualidade: Além de ter perfeita maturidade, o composto deve apresentar características e propriedades que não torne o produto inadequado para o uso agrícola.

3.3.3 Panorama estatístico da compostagem em algumas localidades

“A compostagem é um processo tão antigo quanto o planeta. Ninguém aduba as florestas, no entanto, enormes árvores crescem nelas. É possível reproduzir o processo de compostagem em condições artificiais, ou manipuladas pelo homem e a seu benefício, a partir do emprego de princípios da física, da biologia e da bioquímica, ciências que associadas determinam a biotecnologia aplicada” (BLEY Jr.,1998).

LINDENBERG (1991) cita que numa determinada época na Índia foram instaladas mais de 2.500 usinas de compostagem, com o objetivo de evitar a morte por inanição de mais de um milhão de pessoas por ano. E que estas usinas, tinham um terço do seu valor financiado pelo Ministério da Agricultura da Índia.

Segundo GROSSI (1993), a quantidade de lixo compostado em muitos países é pequena. No Brasil, o processo de compostagem dos resíduos sólidos urbanos não atinge 1%; já na Alemanha e na França, estes valores correspondem respectivamente, a 3% e 9% dos resíduos sólidos urbanos gerados.

Existem países e localidades, tais como Estados Unidos, Canadá e Europa, em que, alguns segmentos da sociedade, não recomendam a utilização de compostos de lixo urbano, em razão da qualidade do produto gerado (CRAVO et al., 1998), pela presença de contaminantes ambientais (metais pesados e compostos químicos orgânicos tóxicos) (EPSTEIN

& EPSTEIN, 1989), pelo valor agrícola do fertilizante, como condicionador do solo (De HAAN, 1981); e, por causa da contaminação do solo e das plantas (PETRUZZELLI, 1985).

Em nosso país, a introdução das usinas de reciclagem e compostagem remonta a cerca de 30 anos. A aceleração da implantação dessas usinas ocorreu nos anos 86/87, quando o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social - BNDES, propôs às prefeituras municipais uma linha de crédito específica para a compra de equipamentos, visando a triagem e compostagem do lixo urbano (BLEY JÚNIOR, 1993).

Segundo PEREIRA NETO (1995), a compostagem, além de ser um processo de reciclagem, é antes de tudo, um processo sanitariamente seguro de tratamento de resíduos sólidos orgânicos. Por isso, é indispensável ampliar a disponibilidade de informações científicas e tecnológicas sobre o processo de compostagem de resíduos sólidos urbanos. Em países como o Brasil, onde o teor médio de matéria orgânica chega a 60%, a compostagem mostra ser uma solução conveniente para o tratamento do lixo.

Finalmente, observando-se os dados apresentados na Tabela 5, verifica-se que o sistema SANECOM é o mais utilizado no país, por ser nacional e “bastante simples”(GROSSI, 1993), conforme mostra a Figura 2.

Tabela 5 – Sistemas de compostagem de lixo no país, segundo os Estados da Federação/Localidade

Estado da Federação	Localidade	Sistema de compostagem
São Paulo	Adamantina	SANECOM
São Paulo	Araraquara	SANECOM
São Paulo	Novo Horizonte	Próprio
São Paulo	Ourinhos	SANECOM
São Paulo	Santa Cruz do Rio Pardo	SANECOM
São Paulo	São José do Rio Preto	SANECOM
São Paulo	São Matheus	DANO
São Paulo	V. Leopoldina	DANO
Rio de Janeiro	Rio de Janeiro (Irajá)	Próprio (moinho de trituração) (*)
Rio de Janeiro	Rio de Janeiro (Jacarepaguá)	DANO (*)
Minas Gerais	Belo Horizonte	DANO
Rio Grande do Sul	Novo Hamburgo	Próprio
Espírito Santo	Vitória	Próprio
Alagoas	Maceió	Próprio
Paraíba	João Pessoa	SANECOM
Rio Grande do Norte	Natal	SANECOM
Amazonas	Manaus	FAIRFIELD-HARDY
Distrito Federal	Brasília	DANO
Distrito Federal	Brasília	TRIGA

Fontes: GROSSI, 1993; (*) Este estudo

São poucos os municípios fluminenses que implantaram, estão implantando, ou, planejando a instalação de usinas ou sistemas de beneficiamento de resíduos sólidos. Uma das principais dificuldades de se empreender uma ação concreta de beneficiamento e destinação de resíduos sólidos urbanos, além dos problemas políticos, econômicos e

administrativos, reside na ausência de informações técnicas compatíveis com as dimensões e características das localidades interessadas.

A carência de estudos econômicos e ambientais sobre o beneficiamento do lixo no Estado do Rio de Janeiro tem dificultado o planejamento e gestão dos resíduos sólidos no Estado. A decisão de implantar mais usinas de compostagem e reciclagem no Estado deve levar em conta a relação custo/benefício, tanto do ponto-de-vista ambiental, quanto econômico e social. Portanto, a título de informação, vale citar que “no Estado do Rio de Janeiro estão sendo construídas, com recursos estaduais e do BID, usinas e incineradores de lixo hospitalar nos municípios de Niterói, São Gonçalo, Magé, Belford Roxo, Nova Iguaçu e Queimados” (CARVALHO, 1999).

De acordo com as informações pessoais dos técnicos da área de resíduos sólidos e dos responsáveis pelo gerenciamento dos resíduos sólidos dos municípios do Estado do Rio de Janeiro (1999), das 28 usinas de beneficiamento de resíduos sólidos urbanos existentes e/ou em implantação no Estado; apenas 12 (42,86 %) encontram-se no momento em operação, 5 (17,86 %) com obras paralisadas, 5 (17,86 %) paralisadas, 2 construídas, 2 em construção e 2 desativadas. As razões mais comuns para o não funcionamento das usinas de modo geral, são: as questões operacionais, aspectos econômicos e legais, além do interesse político dos governantes.

Por último, verifica-se que a partir de 1970, no Estado do Rio de Janeiro, foram investidos, aproximadamente, US\$ 50 milhões na construção de usinas de reciclagem e compostagem (LUA,1999). A seguir, a Tabela 6 mostra a situação atual das usinas de beneficiamento de resíduos sólidos urbanos no Estado do Rio de Janeiro.

Tabela 6 – Situação das usinas de beneficiamento de resíduos sólidos urbanos no Estado do Rio de Janeiro - 1999

(continua)

Número	Municípios	Sistema de Beneficiamento	Situação atual	Custo da usina em US\$	Capacidade de processamento (t/dia)
1	Rio de Janeiro (Jacarepaguá)	Segregação (1)	Funcionando	13 milhões (11)	(*)
2	Rio de Janeiro (Irajá)	Segregação + Compostagem (1)	Funcionando	1,5 milhão (11)	(*)
3	Bom Jesus do Itabapoana	Segregação + Compostagem (1)	Funcionando	(*)	(*)
4	Quissamã	Segregação + compostagem (1)	Funcionando	(*)	(*)
5	Duas Barras	Segregação + Compostagem (1)	Funcionando	(*)	(*)
6	Bom Jardim	Segregação + compostagem (1)	Funcionando	50 mil (11)	(*)
7	Tanguá	Segregação + Compostagem (1)	Funcionando	(*)	(*)
8	Miracema	Segregação + Compostagem (1)	Funcionando	(*)	(*)
9	Casimiro de Abreu	Segregação (1)	Funcionando	(*)	(*)
10	Arraial do Cabo	Segregação (1)	Funcionando	(*)	(*)
11	Nova Friburgo	Segregação (4)	Funcionando	300 mil (11)	(*)
12	Paraíba do Sul	Segregação de materiais da coleta seletiva (1) (3)	Funcionando	150 mil (11)	(*)
13	Cantagalo	Segregação + Incineração + Compostagem (1)	Construída	180 mil (11)	(*)
14	Belford Roxo	Segregação + Incineração + Compostagem (8)	Construída	2,5 milhões (11)	180 (12)
15	Engenheiro Paulo de Frontin	Segregação + Compostagem (1)	Em construção	(*)	(*)
16	Valença	Segregação + Compostagem (1)	Em construção	(*)	(*)
16	São Gonçalo	Segregação + Incineração + Compostagem (6)	Obra Paralisada	1,5 milhão (11)	380 (12)
18	Niterói	Segregação + Incineração + Compostagem (7)	Obra Paralisada	1,5 milhão (11)	300 (12)
19	Queimados	Segregação + Incineração + Compostagem (1) (8)	Obra paralisada	2,5 milhões (11)	80 (12)
20	Nova Iguaçu	Segregação + Incineração + Compostagem (8)	Obra paralisada	2,5 milhões (11)	450 (12)
21	Magé/Guapimirim (12)	Segregação + Incineração + Compostagem (9)	Obra paralisada	1,5 milhão (11)	137 (12)

(Conclusão da Tabela 6)

Número	Municípios	Sistema de Beneficiamento	Situação atual	Custo da usina em US\$	Capacidade de processamento (t/dia)
22	Petrópolis (Pedro Rio)	Segregação (2)	Paralisada	US\$ 500 mil (**)	(*)
23	Petrópolis (Duarte da Silveira)	Segregação (2)	Paralisada		
24	Cajú	Segregação + Compostagem (1)	Paralisada	(*)	(*)
25	Angra dos Reis	Segregação (1)	Paralisada	(*)	(*)
26	Cordeiro	Segregação (5)	Paralisada	(*)	(*)
27	Saquarema	Segregação e compostagem (1) (10)	Desativada	40 mil (11)	(*)
28	Rio de Janeiro (Caju)	Segregação + Compostagem (1)	Desativada	23 milhões (11)	(*)

Fontes: (1) SERTÃ³, 1999; (2) BORZINO⁴, 1999; (3) SANTOS⁵; (4) MACHADO⁶; (5) CONDE⁷; (6) PIRES⁸; (7) GUIMARÃES⁹; (8) MOTTA¹⁰; (9) MELLO¹¹; (10) RIBAS¹²; (11) LUA, 1999, (12) RIO DE JANEIRO, 1997

Notas: (*) Sem informação; (**) Não foi possível identificar qual das usinas custou US\$ 500 mil

³ Comunicação pessoal do Dr. Francisco de Assis Rodrigues Sertã (Analista Ambiental da FEEMA, da área de resíduos sólidos) ao autor em 08 de março de 1999 (pelo telefone) e 22 de novembro de 1999 (Email).

⁴ Comunicação pessoal do Dr. Marco Antônio Borzino (Ex-presidente da Companhia de Água e Esgoto de Petrópolis) ao autor em 24 de setembro de 1999, através de Email.

⁵ Comunicação pessoal do Dr. Luiz Sérgio Ambrósio Santos (Secretário de Obras e Serviços Públicos da Prefeitura de Paraíba do Sul) ao autor em 08 de outubro de 1999, pelo telefone.

⁶ Comunicação pessoal do Engenheiro Nelson Machado (Responsável pela usina da Prefeitura de Nova Friburgo) ao autor em 08 de outubro de 1999, pelo telefone.

⁷ Comunicação pessoal Dr. Rafael Conde (Secretário de Agricultura da Prefeitura de Cordeiro) ao autor em 08 de outubro de 1999, pelo telefone.

⁸ Comunicação pessoal Dr. José Carlos Pires (Subsecretário de Obras da Prefeitura de São Gonçalo) ao autor em 03 de agosto de 1999, pelo telefone.

⁹ Comunicação pessoal Dr. Carlos César Amaral Guimarães (Responsável pelo Gerenciamento de Resíduos Sólidos da Prefeitura de Niterói) ao autor em 08 de outubro de 1999, pelo telefone.

¹⁰ Comunicação pessoal Dr. Manoel Fernando Motta (Responsável pela EMLURB da Prefeitura de Nova Iguaçu) ao autor em 04 de novembro de 1999, pelo telefone.

¹¹ Comunicação pessoal Dr. César de Carvalho Mello (Secretário de Obras e Serviços Públicos da Prefeitura de Magé) ao autor em 18 de novembro de 1999, pelo telefone.

¹² Comunicação pessoal Dr. Luís Borges Ribas (Secretário de Obras da Prefeitura de Saquarema) ao autor em 21 de novembro de 1999, pelo telefone.

O sistema de compostagem de resíduos sólidos urbanos da Cidade do Rio de Janeiro, dispõe das seguintes unidades operacionais:

- Usina de Irajá: Vem operando normalmente desde 1977 e atualmente a sua capacidade de processamento está na faixa de 450 t/dia (MELO¹³, 1998), utilizando sistema prévio de trituração e posterior compostagem natural em leiras (COMLURB, 1999a);
- Usina de Jacarepaguá: Entrou em operação em 1992, com capacidade de 560 t/dia, para operar com o sistema de compostagem tipo DANO. Entretanto, em setembro de 1992, passou operar apenas, como usina de trituração de lixo, devido a problemas operacionais no sistema de compostagem adotado (COMLURB, 1999a); e,
- Usina do Caju: Entrou em operação em 1992, com capacidade de 70 toneladas/horas. Todavia, por problemas de projeto seu sistema de operação encontra-se paralisado, e atualmente, funciona como estação de transferência de resíduos sólidos urbanos (COMLURB, 1999a).

3.4 Metais pesados no composto orgânico

3.4.1 Fontes antropogênicas

Vários autores (GROSSI, 1993; D. KING, 1996; CRAVO et al., 1998; KIEHL, 1998), reportam em seus trabalhos, que as principais fontes antropogênicas de metais pesados no meio ambiente, são as atividades industriais, agricultura e a queima dos combustíveis fósseis.

Um outro aspecto deste problema, que vêm merecendo atenção das autoridades e pesquisadores de vários países, é o

¹³ Comunicação pessoal do Dr. Marco Antônio F. Melo (Coordenador Operacional da Diretoria Industrial da COMLURB) ao autor em dezembro de 1998, através de entrevista, na sede da COMLURB.

gerenciamento da disposição das pilhas e baterias que estão em nosso dia a dia como fonte de energia para relógios, brinquedos, telefones, veículos automotores e computadores (ASAERJ, 1999).

Nesse sentido, é oportuno citar o trabalho de ROUSSEAU (1988), em que as pilhas colaboram com 90% do Hg, 45% do Zn, 45% do Cd e 20% do Ni, no lixo francês, embora só representem 0,17% em peso do total deste lixo.

Desse modo, a título de informação, a Tabela 7 apresenta algumas fontes de metais pesados nos resíduos sólidos urbanos.

Tabela 7 – Fontes de metais pesados nos resíduos sólidos urbanos

Metais pesados								
Fontes	Fe	Hg	Cd	Ni	Pb	Cr	Zn	Cu
Pregos (4), parafusos (4), tampas de garrafas (4), grampos (grampeador) (4)	X							
Material fotográfico (3), indústria de papel (3), baterias (5), termômetros (5), produtos farmacêuticos (5), lâmpadas de néon (5), tintas (5), fungicidas (5), amaciantes (5), lâmpadas fluorescentes (5), equipamentos e aparelhos elétricos de medida (5)		X						
Pequenos acumuladores de Ni/Cd (3) (5), tintas (3), recobrimento de outros metais (3), PVC (estabilizador) (5), pedaços de ferro cadmizado (5), papéis (5), pigmentos (3) (5), resíduos de galvanoplastia (3) (5), baterias e pilhas (5), plásticos, ligas metálicas (5), papéis (5)			X					
Veículos (combustíveis) (3), bolinha de chumbo de espingarda (4), estanho de solda (4), inseticidas (5), anticorrosivos (5), impermeabilizantes (5)					X			
Couros (2) (3) (5), corantes (3), pigmentos (3), pedaços de metais cromados (5), objetos de aço Cr/Ni (agulhas, alfinetes, etc.) (5)						X		
Borracha (2), pedaços de latão (5), pedaços de placas de zinco (5), baterias e pilhas (5), tintas (5), cerâmicas (5), inseticidas (5)							X	
Fios de cobre, canos de cobre (4), pedaços de chaves (4), placas de cobre (5), fios de latão (5), botões de pressão de latão (5), parafusos (5), zíperes (5), pontas de canetas (5)								X
Pilhas (1), (3), (5)		X	X	X	X		X	
Trapos (2)							X	X

Fontes: (1) ASAERJ, 1999; (2) EGREJA FILHO & PEREIRA TINOCO, 1995; (3) ALBERT, 1988; (4) GROSSI, 1993; e, (5) IPT/CEMPRE, 1995.

3.4.2 Contaminação do composto orgânico por metais pesados

De acordo com VAN ROOSEMALEN et al.(1987), são dois os mecanismos de contaminação da matéria orgânica por metais pesados, durante a compostagem. O primeiro mecanismo, é a contaminação direta, através da incorporação de partículas finas, como óxidos metálicos, cinzas e limalhas à matéria orgânica úmida. E por último, a contaminação por lixiviação de íons metálicos da parte inorgânica para a matéria orgânica.

A literatura especializada registra que o beneficiamento de compostos orgânicos com baixos teores de metais, depende fundamentalmente, de uma melhor separação dos inertes do lixo, desde a fonte geradora até o processo de compostagem (EGREJA FILHO & PEREIRA NETO,1995).

Ainda segundo os autores, é necessário controlar a ocorrência de metais pesados (Hg, Cd e Pb) no composto orgânico, em virtude de não possuírem “interesse agrônômico” e produzir composto orgânico de alta toxicidade.

Como em nosso país o material a ser compostado não recebe o tratamento de separação adequado. Entende-se, então, os motivos pelos quais, GROSSI (1993) e EGREJA FILHO & PEREIRA NETO (1995) recomendam o monitoramento dos metais pesados neste tipo de produto.

3.5 Legislações referentes à metais pesados em compostos orgânicos

A revisão bibliográfica revela que os limites de tolerância para metais pesados em composto orgânico de resíduos sólidos urbanos, estabelecidos em alguns países, “resultam de adaptações de limites preestabelecidos para lodo de esgoto” (LAKE, 1987).

Observando-se as legislações e a bibliografia pertinente ao assunto, verifica-se que a Alemanha possui os padrões de tolerância mais rigorosos para este tipo de fertilizante, como pode ser observado na Tabela 8.

Tabela 8 – Limites de tolerância de metais pesados em compostos orgânicos de resíduos sólidos urbanos, segundo alguns países

Metais Pesados (mg/kg)	Países/localidades					
	Alemanha (1)	Suíça (2)	EPA (3)	França (4)	Áustria (5)	CCE (6)
Fe	*	*	*	*	*	*
Hg	1,0	3	17	20	1 a 4	16 a 25
Cd	1,5	3	39	40	1 a 6	20 a 40
Ni	5,0	50	420	400	30 a 200	300 a 400
Pb	150	150	300	1600	200 a 900	1000 a 1750
Cr	100	150	1200	2000	50 a 300	*
Zn	400	500	2800	6000	300 a 1500	2500 a 4000
Cu	100	150	1500	2000	0 a 1000	1000 a 1750

Fontes: (1) GROSSI, 1993; (2) NUNESMAIA, 1997; (3) EPA (EUA) (NORA), 1993; (4) FRANÇA, 1981; (5) LUTZ, 1984; (6) CEE (CEE, 1986).

Nota: Sem informação (*)

Segundo (GROSSI, 1993; KIEHL, 1998a), as diferenças entre os limites de tolerância no composto orgânico de resíduos sólidos urbanos podem estar associadas: a pressões de grupos de ecologistas e políticos; condições do clima e solo; maneira de calcular e etc.

Dentro do contexto, é importante assinalar que a legislação do nosso país, não estabelece teores de metais pesados em compostos orgânicos provenientes do beneficiamento do lixo e do lodo de esgoto (GROSSI,1993; AMARAL SOBRINHO,1996).

Por último, cabe destacar o trabalho de ANDREOLI et al. (1997), sobre o estabelecimento de limites de tolerância para os metais pesados em compostos orgânicos de lodo de esgoto no Estado do Paraná, conforme pode ser observado na Tabela 9.

Tabela 9 – Teores de metais pesados, em composto orgânico de lodo de esgoto, segundo ANDREOLI et al. (1997)

Composto orgânico de lodo de esgoto	METAIS PESADOS (mg/kg)							
	Fe	Hg	Cd	Ni	Pb	Cr	Zn	Cu
ANDREOLI et al.	(*)	16	20	300	750	1000	2500	1000

Fonte: Andreoli et al., 1997

Nota: (*) Valor não informado

3.6 Benefícios e vantagens provenientes da utilização do composto orgânico

STEVENSON (1982) e MONTEIRO (1999), relatam que dentre os benefícios e vantagens da utilização do composto orgânico, merecerem destaque:

- * Melhora da estrutura do solo, tornando-o poroso e agregando suas partículas que se transformam em grânulos;
- * Incrementa de 20 a 70 % a capacidade de troca catiônica (CTC) do solo.;
- * Aumento da capacidade de absorção e armazenamento de água no solo;
- * Reduz radicalmente a erosão, evitando o deslocamento violento de água e amortece o impacto das gotas de chuva na superfície dos solos;
- * Aumenta a estabilidade do pH do solo;
- * Aumento da retenção dos macronutrientes, impedindo seu arraste pela chuva;
- * Fornece nutrientes às plantas, como nitrogênio, fósforo, potássio, enxofre, cálcio e magnésio, quantidade total em torno de 6% de seu peso;
- * Aumenta a aeração do solo, necessária à oxigenação das raízes;
- * Melhora a drenagem de água no solo;
- * Aumento da retenção do nitrogênio no solo;
- * Estimula a vida microbiana, aumentando a homeostase do solo, reduzindo o risco de pragas e doenças;

4 ÁREA DE ESTUDO

A usina de beneficiamento de resíduos sólidos urbanos, localiza-se no bairro de Irajá e o pátio de compostagem, no Km 0 da Rodovia Washington Luís, ambos na região metropolitana da cidade do Rio de Janeiro. Por outro lado, o Aterro de Gramacho, situa-se no Município de Caxias. A temperatura média na região é de 22 graus e a pluviosidade média de 1.100 a 1.300 mm anuais (FIDERJ, 1978).

De acordo com o “Plano Diretor de Meio Ambiente” (RIO DE JANEIRO, 1991), são encontradas as seguintes condições ambientais na Bacia da Baía de Guanabara:

- Concentra uma das regiões mais densamente povoadas do Município do Rio de Janeiro;
- Quase toda região possui rede de esgotos, porém, sem tratamento. O esgotamento é recalcado para os rios da região, já altamente poluídos, e para a própria baía;
- É a área da cidade com maior número de favelas, tanto em áreas baixas, quanto em morros.
- A Baía de Guanabara influencia a qualidade de vida da população, por causa do número de habitantes, que contribuem com a carga de esgoto, para suas próprias águas;
- A degradação desse ecossistema deve-se também a inúmeras outras fontes poluidoras situadas no seu entorno, tais como: segundo maior parque industrial do país, a REDUC da PETROBRÁS, vazadouro de lixo etc.

- A forte poluição do ar, nessa região densamente ocupada, é agravada pela topografia local acidentada, que produz fluxo de ar complexo e heterogêneo, dificultando a dispersão dos poluentes;
- No que se refere às inundações, elas são favorecidas pela insuficiência de micro e macrodrenagem; e,
- Os rios e canais encontram-se, em sua maior parte: assoreados, canalizados insuficientemente ou apenas canalizados.

A Tabela 10 e a Figura 3 apresentam a área de atendimento da Usina de Irajá.

Tabela 10 – Relação dos bairros atendidos pela Usina de Irajá no Município do Rio de Janeiro

Número de ordem	Bairros atendidos
1	Irajá
2	Vaz Lobo
3	Colégio
4	Largo do Bicão
5	Vila Cosmos
6	Vista Alegre
7	Pavuna
8	Fazenda Botafogo
9	Coelho Neto
10	Barros Filho
11	Costa Barros
12	Parque Columbia
13	Acari
14	Madureira
15	Marechal Hermes
16	Rocha Miranda
17	Cidade de Deus
18	Freguesia
19	Praça Seca

Fonte: FAGUNDES¹⁴, 1998

¹⁴ Comunicação pessoal do Sr. Manoel de Oliveira Fagundes (Responsável pela Usina de Irajá da COMLURB) ao autor em 01 de setembro de 1998, através de entrevista, na Usina de Irajá).

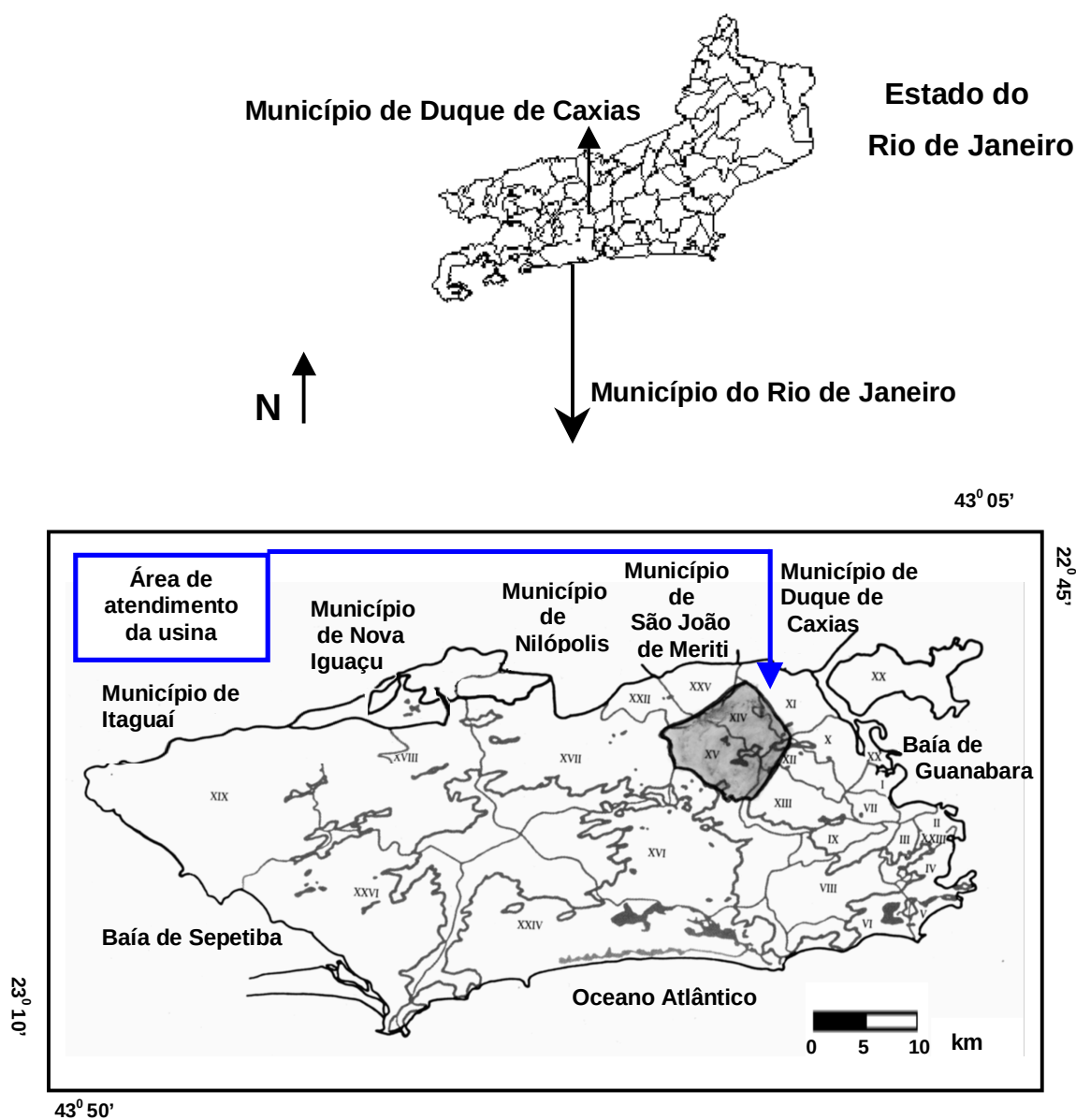


Figura 3 – Localização da área de atendimento da usina de Irajá, no Município do Rio de Janeiro

5 SISTEMA DE BENEFICIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DE IRAJÁ

5.1 Composição típica dos resíduos sólidos urbanos da Usina de Irajá

A Figura 4 apresenta a composição gravimétrica em peso dos resíduos sólidos domiciliares na área de abrangência da Usina de Irajá, durante os anos de 1995 a 1998. A avaliação dos dados mostra que a composição do lixo vem mantendo tendência de estabilização ao longo dos anos (COMLURB, 1998c).

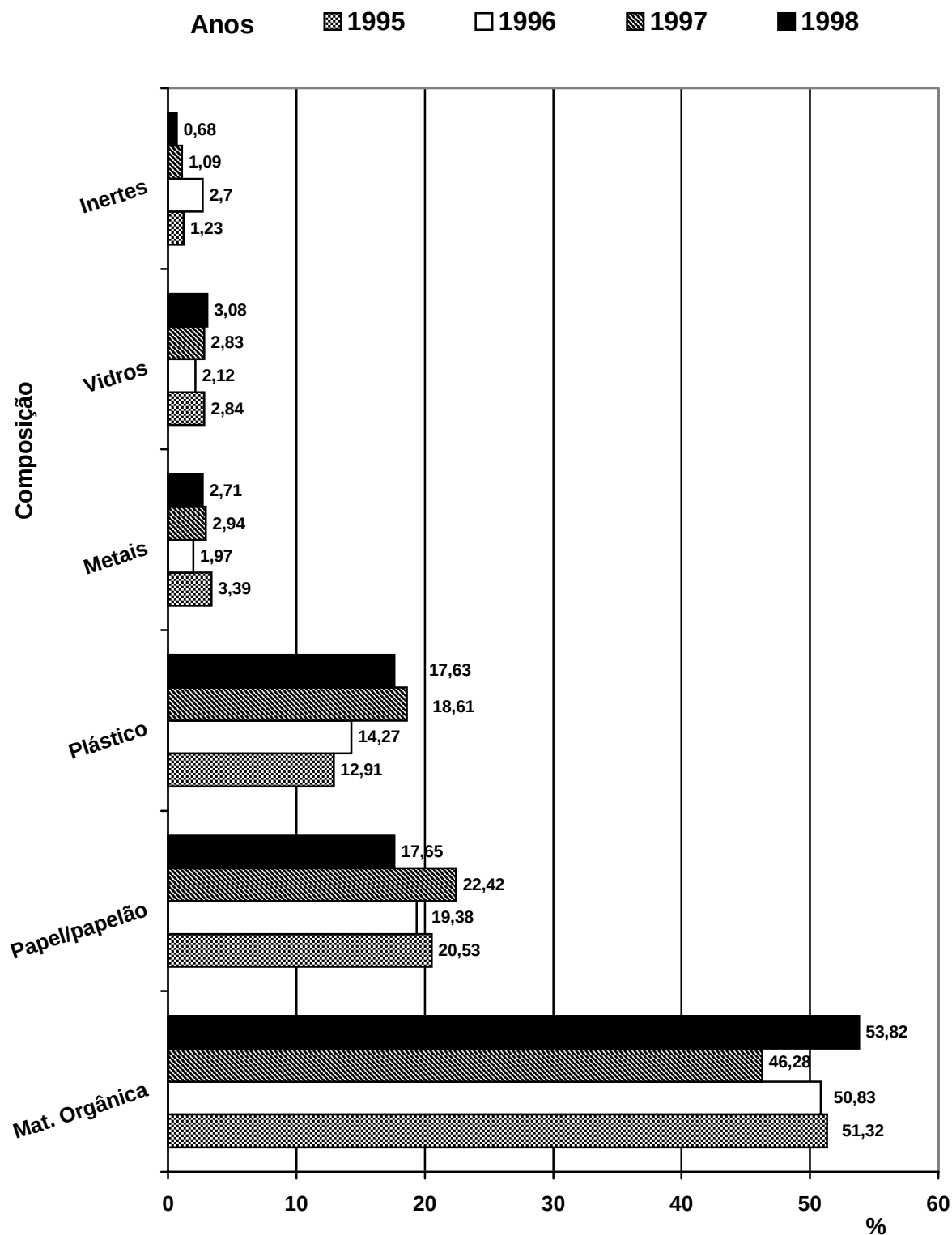


Figura 4 - Composição em percentagem da massa total dos resíduos sólidos domiciliares da Usina de Irajá (1995 – 1998)

5.2 Informações sobre a Usina de Irajá

Conforme mencionado anteriormente, a unidade de Irajá foi implantada em outubro de 1977, com capacidade de processamento de 150 t/dia de lixo triturado. Entretanto, hoje, pode processar até 450 t/dia, atendendo a uma população urbana, em torno de 500.000 habitantes distribuída por 19 bairros (COMLURB, 1998d), produzindo em torno de 410 t/dia de lixo, tomando-se por base a produção per capita de 0,82 kg/hab. x dia, descrita por GROSSI (1993), para o Município do Rio de Janeiro.

De acordo com a COMLURB (1976), o processo de beneficiamento do lixo da usina, possui as seguintes etapas: descarga e recepção, armazenagem e alimentação; segregação manual e embalagem dos produtos reciclados; trituração; seleção eletromagnética dos metais ferrosos e transporte dos resíduos (Figura 5).

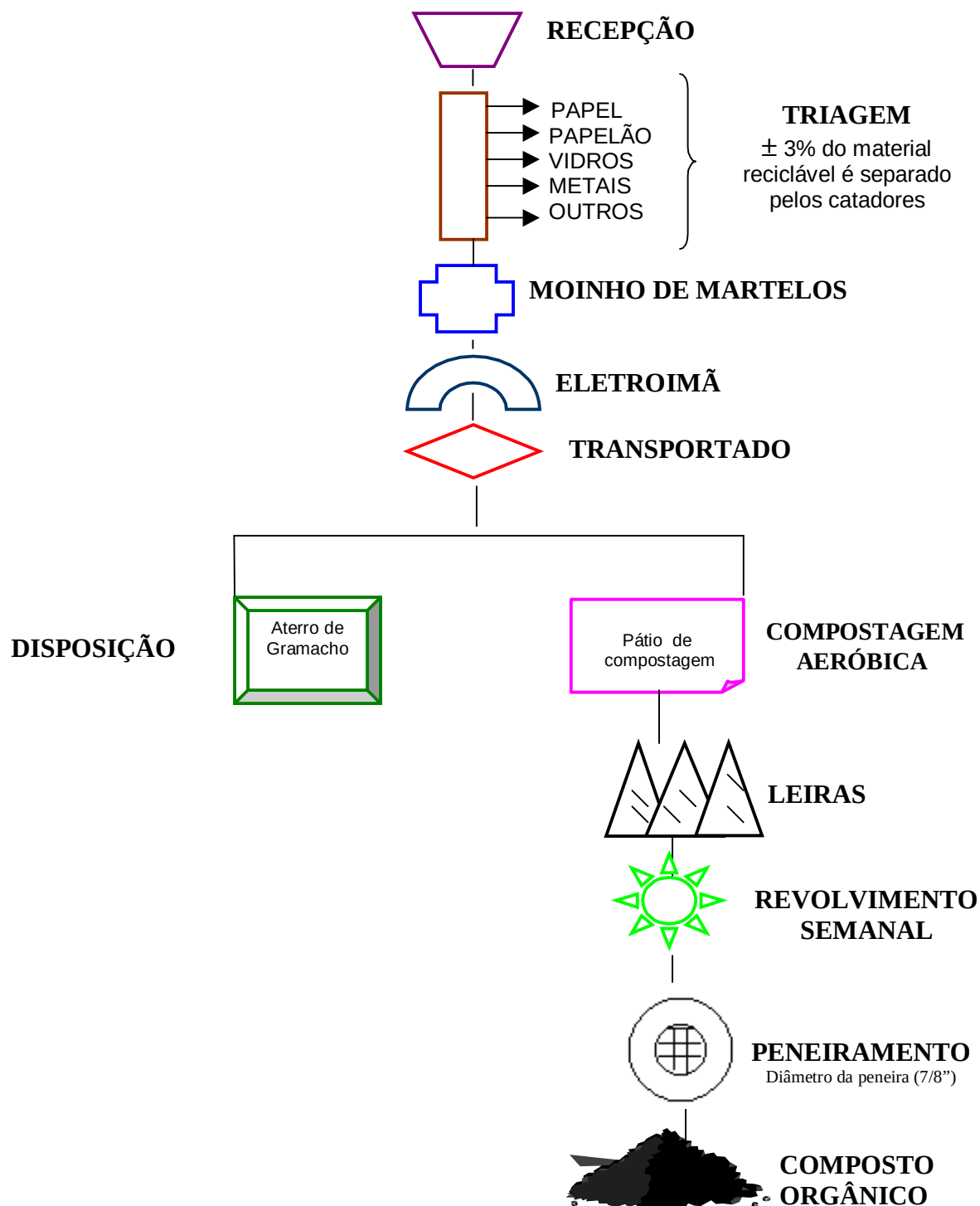


Figura 5 – Fluxograma do sistema de beneficiamento/disposição do lixo da Usina de Irajá

Nesse sentido cabe destacar, que nos Estados Unidos o sistema de beneficiamento de resíduos sólidos urbanos, adotado em Irajá, é conhecido pelo nome de DIRTY MRF (CARVALHO,1999).

Segundo COMLURB (1976), depois de beneficiados na usina, os resíduos são transportados para o pátio de compostagem (pátio de maturação), localizado no Km 0 da Rodovia Washington Luís, distante 9 Km da usina de Irajá, onde passa pelo processo de compostagem, ou para o Aterro Metropolitano de Gramacho, distante 17 Km da unidade de beneficiamento, conforme mostra a Figura 6.

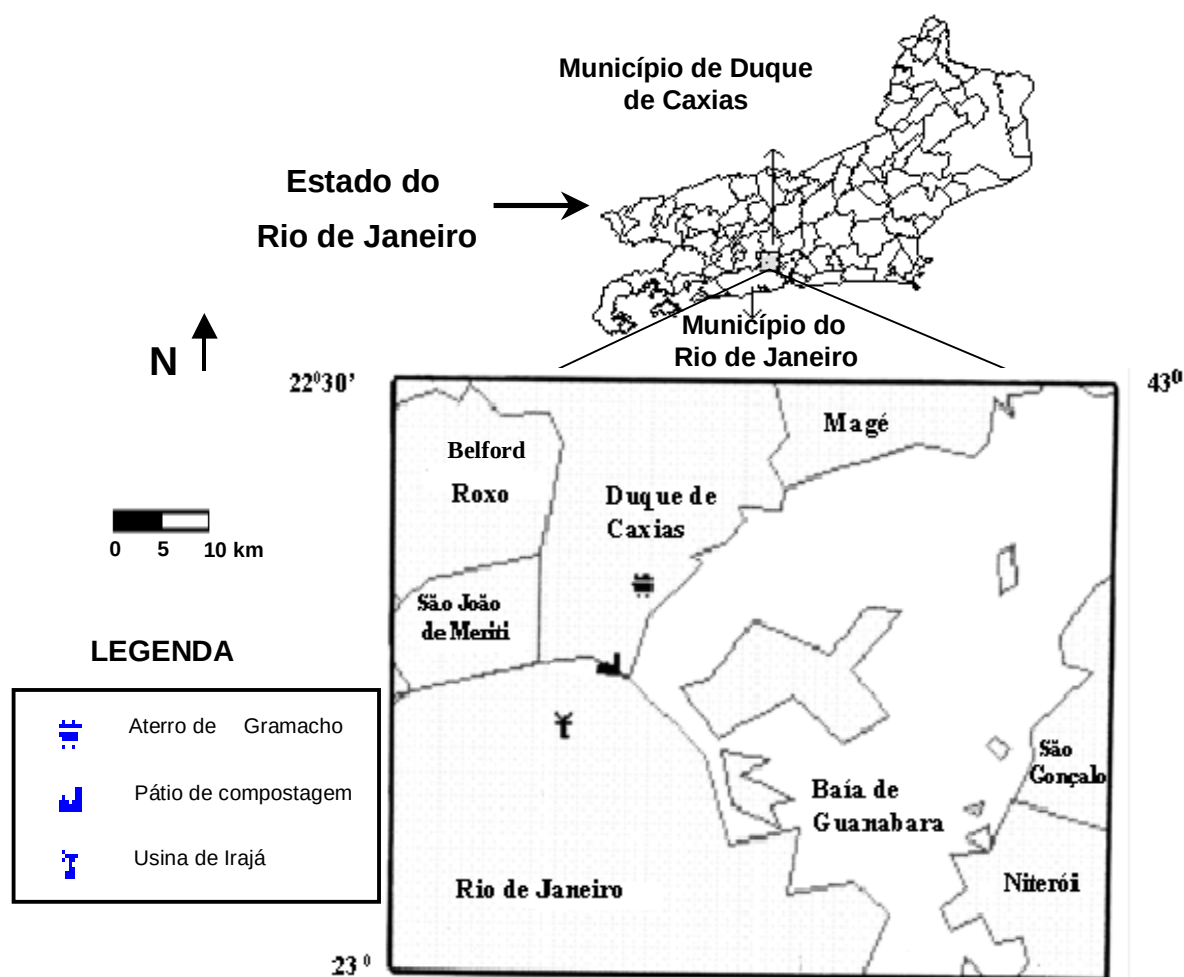


Figura 6 - Localização do sistema de beneficiamento de resíduos sólidos urbanos de Irajá, do pátio de compostagem e do Aterro de Gramacho

6 MATERIAIS E MÉTODOS

6.1 Amostragem do composto orgânico de resíduos sólidos urbanos e análise estatística dos dados

No pátio de compostagem do km 0 do Sistema de Beneficiamento de Irajá da COMLURB, na cidade do Rio de Janeiro foram coletadas 10 amostras em duplicata do composto orgânico de resíduos sólidos urbanos (FERTILURB), a intervalos variáveis (de 17 até 45 dias) durante o período de setembro de 1998 a junho de 1999 das leiras de fertilizante orgânico pronto para distribuição, conforme determina a Portaria nº 1 de 04/03/83 do Ministério da Agricultura (KIEHL, 1985).

O número de amostras de FERTILURB coletadas, levou em conta a variação da composição do lixo urbano empregado na compostagem durante o período.

6.2 Análises laboratoriais químicas e tratamento das amostras

As análises dos parâmetros físicos, químicos e físico-químicos nas amostras do fertilizante orgânico foram realizadas em dois laboratórios, aproveitando os seus métodos de análise.

As análises dos metais pesados (Zn, Fe, Cu, Pb, Cd, Cr e Ni); pH; nutrientes (K, Ca, N_{-total}, P, matéria orgânica e relação C/N); umidade; granulometria e teor de sílica, foram realizadas pelo laboratório do Centro de Pesquisas da COMLURB, com base na metodologia de KIEHL (1985).

Já a investigação do metal pesado Hg, foi executada pelo laboratório do Departamento de Geoquímica da UFF, conforme os procedimentos descritos a seguir.

6.2.1 Determinação da umidade

De início, parte da amostra é pesada e, a seguir colocada para secar numa estufa a 60-65 °C de temperatura por um período de 24 horas. Após esse período é deixada esfriar ao ar ambiente e posteriormente pesada, para determinar o percentual de umidade através do método oficial “Umidade a 60–65 °C”. Da quantidade resultante desse procedimento, é dividida em duas porções: uma para análise granulométrica e a outra para ser moída (COMLURB, 1998a).

Uma alíquota da amostra é triturada em moinho de facas e peneirada. O material que ficar retido na peneira do moinho, deve ser moído novamente, até que ocorra a completa pulverização da amostra.

O material seco, moído e peneirado, será utilizado nas determinações analíticas, conforme os procedimentos sugeridos por KIEHL(1985) e descritas no Manual de Análise de Composto Orgânico do Centro de Pesquisas da COMLURB (1998a).

6.2.2 Determinação da granulometria

Primeiro, pesa-se uma amostra seca não triturada e, a seguir, coloca-se sobre a peneira de malha maior no conjunto de peneiras.

O agitador mecânico das peneiras é ligado por um período de 5 minutos. Logo após esse procedimento, o material retido em cada fração da peneira é pesado, possibilitando estabelecer as frações retidas em cada peneira (KIEHL, 1985; COMLURB, 1998a).

6.2.3 Determinações analíticas

As determinações do pH foram realizadas em solução de CaCl_2 (0,01 M) pelo método potenciométrico (Método Oficial do Ministério da Agricultura), descrito por KIEHL (1985).

A análise dos metais pesados totais (Zn, Cu, Pb, Cd, Cr, Fe e Ni) foram realizadas pelo Centro de Pesquisas da COMLURB. No laboratório, procedeu-se à solubilização da amostra, através da digestão nitroperclórica (HNO_3 e HClO_4) e depois fez-se a leitura por espectrofotometria de absorção atômica em chama. A determinação das concentrações de mercúrio total foi executada pelo Departamento de Geoquímica da UFF, através de espectrofotometria de absorção atômica com geração de vapor a frio, após digestão em água régia a 50%.

Nas determinações dos nutrientes (N, P e K), empregaram-se os procedimentos sugeridos por KIEHL (1985). No caso do N_{total} , o método adotado foi Kjeldahl; no P, utilizou-se a espectrometria molecular; e , no K utilizou-se a fotometria de chama.

O percentual de C, foi obtido através da divisão do teor de matéria orgânica, pelo fator 1,8. Já, a matéria orgânica e o resíduo mineral total, foram determinados pelo método da perda por ignição, também chamado de perda ao rubro ou perda por combustão (KIEHL, 1985).

A partir do resíduo mineral total, obteve-se o resíduo mineral solúvel e o resíduo mineral insolúvel, através da adição de HCl, filtração e posterior incineração (KIEHL, 1985). Quanto ao cálcio, foi identificado através da titulação por complexometria com EDTA.

Finalmente, a relação C/N, foi obtida através da divisão do teor de carbono total pelo nitrogênio total encontrado na amostra.

6.3 Classificação do composto orgânico, segundo os resultados analíticos

A partir dos dados deste experimento, pelas informações fornecidas pelo Centro de Pesquisas da COMLURB (1998a) e com base na metodologia de KIEHL (1998a), foi possível discutir o comportamento de alguns parâmetros do composto orgânico.

Finalmente, com relação à avaliação dos teores de metais pesados no FERTILURB, achou-se conveniente, comparar teores desses contaminantes no fertilizante com os limites de tolerância mencionados por GROSSI (1993) para a Alemanha; Suíça (NUNESMAIA, 1997); GENEVINI et al. (1997); EPA (EUA) (NORA, 1993); França (FRANÇA, 1981); Áustria (LUTZ, 1984); CEE (CEE, 1986); e ANDREOLI et al. (1997).

6.4 Avaliação do custo do transporte no sistema de beneficiamento de Irajá

A partir dos dados deste trabalho, da bibliografia da COMLURB (1998d) e de entrevistas com técnicos da COMLURB, foi possível estabelecer as equações apresentadas adiante, que representam os custos do transporte no sistema de Irajá.

6.5 Avaliação do valor agrícola e comercial do FERTILURB

Com os resultados analíticos das amostras do composto orgânico da Usina de Irajá, do trabalho de KIEHL (1998a), de entrevistas com técnicos da COMLURB e da RIOFERTIL FERTILIZANTES LTDA, foi possível calcular o valor agrícola e comercial do composto orgânico.

6.6 Cálculo da quantidade de FERTILURB necessário para adubar ou reflorestar as áreas de campo antrópico no Município do Rio de Janeiro

O cálculo estimativo da quantidade de FERTILURB necessário para adubar ou reflorestar a área de campo antrópico no Município do Rio de Janeiro, baseou-se nos trabalhos de KIEHL & KIEHL (1996), COSTA et al. (1997), MONTEIRO (1999), informações deste experimento e de técnicos da Secretaria Municipal de Meio Ambiente do Município do Rio de Janeiro.

6.7 Cálculo da taxa de desvio da usina de Irajá

Tomando-se por base o trabalho do IPT/CEMPRE (1995) e dados do presente estudo, foi possível estimar a “taxa de desvio”¹⁵ da Usina de beneficiamento de resíduos sólidos em questão.

6.8 Tratamento dos dados

No tratamento estatístico dos dados utilizou-se o programa “Statística 5.0”, para calcular a média simples, o desvio padrão e a variância.

¹⁵ Taxa de desvio: Estima o percentual de resíduos sólidos urbanos que podem ser desviados do local de disposição, através do funcionamento da usina de beneficiamento de resíduos sólidos urbanos. (CEMPRE/IPT, 1995).

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1 Características químicas e físicas do FERTILURB

Dos vinte e três parâmetros analisados no presente estudo, a legislação brasileira de fertilizantes orgânicos de lixo urbano, estabelece “especificações, garantias e tolerâncias” apenas para cinco parâmetros.

Na Figura 7 são apresentadas a variação temporal das características químicas e físicas do FERTILURB, coletado durante o período de 11/08/98 à 18/06/99. A Tabela 11 mostra os teores médios, máximos, mínimos, desvios padrões e as variâncias desses parâmetros.

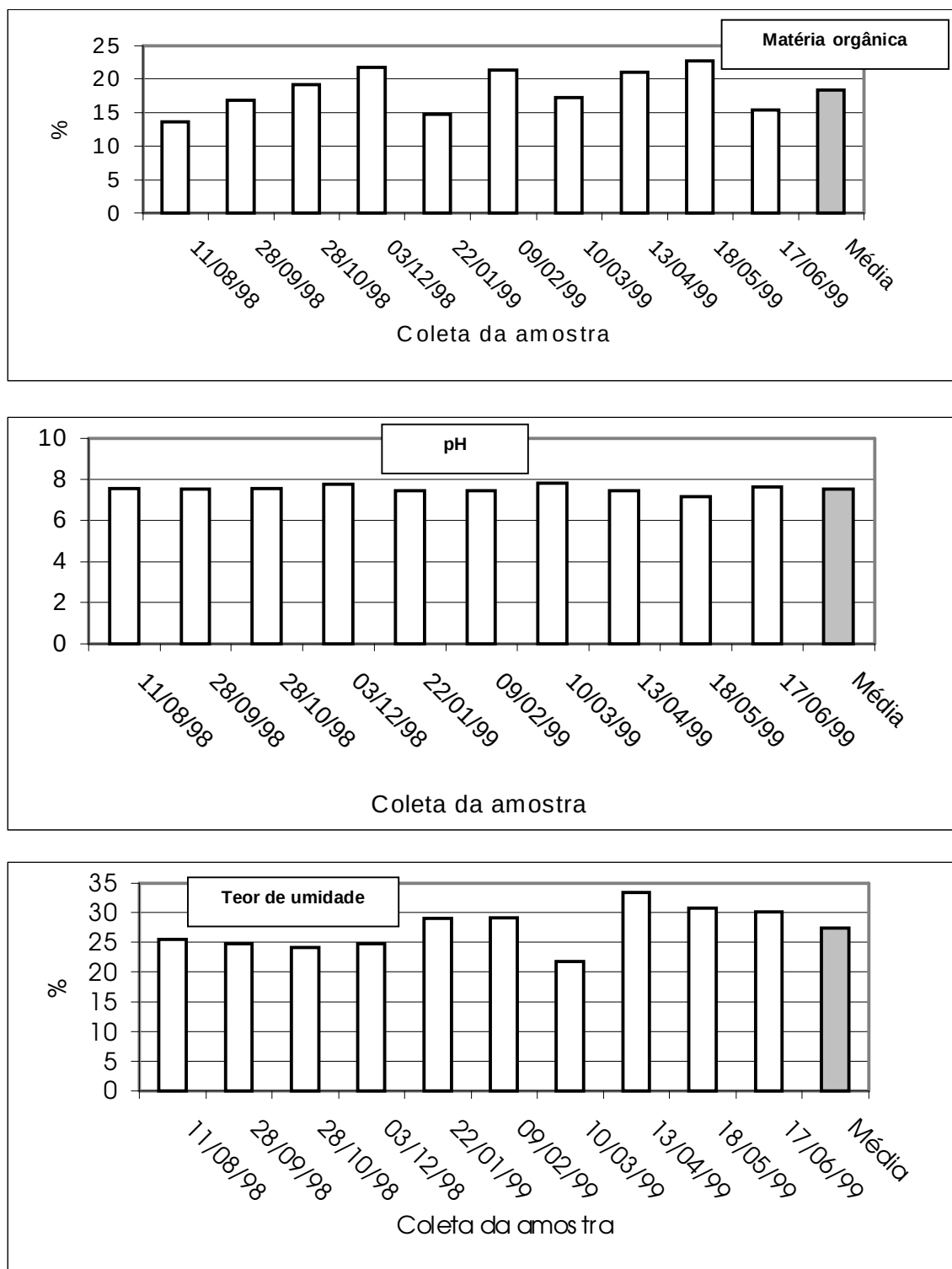
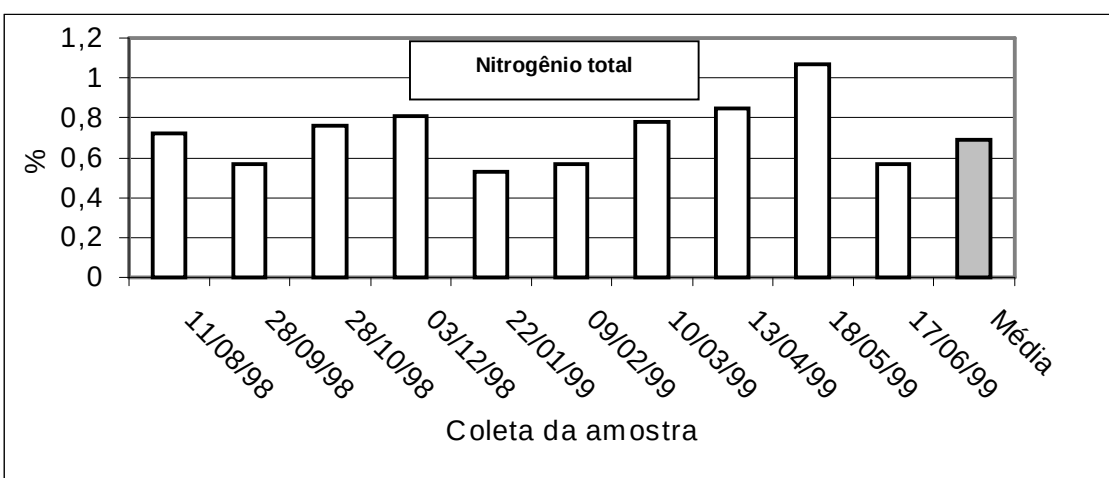
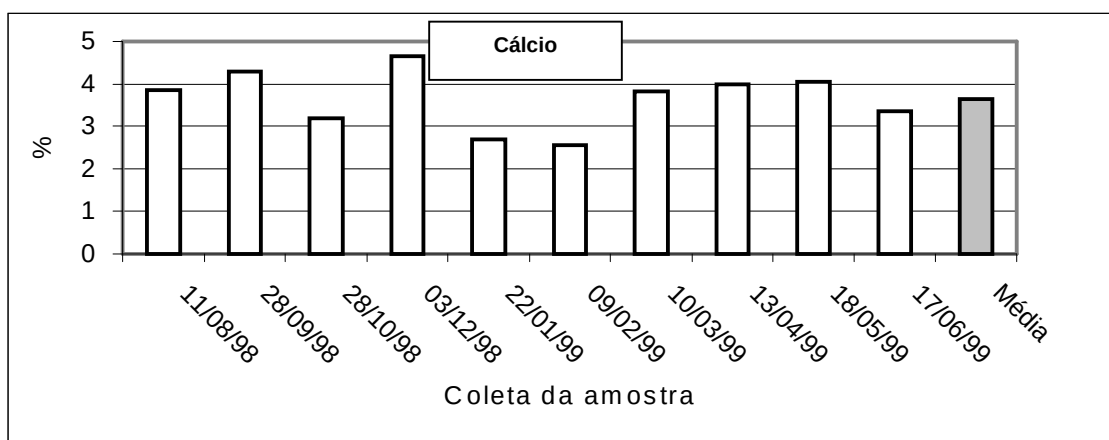
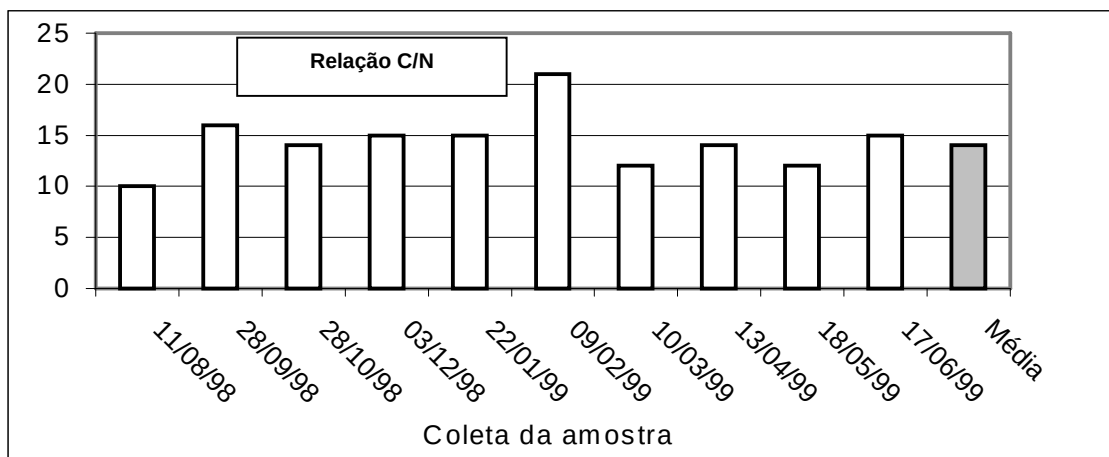
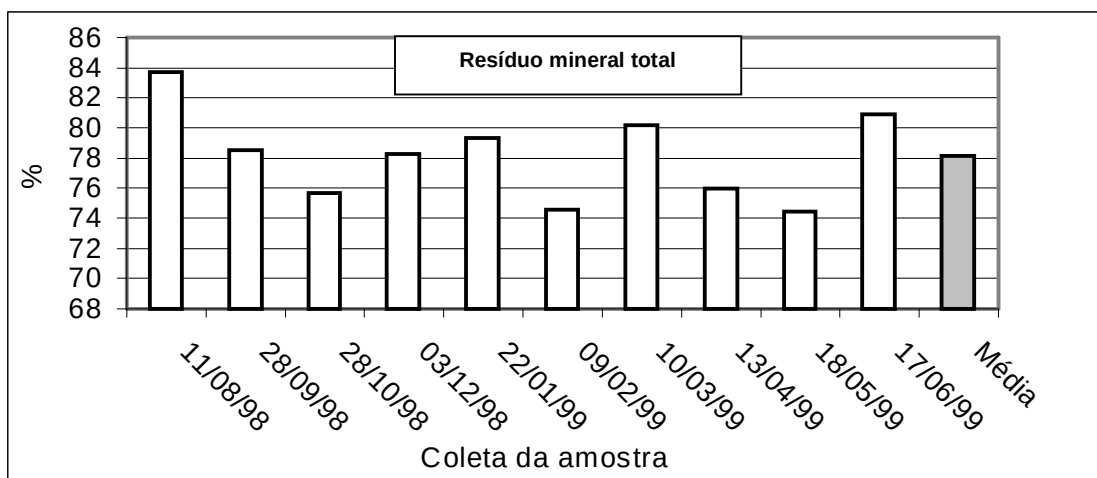
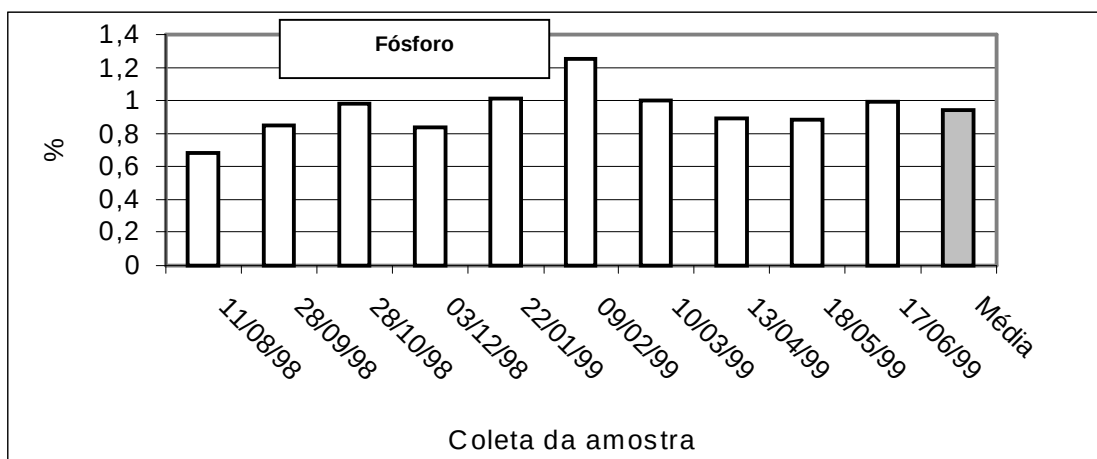
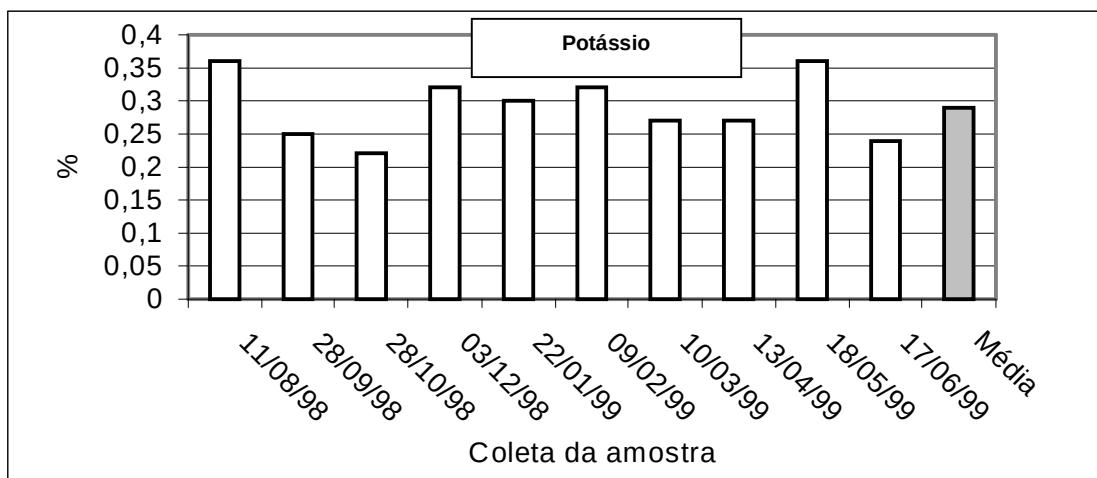


Figura 7 - Variação temporal das características físicas e químicas do FERTILURB da Usina de Irajá (11/08/99 à 18/06/99)

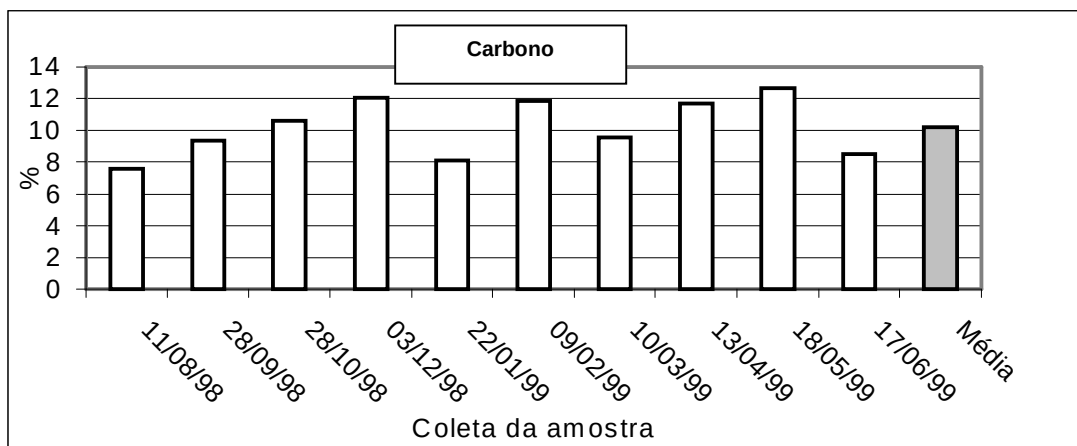
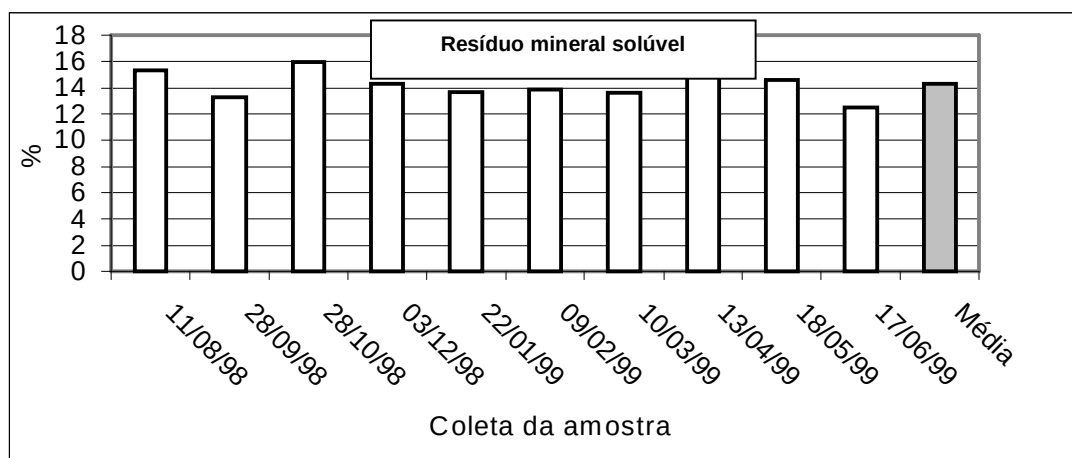
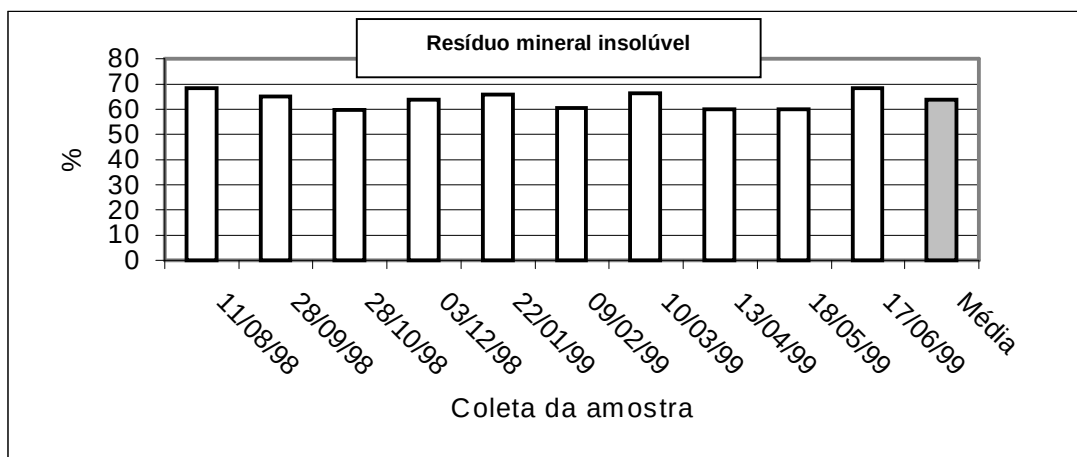
(Continuação da Figura 7)



(Continuação da Figura 7)



(Continuação da Figura 7)



(Conclusão da Figura 7)

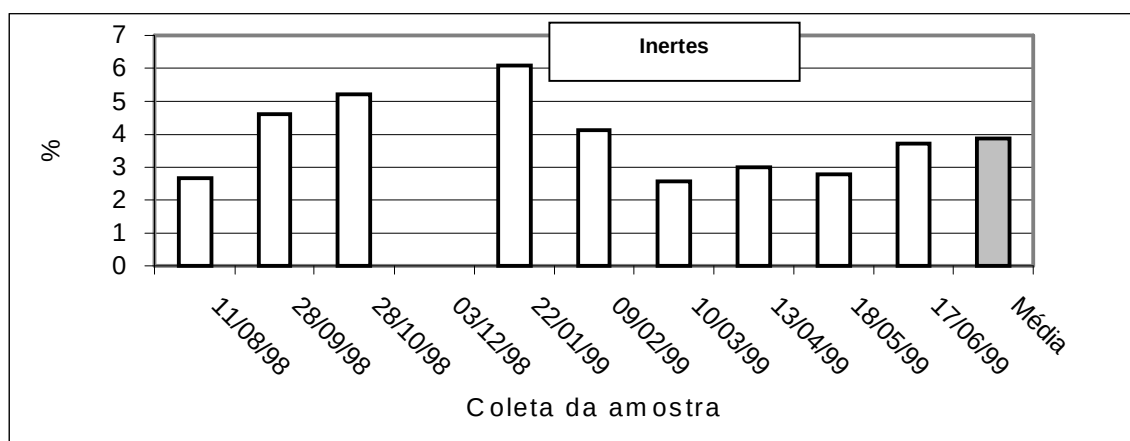
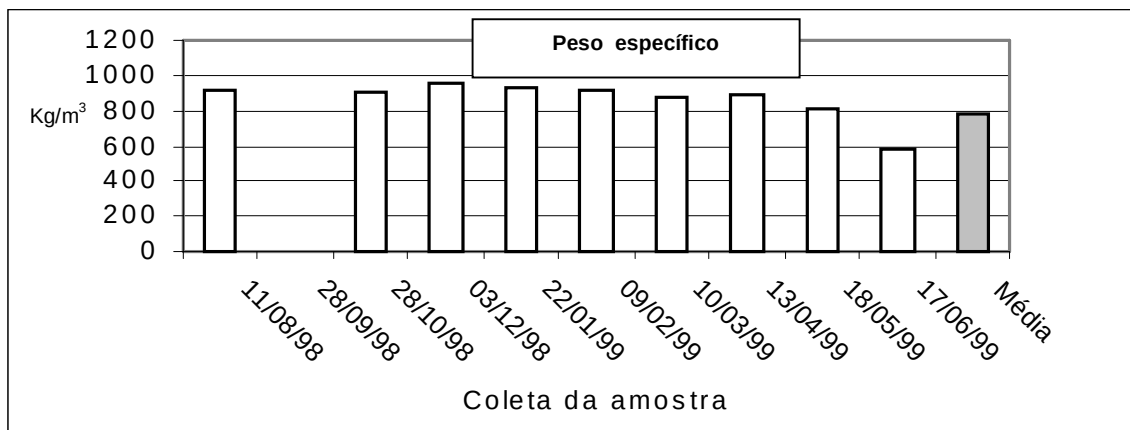


Tabela 11 – Teores médios, máximos, mínimos, desvios padrões e as variâncias das características físicas e químicas do FERTILURB da Usina de Irajá

(Continua)

Variáveis		Matéria orgânica total (%)	pH	Teor de umidade (%)	Relação C/N	Cálcio (CaO %)	Nitrogênio Total (%)	Fósforo (P ₂ O ₅ %)	Potássio (K ₂ O %)
Média e Desvio padrão		18,39 ± 3,24	7,53 ± 0,18	27,34 ± 3,64	14/1 ± 2,95	3,64 ± 0,68	0,69 ± 0,12	0,94 ± 0,15	0,29 ± 0,05
Faixa de variação		13,62 - 22,74	7,15 - 7,80	21,79 - 33,33	10,00 - 21,00	2,56 - 4,66	0,53 - 1,07	0,68 - 1,25	0,22 - 0,36
Variância		10,51	0,03	13,25	8,71	0,46	0,03	0,02	0
Legislação brasileira (*)	Especificações	> 40,00	>6,00	< 40,00	< 18/1	(-)	> 1,00	(-)	(-)
	Tolerância admitida pela legislação, em relação à garantia do produto	> 36,00	>5,40	< 44,00	< 21/1	(-)	> 0,90	(-)	(-)

(Conclusão da Tabela 11)

Variáveis		Resíduo Mineral Total (%)	Resíduo Mineral Insolúvel (%)	Resíduo Mineral Solúvel (%)	Carbono (%)	Peso Específico (Kg/ m ³)	Inertes (%)
Média e Desvio padrão		78,15 ± 3,01	63,83 ± 3,53	14,30 ± 1,16	10,20 ± 1,81	779,92 ± 294,33	3,88 ± 1,17
Faixa de variação		74,46 - 83,71	59,71 - 68,42	12,50 - 15,96	7,57 - 12,63	575,31 - 962,50	2,57 -6,08
Variância		9,06	12,43	1,33	3,29	86.632	1,37
Legislação brasileira (*)	Especificações	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
	Tolerância admitida pela legislação, em relação à garantia do produto	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)

Fonte: (*) BRASIL, (Portaria nº 1 de 04 de março de 1983)

Nota: (-) Sem informação

Comparando-se os teores médios encontrados neste estudo com os valores estabelecidos pela legislação brasileira, verifica-se que o produto da Usina de Irajá, está em conformidade com os parâmetros pH, umidade e relação C/N, relacionados na Tabela 11.

Dentre esses parâmetros, o pH não apresentou mudanças significativas durante o período de estudo (Figura 7), mantendo-se, praticamente estável (entre 7,15 e 7,80), sugerindo que o composto orgânico apresenta-se humificado (KIEHL & PORTA, 1981). De acordo com KIEHL (1998a), “de maneira geral, a disponibilidade dos metais aumenta em condições de solo com pH ácido, diminuindo com elevação do pH. A calagem, portanto, é um método auxiliar no controle da fitotoxicidade dos metais pesados. Com pH próximo da neutralidade a disponibilidade dos metais é reduzida”.

Com relação à matéria orgânica total e o nitrogênio total, verifica-se que os valores encontrados neste estudo, estão abaixo dos padrões estabelecidos pela legislação do nosso país (Tabela 11) e do teor de matéria orgânica (28,42%) encontrado por COSTA (1994).

Observando-se, ainda, a Tabela 11, nota-se que o parâmetro peso específico, apresenta elevado valor de variância. Na Tabela 12, verifica-se que os metais pesados (Fe, Zn, Cu, Cr, Pb e Ni) apresentam consideráveis valores para a variância. Pode-se perceber, então, que a variância entre os parâmetros analisados no presente estudo, seja proveniente dos tipos de resíduos urbanos encaminhados à compostagem e ,consequentemente, a grande faixa de variação de seus constituintes.

Tabela 12 – Concentrações dos teores de metais pesados no FERTILURB, da Usina de Irajá – (11/08/98 à 18/06/99)

Variáveis	Metais pesados (mg/kg)							
	Fe	Hg (*)	Cd	Ni	Pb	Cr	Zn	Cu
Média e desvio padrão	48683 ± 16091	1 ± 0,6	0,86 ± 0,11	85 ± 38	211 ± 48	242 ± 102	1603 ± 840	405 ± 225
Faixa de Variação	38750 - 82500	0,21-1,57	0,55 -0,96	50 - 155	150 - 320	120 - 450	750 - 3250	230 - 990
Variância	258929 x 10 ³	1,20	0,02	1413,61	2330,28	10394,72	705062,50	50627,78

Nota: (*) Análise realizada pelo Laboratório do Departamento de Geoquímica da UFF

A Figura 8 apresenta graficamente a variação dos teores de metais pesados no FERTILURB ao longo do experimento. Ainda nessa figura, verifica-se, que excetuando-se o cromo da amostra do dia 22/01/99, os demais metais, apresentam as maiores concentrações para o mesmo período. Entretanto, com relação à amostra do dia 09/02/99, percebe-se que os metais pesados Fe, Ni, Pb, Cr e Zn apresentam elevados teores.

Portanto, deve-se mencionar que o cádmio (Figura 8) apresenta as menores concentrações e a menor variabilidade (0,55 a 0,96 mg/kg) durante o experimento, com uma concentração média de 0,86 e desvio padrão de 0,11, sugerindo uma fonte constante. Provavelmente, um dos materiais que vêm contribuindo com uma parte dessas concentrações, é o plástico (ALBERT, 1988). Nesse sentido vale lembrar, que a maior parte do lixo gerado pela população é acondicionado em embalagens plásticas (sacolas) que são transportadas até o local de beneficiamento ou disposição dos resíduos.

Provavelmente, um dos motivos do comportamento dos teores de metais pesados nos meses de janeiro e fevereiro; é que nos meses de novembro e dezembro, a população tem por hábito, comprar coisas novas para ano que inicia. E os materiais que não têm mais utilidade, são encaminhados para o lixo, contribuindo para o aumento das quantidades de metais pesados nesses resíduos.

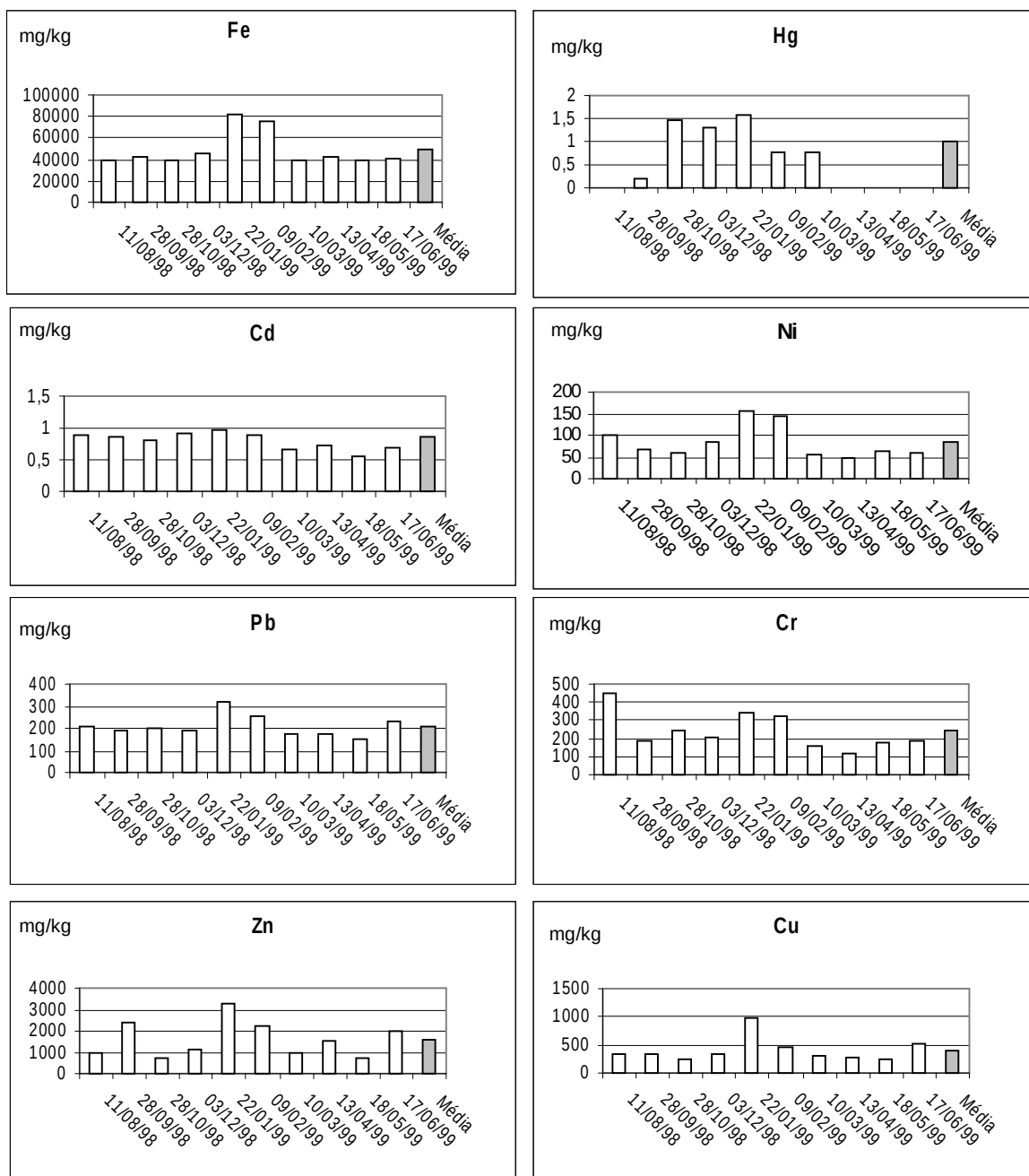


Figura 8 – Variação temporal dos teores de metais pesados em mg/kg no FERTILURB, ao longo do experimento (11/08/98 à 18/06/99)

Confrontando-se os dados deste estudo, com os fornecidos pelo Centro de Pesquisas da COMLURB (1998b), para a Usina de Irajá, referentes aos anos de 1995, 1996 e 1997, descritos na Tabela 13, observa-se que os parâmetros peso específico, resíduo mineral total e resíduo mineral insolúvel, são superiores aos teores médios de 1995 a 1997, devido à incorporação de grãos de areia, partículas de metais, de vidro e de louça, ao material a ser compostado (KIEHL & PORTA,1981).

Tabela 13 – Características físicas e químicas do FERTILURB da Usina de Irajá –
(1995 à 1998/1999)

(Continua)

FERTILURB		Matéria orgânica total (%)	pH	Teor de umidade (%)	Relação C/N	Cálcio (CaO %)	Nitrogênio (%)	Fósforo (P ₂ O ₅ %)
Período	Dados							
1998/ 1999	Média e Desvio padrão	18,39 ± 3,24	7,53 ± 0,18	27,34 ± 3,64	14/1 ± 2,95	3,64 ± 0,68	0,69 ± 0,12	0,94 ± 0,15
	Variância	10,51	0,03	13,25	8,71	0,46	0,03	0,02
1997	Média e Desvio padrão	17,54 ± 4,72	7,76 ± 0,57	25,59 ± 7,64	11/1 ± 4,24	4,22 ± 0,57	0,87 ± 0,05	0,78 ± 0,17
	Variância	22,24	0,32	58,43	18,00	0,33	0	0,03
1996	Média e Desvio padrão	37,92 ± 3,39	7,52 ± 0,06	28,05 ± 0,24	14/1 ± 2,12	3,68 ± 0,25	1,36 ± 0,09	1,04 ± 0,10
	Variância	11,47	0	0,06	4,50	0,06	0,01	0,01
1995	Média e Desvio padrão	27,06 ± 3,14	7,28 ± 0,20	31,39 ± 4,41	13/1 ± 1,73	3,48 ± 0,16	1,14 ± 0,19	0,81 ± 0,12
	Variância	9,86	0,04	19,43	3,00	0,02	0,03	0,01
Legislação brasileira (*)	Especificações	> 40,00	>6,00	< 40,00	< 18/1	(-)	> 1,00	(-)
	Tolerância	> 36,00	>5,40	< 44,00	< 21/1	(-)	> 0,90	(-)

(Conclusão da Tabela 13)

FERTILURB		Potássio (K ₂ O %)	Resíduo			Carbono (%)	Peso Específico (Kg/ m ³)	Inertes (%)
Período	Dados		Mineral total (%)	Mineral Insolúvel (%)	Mineral solúvel (%)			
1998/ 1999	Média e Desvio padrão	0,29 ± 0,05	78,15 ± 3,01	63,83± 3,53	14,30± 1,16	10,20 ± 1,81	779,92 ± 294,33	3,88± 1,17
	Variância	0	9,06	12,43	1,33	3,29	86632	1,37
1997	Média e Desvio padrão	0,59 ± 0,23	74,98 ± 15,30	48,50± 1,75	26,49± 17,05	9,74 ± 2,62	609,02 ± 34,78	14,97 (**)
	Variância	0,05	234,14	3,05	290,65	6,85	1209,83	(-)
1996	Média e Desvio padrão	(-)	59,86± 6,53	44,13± 5,88	15,73± 0,65	21,06± 1,88	508,53± 67,03	4,45 (**)
	Variância	(-)	42,69	34,61	0,42	3,54	4493,52	(-)
1995	Média e Desvio padrão	0,71 (**)	58,35 ± 9,75	42,45± 10,49	15,56± 0,89	15,03 ± 1,75	505,07 ± 80,99	14,60± 6,97
	Variância	0	94,99	110,02	2360,96	3,06	6559,39	48,52
Legislação brasileira (*)	Especificações	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
	Tolerância	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)

Fonte: (*) BRASIL, (Portaria nº 1 de 04 de março de 1983)

Notas: (**) Informação referente a uma amostra; (-) Sem informação

Na Tabela 13, verifica-se que a variância do peso específico foi de 1.209,83, para o ano de 1997, para 86.632, no período de 1998/1999, confirmando a heterogeneidade do material a ser compostado (KIEHL, 1998a).

Analisando-se as concentrações de metais pesados no FERTILURB nos anos de 1994, 1997 e 1998/1999 relacionados na Tabela 14, verifica-se, que as concentrações do Zn, vêm aumentando sensivelmente, devido a uma mudança no perfil de contribuição dos resíduos sólidos (Ex.: pilhas, baterias, placas de zinco, trapos) que contém o elemento. Por outro lado, comparando-se as concentrações médias de 1997 e 1998/1999 deste trabalho, com o valor de 891,47 mg/kg (COSTA, 1994), também verifica-se que houve um aumento nas médias de concentração, reafirmando uma mudança no perfil de composição do resíduo.

Tabela 14 – Concentrações dos teores de metais pesados no FERTILURB, da Usina de Irajá – (1994 – 1997 – 1998/1999)

FERTILURB		Metais pesados (mg/kg)							
Período	Dados	Fe	Hg	Cd	Ni	Pb	Cr	Zn	Cu
1998/1999 (1)	Média e desvio padrão	48683 ± 16091	1 ± 0,60	0,86 ± 0,11	85 ± 38	211 ± 48	242 ± 102	1603 ± 840	405 ± 225
	Variância	258929 x 10 ³	1,20	0,02	1413,61	2330,28	10394,72	705062,50	50627,78
1997 (2)	Média e desvio padrão	45050	(NR)	0 (**)	75 ± 21,21	290 ± 141,42	435 (**)	1175 ± 459,62	595 ± 473,76
	Variância	(-)	(-)	(-)	450	20000	(-)	211250	224450
1994 (2)	Média e desvio padrão	(NR)	0,25 (**)	< 1,0 (**)	30 (**)	200 (**)	60 (**)	500 (**)	< 200 (**)
	Variância	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)

Fontes: (1) Este Estudo; (2) Centro de Pesquisas da COMLURB

Notas: (NR) Análise não realizada; (**) Informação referente a uma amostra; (-) Sem informação

Baseado nos pontos discutidos anteriormente e nos trabalhos de EGREJA FILHO & PEREIRA NETO (1995) e GALVÃO JÚNIOR & SCHALCH (1993), acredita-se que o FERTILURB venha apresentando essas concentrações de metais, devido à mistura do material compostável com o resto do lixo, a partir da fonte geradora, o que ressalta a necessidade de segregação do lixo.

Por outro lado, vale citar o trabalho de ANDREOLI et al.(1994), que “o fator acidez promove a solubilização de praticamente todos os elementos traço e como os solos brasileiros, apresentam em geral, caráter ácido, especial atenção deve ser dada a esta característica”.

Por último, vale lembrar, que a legislação brasileira ainda não regulamentou os limites de tolerância de metais pesados em qualquer tipo de fertilizante orgânico.

7.1.1 Metais pesados no FERTILURB

A Tabela 15 apresenta as médias simples, os desvios padrões e as faixas de variações dos metais pesados (Fe, Hg, Cd, Ni, Pb, Cr, Zn e Cu) no FERTILURB, comparadas com as legislações de alguns países e outros estudos.

Tabela 15 – Teores médios, os desvios padrões e as faixas de variações dos metais pesados no FERTILURB, em comparação com as legislações de alguns países e outros estudos.

(continua)

Fontes		Concentrações de metais pesados no FERTILURB em mg/kg							
		Fe	Hg	Cd	Ni	Pb	Cr	Zn	Cu
Este estudo (1)	Média ±								
	Desvio padrão	48683 ± 16091	1 ± 0,6	0,86 ± 0,11	85 ± 38	211 ± 48	242 ± 102	1603 ± 840	405 ± 225
	Faixa de variação	38750 - 82500	0,21 - 1,57	0,55 - 0,96	50 - 155	150 - 320	120 - 450	750 - 3250	230 - 990
Limites de tolerância de metais pesados (mg/kg) em compostos orgânicos de resíduos sólidos urbanos, segundo as legislações de alguns países									
Alemanha (2)		(*)	1	1,5	5	150	100	400	100
Suíça (3)		(*)	3	3	50	150	150	500	150
EPA (4)		(*)	17	39	420	300	1200	2800	1500
França (5)		(*)	20	40	400	1600	2000	6000	2000
Áustria (6)		(*)	1 a 4 (**)	1 a 6 (**)	30 a 200 (**)	200 a 900 (**)	50 a 300 (**)	300 a 1500 (**)	0 a 1000 (**)
CCE (7)		(*)	16 a 25 (**)	20 a 40 (**)	300 a 400 (**)	1000 a 1750 (**)	(*)	2500 a 4000 (**)	1000 a 1750 (**)
Concentrações de metais pesados (mg/kg) em compostos orgânicos de resíduos sólidos urbanos, de acordo com outros estudos									
COSTA (9)		968,12	(*)	2,66	39,46	531,72	(*)	891,47	443,39
Belo Horizonte (10)		19323	(*)	2,00	25	238,33	94,07	279	177
Brasília (10)		15280	(*)	2,50	19	146	65,73	197	130
Rio de Janeiro (10)		24912	(*)	5,00	91	599,33	125,47	1006	815
São Paulo (10)		12872	(*)	5,33	26	217,67	65,87	163	180
Manaus (10)		25382	(*)	2,00	27	209,33	80,80	430	208
Dublingen (1986)(11)		(*)	2,60	3,40	(*)	365	(*)	864	196
Singen (1988) (11)		(*)	2,70	1,90	(*)	307	(*)	545	148
Heidenheim (1989) (11)		(*)	1,90	2,70	(*)	441	(*)	837	335
Suíça (1987) (11)		(*)	4	13	(*)	780	(*)	1900	469
Amsterdam (1989) (11)		(*)	(*)	2,30	23,90	323	25,50	465	154
Yokahama (11)		(*)	2,60	2,30	32	173	(*)	760	189
Tóquio (11)		(*)	1,50	1,70	34	119	(*)	792	333
Limites de tolerância de metais pesados (mg/l) em composto orgânico de lodo de esgoto, utilizados no Estado do Paraná									
Composto orgânico de lodo de esgoto (8)		(**)	16	20	300	750	1000	2500	1000

(Conclusão da Tabela 15)

Fontes		Concentrações de metais pesados no FERTILURB em mg/kg							
		Fe	Hg	Cd	Ni	Pb	Cr	Zn	Cu
Este estudo (1)	Média ±								
	Desvio	48683 ±	1 ±	0,86 ±	85 ±	211 ±	242 ±	1603 ±	405 ±
	padrão	16091	0,6	0,11	38	48	102	840	225
	Faixa de	38750 -	0,21 -	0,55 -	50 -	150 -	120 -	750 -	230 -
	variação	82500	1,57	0,96	155	320	450	3250	990
Classificação dos compostos orgânicos, segundo GENEVINI et al. (1997)									
GENEVINI et al. (1997) (12)	Qualidade muito alta	(*)	(*)	Abaixo de 1	Abaixo de 30	Abaixo de 100	Abaixo de 70	Abaixo de 200	Abaixo de 100
	Qualidade alta	(*)	(*)	1 – 2,5	30 – 60	100 – 150	70 – 150	200 – 400	100 – 200
	Qualidade média	(*)	(*)	2,6 – 4	61 – 100	151 – 500	151 – 200	401 – 1000	201 – 400
	Qualidade baixa	(*)	(*)	Acima de 4	Acima de 100	Acima de 500	Acima de 200	Acima de 1000	Acima de 400

Fontes: (1) Este estudo; (2) GROSSI, (1993); (3) NUNESMAIA, (1997); (4) EPA (EUA) (NORA, 1993); (5) FRANÇA, 1981; (6) LUTZ, 1984; (7) CEE (CEE, 1986); (8) ANDREOLI, 1999; (9) COSTA, 1994; (10) CRAVO, 1998 (11) GROSSI, 1993, (12) GENEVINI et al., 1997.

Notas: (*) Valor não informado; (**) Na comparação com o FERTILURB, utilizou-se o valor máximo estabelecido na faixa de variação

Os dados deste estudo, quando comparados com as legislações de alguns países, relacionadas na Tabela 15, permite constar que o fertilizante orgânico está em conformidade, com 100 % dos níveis de tolerância da EPA (EUA) (Nora, 1993), para a FRANÇA (França, 1981) e CEE (CEE, 1986). Com relação a legislação da Áustria (LUTZ, 1984), verifica-se que o Zn é o único metal pesado que está acima da faixa de tolerância (300 a 1.500 mg/kg) em compostos orgânicos de lixo urbano.

Entretanto, quando confrontados esses mesmos dados com a legislação da Alemanha, percebe-se que os metais pesados Ni, Pb, Cr, Zn e Cu estão acima dos limites de tolerância. Neste sentido, vale assinalar que dentre esses metais, os teores de Ni, chegam a ser dezessete vezes mais altos do que o estabelecido pela legislação daquele país.

No caso da comparação, com a legislação da Suíça (NUNESMAIA, 1997), nota-se que o composto orgânico da Usina de Irajá, apresenta teores de metais pesados Ni, Pb, Cr, Zn, e Cu, acima dos limites de tolerância estabelecidos.

Conforme mencionado anteriormente, a legislação da Alemanha é a que possui os padrões mais rigorosos para este tipo de fertilizante orgânico. Provavelmente, a causa desses valores mais baixos tenha sido provocada por pressões de grupos de ecologistas, políticos e estudiosos do assunto.

No caso da norma da CEE, os teores de metais pesados utilizados nas legislações de fertilizantes orgânicos, foram estabelecidos a partir do princípio “da não poluição dos solos, onde procura-se manter os níveis naturais destes elementos nos solos” (ANDREOLI et al., 1997). Por outro lado, a legislação da EPA, baseou-se “na análise de risco”, que permitiu a adoção de teores maiores, do que a legislação da CEE.

Segundo ANDREOLI (1999), as legislações dos países para metais pesados em compostos orgânicos levam em conta entre outros fatores:

- A concentração e a forma em que os metais pesados encontram-se nos solos e onde o composto orgânico será utilizado;
- As características dos solos que influenciam a solubilização dos metais, tais como: a textura, o tipo de argila, a CTC e no teor de matéria orgânica.

Como pode ser observado das legislações utilizadas na comparação com dados desse estudo, o ferro não possui limites de tolerância, possivelmente, “por não ser considerado metal pesado pela maioria dos autores e tratar-se, de um elemento de baixa mobilidade e principalmente por ser não-tóxico”(ALLOWAY, 1990). “Por esses motivos, o seu teor nos compostos orgânicos não é muito preocupante” (CRAVO,1999). Por outro lado, comparando-se o teor de ferro deste estudo, com a média (19.553 mg/kg) dos teores de CRAVO et al. (1998) (Tabela 15), verifica-se que é quase duas vezes e meia superior a este valor.

No caso do composto orgânico de lodo de esgoto, ANDREOLI et al. (1997b), informa que a regulamentação deste composto para

agricultura no Estado do Paraná, “tem por objetivo fixar as condições e restrições para que os lodos de sistemas de tratamentos de esgotos sanitários possam ser reciclados na agricultura de forma segura para a população e o meio ambiente”.

Ainda de acordo com o autor citado, a escolha dos limites de tolerância a serem utilizados no Estado do Paraná, foram baseados em bibliografias sobre o assunto e experiências de outros países. Desse modo, resolveu-se adotar os limites mínimos de tolerância, utilizados pela CEE para esse tipo de produto; por serem moderadamente restritivos e por atender as condições de acidez do solo, o índice pluviométrico e a temperatura média do Estado do Paraná. Além disso, considerou-se ainda, que “nos países europeus e nos EUA, predomina o clima temperado, enquanto no Brasil predomina o clima tropical” (ANDREOLI et al.,1997b).

Neste sentido, convém apresentar as concentrações de metais pesados em lodo de esgoto que estão sendo utilizadas no Estado do Paraná, pela SANEPAR (Tabela 15). Desse modo, confrontando-se os valores do fertilizante orgânico em estudo, com os limites de tolerância de metais pesados em lodo de esgoto (ANDREOLI, 1999), verifica-se que os teores de metais pesados no produto da COMLURB apresentam concentrações sempre menores.

Comparando-se ainda, os dados do FERTILURB com outros estudos (Tabela 15), verifica-se que as concentrações de Hg e Cd, estão em conformidade com 100% dos valores encontrados por outros autores. Por outro lado, observa-se que o Fe e o Cr, estão 100% acima dos valores encontrados por outros estudos (Tabela 15). Para o Zn, nota-se que das 13 amostras que compõem este grupo, 12 amostras, apresentam valores menores do que o valor desse estudo. No caso do Ni, o metal contido nas amostras de COSTA (1994), Belo Horizonte, Brasília, São Paulo, Manaus, Amsterdam, Yokahama e Tóquio, estão abaixo dos resultados encontrados no FERTILURB (Tabela 15).

Ainda na Tabela 15, nota-se que a concentração média de Cd é de 0,86 mg/kg, encontra-se dentro da faixa de “qualidade muito alta”, para esse tipo de fertilizante orgânico, indicada por GENEVINI et al. (1997).

Por outro lado, quanto aos teores de Cr, Zn e Cu (Tabela 15), indicam que o produto da Usina de Irajá possui “qualidade baixa”

com relação a esses contaminantes, segundo GENEVINI et al. (1997). Provavelmente, estes metais tenham sido incorporados nos resíduos sólidos urbanos, através de vários materiais, tais como: couro (Cr), trapos (Zn e Cu), pilhas (Zn) (EGREJA FILHO & PEREIRA NETO, 1995).

Segundo ANDREOLI (1999), os valores propostos por GENEVINI et al. (1997), relacionados na Tabela 15, são extremamente exigentes para este tipo de produto em nosso país, pois não levam em conta, entre outros fatores: a maior acidez do solo (importante na solubilização dos metais pesados nos solos), elevado índice pluviométrico e as altas temperaturas.

7.1.2 Parâmetros do FERTILURB

7.1.2.1 Interpretação dos resultados analíticos do FERTILURB das Usinas de Irajá, Caju e Jacarepaguá

Confrontando-se os teores médios encontrados na Tabela 11, com os valores sugeridos por KIEHL & PORTA (1981), nota-se que o pH manteve-se na faixa ótima; os parâmetros (umidade, relação C/N, CaO, P₂O₅; e o resíduo mineral solúvel) estão no intervalo bom/médio e o restante dos parâmetros (matéria orgânica total, nitrogênio total, K₂O e resíduo mineral total) estão na faixa baixo/indesejável (Tabela 16).

Tabela 16 – Interpretação dos resultados analíticos do FERTILURB produzido pelas Usinas de Irajá (1998/1999, 1997, 1996 e 1995), Jacarepaguá (1996) e Caju (1996), segundo a metodologia de KIEHL & PORTA (1981)

(Continua)

Composto orgânico de resíduos sólidos urbanos						
Parâmetros	Interpretação dos resultados analíticos, segundo KIEHL & PORTA(1981) (▲)		Resultados analíticos do FERTILURB da Usina de Irajá			
			Período			
	Classificação	Intervalo	1998/1999 (●)	1997 (◆)	1996 (◆)	1995 (◆)
Matéria orgânica total (%)	Ótimo	Acima de 60	(*)	(*)	(*)	(*)
	Bom	50 a 60	(*)	(*)	(*)	(*)
	Baixo	Abaixo de 50	18,39	17,54	48,96	27,06
pH	Ótimo	Acima de 7,5	7,53	7,76	(*)	(*)
	Bom	6,0 a 7,5	(*)	(*)	7,19	7,28
	Indesejável	Abaixo de 6,0	(*)	(*)	(*)	(*)
Teor de umidade (%)	Ótimo	Abaixo de 25	(*)	(*)	(*)	(*)
	Bom	25 a 35	27,34	25,59	34,36	31,39
	Excessivo	Acima de 35	(*)	(*)	(*)	(*)
Relação C/N	Ótimo	de 8/1 a 12/1	(*)	11/1	(*)	13/1
	Bom	12/1 a 18/1	14/1	(*)	18/1	(*)
	Indesejável	Acima de 18/1	(*)	(*)	(*)	(*)
Cálcio (CaO %)	Alto	Acima de 4,0	(*)	4,22	(*)	(*)
	Médio	2,0 a 4,0	3,64	(*)	3,84	3,48
	Baixo	Abaixo de 2,0	(*)	(*)	(*)	(*)
Nitrogênio Total (%)	Ótimo	Acima de 3,5	(*)	(*)	(*)	(*)
	Bom	1,8 a 3,5	(*)	(*)	(*)	(*)
	Indesejável	Abaixo de 1,8	0,69	0,87	1,55	1,14
Fósforo Total (P ₂ O ₅ %)	Alto	Acima de 1,5	(*)	(*)	(*)	(*)
	Médio	0,5 a 1,5	0,94	0,78	1,05	0,81
	Baixo	Abaixo de 0,5	(*)	(*)	(*)	(*)
Potássio Total (K ₂ O %)	Alto	Acima de 1,5	(*)	(*)	(*)	(*)
	Médio	0,5 a 1,5	(*)	0,59	(*)	0,71(**)
	Baixo	Abaixo de 0,5	0,29	(*)	0,23	(*)
Resíduo mineral total (%)	Ótimo	Abaixo de 20	(*)	(*)	(*)	(*)
	Bom	20 a 40	(*)	(*)	(*)	(*)
	Indesejável	Acima de 40	78,15	74,98	42,96	58,35
Resíduo mineral solúvel (%)	Ótimo	Acima de 20	(*)	26,49	(*)	(*)
	Bom	10 a 20	14,30	(*)	(*)	15,56
	Indesejável	Abaixo de 10	(*)	(*)	14,32	(*)

(Conclusão da Tabela 16)

Composto orgânico de resíduos sólidos urbanos				
Parâmetros	Faixa de interpretação dos resultados analíticos, segundo KIEHL & PORTA(1981) (▲)		Resultados analíticos do FERTILURB das Usinas do Caju e Jacarepaguá (♦)	
			Período	
	Classificação	Intervalo	Caju (1993)	Jacarepaguá (1994/1995)
Matéria orgânica total (%)	Ótimo	Acima de 60	(*)	(*)
	Bom	50 a 60	(*)	59,48
	Baixo	Abaixo de 50	48,96	(*)
pH	Ótimo	Acima de 7,5	(*)	(*)
	Bom	6,0 a 7,5	7,19	7,37
	Indesejável	Abaixo de 6,0	(*)	(*)
Teor de umidade (%)	Ótimo	Abaixo de 25	(*)	(*)
	Bom	25 a 35	34,36	(*)
	Excessivo	Acima de 35	(*)	35,51
Relação C/N	Ótimo	de 8/1 a 12/1	(*)	(*)
	Bom	12/1 a 18/1	18/1	(*)
	Indesejável	Acima de 18/1	(*)	21/1
Cálcio (CaO %)	Alto	Acima de 4,0	(*)	(*)
	Médio	2,0 a 4,0	3,84	3,67
	Baixo	Abaixo de 2,0	(*)	(*)
Nitrogênio Total (%)	Ótimo	Acima de 3,5	(*)	(*)
	Bom	1,8 a 3,5	(*)	(*)
	Indesejável	Abaixo de 1,8	1,55	1,54
Fósforo Total (P ₂ O ₅ %)	Alto	Acima de 1,5	(*)	(*)
	Médio	0,5 a 1,5	1,05	0,90
	Baixo	Abaixo de 0,5	(*)	(*)
Potássio Total (K ₂ O %)	Alto	Acima de 1,5	(*)	(*)
	Médio	0,5 a 1,5	(*)	(*)
	Baixo	Abaixo de 0,5	0,23	0,22
Resíduo mineral total (%)	Ótimo	Abaixo de 20	(*)	(*)
	Bom	20 a 40	(*)	38,49
	Indesejável	Acima de 40	42,96	(*)
Resíduo mineral solúvel (%)	Ótimo	Acima de 20	(*)	(*)
	Bom	10 a 20	14,32	15,64
	Indesejável	Abaixo de 10	(*)	(*)

Fontes: (▲) KIEHL & PORTA, 1981; (●) Este Estudo; (♦) COMLURB, 1998b

Notas: (*) Sem informação; (**) Informação referente a uma amostra

No caso do teor de matéria orgânica total encontrado no FERTILURB (Tabela 16), este indica que a matéria-prima utilizada no beneficiamento do composto orgânico, não possui o percentual mínimo (60%) de matéria orgânica (KIEHL & PORTA, 1981). Entretanto, para o pH (Tabela 16), os resultados indicam que o produto da COMLURB passou pelo processo completo de fermentação (humificação), podendo ser utilizado ainda, na correção de solos ácidos, pois o pH médio do FERTILURB, está dentro da faixa de 7,5 a 9,0, estabelecida por PEREIRA NETO (1996).

Embora o teor médio de nitrogênio total esteja na classificação indesejável (Tabela 16), este valor pode ser melhorado, com adição de matéria orgânica não humificada (Ex.: farinha de sangue ou adubos minerais nitrogenados) (KIEHL & PORTA, 1981).

De acordo com as conclusões de KIEHL & PORTA (1981) e com as observações feitas em campo, o teor de resíduo mineral total encontrado no fertilizante orgânico (Tabela 16), pode ser atribuído à incorporação de terra do pátio de compostagem durante o revolvimento das leiras, através da pá carregadeira, pois a compostagem é realizada em pátio de terra.

O teor de resíduo mineral solúvel obtido na análise do composto (Tabela 16) está num bom nível, segundo a metodologia de KIEHL & PORTA (1981). Ainda de acordo com estes autores, os altos teores desse parâmetro no adubo orgânico indicam o bom estágio de mineralização de sua matéria orgânica.

Finalmente, é importante destacar que o resíduo mineral insolúvel é constituído por partículas de metais, grãos de areia, vidro e louça, encontrados no lixo. Por outro lado, no resíduo mineral solúvel, estão contidos os sais minerais que fornecerão enxofre, magnésio, fósforo, cálcio e micronutrientes às raízes das plantas (KIEHL & PORTA, 1981).

Comparou-se a matéria orgânica total encontrada no composto orgânico produzido pelas usinas da COMLURB, com os parâmetros estabelecidos por KIEHL & PORTA (1981), relacionados na Tabela 16. Verifica-se que a matéria orgânica total, vem-se mantendo em boa parte dos anos no nível baixo, provavelmente, devido à presença de inertes (plásticos, vidros e metais) no material a ser compostado.

Por outro lado, o pH nas amostras das usinas da COMLURB (Tabela 16) não apresenta mudanças significativas, mantendo-se praticamente estável, variando entre 7,19 e 7,76. Deste modo, os valores encontrados indicam que os fertilizantes orgânicos beneficiados por essas usinas encontram-se curados (KIEHL & PORTA, 1981).

Quanto aos teores de umidade nas amostras de FERTILURB (Tabela 16), nota-se que a maioria das médias permaneceu na faixa de 25 a 35%, considerado bom por KIEHL & PORTA (1981). Provavelmente, estes valores não sofreram uma variação maior, devido à manutenção das condições da compostagem e armazenamento do produto compostado. Por outro lado, no caso da comparação destes mesmos valores encontrados no FERTILURB, com o teor de umidade de 48,28% de COSTA (1994), verifica-se que são 100% menores.

No nitrogênio total (Tabela 16), observa-se que os percentuais variaram de 0,69 até 1,55%. Essa faixa de variação indica que os valores desse parâmetro nos fertilizantes orgânicos beneficiados pelas usinas da COMLURB, vem-se mantendo ao longo dos anos no nível indesejável (KIEHL & PORTA, 1981). Possivelmente, um dos fatores que pode estar corroborando com esses valores é o aumento do resíduo mineral total no material a ser compostado.

Para o resíduo mineral total (Tabela 16), nota-se que os percentuais variaram de 78,15 a 39,49%, apresentando uma média de 55,98%. Estes valores revelam, com exceção da amostra da usina de Jacarepaguá do período de 1994/1995, que todas as outras encontram-se na classificação do indesejável, sugerida por KIEHL & PORTA (1981).

Por último, cabe destacar que algumas das variações nos resultados analíticos encontradas nas amostras do FERTILURB, são provenientes da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos utilizados na compostagem e dos métodos adotados no beneficiamento do fertilizante orgânico.

7.1.2.2 Granulometria do FERTILURB

A Tabela 17 resume as quantidades de partículas de FERTILURB retidos nas peneiras de 2,58 mm a 38,1 mm. A partir dessas quantidades, verifica-se que 71,60 % das partículas do composto possui diâmetro inferior a 4,8 mm, sendo que destas partículas, 51,74% tem granulometria inferior a 2,6 mm.

Tabela 17 - Percentuais das amostras retidas em cada uma das peneiras

Classes das peneiras (mm)	Percentuais dos materiais retidos nas amostras					Percentual médio dos grânulos retidos nas amostras (*)
	Amostra 03/12/98	Amostra 10/03/99	Amostra 13/04/99	Amostra 18/05/99	Amostra 18/06/99	
38,1	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
25,4	0,0	0,3	0,0	0,0	2,2	0,5
19,1	0,8	0,1	1,4	0,1	0,0	0,5
12,1	2,4	2,8	11,6	2,9	6,9	5,3
9,52	4,9	2,6	9,4	3,0	5,7	5,1
4,76	15,7	15,4	24,0	13,6	16,2	17,0
2,58	18,8	24,1	21,3	20,1	15,0	19,9
Fundo	57,5	54,5	32,3	60,4	54,0	51,7

Fonte: COMLURB, 1999b

Nota: (*) Valores calculados pelo autor

Na Tabela 18 os valores da distribuição dos grânulos e diâmetro médio do FERTILURB, relacionados na quinta coluna, foram obtidos através da metodologia de KIEHL (1995) pela multiplicação de cada valor relacionado na segunda coluna, com o da terceira coluna, gerando os dados da quinta coluna. Por último, somou-se esses valores, obtendo-se o diâmetro médio de 4,3 mm para composto orgânico.

Portanto, de acordo com BRASIL (1983) e baseando-se na dimensão média dos grânulos calculada anteriormente, conclui-se, que o produto produzido na unidade de Irajá possui as especificações granulométricas de um fertilizante farelado grosso.

Tabela 18 – Cálculo da distribuição dos grânulos e do diâmetro médio do FERTILURB

Classes das peneiras (mm)	Valor médio da peneira em (mm)	Peso em gramas do composto	% dos grânulos retidos	Distribuição dos grânulos e diâmetro médio do FERTILURB (mm) (▲)
< 2,6	1,3	0,517	51,74	0, 7
2,7 – 4,8	3,7	0,198	19,86	0,7
4,9 – 9,6	7,2	0,169	16,96	1,2
9,7 – 12	10,8	0,051	5,13	0,6
12,1 – 19,1	15,5	0,053	5,31	0,8
19,2 – 25,4	22	0,005	0,50	0,1
25,5 – 38,1	31,5	0,005	0,50	0,2
> 38,2	(-)	0,00	0,03	(-)
Soma		1,00	≅100	4 ,3 (*)

Notas: (-) Valor foi desprezado, por ser muito pequeno e não iria influir nos resultados encontrados; (*) Diâmetro médio do FERTILURB; (▲) O valor da coluna (5), foi obtido através da multiplicação da coluna (2) pela coluna (3).

7.2 Avaliação econômica de alguns parâmetros do FERTILURB

7.2.1 Custo do transporte no beneficiamento do FERTILURB

Atualmente a COMLURB, paga US\$¹⁶ 0,15 pelo transporte de 1 tonelada de lixo/Km entre as instalações da Empresa. No Aterro de Gramacho, a Empresa desembolsa a quantia de US\$ 2,70 pela taxa de manutenção do aterro (referente a entrada de cada caminhão), mais a quantia de US\$ 2,37, por cada tonelada de lixo a ser disposta nesse local (COMLURB, 1998d).

A partir desses dados, é possível mostrar como são calculados os custos do transporte de resíduos sólidos urbanos entre algumas instalações da Empresa.

As equações são apresentadas a seguir:

1ª **Equação**: Transporte dos resíduos sólidos urbanos da Usina de Irajá até o Pátio de compostagem

$$PT_1 = C_1 \times V_1 \times DP_1$$

Onde:

PT₁ é o preço do transporte pago pela COMLURB em US\$/t

C₁ é a capacidade da carreta em t

V₁ é o custo unitário do transporte dos resíduos (US\$ 0,15 t/Km)

DP₁ é a distância percorrida pela carreta (9 km)

¹⁶ Os valores em dólares, foram obtidos pela cotação do dia 15 de dezembro de 1999 (US\$ 1,00 = R\$ 1,85).

2ª **Equação**: Transporte dos resíduos sólidos urbanos do Pátio de compostagem até o Aterro de Gramacho

$$PT_2 = C_2 \times V_2 \times DP_2 \times QRD_2 + TMA_2$$

Onde:

PT₂ é o preço do transporte pago pela COMLURB em US\$/t

C₂ é a capacidade da carreta em t

V₂ é o custo unitário do transporte dos resíduos (US\$ 0,15 t/Km)

DP₂ é a distância percorrida pela carreta (8 km)

QRD₂ é a quantidade de resíduos sólidos urbanos a ser disposto (US\$ 2,37)

TMA₂ é a taxa de manutenção paga por cada caminhão no Aterro de Gramacho (US\$ 2,70)

3ª **Equação**: Transporte dos resíduos sólidos urbanos da Usina de Irajá até o Aterro de Gramacho

$$PT_3 = C_3 \times V_3 \times DP_3 \times QRD_3 + TMA_3$$

Onde:

PT₃ é o preço do transporte pago pela COMLURB em US\$/t

C₃ é a capacidade da carreta em t

V₃ é o custo unitário do transporte dos resíduos (US\$ 0,15 t/Km)

DP₃ é a distância percorrida pela carreta (17 km)

QRD₃ é a quantidade de resíduos sólidos urbanos a ser disposto (US\$/t 2,37)

TMA₃ é a taxa de manutenção paga por cada caminhão no Aterro de Gramacho (US\$ 2,70)

Então, tomando-se por base as equações apresentadas anteriormente e das observações feitas em campo, verifica-se que o custo do transporte dos resíduos sólidos urbanos entre as instalações da COMLURB, é um dos fatores limitantes do processo de compostagem, realizado pelo sistema de Irajá.

7.2.2 Custo de produção do composto orgânico e do FERTILURB

Segundo GASTAL et al.(1994), o custo de implantação de uma usina de triagem e compostagem natural do lixo, para 50.000 a 100.000 pessoas, custa US\$ 1.500.000,00.

Já, para a publicação do IPT/CEMPRE (1995), o custo médio de investimento por tonelada diária instalada no processamento de resíduos sólidos urbanos numa usina de triagem e compostagem, adotando o processo acelerado, seria na ordem de US\$ 25.000,00, contra aproximadamente US\$ 11.000,00, para o processo natural. Nestes valores não estão sendo considerados o capital necessário para aquisição de terrenos ou desapropriações, devido a variabilidade dos preços destes em função do local, nem do serviço de terraplanagem e do preparo do pátio da usina.

Ainda de acordo com a publicação citada, as despesas operacionais de uma usina “com capacidade até 50 t/dia, operando pelo método natural apresentam valores entre US\$ 6,00 e US\$ 10,00 por tonelada processada, excluídos os custos de manutenção e recuperação/remuneração de capital”. No caso de uma usina hipotética do mesmo sistema, com capacidade de 95 t/dia, supõe-se cerca de US\$ 20,00 por tonelada de lixo bruto, considerando todos os custos. Por outro lado, uma usina no porte de Irajá operando pelo processo acelerado, poderá ter um custo de US\$ 50,00 a US\$ 80,00 por tonelada de lixo.

No caso da Usina de Irajá que opera com a separação de recicláveis, trituração e compostagem pelo método natural, o custo estimado de beneficiamento de uma tonelada de lixo é de US\$¹⁷ 13,74, levando-se em conta os gastos com a manutenção, energia elétrica, água e esgoto, telefone, equipamentos e mão-de-obra (MELO et al., 1998).

7.2.3 Preço agrícola do FERTILURB

De acordo com os trabalhos realizados por PETRUZZELI et. al. (1985) e De HAAN (1981), dos macronutrientes analisados no fertilizante orgânico, apenas uma pequena parte poderá ser disponibilizada para as plantas, quando destinado no solo. No caso do N, somente de 10 a 15%, estará disponível para plantas no primeiro ano de cultivo, caso não haja efeito residual. Com relação ao P, apenas 15% estará disponível no primeiro ano de cultivo e mais 15% no segundo. Já o K, contido no composto orgânico, tem solubilidade semelhante à do K dos fertilizantes minerais, justificando-se, por isso, o uso desses compostos para fins agrícolas.

Na Tabela 19 estão apresentadas as concentrações de NPK ao longo do estudo, a média e o desvio padrão das concentrações potenciais de NPK levadas ao solo, pela aplicação de 10, 15 e 20 t/ha do FERTILURB.

Ainda com relação a essa tabela, nota-se, que a faixa de variação do NPK no composto orgânico, ficou entre 1,67 a 2,31%, com uma concentração média de 1,95% e desvio padrão de 0,18%.

¹⁷ O valor em dólar, foi obtido pela cotação do dia 15 de dezembro de 1999 (US\$ 1,00 = R\$ 1,85).

Tabela 19 – Concentrações de NPK levadas ao solo, pela aplicação de 10, 15 e 20 t/ha do FERTILURB

Coleta da amostra	NPK (%)	Equivalente a kg/t	Aplicando-se		
			NPK em 10 t/ha	NPK em 15 t/ha	NPK em 20 t/ha
11/08/98	1,76	17,6	176	264	352
28/09/98	1,67	16,7	167	250,5	334
28/10/98	1,96	19,6	196	294	392
03/12/98	1,97	19,7	197	295,5	394
22/01/98	1,84	18,4	184	276	368
09/02/99	2,14	21,4	214	321	428
10/03/99	2,05	20,5	205	307,5	410
13/04/99	2,01	20,1	201	301,5	402
18/05/99	2,31	23,1	231	346,5	462
17/06/99	1,80	18,0	180	270,0	360
Média ± desvio padrão	1,95±0,18	19,5±1,91	195,1±19,1	292,7±27,7	390,0±38,2
Faixa de variação	1,67–2,31	16,7-23,1	167-231	250,5-346,5	334-462
Variância	0,004	3,65	365,43	822,23	1461,73

A Tabela 20 mostra a comparação dos nutrientes NPK encontrados no FERTILURB, com as formulações dos fertilizantes minerais mais comercializados.

Tabela 20 - Comparação dos nutrientes (nitrogênio, fósforo e potássio) NPK, no composto orgânico de resíduos sólidos urbanos, com as formulações dos fertilizantes minerais mais comercializadas, de acordo com KIEHL (1998)

FERTILURB (Usina de Irajá) (1)	Aplicando-se	Composto orgânico		
		10 t/ha	15 t/ha	20 t/ha
	Conteúdo médio de NPK $\pm$ desvio padrão (kg/ha)	195,1 $\pm$ 19,1	292,7 $\pm$ 27,7	390,0 $\pm$ 38,2
Formulações de fertilizantes minerais mais comercializadas (2)	Aplicando-se	1 Tonelada de fertilizante		
	Conteúdo de NPK (kg/t)	260	300	400
	Formulações dos fertilizantes em (%)	N – P - K 4 – 14 - 8	N – P - K 10 – 10 - 10	N – P - K 4 – 20 - 20

Fontes: (1) Este estudo; (2) KIEHL, 1998a

Portanto, confrontando-se os resultados dos teores médios de NPK do produto da COMLURB com as formulações dos fertilizantes minerais mais comercializadas (Tabela 20), observa-se que a aplicação de 15 t/ha do FERTILURB pode conter, aproximadamente, a mesma quantidade de NPK que uma tonelada da formulação (10-10-10) do fertilizante mineral. No caso do emprego de 20 t/ha do FERTILURB, verifica-se que a quantidade de NPK, está próxima a uma tonelada da formulação (4-20-20).

Segundo KIEHL (1998), “além da qualidade e do valor do composto quanto aos teores de NPK, deve-se acrescentar mais o valor da matéria orgânica que o adubo contém e que proporciona ao solo onde é aplicado, propriedades e características que nenhum fertilizante mineral proporciona. Ainda mais, o composto leva consigo os macronutrientes cálcio, magnésio e enxofre, acrescidos dos micronutrientes metálicos (zinco, ferro, cobre e manganês) que são retidos por adsorção pelo húmus ou seqüestrados pelos quelatos, não sendo por esse motivo, facilmente lavados pela água da chuva que

atravessa o perfil do solo, arrastando nutrientes para fora da zona das raízes. Outros micronutrientes são encontrados no composto: o molibdênio, o boro e o cloro”.

7.2.4 Preço comercial do FERTILURB

O conhecimento do valor comercial do produto é muito importante para a COMLURB, no planejamento dos custos de investimentos e operacionais da usina.

A Tabela 21 mostra a composição dos fertilizantes minerais, utilizados no cálculo do valor comercial do composto orgânico, dos preços e dos valores dos nutrientes por tonelada.

Tabela 21 – Composição dos fertilizantes minerais, preços dos nutrientes em dólares por tonelada

Nutrientes do fertilizante mineral (%)	Preços dos nutrientes (NPK) no fertilizante mineral			Preço do elemento em (t) (**)	Preço dos nutrientes NPK no fertilizante mineral em US\$/t (♦)
	Saco de 50 kg (R\$) (*)	Em (R\$) (1 t) (*)	Em US\$ (1 t) (●)		
Uréia 45 % de N	22,60	452,00	244,32	0,45	542,93
Superfosfato simples 18% de P ₂ O ₅	18,50	370,00	200,00	0,18	1111,11
Cloreto de potássio 60% de K ₂ O	27,80	556,00	300,54	0,60	500,90

Fonte: (*) FERTILIZANTES, 1999; (**) Modificado de KIEHL, 1998

Notas: (●) O valor da coluna (4), foi obtido através da conversão da coluna (3) para US\$, na proporção de US\$ 1,00 = R\$ 1,85 (valor de 15 dezembro de 1999); (♦) O valor da coluna (6), foi obtido através da divisão da coluna (4) pela coluna (5).

A seguir, a Tabela 22, apresenta as principais variáveis utilizadas no cálculo do valor agrícola do produto da Usina de Irajá (1998/1999).

Tabela 22 – Preço do FERTILURB da Usina de Irajá ao longo do estudo, segundo os nutrientes minerais (nitrogênio, fósforo e potássio)

(Continua)

Coleta da amostra	Nutriente no FERTILURB (%) (1)	Nutrientes (t) (1)	Preços dos nutrientes (NPK) no fertilizante mineral em US\$/t (2)	Valor do NPK em US\$ no FERTILURB (♦)
11/08/98	N – 0,72	0,0072	542,93	3,91
	P ₂ O ₅ – 0,68	0,0068	1111,11	7,56
	K ₂ O – 0,36	0,0036	500,90	1,80
	Soma = 1,76	0,0176t	(-)	US\$ 13,27
28/09/98	N – 0,57	0,0057	542,93	3,09
	P ₂ O ₅ – 0,85	0,0085	1111,11	9,44
	K ₂ O – 0,25	0,0025	500,90	1,25
	Soma = 1,67	0,0167t	(-)	US\$ 13,78
28/10/98	N – 0,76	0,0076	542,93	4,13
	P ₂ O ₅ – 0,98	0,0098	1111,11	10,88
	K ₂ O – 0,22	0,0022	500,90	1,10
	Soma = 1,96	0,0196t	(-)	US\$ 16,11
03/12/98	N – 0,81	0,0081	542,93	4,40
	P ₂ O ₅ – 0,84	0,0084	1111,11	9,33
	K ₂ O – 0,32	0,0032	500,90	1,60
	Soma = 1,97	0,0197t	(-)	US\$ 15,33
22/01/99	N – 0,53	0,0053	542,93	2,88
	P ₂ O ₅ – 1,01	0,0101	1111,11	11,22
	K ₂ O – 0,30	0,0030	500,90	1,50
	Soma = 1,84	0,0184t	(-)	US\$ 15,60
09/02/99	N – 0,57	0,0057	542,93	3,09
	P ₂ O ₅ – 1,25	0,0125	1111,11	13,88
	K ₂ O – 0,32	0,0032	500,90	1,60
	Soma = 2,14	0,0214t	(-)	US\$ 18,57

(Conclusão da Tabela 22)

10/03/99	N – 0,78	0,0078	542,93	4,23
	P ₂ O ₅ – 1,00	0,01	1111,11	11,11
	K ₂ O – 0,27	0,0027	500,90	1,35
	Soma = 2,05	0,0205t	(-)	US\$ 16,69
13/04/99	N – 0,85	0,0085	542,93	4,61
	P ₂ O ₅ – 0,89	0,0089	1111,11	9,89
	K ₂ O – 0,27	0,0027	500,90	1,35
	Soma = 2,01	0,0201t	(-)	US\$ 15,85
18/05/99	N – 1,07	0,0107	542,93	5,81
	P ₂ O ₅ – 0,88	0,0088	1111,11	9,77
	K ₂ O – 0,36	0,0036	500,90	1,80
	Soma = 1,93	0,0193t	(-)	US\$ 17,38
17/06/99	N – 0,57	0,0057	542,93	3,09
	P ₂ O ₅ – 0,99	0,0099	1111,11	11,00
	K ₂ O – 0,24	0,0024	500,90	1,20
	Soma = 1,93	0,0193t	(-)	US\$ 15,29
Teor médio de nutrientes ao longo do estudo	N – 0,72	0,0072	542,93	3,91
	P ₂ O ₅ – 0,94	0,0094	1111,11	10,44
	K ₂ O – 0,29	0,0029	500,90	1,45
	Soma = 1,95	0,0195	(-)	US\$ 15,80
Faixa de variação do NPK (US\$)				13,27 – 18,57
Desvio padrão do NPK (US\$)				1,57

Fonte: (1) Este estudo; (2) Modificado de KIEHL, 1998

Notas: (-) Sem informação; (♦) O valor da coluna (5), foi obtido através da multiplicação da coluna (3) pela coluna (4)

A Tabela 22 revela que o valor do NPK ao longo do trabalho variou entre US\$ 13,27 e 18,57, apresentou um valor médio de US\$ 15,80 e desvio padrão de US\$ 1,57.

Portanto, comparando-se o valor do NPK encontrado no FERTILURB com o fertilizante mineral representativo, talvez o produto da COMLURB não tenha um preço competitivo no mercado. No entanto, o teor de matéria orgânica e dos micronutrientes encontrados neste tipo de composto orgânico, conferem-lhe propriedades e características que nenhum fertilizante mineral proporciona ao solo (KIEHL, 1998b).

Ainda de acordo com autor citado anteriormente, o fertilizante orgânico é constituído por macronutrientes (cálcio, magnésio e enxofre), por micronutrientes (zinco, ferro, cobre, manganês, molibdênio, boro e cloro) e 48% de matéria orgânica. Portanto, boa parte destes componentes, é retida por absorção pelo húmus ou seqüestrados pelos quelatos. Por esse motivo, não são facilmente lavados pela água da chuva que atravessa o perfil do solo arrastando os nutrientes para fora da zona das raízes.

Dentro deste contexto, a Tabela 23 permite comparar os valores dos fertilizantes orgânicos produzidos pelas três usinas da COMLURB, no período de 1996 a 1998/1999.

Tabela 23 – Preço agrícola do FERTILURB produzido pelas Usinas de Irajá (1995, 1996, 1997 e 1998/1999), de Jacarepaguá (1994/19955) e do Caju (1993), segundo os nutrientes minerais nitrogênio, fósforo e potássio

Local de beneficiamento e sistema utilizado	Nutriente no composto em (%) (1)	Nutriente (t)	Preço do NPK (R\$/kg)	Preço do NPK no FERTILURB em (US\$)
Usina de Irajá (1998/1999) (Próprio)	N – 0,72	0,0072	542,93	3,91
	P ₂ O ₅ – 0,94	0,0094	1111,11	10,44
	K ₂ O – 0,29	0,0029	500,90	1,45
	Preço total do NPK no FERTILURB			US\$ 15,80
Usina de Irajá (1997) (Próprio)	N – 0,87	0,0087	542,93	4,72
	P ₂ O ₅ – 0,78	0,0078	1111,11	8,66
	K ₂ O – 0,59	0,0059	500,90	2,96
	Preço total do NPK no FERTILURB			R\$ 16,34
Usina de Irajá (1996) (Próprio)	N – 1,16	0,0116	542,93	6,30
	P ₂ O ₅ – 0,92	0,0092	1111,11	10,22
	K ₂ O – 0,43	0,0043	500,90	2,15
	Preço total do NPK no FERTILURB			US\$ 18,67
Usina de Irajá (1995) (Próprio)	N – 1,14	0,0114	542,93	6,19
	P ₂ O ₅ – 0,81	0,0081	1111,11	9,00
	K ₂ O – 0,71	0,0071	500,90	3,56
	Preço total do NPK no FERTILURB			US\$ 18,75
Usina de Jacarepaguá (1996) (DANO)	N – 1,54	0,0154	542,93	8,36
	P ₂ O ₅ – 0,90	0,009	1111,11	10,00
	K ₂ O – 0,22	0,0022	500,90	1,10
	Preço total do NPK no FERTILURB			US\$ 19,46
Usina de Caju (1996) (TRIGA)	N – 1,55	0,0155	542,93	8,42
	P ₂ O ₅ – 1,05	0,0105	1111,11	11,66
	K ₂ O – 0,23	0,0023	500,90	1,15
	Preço total do NPK no FERTILURB			US\$ 21,23

Nota: O valor da coluna (5), foi obtido através da multiplicação da coluna (3) pela coluna (4).

Na Tabela 23, verifica-se, que o adubo da usina do Caju de 1993, apresenta o maior valor comercial (US\$ 21,23). Neste sentido, vale lembrar que a usina de beneficiamento de resíduos sólidos urbanos do Caju, foi inaugurada em maio de 1992 e desativada em setembro de 1993, devido a problemas operacionais na tecnologia adotada (LUA, 1999).

Baseando-se, ainda, nos dados da Tabela 23, observa-se que o preço do FERTILURB da Usina de Irajá, no período de 1995 à 1999, variou de US\$ 15,80 a 18,75, com um preço médio de US\$ 17,39 e desvio padrão de US\$ 1,54. Ainda de acordo com esses dados, o produto produzido na Usina de Irajá no período de 1998/1999, apresenta o menor valor comercial (US\$ 15,80). Certamente, o motivo do preço calculado, são os teores de nutrientes (nitrogênio, fósforo e potássio) encontrados no fertilizante orgânico.

No que se refere a comercialização do produto pela COMLURB, vale destacar que o preço de uma tonelada de FERTILURB em julho de 1998, era de US\$ 4,32 (R\$ 8,00). Entretanto, o preço de mercado calculado pela Empresa para o fertilizante orgânico, seria de US\$ 8,11 (R\$ 15,00) por tonelada (COMLURB, 1998d).

Cabe destacar, que tanto o preço calculado pela COMLURB ou por esse estudo, não seria possível a Empresa colocar o produto no mercado, devido ao estado de pobreza dos usuários, o custo do frete e ao aspecto visual do produto (quantidades de cacos de vidro, plásticos e outros inertes).

Por outro lado, confrontando-se os valores comerciais dos compostos orgânicos produzidos pelas unidades da COMLURB, com outras localidades; nota-se, que o produto da usina de Irajá (1998/1999), possui o valor mínimo registrado na Tabela 24. Ainda com relação a essa tabela, verifica-se, que todos os preços dos compostos orgânicos da COMLURB, estão abaixo do valor médio calculado (US\$ 22,10).

Tabela 24 – Valores comerciais dos compostos orgânicos de resíduos sólidos urbanos produzidos pelas usinas da COMLURB e algumas localidades

Fertilizantes orgânicos			
Local e ano de beneficiamento		Sistema adotado	Valor em US\$/t
Usinas da COMLURB (Município do RJ) (1)	Irajá (1998/1999)	Próprio	15,80
	Irajá (1997)	Próprio	16,34
	Irajá (1996)	Próprio	18,67
	Irajá (1995)	Próprio	18,75
	Jacarepaguá (1994/1995) (*)	DANO	19,46
	Caju (1993) (*)	TRIGA	21,23
Usinas de outros locais	Santo André/SP (2)	(-)	28,00
	Belo Horizonte/MG (2)	DANO	36,00
	Uberaba/MG (2)	NOVERGIE	32,00
	São Mateus/SP (2)	(-)	17,00
	Vila Leopoldina/SP (2)	(-)	17,00
	Países europeus (3)	(-)	25,00
Média ± Desvio padrão			22,10 ± 6,67
Faixa de variação			15,80 – 36,00
Coeficiente de variação (%)			30,18

Fontes: (1) Este estudo; (2) Modificado de SOLORZANO, 1999; (3) LINDERBERG, 1991

Notas: (-) Sem informação; (*) Usinas desativadas

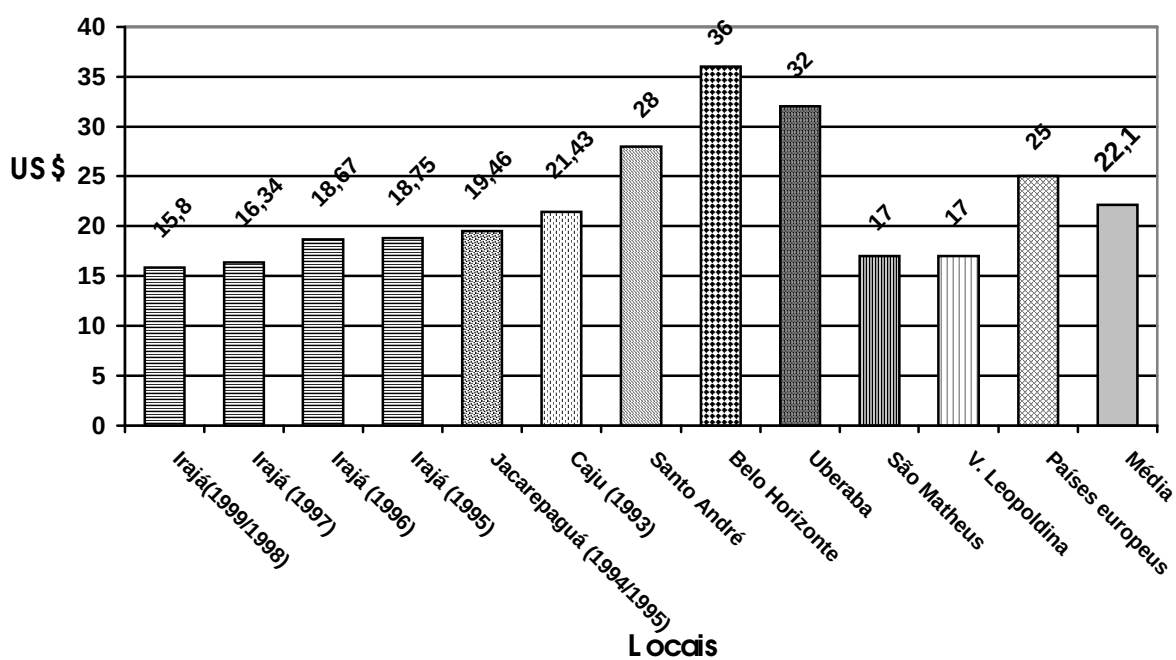


Figura 9 – Preços dos compostos orgânicos de resíduos sólidos urbanos produzidos por várias localidades

7.3 Uso do FERTILURB

Tomando-se por base, a quantidade de resíduos sólidos estimada anteriormente de 410 t/dia, beneficiada pela Usina de Irajá, e que desse montante, segundo KIEHL & KIEHL (1996), “cada tonelada de lixo bruto, produz de 30 a 35% de fertilizante orgânico (média de 32,5%)”. Estima-se, que o sistema de beneficiamento de resíduos sólidos urbanos, seria capaz de produzir em torno de 133 t/dia de FERTILURB; caso o pátio de compostagem do “Km 0”, tivesse condições operacionais de beneficiar essa quantidade.

Comparando-se o total 133 t/dia de fertilizante orgânico que poderiam ser beneficiados pela na usina, com a quantidade média de 15 t/ha de fertilizante orgânico, normalmente usado na adubação (KIEHL & KIEHL; 1996). Considerando-se, ainda, que no Município do Rio de Janeiro, existem 25.999 ha de campo antrópico¹⁸ (RIO DE JANEIRO, 1997), e desse montante “é viável reflorestar 10.000 ha de áreas limítrofes dos parques e unidades de conservação, áreas de risco e encostas” (SANTOS¹⁹, 1999).

Desse modo, estima-se que a usina da COMLURB teria que funcionar em torno de quatro anos, beneficiando o FERTILURB necessário para adubação dos 10.000 ha de campo antrópico.

Dentro deste contexto, vale mencionar o reflorestamento realizado pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente da Prefeitura do Rio de Janeiro, onde foram utilizados, de 2 a 5 kg de FERLILURB por cova, na época do plantio das mudas (COSTA et al., 1997).

Portanto, caso a Secretaria de Meio Ambiente do município, utilize 5kg de adubo por cova (MONTEIRO,1999), e em cada hectare de campo antrópico, fossem abertas 2.000 covas (COSTA et al., 1997). Seria utilizado um total de 10.000 kg de fertilizante orgânico (limpo e peneirado) para as covas abertas nessa área.

¹⁸ Campo antrópico, são áreas de origem antrópica em sua quase totalidade, incluindo campos de capim-colonião, de outras gramíneas, de dicotiledôneas herbáceas, e as áreas de macega (RIO DE JANEIRO, 1997).

¹⁹ Comunicação pessoal do Eng. Florestal Celso Junius F. Santos (Responsável pela Coordenadoria de Recuperação Ambiental) ao autor em 15 de dezembro de 1999, na Secretaria de Meio Ambiente da Prefeitura do Rio de Janeiro.

Já, para o preparo de 2.000 saquinhos de substrato (50% FERTILURB + 50% terra) onde são plantadas as mudas, precisaria, em torno de 600 kg de adubo por hectare (TEIXEIRA²⁰, 1999).

A partir desses dados, estima-se que a Secretaria Municipal de Meio Ambiente do Rio de Janeiro, utilizaria 10,6 t de FERTILURB limpo e peneirado, no reflorestamento de um hectare.

Por outro lado, caso a Coordenadoria de Recuperação Ambiental do Município, mantenha a taxa média anual de reflorestamento de 300 ha/ano (TEIXEIRA²¹, 1999), serão necessários 3.180 t de composto orgânico por ano, para reflorestar essa área.

Finalmente, cumpre mencionar que alguns professores de Técnicas Agrícolas e alunos do primeiro grau do “Colégio Municipal Alzira Araújo” da Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro, vêm utilizando 3 kg/m²/semestre de fertilizante orgânico da COMLURB, no plantio de alface, chicória, couve, aipim e cheiro verde (SARMENTO et al., 1999).

7.4 Cálculo da taxa de desvio dos resíduos sólidos urbanos para o Aterro de Gramacho

De acordo com IPT/CEMPRE (1995), “a meta principal de uma usina de triagem/compostagem é a redução da quantidade de lixo a ser aterrado”, por esse motivo é importante calcular o benefício desta operação. O número resultante deste cálculo chama-se “taxa de desvio”, que indica a eficácia da usina.

Nesse sentido, para estimar o benefício provocado (taxa de desvio) pela operação da Usina de Irajá, foram utilizadas as seguintes variáveis.

²⁰ Comunicação pessoal do Eng. Florestal Ivan José Lima Teixeira (Técnico da Coordenadoria de Recuperação Ambiental) ao autor em 15 de dezembro de 1999, na Secretaria de Meio Ambiente da Prefeitura do Rio de Janeiro.

²¹ Comunicação pessoal do Eng. Florestal Ivan José Lima Teixeira (Técnico da Coordenadoria de Recuperação Ambiental) ao autor em 15 de dezembro de 1999, na Secretaria de Meio Ambiente da Prefeitura do Rio de Janeiro.

Variáveis:

T_D = Percentual dos resíduos que não seriam dispostos no Aterro de Gramacho (Taxa de desvio).

Q_{RSU} = Quantidade estimada de resíduos sólidos urbanos que estão sendo beneficiados por dia na Usina de Irajá (Este estudo $\cong$ 410 t/dia).

R_C = Quantidade estimada de resíduos sólidos urbanos que podem ser compostados por dia (Este estudo $\cong$ 133 t/dia).

R_X = Percentual estimado de resíduos sólidos urbanos que podem ser segregados (separados) por dia na Usina de Irajá (LUA, 1999 $\cong$ 3%).

C_T = Percentual médio brasileiro da taxa de desvio da coleta seletiva (IPT/CEMPRE, 1995 $\cong$ 4,6%). O valor da variável (C_T), corresponde a 4,6% dos resíduos que podem ser separados através da coleta seletiva nos resíduos destinados por dia a Usina de Irajá.

A seguir são apresentados os cálculos hipotéticos da taxa de desvio da Usina de Irajá:

1^o Caso: Sem a implantação do serviço de coleta seletiva nas rotas de coleta de lixo

$$T_{D1} = \frac{R_{C1} + R_{X1}}{Q_{RSU1}} \times 100 \Rightarrow T_{D1} = \frac{133 \text{ t/dia} + 12,3 \text{ t/dia}}{410 \text{ t/dia}} \times 100 =$$

$T_{D1} = 35,44\% (145,30 \text{ t/dia})$ resíduos desviados do Aterro de Gramacho
--

2º Caso: Com a implantação do serviço de coleta seletiva nas rotas de coleta de lixo

$$T_{D2} = \frac{R_{C2} + R_{X2} + C_{T2}}{Q_{RSU2}} \times 100 \Rightarrow T_{D2} = \frac{133 \text{ t/dia} + 12,3 \text{ t/dia} + 18,9 \text{ t/dia}}{410 \text{ t/dia}} \times 100 =$$

$T_{D2} = 40,05\% (164,21 \text{ t/dia})$ resíduos desviados do Aterro de Gramacho
--

De acordo com dados obtidos anteriormente, verifica-se que a operação da Usina de Triagem e Compostagem de Irajá propicia uma diminuição de 35% em média, na quantidade de resíduos sólidos destinados ao Aterro de Gramacho.

Por outro lado, caso a COMLURB resolvesse implantar a coleta seletiva, nas rotas de coleta de lixo, destinadas à usina. A taxa de desvio chegaria aos 40%, pois as cidades brasileiras que adotam esse sistema, a taxa de desvio, é de 4,6% (IPT/CEMPRE, 1995).

Entretanto, pela quantidade de resíduos que deixariam de ser dispostos no Aterro de Gramacho, com a implantação da coleta seletiva. Presume-se, que a COMLURB não tenha interesse atualmente em pagar US\$ 240,00 por tonelada na coleta seletiva (IPT/CEMPRE, 1995), tendo em vista que a receita média por tonelada comercializada de recicláveis, é de US\$ 30,00 (IPT/CEMPRE, 1995). Um outro motivo que vêm contribuindo para manutenção do atual sistema de disposição de resíduos sólidos urbanos no Aterro de Gramacho, é o custo baixo desta operação.

É importante destacar, que embora o custo da coleta seletiva, seja dez vezes superior ao da coleta convencional (IPT/CEMPRE, 1995). A mesma, pode ser justificada socialmente, pelos custos ambientais evitados com o reaproveitamento (MOTTA & SAYAGO, 1998).

7.5 Vantagens da compostagem de resíduos sólidos no sistema de beneficiamento de resíduos sólidos urbanos de Irajá

Vários autores (EGREJA FILHO & PEREIRA NETO, 1995; CRAVO, MURAOKA & GINÈ, 1998; KIEHL, 1998a), reportam em seus trabalhos, a importância dos processos de reciclagem e compostagem de resíduos sólidos urbanos para o meio ambiente e melhoria da qualidade de vida da população.

No caso dos processos de reciclagem/compostagem realizados na unidade Irajá, podem ser observados vários benefícios, dentre eles, merecem destaque:

- Geração de empregos para os cooperativados (catadores de lixo) da unidade de Irajá;
- Contribui para melhoria da qualidade de vida da população circunvizinha;
- Possibilidade de contribuir, para mudança de atitude da população e do poder público, em relação ao sistema de disposição de resíduos sólidos adotado;
- Economia de energia no reprocessamento do papel, alumínio, vidro, plástico, etc.;
- Redução da quantidade de materiais destinados ao Aterro de Gramacho;
- Redução dos problemas sanitários/ambientais no Aterro de Gramacho, como a contaminação do solo e dos recursos hídricos;
- Aumento da vida útil do Aterro de Gramacho;
- Quanto maior o montante de fertilizante orgânico beneficiado, menor será as quantidades de fertilizantes químicos e pesticidas utilizados;
- A eficiência dos fertilizantes químicos pode ser aumentada, quando utilizadas com compostos orgânicos;
- Benefícios econômicos da comercialização do composto orgânico;
- O composto orgânico permite o fornecimento de nutrientes (N, P e K) ao solo; e,
- Utilização do composto orgânico na agricultura e na recuperação de áreas com processos erosivos e/ou degradadas.

8 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

8.1 Conclusões

1^a - Os resultados dos teores de metais pesados encontrados no FERTILURB, está em conformidade com as legislações dos seguintes países: Estados Unidos da América, França e CEE.

2^a - Considerando-se a metodologia sugerida por KIEHL & PORTA (1981), verifica-se que o FERTILURB apresenta concentrações médias totais de matéria orgânica total, pH, umidade, relação C/N, Ca, N, P, K e resíduo mineral (total e solúvel), variáveis entre a faixa de classificação ótimo (alto) e baixo (indesejável ou excessivo); devido à composição do lixo e do processo de beneficiamento.

3^a - O FERTILURB, possui teor médio de 1,9% de NPK. Deste modo, se forem aplicadas 15 t/ha a um solo selecionado, o mesmo receberá aproximadamente 292 kg de NPK por hectare. Tal composição equivale a concentração de nutrientes disponíveis em uma tonelada do fertilizante químico de formulação (N=10% - P=10% - K=10%). No caso da aplicação de 20 t/ha do FERTILURB, estará sendo disposto no solo 400 kg de NPK por hectare, o que corresponde, a aplicação de uma tonelada de fertilizante químico de formulação (N=4% - P=20% - K=20%).

4ª - Com relação aos teores de nutrientes, estima-se que o valor agrícola de uma tonelada do FERTILURB, esteja na faixa de US\$ 17,39, comparando-se, com a formulação do fertilizante químico (uréia 45% de N, superfosfato simples 18% de P_2O_5 e cloreto de potássio 60% de K_2O) mais utilizado pelos agricultores.

5ª - O composto orgânico resultante do beneficiamento dos resíduos sólidos urbanos da Usina de Irajá, pode ser utilizado em parques e jardins, reflorestamento, hortos e produção de algumas mudas, recuperação de solos esgotados, proteção de encostas e taludes, controle da erosão e cobertura de aterros.

6ª - A avaliação dos dados mostra que o pátio de compostagem do km 0, se estivesse funcionando plenamente, seria possível beneficiar aproximadamente 42.000 toneladas de composto orgânico por ano.

7ª - Caso a Secretaria Municipal de Meio Ambiente do Município do Rio de Janeiro deseje reflorestar os 10.000 ha de campos antrópicos (áreas limítrofes dos parques e unidades de conservação, áreas de risco e encostas) encontrados no município e continue adotando a taxa média de reflorestamento de 300 ha/ano, estimou-se em torno de 30 anos para a conclusão do trabalho nessa área, utilizando a produção estimada de 106.000 t/ano de composto orgânico proveniente da Usina de Irajá, o que lhe confere naturalmente um mercado cativo interno.

8ª - O FERTILURB apresenta como maiores obstáculos a sua comercialização e uso: (1) O aspecto visual (quantidade de cacos de vidros, de louça, plásticos e outros inertes). (2) A inconstância no fornecimento do produto. (3) A inclusão do custo de manipulação do produto (maior densidade) e do transporte do mesmo até o ponto de aplicação. (4) A quantidade de FERTILURB a ser aplicada, é em média 17 vezes maior que a formulação (N=10% - P=10% - K=10%) do fertilizante químico correspondente.

8.2 Recomendações

1ª - Implementar o programa de coleta seletiva de resíduos sólidos, nas rotas de coleta de lixo, destinadas ao processo de compostagem.

2ª - De acordo com as observações feitas em campo, nas visitas aos usuários do FERTILURB e durante a revisão bibliográfica, observou-se a necessidade das autoridades responsáveis pela legislação de compostos orgânicos (lixo e lodo de esgoto) do país, tomem as providências necessárias no sentido de incluir na legislação em vigor, limites de tolerância para os metais pesados, neste tipo de fertilizante.

3ª - Os responsáveis pela legislação do fertilizante orgânico no país, tomem as providências necessárias, no sentido de desenvolver estudos, quanto ao uso de fertilizantes orgânicos (lixo e lodo de esgoto), com diferentes teores de metais pesados na agricultura.

4ª - É recomendável a COMLURB investir em tais instalações, porque existe demanda potencial e não existem restrições nas aplicações citadas, na quinta conclusão.

5ª - A COMLURB deve fornecer as especificações do fertilizante orgânico colocado no mercado, de modo que os consumidores conheçam as especificações do produto a ser adquirido.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABES. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Resíduos sólidos – Grupo prepara diretrizes para limpeza urbana. **Engenharia sanitária e ambiental**, Rio de Janeiro, v.21, n.1, p. 2-4, jan./mar. 1992.

ALBERT, Lilia A. **Curso Básico de Toxicologia Ambiental**. México: Noriega Editores, 1988. p. 101 – 185

ALLOWAY, B. J., ed. **Heavy metals in soils**. New York: John Wiley & Sons, 1990. 339p.

AMAZONAS, Márcio. **Reciclagem de Resíduos Domiciliares**. São Paulo, 11 p. 1990. (Apostila)

ANDREOLI, Cleverson Vítório et al. Tratamento e disposição final de lodo de esgoto no Paraná. **SANARE – Revista Técnica da SANEPAR**, Curitiba: SANEPAR, v.1, n. 1, p. 10-16, 1994.

ANDREOLI, Cleverson Vítório et al. **Reciclagem Agrícola do Lodo de Esgoto: estudo preliminar para definição de critérios para uso agrônômico e de parâmetros para normatização ambiental e sanitária**. Curitiba: SANEPAR, 1997a. 81 p.

- ANDREOLI, Cleverson Vitório et al. Proposta preliminar de regulamentação para a reciclagem agrícola do lodo de esgoto no Paraná. **SANARE–Revista Técnica da SANEPAR**, Curitiba: SANEPAR, v. 7, n. 7, 53-60, Jan./Jun.1997b
- ANDREOLI, Cleverson Vitório et al. **Limites de tolerância de metais pesados em lodo de esgoto**. Paraná. 1999. 1 p. Mimeografado
- AMARAL SOBRINHO, Nelson Moura Brasil. Metais Pesados em Solos Brasileiros. In: O SOLO NOS GRANDES DOMÍNIOS MORFOCLIMÁTICOS DO BRASIL E O DESENVOLVIMENTO SUSTENTADO, 1996, Viçosa. **Anais...** Viçosa: 1996. p. 843-845.
- ASAERJ. **Pilhas e baterias usadas no lugar certo**. Rio de Janeiro, 1999. 2 p.(folheto de divulgação) (Email: icone@abeunet.com.br)
- AZEVEDO, Amilcar Gomes. **Estatística Básica: cursos de ciências humanas e de educação**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1978. 248 p.
- BATALHA, Ben-Hur Luttembarck. **Glossário de Engenharia Ambiental**. Brasília: DNPM, 1986. 119 p.
- BAKER, A. J. M. & WALKER, P. L. Physiological responses of plants to metals and the quantification of the tolerance and the toxicity. **Chem Esp. And Bioavailab**. V. 1, n. 1, p. 7-17. 1989.
- BIANCHINI et al. Destino comum: lixo. **BIO**, Rio de Janeiro: ABES, v.9, n. 6, p. 20-26, abr./jun. 1998.
- BLEY Jr, Cícero. Usinas de lixo no Brasil – Gerenciamento Atual e Perspectivas. **Revista Limpeza Pública**, São Paulo: ABLP, n. 40, p. 11-19, jan./fev./mar. 1993.

BLEY Jr., Cícero. A Gestão de Resíduos Sólidos Orgânicos - Compostagem_.In: ENCONTRO NACIONAL DE LIMPEZA PÚBLICA ,1998, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABLP, p. 81-95, 1998.

BRASIL. Ministério da Agricultura/Secretaria de Fiscalização Agropecuária. **Portaria nº 1 de 04 de março de 1983 (Normas sobre Especificação, Garantias, Tolerâncias e Procedimentos para Coleta de amostras de Produtos, e os modelos oficiais a serem utilizados pela Inspeção e Fiscalização da Produção e do Comércio de Fertilizantes, Corretivos, Inoculantes, Estimulantes ou Biofertilizantes.** Brasília: Diário Oficial da União, p. 3783, 09 mar. 1983.

BRASIL. Ministério da Agricultura/Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. **Análise de Corretivos, fertilizantes e Inoculantes: métodos oficiais.** Brasília, 1983. 104 p.

BUARQUE, Cristovam. **Avaliação Econômica de Projetos** . 6. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1991.266 p.

CARVALHO, Benjamin de. **Glossário de Saneamento e Ecologia.** Rio de Janeiro: ABES, 1981. 203 p.

CARVALHO, Paulo. **Usinas, solução para o lixo urbano ?** [on line].abril.1999. Disponível em <http://www.rio.rj.gov.br/comlurb/artigo1.htm> [capturado em 14/04/1999].

CAVAGUTI, Nariaqui , HAMADA, Jorge . Usinas de Lixo do Interior do Estado de São Paulo: Análise Crítica da Realidade Técnica-Ambiental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL.18. , 1995, Salvador. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES,1995.(Em CD-Rom)

CEE - **CONCIL OF THE EUROPEAN COMMUNTIES.** [Legislação de metais pesados em compostos orgânicos de lixo.], 1986. 1 p.

CENDOTEC. **A Política do Lixo**. São Paulo: n.7. 1996. p.7

CHESF. Companhia Hidro Elétrica do São Francisco. **Resíduos sólidos urbanos: fontes energéticas brasileiras** (Inventário/Tecnologia), Rio de Janeiro, V. 1-4, 1987.

COMLURB. **Utilização energética do lixo industrializado na usina de reciclagem da COMLURB**. Rio de Janeiro: COMLURB, 1976. 31 p.

COMLURB. **Metodologia de Análise de Composto Orgânico**. Rio de Janeiro: Centro de Pesquisas da COMLURB, 1998a. (Disquete).

COMLURB. **Características Físico-químicas do FERTILURB, no Período de 1995/1997**. Rio de Janeiro: Centro de Pesquisas Aplicadas, 1998b.(Disquete).

COMLURB. **Análise Gravimétrica do lixo da Cidade do Rio de Janeiro (Série histórica)**. Rio de Janeiro: Diretoria Industrial, 1998c. 48 p.

COMLURB. **Relatório operacional da Usina de Irajá**. Rio de Janeiro: Diretoria Industrial, 1998d. 3 p. Mimeografado.

COMLURB. **A destinação final do lixo na Cidade do Rio de Janeiro**. [online].abril. 1999a. Disponível em <http://www.resol.com.br/port/normas-tecnicas/00536.htm>. [Capturado em 14/04/1999].

COMLURB. **Características Físico-químicas do FERTILURB (1998/1999)**. Rio de Janeiro: Centro de Pesquisas Aplicadas, 1999b. 10 p.

COSTA, Cândido Alves. **Crescimento e Teores de Sódio e de Metais Pesados da Alfaca e da Cenoura Adubadas com Composto Orgânico de Lixo Urbano**. Viçosa, 1994. 89 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa.

- COSTA C.S. et al. Efeito de diferentes adubações no desenvolvimento de três espécies florestais, em reflorestamento de encosta no Município do Rio de Janeiro. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS. 1997. **Anais...** Ouro Preto: SINRAD, 1997. p. 423-8
- CRAVO, M. S. et al. Caracterização Química de Compostos de Lixo Urbano de Algumas Usinas Brasileiras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 3, 547-553, jul./set.1998
- CRAVO, M. S. **Teores de metais pesados em compostos de lixo urbano**. Manaus. 1999. 2 p.
- DEFELIPO, B. V. & RIBEIRO, A. C. **Análise química do solo** (metodologia). Viçosa: UFV, 1981. 17 p. (Boletim de Extensão, 29).
- De HAAN, S. Results of municipal waste compost research overmore than fifty years at the Institute for Soil Fertility at haren Groningen. Neth: **J. Agric. Sci.**, v. 29, p. 49-61, 1981.
- D. KING, Larry. **Soil Heavy Metals**. In: O SOLO NOS GRANDES DOMÍNIOS MORFOCLIMÁTICOS DO BRASIL E O DESENVOLVIMENTO SUSTENTADO, 1996, Viçosa. **Anais...** Viçosa: 1996. p. 823-836
- DINIZ, Marcelo Bentes. **Uma Abordagem da Economia Ambiental dos Métodos de Tratamento**. Fortaleza, 1997. 187 p. Tese (Mestrado em Economia) Universidade Federal do Ceará
- DMAE. **Energia e meio ambiente em Porto Alegre: bases para o desenvolvimento**. Porto Alegre: DMAE, 1994. 309 p.

- EGREJA FILHO, Fernando Barbosa , PEREIRA NETO, João Tinôco. Metais Pesados na Compostagem uma Contribuição ao Estado da Arte . In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL.18. , 1995, Salvador. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES,1995.(Em CD-Rom).
- EIGENHEER, Emílio Maciel & SERTÃ, Francisco de Assis Rodrigues. **Lixo: entender para educar**. Rio de Janeiro: Barra Livre Edições e Promoções Ltda. nov., 1993. 30 p.
- EPSTEIN, E. & EPSTEIN, J.I. Public health issues and composting. **Biocycle**: Emmaus, n. 30, p. 50-53. 1989.
- FEEMA. **Vocabulário Básico de Meio Ambiente**. 4 ed. Rio de Janeiro: PETROBRÁS/ Serviço de Comunicação Social, 1992. 246 p.
- FEEMA. **Normas Técnicas: Usinas de Reciclagem e Compostagem no Estado do Rio de Janeiro**. [on line]. abril. 1999. Disponível em <http://www.resol.com.br/port/normas-tecnicas/00536.htm>. [capturado em 14/04/1999].
- FERTILIZANTES, Riofertil. **Orçamento de formulações de fertilizantes químicos**. Rio de Janeiro, 1999. 1 p. [Data do orçamento: 13 de dezembro de 1999]. [Avenida Brasil, 19001 - lojas 13/14 – CEASA – Rio de Janeiro].
- FIDERJ. Fundação Instituto de Desenvolvimento Econômico e Social do Rio de Janeiro. **Indicadores climatológicos do Estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Diretoria de Geografia e Estatística, 156 p. 1978.
- FIGUEIREDO, P.J.M. **A sociedade do lixo: os resíduos, a questão energética e a crise ambiental**. Piracicaba: Editora UNIMEP, 1995. 240 p.
- FRANÇA**. Norma Francesa - número 44051. Paris, dez. 1981.

- GASTAL, Alfredo et al. **Diretrizes Para uma Política Ambiental Urbana**. Brasília,1994. p. 37 – 54
- GENEVINI, P. L.; ADANI, F.; TAMBON, F. Heavy metal content in selected european commercial compost. **Compost Science & Utilization**, Pensilvânia: Emmaus, v.5, n. 4, p. 31-39. 1997.
- GOMES, Waldenor da Rocha & PACHECO , Eurípedes. **Composto Orgânico**. Lavras: Escola Superior de Agricultura de Lavras–ESAL , n.11, 1988. 11 p.
- GROSSI, Maria Gricia de Lurdes. **Avaliação da Qualidade dos Produtos Obtidos de Usinas de Compostagem Brasileiras de Lixo Doméstico Através de Determinação de Metais Pesados e Substâncias Orgânicas Tóxicas**. São Paulo, 1993. 224 p. Tese (Doutorado em Ciências) Universidade de São Paulo.
- HENRY, C.L. & Harrison, R.B. **Fate of Trace Metals in Sewage Sludge Compost**. In: ADRIANO, DOMY C.(Ed.). Biogeochemistry of trace metals. Boca Raton: Lewis Publishers,1992.513 p. Cap. 7, p.195-215
- IBGE. **Censo Demográfico de 1991**. Rio de Janeiro, IBGE / DPE, 1991. V. 20 , 281p.
- _____. **Contagem da População de 1996**.Rio de Janeiro, IBGE/DPE,1997.724 p.
- _____. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - PNSB 1989**. Rio de Janeiro, IBGE/DPE, 1992. 50 p.
- _____. **Recursos Naturais e Meio Ambiente: uma visão do Brasil**.2.ed. Rio de Janeiro: IBGE / DGC , 1997. 208 p.

IPT/CEMPRE. **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado**. São Paulo: IPT, 1995. 278 p.

KIEHL, Edmar José. Biorrápido: Um Novo Processo de Preparar o Composto Orgânico. **Limpeza Pública**. São Paulo: ABLP, 1978. 20-31 p.

KIEHL, Edmar José. **50 Perguntas e respostas sobre composto**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz / Departamento de Solos, Geologia e Fertilizantes, 1979. 28 p.

KIEHL, Edmar José, PORTA, Armando. Métodos de Amostragem de lixo e composto e interpretação dos resultados analíticas. **Limpeza Pública**. São Paulo: ABLP, 1981. p.3-7.

KIEHL, Edmar José. **Fertilizantes Orgânicos**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1985.492 p.

KIEHL, Edmar José. Compostagem: maturação e qualidade do composto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL.18. , 1995, Salvador .**Anais...** Rio de Janeiro: ABES,1995.(Em CD-Rom)

KIEHL, Edmar José & KIEHL, Jorge de Castro. Uso de resíduos orgânicos na agricultura brasileira. In: O SOLO NOS GRANDES DOMÍNIOS MORFOCLIMÁTICOS DO BRASIL E O DESENVOLVIMENTO SUSTENTADO, 1996, Viçosa. **Anais...** Viçosa: ALVAREZ, Victor Hugo, FONTES, Eduardo F. & FONTES, Maurício Paulo F., 1996. p. 922-927

KIEHL, Edmar José. **Manual de Compostagem: Maturação e Qualidade do Composto**. São Paulo:, Edmar José. Kiehl,1998a.171 p.

KIEHL, Edmar José. Compostagem: Maturação e Qualidade do Composto. In: ENCONTRO NACIONAL DE LIMPEZA PÚBLICA ,1998, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABLP,1998b. p. 96-104

- KOLLNBERGER LIMA, Erlon , Gerhard. Sistema de tratamento de resíduos domiciliares via reciclagem e compostagem (Resitech). **Meio Ambiente Industrial**, São Paulo: Editora Tocalino Ltda. v.3, n. 12 , mai/jun. 1998. p. 95-9
- LAKE, D. J. Chemical speciation of heavy metals in sewage sludge and related matrices. In: HEAVY METALS IN WASTEWATER AND SLUDGE TREATMENT PROCESS. Flórida: 1987. V. 1: Sources, Analysis and Legislation, p. 126-148.
- LATORRE, Mônica Franco. Projeto de coleta seletiva em Belo Horizonte. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 1993, Natal. **Anais...** Rio de janeiro: ABES, 1993. v. 2.
- LIMA, Luiz Mário Queiroz . **Tratamento de lixo**. São Paulo: HEMUS, 1995. 240 p.
- LINDENBERG, Roberto de Campos. Problemática da compostagem nos países em desenvolvimento. **Limpeza Pública**. São Paulo: ABLP, n. 37, p. 4-5, dez. 1991.
- LUA, Daniele. US\$ 50 milhões jogados no lixo. **Jornal do Brasil**, Rio de janeiro, 12 dez. 1999. p. 17, Caderno Cidade.
- LUTZ, Willibald. Austria's Quality Requeriments For Solid Waste Compost.: **BioCycle**, Pensilvânia: Emmaus, jul./aug. 1984. p.42-3
- MACEDO, Ricardo Kohn. **Gestão ambiental: os instrumentos básicos para a gestão ambiental de territórios e de unidades produtivas**. Rio de Janeiro: ABES / AIDIS, 1994.284 p.
- MALDONADO, José Francisco Martinez. **Adubação Orgânica do Maracujazeiro Amarelo com Composto do Lixo Domiciliar Urbano**. Rio de Janeiro: PESAGRO/Macaé. 1996/7 . 13 p. Mimeografado.

- MARTCHOW, Dieter et al. Brasil, mostra sua cara. **BIO**, Rio de Janeiro: v.9, n. 3, p. 22-31, jul./ago. 1997.
- MCI. Reciclagem. **SENAC e Educação Ambiental**. Rio de Janeiro: SENAC/DN, p. 25, 1992.
- MELO, M.A. F. et al. **Alternativas de usinas**. Rio de Janeiro. 1998. 1 p. Mimeografado.
- MONTEIRO, José Henrique R. Penido, MANSUR, Gilson Leite. Utilização Energética do Lixo Industrializado na Usina de Reciclagem da Reciclagem da COMLURB/RJ. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 1981,Ceará. **Anais...** Rio de Janeiro: COMLURB,1981.29 p.
- MONTEIRO, José Henrique R. **Compostagem** [on line].abril.1999. Disponível em <http://www.resol.com.br>. 1999 [capturado em 14/04/1999].
- MOTTA, Ronaldo Seroa. **Aspectos Econômicos da Gestão Integrada de Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro: IPEA , 1996. 26 p.
- MOTTA, Ronaldo Seroa , SAYAGO, Daiane Ely . **Proposta de Instrumentos Econômicos Ambientais para a Redução do Lixo Urbano e o Reaproveitamento de Sucatas no Brasil**. Rio de Janeiro: IPEA/Coordenação de Estudos do Meio Ambiente, 1998. 51 p.
- NASCENTES, Clésia Cristina. **Efeitos do Composto de Lixo Urbano na Disponibilidade e Absorção de Metais Pesados em Alface**. Viçosa, 1998. 107 p. Tese (Mestrado em Agro-química) - Universidade de Viçosa.
- NEVES, Valdir et al. **Saneamento Básico Problemas Ambientais: Pernambuco**. Rio de Janeiro: IBGE/Diretoria de Geociências, 1996. 58 p.

NORA, Goldestein. **EPA Releases Final Sludge Management Rule**. BioCycle, p. 59-63, jan. .1993.

NUNESMAIA, Maria de Fátima da Silva & DIAS, Sandra F. **Compostagem para o município de Lençóis**. Feira de Santana: Prefeitura de Lençóis,1994. 80 p.

NUNESMAIA, Maria de Fátima da Silva. **Lixo: soluções alternativas-projeções alternativas da experiência UEFS** . Feira de Santana: Universidade de Feira de Santana,1997. 152 p.

OLIVEIRA, Arlene Maria Gomes , DANTAS, Jorge Luiz Loyola. **Composto Orgânico**. Bahia: EMBRAPA/CNPMPF, n. 23 , 1995.12p.

PACHECO, Alberto et al. A Disposição de Lixo em Áreas Urbanas . **Limpeza Urbana**. São Paulo: ABLP, n. 43 , set. 1996. p. 23-7.

PEIXOTO, Ricardo Trippia dos Guimarães. **Compostagem: opção para o manejo orgânico do solo**. Londrina: IAPAR, n.57,1988. 48 p.

PEREIRA NETO, João Tinôco , CERQUEIRA, Bernadete Nunes. Estudos para Implantação de Sistemas de Compostagem em Belo Horizonte. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL.18. , 1995, Salvador. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES,1995.(Em CD-Rom)

PEREIRA NETO, João Tinôco. **Um Sistema de Compostagem, de baixo custo, de lixo urbano para países em desenvolvimento**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa ,1995.16 p.

PEREIRA NETO, João Tinôco. **Manual de Compostagem Processo de Baixo Custo**. Belo Horizonte: Fundo das Nações Unidas para a Infância– UNICEF,1996.56 p.

- PETRUZZELLI, G. & GUIDI, G. Heavy metal extractability. **Biocycle**: Emmaus, n. 26, p. 46-48. 1985.
- RIO DE JANEIRO, Prefeitura. **Plano Diretor de Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente, Gráfica e Editora, 1991. 38 p.
- RIO DE JANEIRO, Prefeitura. **Mapa da cobertura vegetal e uso das terras**. Rio de Janeiro: Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SMAC), 1997. Esc.: 1:75.000.
- RIO DE JANEIRO, (Estado). Secretaria de Estado de Planejamento e Controle . **Anuário Estatístico do Estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Centro de Informações e Dados do RJ (CIDE),1996. 351 p.
- RIO DE JANEIRO, (Estado). Secretaria de Estado de Obras e Serviços Públicos. **Baía de Guanabara: Ações de Saneamento**. Rio de Janeiro: Programa de Despoluição da Baía de Guanabara/ Assessoria de Comunicação Social (SOSP), 1997. 4 p.
- ROUSSEAU, P.D. **Les métaux lourds dans les ordures ménagères: origines, formes chimiques, teneurs**. Villeurbanne,1988.123p.
- SÁ, Fernando A. Paraguassú et al. **Aspectos Econômicos da Gestão Integrada de Resíduos Sólidos**. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITÁRIA.15. 1976, Buenos Aires. Rio de Janeiro: COMLURB,1975.31p.
- SADOVNIKOVA, L. K. & ZYRIN, N. G. Indices of soil pollution by heavy metals used for soil monitoring. **Soil Science Society of America Journal**, n. 17, v. 6, p. 58-63, 1986.

SÃO PAULO, (Estado), Secretaria do Meio. **Resíduos Sólidos e Meio Ambiente**. São Paulo: Coordenadoria de Educação Ambiental, 1993 . 144 p. (Série Seminários & Debates).

SARMENTO, Roseli Kerber Estrella et al. **Acompanhamento do plantio de hortaliças**. Rio de Janeiro: Escola Municipal Alzira Araújo, 1999. 2 p. Mimeografado.

SISINNO, Cristina. **Impacto Ambiental de Depósitos de Resíduos Sólidos Urbanos Industriais** (Curso de Atualização em Resíduos e Meio Ambiente: uma Visão Multidisciplinar). Rio de Janeiro: FIOCRUZ, 1997. 10 p. Mimeografado.

S. LIMA, J. et al. Influência do Composto Orgânico no Teor de Metais Pesados de Solos Agrícolas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 18. , 1995, Salvador. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 1995. (Em CD-Rom)

SOLARZANO, Gustavo. **Lista de discussão de resíduos sólidos urbanos**. [online]. setembro 1999. Disponível em <http://www.resol.com.br/gustavos@spin.commx> [capturado em 15/09/1999].

STEVENSON, F. J. **Humus Chemistry**. New York: John Wiley & Sons. 1982. 443 p.

VAN ROOSEMALEN, G.R.E.M. et al. Heavy metal sources and contamination mechanisms in compost Production. **Resources & Conservation**, 14: 321-334, 1987.