



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Faculdade de Engenharia

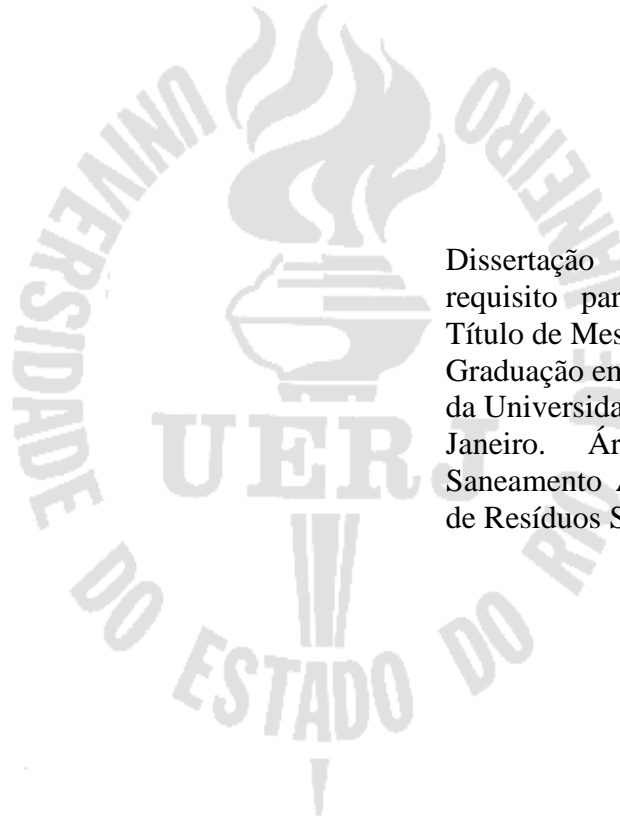
Rodrigo Sondermann Muniz

**Desempenho de um reator para compostagem descentralizada de lixo
orgânico domiciliar e grau de maturação do composto**

Rio de Janeiro
2010

Rodrigo Sondermann Muniz

Desempenho de um reator para compostagem descentralizada de lixo orgânico domiciliar e grau de maturação do composto



Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Saneamento Ambiental – Tratamento de Resíduos Sólidos.

Orientadora: Marcia Marques Gomes

Co-orientador: Denise Celeste Godoy de Andrade Rodrigues

Rio de Janeiro

2010

Rodrigo Sondermann Muniz

Desempenho de um reator para compostagem descentralizada de lixo orgânico domiciliar e grau de maturação do composto

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Saneamento Ambiental – Tratamento de Resíduos Sólidos.

Aprovada em:

Banca examinadora:

Prof^ª. Dra. Marcia Marques Gomes
Faculdade de Engenharia de UERJ

Prof^ª. Dra. Denise Celeste Godoy de Andrade Rodrigues
Faculdade de Química de UERJ

Dr. Daniel Vidal Pérez
Embrapa Solos

Prof^ª. Dra. Luciene Pimentel da Silva
Faculdade de Engenharia de UERJ

Prof. Dr. Odir Clécio da Cruz Roque
Faculdade de Engenharia de UERJ

Rio de Janeiro

2010

DEDICATÓRIA

À Família, amigos e colegas que contribuíram para tornar possível a realização desta pesquisa.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço à Prof^a. Marcia Marques Gomes, que confiou em mim e que me proporcionou a oportunidade de execução deste projeto, que me fez crescer tanto no âmbito profissional como pessoal. Saiba que nesse tempo de convívio, a senhora ganhou não somente um admirador do seu trabalho, mas também um amigo.

Agradeço à minha mãe e ao meu pai que sempre me apoiaram para que eu sempre seguisse em frente em tudo que eu faço.

Agradeço o apoio a todos os membros do Grupo de pesquisa Bioprocess e integrantes do Laboratório de Biorremediação e Fitotecnologias LABIFI, desde estagiários a doutores, especialmente ao André de Sá Salomão e à Graciane Silva.

Agradeço ao apoio de todos da Universidade de Kalmar, Suécia, especialmente ao Prof. William Hogland pela orientação e por tornar viável o experimento na Universidade de Kalmar; aos doutorandos daquela universidade, Fabio e Darlan pelo apoio.

Aos estudantes de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da UERJ, Gobby, Daniel e Rafael pelo apoio e ajuda no diagnóstico e proposta de aperfeiçoamento do sistema de trituração e ventilação do reator.

Aos funcionários do Parque Estadual da Ilha Grande (PEIG), especialmente ao Gilberto, Juliana, Rafael, Maria e seu João pelo apoio, logística no desembarque, instalação do reator e disponibilidade de utilização do alojamento.

À Diretora Danielle, cozinheiras do refeitório e a todos os funcionários e professores da Escola Municipal Brigadeiro Nóbrega por permitir a instalação do reator e comprometimento da escola com o projeto.

À Divisão de Físico-Química da Comlurb, especialmente ao Ubiratan Amorim pelas dicas e por permitir a utilização do laboratório para as análises físico-químicas do composto; agradeço também ao Químico João e aos funcionários Alencar e Uilson pelo apoio na realização das análises.

Aos funcionários da Divisão de microbiologia da Comlurb, especialmente a Bianca, Marcos e Carlos pela realização das análises microbiológicas.

Aos Professores Beth Ritter, Daniele Maia e João Alberto do PEAMB pelo apoio e pelas dicas.

Aos técnicos do Laboratório de Engenharia Sanitária LES, Rita, Jair, Rafael e João, meu muito obrigado.

A todos os funcionários do CEADS, desde o diretor ao faxineiro, agradeço pelo apoio.

RESUMO

MUNIZ, Rodrigo Sondermann. Desempenho de um reator para compostagem *descentralizada de lixo orgânico domiciliar e grau de maturação do composto*. 2010. xx. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

Nas últimas décadas, a disposição final de lixo tornou-se um sério problema a ser enfrentado por todos os países, em função da escassez crescente de terrenos disponíveis para aterros sanitários e distância cada vez maior dos centros geradores e a disposição final, assim como do aumento substancial da geração per capita. A acumulação de lixo nos grandes centros populacionais estimula a proliferação de macro e microvetores (ratos, baratas, moscas, vírus, bactérias, parasitos) e conseqüentemente, a disseminação de doenças. Em particular, com relação ao lixo gerado em ilhas e comunidades isoladas, é de alta relevância estratégias baseadas na descentralização do tratamento da fração orgânica de lixo domiciliar, com fim do transporte através de barcas para o continente, gerando mau cheiro e riscos de poluição ambiental. O presente projeto teve por objetivo: Testar o mesmo reator de compostagem descentralizada sob condições do verão sueco, alimentando-o com resíduos de restaurantes da cidade costeira Kalmar e sob condições brasileiras, alimentando-o com resíduos de cozinha da escola municipal de Abraão-Ilha Grande, RJ; propor modificações mecânicas e/ou operacionais para otimização dos processos; avaliar a qualidade e o grau de maturação do composto de diferentes fases através do método respirométrico *Specific Oxygen Uptake Rate (SOUR)* o método respirométrico NBR 14283 da ABNT. Em resumo, concluiu-se que a composição do lixo e pH inicial do material estruturante adicionado são fatores determinantes do tempo requerido para degradação dos ácidos orgânicos gerados e subsequente elevação do pH; dependendo das características dos resíduos orgânicos, é necessária a inclusão de inoculante (ex: composto) para melhor desenvolvimento de bactérias e fungos e, conseqüentemente, otimização do processo; as análises físico-químicas e microbiológicas confirmaram que o processo de degradação aeróbia ocorre no interior do corpo principal do reator e que a qualidade do composto gerado é satisfatória; entretanto, melhorias consideráveis no sistema de trituração e alimentação são requeridas para que o reator testado possa ser usado em sua capacidade plena. Os testes respirométrico através do *Specific Oxygen Uptake Rate (SOUR)* e da norma NBR 14283 da ABNT mostraram-se ambos eficazes na identificação do grau de maturação do composto e do avanço do processo de compostagem. Uma vez removidos os problemas mecânicos de trituração e alimentação, o reator testado poderá ser utilizado como uma tecnologia inovadora do tratamento de lixo orgânico *in situ* para pequenos e médios geradores de lixo orgânico domiciliar.

Palavras-chave: Resíduo sólido domiciliar. Compostagem. Reator aeróbio.
Respirometria

ABSTRACT

In recent decades, the disposal of biodegradable solid waste has become a serious problem to be faced by all countries, due to the increasing scarcity of available land for landfills and increasing distance from generation centers, as well as the substantial increase in total solid waste generated *per capita*. The accumulation of solid waste in highly populated areas stimulates the dissemination of vectors (rats, cucarachas, flies, virus, bacteria, and parasites) and, consequently spreading of diseases. Regarding the solid waste generated in islands and isolated communities, decentralized strategies for treatment of organic fraction, reducing transportation and impacts related to that is very convenient. This study had the following main objectives: to test the same reactor for decentralized composting during the Swedish summer using organic waste from restaurants at the coast, in Kalmar, Sweden, and under Brazilian conditions, using organic waste from the kitchen of the municipal primary school at Abraão, Ilha Grande, RJ; to evaluate and propose mechanical and operational changes in the reactor for process optimization; to assess the quality and degree of maturation of the compost at different stages of composting through two respirometry methods, the Specific Oxygen Uptake Rate (SOUR) and the ABNT norm NBR 14283. In short, it was concluded that the solid waste composition and initial pH of the material used as amendment are important factors to determine the time required for degradation of the organic acids produced and subsequent pH increase; depending on the organic waste characteristics, it is necessary to use material for augmentation (ex: compost) to improve the development of microorganisms and consequently, optimization of the process; the physic-chemical and microbiological analyses confirmed that the aerobic degradation occurred inside the reactor and that the quality of the produced compost is satisfactory; however, considerable improvements in the shredding and feeding system is required in order to test the reactor's performance in its full-capacity. The respirometric tests carried out using the *specific oxygen uptake rate* (SOUR) method and the NBR 14283 norm, were effective in indicating the maturity of the compost and the degree of progress in the composting process. Once the mechanical problems in the shredding and feeding system are solved, the reactor might be useful as an innovative technology for treatment of organic waste in situ for small and medium generators.

Key words: Household solid waste. Composting. Aerobic reactor. Respirometry

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Processo que ocorre no interior do reator	34
Figura 2:	Separação dos componentes não biodegradáveis do lixo fornecido	36
Figura 3:	Foto do reator instalado na Escola Municipal Brigadeiro Nóbrega, Vila de Abraão, Ilha Grande, RJ	37
Figura 4:	Refeitório da Escola Municipal Brigadeiro Nóbrega com capacidade para 400 refeições diárias	38
Figura 5:	Resíduo orgânico da cozinha após a triagem manual	39
Figura 6:	Restos de poda utilizados como material estruturante	39
Figura 7:	Triturador TRAPP TR 200 utilizado com restos de poda	39
Figura 8:	Sistema de trituração de lixo orgânico: componentes externos	41
Figura 9:	Rotor de alimentação do reator.	43
Figura 10:	Hélice típica do sistema de trituração	43
Figura 11	Ventoinha localizada na parte superior do reator	44
Figura 12:	(a) Vista do topo do banho Maria com agitação orbital; (b) oxímetro digital com timer	45
Figura 13:	Sistema para respirometria SOUR	46
Figura 14:	Ilustração do aparelho respirômetro de Bartha utilizado no experimento	48
Figura 15:	Primeira versão do reator aeróbio de fluxo ascendente	53
Figura 16:	Variação de pH na massa de lixo em processo de compostagem durante os primeiros 19 dias, ilustrando o aumento discreto, mas contínuo a partir da adição de CaCO_3 no 12º dia	56
Figura 17:	Variação de temperatura ao longo do tempo durante os primeiros 19 dias	56
Figura 18:	Variação de sólidos voláteis (%) ao longo do tempo	57
Figura 19:	Variação de carbono total orgânico no material orgânico do reator ao longo do período estudado	57
Figura 20:	Variação do pH, umidade, matéria orgânica total e carbono orgânico total em três pontos ao longo do processo de compostagem por 28 dias no reator experimental.	58
Figura 21:	Rotor com apenas uma pá	65

Figura 22:	Memória de cálculo referente à capacidade do motor	66
Figura 23:	Variação do consumo de O ₂ durante 30 horas de teste <i>SOUR</i> para a amostra inicial	72
Figura 24:	Variação dos dados do <i>SOUR test</i> durante 32 horas de análise do composto de 14 dias	72
Figura 25:	Variação do consumo de O ₂ durante 10 h de teste <i>SOUR</i> com amostra de composto de 28 dias do reator	73
Figura 26:	Variação do consumo de O ₂ durante 12 horas de teste <i>SOUR</i> com amostra de composto maduro (4 meses) da Comlurb	73
Figura 27:	Dados de OD registrados durante o teste <i>SOUR</i> da amostra inicial	74
Figura 28:	Dados de OD registrados durante o teste <i>SOUR</i> do composto de 14 dias	75
Figura 29:	Dados de OD registrados durante o teste <i>SOUR</i> da amostra de 28 dias do reator	75
Figura 30:	Dados de OD registrados durante o teste <i>SOUR</i> do composto maduro da Comlurb	76
Figura 31:	Comportamento da emissão de CO ₂ das diferentes amostras durante os 28 dias	79
Figura 32:	Eficiência da biodegradação de acordo com a Equação 2 da NBR 14283	79
Figura 33:	Correlação entre as amostras do método <i>SOUR</i> e o método <i>BARTHA</i>	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:	Caracterização de resíduos animais e vegetais compostáveis	15
Tabela 2:	População microbiana aeróbia durante a compostagem	20
Tabela 3:	Tempos e temperaturas necessárias para a destruição de patógenos	23
Tabela 4:	Demora no aquecimento dos resíduos em processo de compostagem	24
Tabela 5:	Queda abrupta na leira de compostagem após curto período de aquecimento	24
Tabela 6:	Maus odores emitidos durante a compostagem	25
Tabela 7:	Produção de chorume e aumento da umidade no processo de compostagem	25
Tabela 8:	Atração de vetores para o processo de compostagem	25
Tabela 9:	Alta contaminação de patógenos ($>10^2$ coliformes.g ⁻¹) e/ou alta relação C/N (> 18)	25
Tabela 10:	Principais vantagens e desvantagens dos diferentes sistemas de compostagem	28
Tabela 11:	Relação C/N e C/P dos diferentes amostras no respirômetro de Bartha	49
Tabela 12:	Resultados da caracterização (% peso úmido) do lixo orgânico de três restaurantes costeiros, e predomínio de componentes na fração orgânica do lixo	55
Tabela 13:	Caracterização física (granulometria) do pó de serra utilizado	55
Tabela 14:	Caracterização físico-química da amostra de 28 dias	60
Tabela 15:	Caracterização microbiológica da amostra de 28 dias	61
Tabela 16:	Concentração de nitrogênio, fósforo e potássio no composto de 28 dias	61
Tabela 17:	Quantidades em NPK no composto de 28 dias levadas ao solo pela aplicação de 10, 15 e 20 Ton/ha	61
Tabela 18:	Quantidades de NPK contidas em algumas fertilizantes minerais comercializados no Rio de Janeiro	63
Tabela 19:	Composição, preço dos fertilizantes minerais e valor dos nutrientes em reais por quilograma	61

Tabela 20:	Valor do composto de 28 dias pelos seus nutrientes minerais comparados com os preços de nutrientes de fertilizantes minerais	62
Tabela 21:	Comparação entre a vazão de ar no interior do reator testado com dados da literatura de vazão de ar ideal para compostagem	64
Tabela 22:	Teste de respirometria das diferentes amostras: duração (em horas) e respectivos valores da taxa <i>SOUR</i>	71
Tabela 23:	Índice de estabilidade e maturação do composto com base na evolução da produção de CO ₂	77
Tabela 24:	Produção média de CO ₂ acumulado nos seguintes ensaios	78
Tabela 25:	Média em mg CO ₂ g ⁻¹ VS h ⁻¹ , das amostras analisadas pelo método <i>SOUR</i> e <i>BARTHA</i>	81

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	03
2.1 Resíduos Sólidos Urbanos	03
2.2 Classificação dos resíduos sólidos urbanos	04
2.3 Resíduos Sólidos Domiciliares	06
2.4 Caracterização da problemática	06
2.5. Compostagem	08
2.5.1 Histórico	08
2.5.2 Definição	09
2.5.3 Processo de compostagem	11
2.5.4 Classificação	13
2.5.5 Tipos de processos de compostagem	14
2.5.6 Fatores e parâmetros relevantes à biodegradação aeróbia de resíduos orgânicos	15
2.5.7 Principais problemas na fase de degradação	24
3. REATOR AERÓBIO	26
3.1 Reatores de fluxo vertical	26
3.2 Reatores de fluxo horizontal	27
3.3 Reatores de batelada	27
4. RESPIRAÇÃO COMO INDICADOR DO METABOLISMO AERÓBIO	29
4.1 Indicação da metabolismos microbiano através da produção de CO ₂	30
4.2 Indicação da metabolismos microbiano através do consumo de O ₂	31
5. OBJETIVOS	32
5.1 Objetivo geral	32

5.2 Objetivos específicos	32
6. MATERIAL & MÉTODOS	33
6.1 Descrição do reator aeróbio de fluxo ascendente utilizado	33
6.2 Descrição do experimento de compostagem em Kalmar, Suécia	35
6.3 Descrição do experimento de compostagem na Ilha Grande, Brasil	37
6.4 Diagnóstico dos problemas eletromecânicos do reator	41
6.4.1 Teste de nível do terreno	42
6.4.2 Testes elétricos	42
6.4.3 Planificação do solo e instalação sob o piso	42
6.4.4 Testes de desempenho do sistema de trituração	42
6.4.5 Análise das partes do sistema de trituração	42
6.4.6 Análise do sistema de ventilação	43
6.5 Métodos respirométricos	44
6.5.1 Método respirométrico <i>Specific Oxygen Uptake Rate SOUR</i>	44
6.5.2 Método respirométrico segundo a NBR 14283 da ABNT	47
7. RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
7.1 Resultados anteriores do reator aeróbio de fluxo ascendente utilizado no estudo	52
7.2 Resultados do experimento de compostagem realizado em Kalmar, Suécia	54
7.3 Resultados do experimento de compostagem conduzido na Ilha Grande, RJ.	58
7.4 Diagnóstico eletro-mecânico do reator e recomendações	62
7.4.1 Teste de nível do terreno	62
7.4.2 Testes elétricos	62
7.4.3 Planificação do solo e instalação sob o piso	63
7.4.4 Testes de desempenho do sistema de trituração	63
7.4.5 Análise das partes do sistema de trituração	63

7.4.6	Análise do sistema de ventilação	63
7.4.7	Modificações parciais do sistema de trituração	64
7.4.8	Capacidade de trituração do motor atual acoplado ao sistema de trituração	65
7.4.9	Transmissão direta motor-eixo do sistema de trituração	65
7.4.10	Interferência das peças rotativas do sistema de trituração	66
7.4.11	Avaliação do atual motor do sistema de trituração	67
7.4.12	Conclusões e recomendações relativas à parte mecânica	68
7.4.13	Sistema de Trituração	68
7.4.14	Avaliação do atual motor do sistema de trituração	68
7.4.15	Sistema de aeração	69
7.5	Métodos respirométricos para determinar grau de maturidade do composto	69
7.5.1	Método respirométrico segundo o Specific Oxygen Uptake Rate SOUR	69
7.5.2	Respirometria segundo a norma ABNT 14283 (Respirômetro de Bartha)	77
8.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	83
9.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84
10.	ANEXO	94

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a disposição final de lixo tornou-se um sério problema a ser enfrentado por todos os países, em função da escassez crescente de terrenos disponíveis para aterros sanitários e distância cada vez maior dos centros geradores, assim como do aumento substancial de resíduos sólidos gerados per capita. Além disso, assistiu-se a uma modificação na composição do lixo ao nível global como conseqüência, principalmente, do processo de industrialização vivenciado pela maioria das economias mundiais, o que gerou significativas alterações nos padrões de consumo dessas sociedades (CAMPOS, 1998). Tais modificações, tanto de quantidade como de composição de resíduos sólidos, são caracterizadas por aumentos substanciais das parcelas de materiais não perecíveis em relação à fração de lixo orgânico. Principalmente em países em desenvolvimento, deve-se destacar o agravamento dos custos externos gerados pela insuficiência de recursos disponíveis para o financiamento de um sistema integrado de gerenciamento do lixo. Aterros com controle sanitário deficiente assim como lixões e a inexistência de coletas regulares constituem graves problemas para a maioria destes países (IPEA, 1996).

No Brasil, a destinação final do lixo, em peso, segue a seguinte distribuição: 47,1% em aterros sanitários, 22,3% em aterros controlados e 30,5% em lixões. Apenas 69% de todo o lixo coletado no Brasil estaria tendo um destino final adequado ou aceitável, em aterros sanitários e/ou controlados. Quando a análise é feita por municípios, o resultado é ainda menos favorável: 63,6% utilizam lixões e 32,2% utilizam aterros sanitários (13,8%) ou controlados (18,4%), sendo que 5% dos municípios não informaram para onde vão seus resíduos (IBGE, 2000), sugerindo destinação inadequada.

No caso específico do Rio de Janeiro, são produzidos $3.159.632 \text{ ton.ano}^{-1}$ de lixo, sendo que $1.772.380 \text{ ton.ano}^{-1}$ são resíduos domiciliares com destinação a aterros sanitários e controlados. Tal cenário contabiliza um comprometimento de 6,4% do orçamento da prefeitura e um custo per capita de $86,60 \text{ R$.hab}^{-1}\text{.ano}^{-1}$ (SNIS, 2007).

Do ponto de vista da saúde pública, o acúmulo de lixo estimula a proliferação de macro e micro vetores (ratos, baratas, moscas, vírus, bactérias, parasitos), sendo que estes últimos também são transportados para os corpos aquáticos receptores (CEBALLOS, 2003).

A despeito das pesquisas para desenvolvimento de diferentes sistemas de tratamento de resíduos sólidos municipais (HORISAWA et al, 2001; SUNDBERG, 2001; MARQUES

& HOGGLAND, 2002; HOGGLAND et al, 2003; TOGNETTI et al, 2007), um dos grandes problemas de saneamento existentes ainda hoje, refere-se à escolha da estratégia de tratamento de resíduos orgânicos de fácil biodegradabilidade, que constituem uma das frações mais representativas do lixo urbano gerado, particularmente nos países em desenvolvimento. O lixo orgânico contribui significativamente para a carga orgânica presente no chorume de aterros sanitários, nos lixões clandestinos (MARAGNO, 2007). Tal problema é agravado nos casos em que a coleta é dificultada devido ao difícil acesso e restrições legais de disposição final, tal como ocorre nos sistemas insulares que representam áreas de proteção ambiental, tais como Fernando de Noronha (PE) e a Ilha Grande (RJ).

Em particular, com relação ao lixo gerado em sistemas insulares, a relevância de uma estratégia baseada na descentralização do tratamento da fração orgânica de lixo domiciliar está associada à possibilidade de solução na própria Ilha em questão, com todas as vantagens advindas de tal fato, como por exemplo, o fim do transporte do lixo orgânico através de barcas para o continente, o mau cheiro e os riscos de poluição ambiental durante o transporte. Em termos gerais, a relevância do projeto está associada à possibilidade de se testar um modelo de tratamento de resíduos orgânicos domiciliares adequados a pequenas comunidades humanas, sob condições brasileiras, o que resultaria em melhoria da qualidade ambiental e de vida dessas comunidades, redução das quantidades de lixo a serem coletadas e transportadas, com conseqüente redução de custos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Resíduos Sólidos Urbanos

Resíduos sólidos são resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (ABNT, 2004).

Em termos genéricos, segundo D'Almeida (2000) denomina-se resíduo sólido urbano ou lixo sólido urbano o conjunto de detritos gerados em decorrência das atividades humanas nos aglomerados urbanos. Incluem-se aí resíduos domiciliares, os originados nos estabelecimentos comerciais, industriais e de prestação de serviços, os decorrentes dos serviços de limpeza pública urbana, aqueles oriundos dos estabelecimentos de saúde (sépticos e assépticos), os entulhos de construção civil e os gerados nos terminais rodoviários, ferroviários, portos e aeroportos.

No Brasil, segundo Vailati (1998) & , a denominação de resíduos sólidos urbanos normalmente caracteriza o lixo cuja coleta, transporte e destinação final são por definição legal de responsabilidade das prefeituras municipais, o que inclui o lixo domiciliar, o comercial e o público. Os resíduos assépticos dos estabelecimentos de saúde e os decorrentes de terminais rodoviários e ferroviários, bem como os entulhos podem também compor o conjunto de detritos atendidos pela coleta oficial dos municípios, dependendo do entendimento que cada comunidade adotar para a questão. Os demais (industriais, sépticos e os produzidos em portos e aeroportos) requerem cuidados especiais quanto ao seu acondicionamento, coleta, transporte e destinação final, devido à periculosidade real ou potencial à saúde humana e ao meio ambiente. Segundo D'Almeida (2000), de acordo com as normas vigentes do país, o descarte e o tratamento dos materiais são de responsabilidade das fontes geradoras e não do poder público municipal.

Os resíduos sólidos podem produzir bons compostos desde que cuidadosamente selecionados. Assim, donas de casa deverão possuir pelo menos duas lixeiras, uma para material rigorosamente orgânico e outra para aquele não aproveitável.

Segundo Francisco Neto (1995), as prefeituras que compostarem, o seu lixo deverão manter uma rigorosa triagem dos dejetos urbanos, pois estes contêm substâncias altamente poluentes.

De acordo com Pereira Neto (2007), o lixo urbano é uma massa heterogênea de resíduos sólidos, resultante das atividades humanas, que podem ser reciclados e parcialmente utilizados, beneficiando à saúde pública e ao mesmo tempo, gerando economia de energia e de recursos naturais. Compreende o lixo gerado nos domicílios (lixo domiciliar), nas repartições comerciais públicas e privadas, nas lojas e armazéns em geral, restaurantes, lanchonetes e similares.

2.2 Classificações dos resíduos sólidos urbanos

Para os efeitos da Norma 10004 (ABNT, 1999), os resíduos são classificados em:

- Resíduos classe I - Perigosos;
- Resíduos classe II – Não perigosos;
- Resíduos classe III – Inertes.

Os resíduos domiciliares se encaixam na classe II , como resíduos não perigosos.

Segundo James (1997), são várias as formas possíveis de se classificar o lixo considerando o local de origem, as fontes geradoras e as características e hábitos de consumo da sociedade brasileira como por exemplo:

- Por sua natureza física: seco e molhado.
- Por sua composição química: matéria orgânica e matéria inorgânica.
- Pelos riscos potenciais ao meio ambiente: perigosos, não inertes e inertes.

Outra forma de classificação do lixo segundo D'Almeida (2000) é quanto à origem, ou seja, domiciliar, comercial, público, serviços de saúde e hospitalar, portos, aeroportos e terminais ferroviários e rodoviários, industriais, agrícolas e entulhos:

- Domiciliar: originado na vida diária das residências, constituído por restos de alimentos (cascas de frutas, verduras, sobras, etc.) produtos deteriorados, jornais e revistas, garrafas, embalagens em geral, papel higiênico, fraldas descartáveis e uma grande diversidade de outros itens.
- Comercial: aquele originado nos diversos estabelecimentos comerciais e de serviços, tais como supermercados, estabelecimentos bancários, lojas, bares, restaurantes, etc. O lixo destes locais tem grande quantidade de papel, plásticos, embalagens diversos e resíduos de asseio dos funcionários, tais como papel-toalha, papel higiênico.
- Público: é aquele originado dos serviços de limpeza pública urbana: os resíduos de varrição das vias públicas, limpeza das praias, limpeza das galerias, córregos e terrenos vazios, restos de podas das árvores, corpos de animais, etc. Também estão incluídos os de limpeza em áreas de feiras livres, constituído por restos vegetais diversos, embalagens, etc.
- Serviços de Saúde e Hospitalar: Constituem os resíduos sépticos, ou seja, aqueles que contêm ou potencialmente podem conter germes patogênicos (agulhas, seringas, gazes, bandagens, algodões, órgãos e tecidos removidos, meios de culturas e animais usados em testes, sangue coagulado, luvas descartáveis, remédios com prazo de validade vencido, instrumentos de resina sintética, filmes fotográficos de raios-X, etc.); oriundos de locais como hospitais, clínicas, laboratórios, farmácias, clínicas veterinárias,
- Postos de saúde. Os resíduos assépticos destes locais como papéis, restos da preparação de alimentos, resíduos de limpezas gerais, e outros materiais desde que coletados separadamente e não entrem em contato direto com pacientes ou com os resíduos sépticos são semelhantes aos resíduos domiciliares.
- Portos, aeroportos, terminais rodoviários e ferroviários: aqueles que contêm ou potencialmente podem conter germes patogênicos, que se constituem de materiais de higiene, asseio pessoal e restos de alimentos, os quais podem veicular doenças provenientes de outras cidades, estados e países. - Industrial: originado nas atividades dos diversos ramos da indústria tais como metalúrgica, química, petroquímica, papéis, alimentícia, etc. O lixo é bastante variado, podendo ser representado por cinzas, lodos, óleos, resíduos alcalinos ou ácidos, plásticos, papéis, madeiras, fibras, borrachas, metais, vidros, cerâmicas, etc.

- Agrícola: incluem embalagens de fertilizantes e defensivos agrícolas, rações, restos de colheita e todos resíduos sólidos das atividades agrícolas e da pecuária, sendo este último preocupação crescente pela enorme quantidade de esterco animal gerado nas
- Fazendas de pecuária intensiva. As embalagens de agrotóxicos altamente tóxicos têm sido alvo de legislação específica quanto aos cuidados na sua destinação final .
- Entulhos: resíduo da construção civil, composto por materiais de demolições, restos de obras, solos de escavações diversas, geralmente um material inerte, passível de reaproveitamento, porém contém materiais que podem conferir toxicidade como restos de tintas, solventes, peças de amianto e metais diversos, cujos componentes podem ser removidos caso o material não seja disposto adequadamente.

2.3 Resíduos Sólidos Domiciliares

O lixo domiciliar é formado pelos resíduos sólidos gerados nas atividades diárias de residências. Este resíduo apresenta um alto teor de matéria orgânica, variando de 55 a 67% no Brasil, além de outros componentes reaproveitáveis como plásticos, vidros, latas etc (PEREIRA NETO, 2007). A composição do lixo domiciliar consiste em papel, papelão, plástico, vidros, resíduos orgânicos putrescíveis, trapos, ossos, metais como materiais potencialmente recicláveis e cerâmicos, couro, terra, pedra e outros como rejeitos para aterro.

Com relação especificamente a Ilha Grande, onde o reator foi instalado, o lixo domiciliar gerado ($9,066 \text{ ton.dia}^{-1}$) em toda Ilha, a parte orgânica deste resíduo esta em torno de 70%, representando 28 % ($12,692 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1}$) do volume total de lixo domiciliar gerado (PMAR, 2006).

2.4 Caracterização do problema

A despeito das pesquisas para desenvolvimento de sistemas aperfeiçoados de tratamento de resíduos sólidos municipais (HORISAWA et al, 2001; SUDBERG, 2001; MARQUES & HOGGLAND, 2002; HOGGLAND et al, 2003; TOGNETTI et al, 2007), um dos grandes problemas de saneamento existentes ainda hoje, refere-se à escolha da estratégia de

tratamento de resíduos orgânicos de fácil biodegradabilidade, que constituem uma das frações mais representativas do lixo urbano gerado, particularmente nos países em desenvolvimento. O lixo orgânico contribui significativamente para a carga orgânica presente no chorume de aterros sanitários, nos lixões clandestinos. Tal problema é agravado nos casos em que a coleta é dificultada devido ao difícil acesso e restrições legais de disposição final, tal como ocorre nos sistemas insulares que representam áreas de proteção ambiental, tais como Fernando de Noronha e Ilha Grande.

O problema de gestão de resíduos sólidos domiciliares na Ilha Grande, RJ, é essencialmente um problema comum a várias comunidades costeiras do Estado do RJ, vivendo sem infra-estrutura adequada para a coleta e tratamento de lixo. No caso específico da Ilha Grande, tal quadro é agravado por tratar-se de um ecossistema insular frágil e mais sensível aos impactos provocados pelo despejo do lixo orgânico não coletado (Figura 1). Os sistemas convencionais de coleta de lixo são inviáveis para muitas dessas comunidades, devido a: (i) inviabilidade técnica de soluções convencionais de coleta e transporte, devido à impossibilidade física de acesso e operação; (ii) falta de economia de escala, (iii) falta de recursos financeiros e/ou humanos.

O lixo da Ilha é atualmente coletado e transportado por barcaças para o continente, com todos os impactos que tal procedimento enseja. Agrava o quadro, o fato de que o lixo gerado fora de Abraão pelas comunidades que habitam as várias praias da Ilha apresenta uns problemas sérios de irregularidade. Se por um lado, as frações de recicláveis podem a princípio aguardar coletas escassas, desde que acondicionadas adequadamente, o mesmo não ocorre com a fração prontamente biodegradável do lixo de cozinha.

Uma entrevista com 332 turistas e moradores da Ilha realizada por uma equipe do DESMA/UERJ resultou em que problemas de esgoto e lixo constituíam 61% do conjunto de queixas apresentadas (MARQUES, et al, 2005). Tal situação é certamente incompatível com o perfil de paraíso ecológico da Ilha Grande e compromete as atividades de turismo sustentável.

Uma das estratégias possíveis para pequenas comunidades em sistemas insulares como a Ilha Grande, vivendo em áreas de acesso relativamente difícil para fins de coleta e transporte do lixo é a compostagem local, precedida de uma separação do lixo domiciliar gerado em pelo menos duas frações: orgânica (basicamente lixo de cozinha) e outros. As formas de compostagem possíveis são as leiras convencionais com revolvimento manual ou reatores de pequeno/médio porte. Ambas as opções são a princípio viáveis.

Biodigestores em grande escala foram amplamente testados ao longo dos anos em todo o mundo e, na maioria das vezes mostraram-se ineficazes, por não reduzirem custos financeiros nem ambientais de coleta e transporte, exigirem triagem e pre-tratamento/processamento e produzirem composto frequentemente com qualidade final baixa devido à contaminação. Tais fatores limitantes são praticamente eliminados quando a estratégia de compostagem é descentralizada e em pequena escala (MARQUES & HOGLAND, 2002; HOGLAND et al, 2003).

2.5 Compostagem

2.5.1 Histórico

Uma das referências mais antigas de uso de composto na agricultura aparece nas placas de argila no Vale da Mesopotâmia, 1000 anos antes de Moisés. Os romanos, os gregos e tribos de Israel já conheciam a compostagem. Textos medievais religiosos e a literatura Renascentista apresentam também comentários a respeito do composto. Os chineses sistematicamente aplicavam os princípios da compostagem. Na Inglaterra, no século 19, Stephen Hoyt e filhos usaram 220.000 peixes para fazer composto (OWEN, 2003). Segundo Lindenberg (1992) os primeiros relatos sobre compostagem datam da antiguidade.

Os índios Maias, na América, por exemplo, ao plantar milho, colocavam um ou mais peixes no fundo da cova oferecendo-os aos deuses e com isso realizavam, sem saber, uma adubação orgânica com matéria prima de fácil decomposição e rica em nutrientes. Já no Oriente, a compostagem se dava pela restituição ao solo dos restos de cultura e pela incorporação de esterco de animais. Segundo diversos autores citados por ALVES (1996) sobre o desenvolvimento do processo de compostagem poderiam ser apresentados da seguinte forma:

- ✓ Na América em 1843: George Bommer desenvolveu um processo para decomposição de resíduos agrícolas que fazia a recirculação de chorume e ficou conhecido como “Bommer method of makingmanure”;
- ✓ No Brasil em 1888: Dafert, o primeiro diretor do IAC incentivou pela primeira vez os agricultores a produzirem adubos classificados como “estrumes nacionais”, uma vez que os adubos minerais eram importados;
- ✓ Na Índia em 1920: Albert Howard, na cidade de Indore criou o método que levou esse nome, o qual se utilizava de estrumes animais e resíduos vegetais em pilhas que atingiam

elevadas temperaturas. O processo durava 06 meses e eram feitos apenas 02 revolvimentos;

- ✓ Nos E.U.A em 1953: Universidade da Califórnia. Experimentos com compostagem de lixo confirmaram a influência de fatores como microrganismos, umidade, aeração e temperatura no processo.
- ✓ Na Dinamarca em 1954: Dano Corporation desenvolveu o primeiro processo Dano. Em 1955, Processo DANO evoluiu para um digestor mecânico conhecido como bioestabilizador 10, constituindo-se em um dos processos mais utilizados no mundo todo;
- ✓ Nos E.U.A em 1970: Na cidade de Beltsville, desenvolveu o sistema de compostagem por aeração forçada “pilhas estáticas aeradas” especificamente para o tratamento de lodo de esgoto doméstico. Inicialmente utilizava-se um sistema de sucção do ar e a partir de 1981 passou-se a utilizar a injeção de ar. Posteriormente, este método foi adaptado para a compostagem de lixo urbano.

2.5.2 Definição

O termo “composto orgânico” tem sido utilizado para designar o material orgânico produzido através da decomposição aeróbia de resíduos da preparação de alimentos e de atividades de manutenção de parques, praças e jardins públicos ou particulares, ricos em carbono.

A compostagem como processo de biooxidação aeróbia exotérmica de um substrato orgânico heterogêneo, no estado sólido, caracteriza-se pela produção de CO₂, água, liberação de substâncias minerais e formação de matéria orgânica estável. Aos resíduos devem ser fornecidas condições ambientais para que a decomposição da matéria orgânica rica em carbono seja degradada. Para isto, é necessário que sejam processados materiais biodegradáveis, e portadores de nutrientes para que a transformação da matéria orgânica ocorra.

O termo em inglês “compost”, segundo Kiehl (1985), deu origem à palavra composto para indicar o fertilizante e aos termos compostar e compostagem para indicar a ação ou ato de preparar o adubo. Pessoas que trabalham ou comercializam o composto vêm empregando a denominação composto orgânico para este fertilizante, a expressão apesar de redundante, vem se popularizando por ser uma técnica idealizada para se obter mais rapidamente e em melhores condições a desejada estabilização da matéria orgânica. Na natureza, essa

estabilização ou humificação se dá em prazo indeterminado, ocorrendo de acordo com as condições em que ela se encontra. A obtenção da compostagem consiste, em linhas gerais, no seguinte: a) utilizar matérias-primas que contenham um balanço em relação carbono/nitrogênio favorável ao metabolismo dos organismos que vão efetuar sua biodigestão; b) facilitar a digestão dessa matéria-prima dispondo-a em local adequado, de acordo com o tipo de fermentação desejada, se aeróbia ou anaeróbia, controlando a umidade, a aeração, a temperatura e os demais fatores, conforme cada caso requer.

O composto, desde que atendidas às técnicas e condições de compostagem, possuirá excelentes qualidades nutricionais, físicas, químicas e biológicas, importantes para a preservação, adubação e manutenção dos solos, bem como para a recuperação de áreas degradadas.

O resultado final do processo de compostagem é a humificação quase total da matéria orgânica, que poderá desta forma, ser utilizada na agricultura. O composto é, portanto, o resultado de um processo controlado de decomposição microbológica, de uma massa heterogênea de matéria orgânica no estado sólido e úmido, em presença de oxigênio, passando pelas fases de (1) fitotoxicidade ou composto cru ou imaturo, (2) semicura ou bioestabilização, (3) cura, maturação ou humificação, acompanhada da mineralização de determinados componentes da matéria orgânica (compostagem).

Para Francisco Neto (1995) a compostagem é o processo de transformação de materiais grosseiros como palhas e estrume, em materiais orgânicos utilizáveis na agricultura. Este processo envolve transformações extremamente complexas de natureza bioquímica promovidas por milhões de organismos do solo que tem na matéria orgânica *in natura*, sua fonte de energia, de nutrientes minerais e carbono. De modo semelhante, Lindenberg (1992) considera a compostagem como um processo biológico de decomposição da matéria orgânica contida em restos de origem animal ou vegetal, e tendo como resultado final um produto - composto orgânico - que pode ser aplicado ao solo para melhorar suas características, sem ocasionar riscos ao meio ambiente e sendo um método natural por meio do qual os materiais normalmente considerados como lixo orgânico é transformado em material humificado, de cor escura e cheiro agradável, isento de sementes de ervas daninhas ou de microrganismos causadores de doenças em plantas.

Em termos científicos segundo Koepf (1976) a compostagem pode ser definida como sendo uma decomposição aeróbica de substratos orgânicos em condições que permitam atingir temperaturas suficientemente elevadas. O aumento de temperatura surge como

resultado da liberação de calor na degradação biológica dos resíduos orgânicos. O resultado deste processo é um produto final suficientemente estabilizado que pode ser aplicado no solo com várias vantagens sobre os fertilizantes químicos de síntese a que se dá o nome de composto.

É um processo bio-oxidativo controlado, que em condições adequadas de umidade, produz a degradação de resíduos heterogêneos por ação de uma flora microbiana variada. Durante a compostagem, os microrganismos degradam aerobicamente parte da fração orgânica a dióxido de carbono, água e sais minerais e outra parte sofre um processo de humificação resultando num *composto* estável que possui características apropriadas para a utilização como biofertilizante.

2.5.3 Processo de compostagem

A decomposição aeróbia na compostagem ocorre o desprendimento de gás carbônico, água – na forma de vapor – e energia por causa da ação dos microrganismos. Parte da energia é usada pelos microrganismos para crescimento e movimento, e a restante é liberada como calor, que se procura conservar na pilha de compostagem. Como resultado, a pilha atinge uma temperatura elevada, resfria e atinge o estágio de maturação (KIEHL, 1985). O composto, produto da compostagem, é um material homogêneo e relativamente estável (LOUREIRO, 2007).

O composto orgânico produzido a partir de resíduos orgânicos possui baixas concentrações de metais pesados e contaminantes podendo, desta maneira, ser utilizado como substituto da terra vegetal ou, também, distribuído a agricultores da região para a recuperação de solos exauridos ou degradados (KIEHL, 1998).

Segundo Bruni (2005) comenta que quanto mais próximas as sociedades estão do harmônico ciclo natural, menos dificuldades têm em devolver o que produzem. Isto pode ser interpretado como um problema quando não é possível fazê-lo retornar harmonicamente à natureza, ou a seus elementos iniciais. A compostagem pode ser considerada uma forma de reciclagem da matéria orgânica, e através da compostagem, podem-se evitar alguns problemas relacionados aos resíduos sólidos.

Segundo Neto (1995), o processo bacteriano na compostagem tem os seguintes resultados:

- Diminuição do teor de fibra, o que, no caso do composto “de incorporação”, permite sua introdução no solo sem a indesejável fixação de nitrogênio;

- Destruição de sementes de ervas daninhas e patógenos;
- Degradação de substâncias inibidoras do crescimento vegetal existente na palha e *in natura*.

Segundo Pereira Neto (2007), o composto orgânico não tem e dificilmente terá problema de mercado no Brasil, pois, são várias as opções de uso para este produto. É importante destacar que segundo ele, a prefeitura, no caso de sistemas municipais, deverá ser o primeiro usuário do composto. Os usos mais comuns para o composto orgânico apontando impactos positivos são hortas, hortos e viveiros, agricultura em geral, fruticultura, floricultura, programas de paisagismo, parques, jardins, programas de reflorestamento, controle de erosão, recuperação de áreas degradadas, recuperação vegetal dos solos exauridos, controle de doenças e pragas agrícolas, cobertura e vegetação de aterros e produção de fertilizantes.

Quanto aos impactos econômicos como afirma D'Almeida (2000) no contexto brasileiro, a compostagem tem grande importância, uma vez que cerca de 50% do lixo municipal é constituído por material orgânico. As principais vantagens da compostagem no âmbito econômico são as reduções nos investimentos para a instalação dos aterros sanitários causados pela diminuição da quantidade de resíduos sólidos, o aproveitamento agrícola da matéria orgânica, a reciclagem de nutrientes para o solo reduzindo os custos da produção agrícola, a economia de tratamento de efluentes. A busca por uma alternativa de vida saudável tem provocado uma maior procura pelos alimentos produzidos sem o uso de agrotóxicos.

Segundo De Paiva (2004) compostagem é um método econômico e ambientalmente correto de destino dos animais mortos por permitir a reciclagem desses resíduos orgânicos, exigindo menor uso de mão de obra, quando comparado a alguns dos outros métodos, embora necessite de critérios rígidos para sua execução, mas é uma alternativa viável para o criador. Conduzida corretamente, a compostagem não causa poluição do ar ou das águas, permite manejo para evitar a formação de odores, destrói agentes causadores de doença, fornece como produto final um composto orgânico que pode ser utilizado no solo, portanto recicla nutrientes e apresenta custos competitivos com qualquer outro sistema de destinação de carcaças, que busquem resultados e eficiência.

A reciclagem e a compostagem dos resíduos sólidos são considerados soluções viáveis e de baixo custo, que permitem às prefeituras municipais administrar seu lixo e produzir compostos orgânicos úteis na agricultura (BARLSHEN & BAETZ, 1994).

O composto produzido pode ser usado na produção de mudas, na revitalização e conservação de parques, praças e jardins sob cuidados das próprias prefeituras, assim como a comercialização dos excedentes.

A compostagem em pequena escala, por sua vez, por se tratar de dimensões menores que o convencional, consegue atuar na própria fonte geradora (domicílios), não havendo necessidade de transporte até uma unidade de compostagem e possibilita aos membros residentes no domicílio que emprega a técnica, o cultivo de alimentos ou plantas medicinais/ornamentais a partir da produção de seu próprio composto. Por este motivo, a compostagem em pequena escala atua como uma importante ferramenta de educação ambiental, a medida que o próprio gerador acompanha todas as fases de produção e uso do composto produzido pelos seus resíduos e por isso este processo tem grande potencial de disseminação junto a população (MARAGNO, 2007).

2.5.4 Classificação

De acordo com PEREIRA NETO (2007), a compostagem pode ser classificada, de forma geral, quanto à:

✓ Biologia:

- Processo anaeróbio: São processos que os microorganismos não necessitam de oxigênio livre para se desenvolverem;
- Processo aeróbio: São processos que os microorganismos necessitam de oxigênio livre para se desenvolverem;
- Processo facultativo: São processos que os microorganismos se desenvolvem na presença ou não de oxigênio livre.

✓ Temperatura:

- Psicrófilo: Microorganismos que são ativos a temperatura na faixa de 10 a 20 °C;
- Mesófilos: Microorganismos que são ativos a temperatura na faixa de 20 a 45 °C;
- Termófilos: Microorganismos que são ativos a temperatura na faixa de 45 a 65 °C.

✓ Ambiente:

- Aberto: Quando o processo é realizado a céu aberto, em pátio ou caixa de maturação. O tempo de compostagem varia segundo as condições ambientais e pode durar até 180 dias;

- Fechado: O processo de compostagem é feito através de locais fechados, digestores, reatores, torres, tanques, silos, tendo ainda, a possibilidade de revolvimento mecânico da matéria orgânica.
- ✓ Processos:
 - Estático: ou ainda, ser chamado natural, é o processo onde a mistura fica em caixas ou montes em pátios de compostagem;
 - Dinâmico: ou ainda, ser chamado de acelerado, onde se oferecem condições especiais para a compostagem, tais como: adição de enzimas e fornecimento de aeração forçada.

2.5.5 Tipos de processos de compostagem

O processo de compostagem, não é automático, pois se trata de um processo biológico, que é afetado por fatores que podem influenciar a sua atividade microbológica, por isso esses fatores devem ser controlados e torna-se necessário dar e manter as condições do meio para que essa atividade ocorra bem. O processo de compostagem pode ser realizado pelo método natural ou pelo método acelerado.

Compostagem natural versus acelerada

No método natural a fração orgânica do lixo é levada a um pátio e dispostas em pilhas de formato variável. A aeração necessária para o desenvolvimento do processo de decomposição biológica é seguida por envoltimentos periódicos, com auxílio de equipamento apropriado. O tempo para que o processo se complete varia de três a quatro meses. As instalações de uma usina de triagem e compostagem natural podem ser subdivididas em seis setores: recepção, triagem, pátio de compostagem, beneficiamento e armazenamento do composto, aterro de rejeitos e sistema de tratamento de efluentes.

A usina de triagem e compostagem permitem em alguns casos, uma diminuição da ordem de 60-70% da tonelada de lixo, com conseqüente redução de custos e aumento da vida útil da área de aterro.

O processo de transformação da matéria orgânica é semelhante ao que ocorre na natureza com a diferença que na compostagem acelerada são oferecidas condições para facilitar e reduzir o tempo de decomposição (JARDIM et. al., 1995; PEREIRA NETO, 1996; KIEHL, 1998; BRUNI, 2005).

2.5.6 Fatores e parâmetros relevantes à biodegradação aeróbia de resíduos orgânicos

Separação da fração orgânica do resíduo domiciliar

Segundo Campbell (1999) não aconselha colocar carne, peixe, ossos, laticínios e gorduras aos materiais orgânicos no mesmo lixo porque podem atrair animais indesejáveis. Restos de animais também não devem ser compostados, porque podem conter microrganismos patogênicos que podem sobreviver ao processo de compostagem. Os resíduos de jardim tratados com pesticidas também não devem ser compostados, tal como plantas com doenças.

Segundo Alves (1996), os diversos componentes da matéria orgânica apresentam diferenças quanto à suscetibilidade à degradação, sendo que componentes como açúcares e proteínas são rapidamente degradados, enquanto outros como celulose e lignina necessitam de períodos longos para que os microrganismos consigam degradá-los.

Os materiais orgânicos que podem ser compostados classificam-se de uma forma simplificada em castanhos e verdes (Tabela 1).

Tabela 1 – Caracterização de resíduos animais e vegetais compostáveis.

Verdes	Castanhos
Cascas de batata	Feno
Legumes	Palha
Hortaliças	Aparas de madeira e serragem
Cascas de frutas	Ervas daninha de jardins
Cascas de frutos secos	Folhas de árvores
Borras de café	Folhas de árvores
Restos de pão	Cinzas de madeira
Arroz	Esterco
Massa	
Cascas de ovos	
Folhas e sacos de chá	
Cereais	
Restos de comida cozida	

Fonte: Kiehl (1985).

Os castanhos são aqueles que contêm maior proporção de carbono como palha, serragem e folhas secas, e os verdes são os de maior proporção de nitrogênio, como restos de cozinha e folhas frescas. Para que a compostagem decorra de uma forma melhor, convém ter a

maior diversidade de resíduos possível, numa proporção aproximadamente igual dos castanhos e verdes (KIEHL, 1985).

De acordo com Kiehl (1985), os componentes do lixo podem ser divididos em materiais biologicamente decomponíveis, com cerca de 50% de material orgânico e, mais os inorgânicos separados por catação manual ou peneiração. Quanto à utilização o lixo apresenta três tipos de componentes: resíduos compostáveis; rejeitos recuperáveis ou recicláveis, os quais deverão ser separados e os rejeitos desprezíveis que são encaminhados para aterros sanitários ou para incineradores. Na compostagem, se rejeita dois tipos de materiais indesejáveis que pode prejudicar a qualidade do produto como cacos de vidro e pilhas, e o que pode prejudicar o processo, como o excesso de plástico.

De acordo com Pereira Neto (2007), os resíduos orgânicos putrescíveis (matéria orgânica de fácil biodegradação), seriam: sobras de frutas, sobras de legumes, restos de alimentos, resíduos orgânicos agroindustriais, resíduos orgânicos industriais, lodos orgânicos, podas, gramas, palhas, sobras agrícolas, serragem, de alguns municípios brasileiros.

Temperatura

A temperatura é o parâmetro mais útil para seguir a evolução do processo de compostagem já que se obtém de forma direta e instantânea e se pode medir de forma contínua. A temperatura da pilha é o reflexo da atividade microbiana e permite detectar alterações ocorridas durante o processo. É sabido que uma diminuição da temperatura é indicadora de um abrandamento na biodegradação o que pode significar que há falta de arejamento, ou deficiência de água ou de elementos nutritivos. Pelo contrário, um aumento de temperatura é um sinal do progresso do processo aeróbico (BAETA-HALL, 2002).

De acordo com PEREIRA NETO (2007), a temperatura é um dos fatores que indicam a eficiência do processo de compostagem, sendo o valor médio ideal em torno de 55 °C. As temperaturas acima de 65° C devem ser evitadas, pois eliminam microorganismos mineralizadores, responsáveis pela degradação de resíduos orgânicos. Os perfis de temperatura na compostagem refletem em ambos os casos um comportamento típico, com três fases bem definidas: (i) fase mesofílica (25 a 45 °C), (ii) fase termofílica (45 a 65 °C) e (iii) fase de arrefecimento e de maturação (30 a 45 °C).

Segundo PEREIRA NETO (2007), fatores que influenciam o bom desenvolvimento são:

- Características da matéria prima;
- Tipo de sistema utilizado;
- Controle operacional: teor de umidade, ciclo de reviramento, balanço inicial dos nutrientes e quantidade de material;
- Configuração geométrica das leiras;

Segundo Prosab (1999) a compostagem com aeração forçada positiva, o fluxo de calor é ascendente. O local de maior geração de calor esta na base da leira. A taxa de aeração deve ser perfeitamente controlada em função da temperatura interna das pilhas, de modo a propiciar uma melhor distribuição desta por toda leira.

Umidade

Segundo KIEHL (1985) com relação à compostagem, a umidade deve estar entre 40 e 60% para possibilitar boa aeração. De acordo com PEREIRA NETO (2007) a umidade na compostagem tem que ser mantida na faixa de 55% e no inverno a umidade da massa de compostagem deve ser mantido próximo ao teor mínimo recomendado de 40 % para evitar os inconvenientes causados pelo excesso.

Granulometria

Segundo Kiehl (1985), o resíduo deve ter granulometria adequada para o processo, para garantir boa aeração das leiras. As dimensões de partícula devem atingir 1,2cm x 5cm. Excesso de finos pode acarretar produção de chorume e formação de torrões; De acordo com PEREIRA NETO (2007), antes da leira de compostagem, os resíduos devem sofrer uma correção do tamanho, favorecendo vários fatores:

- Homogeneização da massa de compostagem;
- Melhoria da porosidade;
- Menor compactação;
- Maior capacidade de aeração;
- Aumento da área superficial para degradação; e
- Menor tempo de compostagem.

Na prática as partículas devem se situar entre 10 e 50 mm.

Oxigenação

Já por definição processo de compostagem é aeróbio, ou seja, necessita de oxigênio para que ocorra o processo. A massa de compostagem pode ser oxigenada por processos artificiais (mecânicos) ou naturais (reviramento manual), tendo o objetivo de suprir os microorganismos participantes do processo e controlar a temperatura (PEREIRA NETO 2007). Segundo autor, para dimensionamento de aeradores mecânicos, a demanda de oxigênio é de 0,3 a 0,6 m³ quilograma de sólidos voláteis por dia.

Macronutrientes, micronutrientes e metais pesados

O composto orgânico produzido a partir de resíduos orgânicos possui baixas concentrações de metais pesados e contaminantes podendo, desta maneira, ser utilizado como substituto da terra vegetal ou, também, distribuído a agricultores da região para a recuperação de solos exauridos ou degradados (KIEHL, 1998).

Potencial hidrogeniônico (pH)

Segundo Kiehl (2004), o pH inicial do processo de compostagem é normalmente ácido, a medida que ocorre o processo de decomposição aeróbio, como consequência, o pH do composto se eleva a medida que o processo se desenvolve, passando pelo pH 7,0 (neutro) e alcançando pH superior a 8,0 (básico).

De acordo com PEREIRA NETO (2007), o pH é o parâmetro que afeta os sistemas de compostagem, pode ser desenvolvida numa faixa entre 4,5 e 9,5 sendo esses extremos regulados pelos microorganismos, devido à degradação, produzindo compostos e subprodutos ácidos ou básicos, de acordo com a necessidade do meio. O pH do produto maturado pH deverá ser sempre superior a 7,8 sendo lixo urbano geralmente o valor é superior a 8,5.

No sistema de compostagem, a reação da matéria orgânica vegetal ou animal, é geralmente inicialmente ácido. No começo da decomposição, ocorre uma fase fitotóxica, onde há formação de ácidos orgânicos que tornam o meio mais ácido do que a própria matéria prima original. Com o avanço do processo de compostagem, esses ácidos orgânicos e os traços de ácidos minerais que se formam, reagem com bases liberadas da matéria orgânica, gerando compostos de reação alcalina, como ácidos húmicos que também reagem com elementos químicos básicos, formando humatos alcalinos (MARAGNO, 2007).

Relação C/N

Segundo KIEHL (1985), os teores de carbono (C) e nitrogênio (N) devem ter a relação da ordem de 30/1. De acordo com PEREIRA NETO (2007), dentro dos nutrientes necessários para os microorganismos, o carbono (fonte básica de energia para atividades vitais dos microorganismos) e o nitrogênio (Fonte de proteínas) são de extrema importância, pois afetam o desenvolvimento do processo, devido à atividade de degradação dos resíduos orgânicos estarem diretamente relacionado à reprodução celular dos microorganismos, pois na ausência de nitrogênio, não há reprodução celular dos microorganismos.

Para uma alta eficiência no processo de compostagem da fração orgânica lixo urbano e de fontes especiais como restaurantes, freiras, Ceasa, a relação carbono / nitrogênio deve situar-se entre 30 e 40 : 1.

Geralmente resíduos palhosos (vegetais secos) são ricos em carbono, já legumes (frescos) e resíduos fecais são ricos em nitrogênio. Para que consiga uma alta eficiência, a relação carbono/nitrogênio deve ser criteriosamente balanceada, pois a falta de nitrogênio ou excesso de carbono leva a um aumento do período de compostagem, neste caso, os microrganismos utilizariam o nitrogênio oriundo de células mortas de outros microorganismos. O excesso de nitrogênio ocorrerá perda natural (provocada pelos microorganismos) devido à volatilização da amônia ocasionando fortes odores indesejáveis.

Microorganismos

Segundo Pereira Neto (2007), as bactérias presentes na leira, possuem vários formatos como bacilos, cocos e espirilos. São responsáveis pela quebra inicial da matéria orgânica que geram a liberação de calor na massa de compostagem. A maioria das bactérias presentes no processo é inofensiva ao homem e muitas são encontradas normalmente na pele e no intestino humano. Várias espécies de microorganismos participam do processo de compostagem (Tabela 2), dentre essas se destacam as bactérias, fungos, protozoários e actinomicetes.

Como referência do processo de compostagem, não tem sentido a descrição individualizada das espécies envolvidas, visto que sua ação se processa em termos de

população cuja composição varia conforme o substrato e condições ambientais envolvidas. A compostagem em alta temperatura está envolvida cerca de 130 espécies cuja prevalência vai se alterando em sucessão com o decorrer do processo. Inicialmente predominam bactérias mesófilas, seguidas pelas termófilas enquanto no final do processo existe a prevalência dos fungos e dos actinomicetes. (TSUTIYA et al, 2002).

Os resíduos sólidos urbanos ou domiciliares se caracterizam pelo alto conteúdo orgânico e grau elevado de contaminação microbiana (CEBALLOS, 2003).

De acordo com Costa e Silva (2005), os resíduos sólidos domiciliares apresentam composição microbiana variada, sendo possível a ocorrência de vírus, clamídias, bactérias, actinomicetes, fungos, protozoários e helmintos, entre outros. Essa microbiota é composta por organismos saprófitos, não patogênicos e potencialmente patogênicos.

Tabela 2. População microbiana aeróbia durante a compostagem.

População	NMP por grama de composto úmido			N° de espécies identificadas
	Temperatura abaixo de 40°C	Temperatura entre 40 a 70 °C	Temperatura abaixo de 70°C	
Bactérias mesofílicas	10 ⁸	10 ⁶	10 ¹	16
Bactérias termofílicas	10 ⁴	10 ⁹	10 ⁷	1
Actinomicetos termofílicos	10 ⁴	10 ⁸	10 ⁵	14
Fungos mesófilos	10 ⁶	0	10 ⁵	18
Fungos Termófilos	10 ³	10 ⁷	10 ⁶	16

Fonte: Haug, 1993.

A composição microbiana é influenciada pela atividade doméstica, comercial, industrial e dos estabelecimentos de assistência à saúde.

Segundo a Comlurb (2009), Investigar e monitorar a presença da enorme gama de organismos patogênicos possíveis de serem encontrados em resíduos sólidos e líquidos (esgotos domésticos e despejos industriais), em águas brutas (lagoas, rios, canais, etc.) e em outras amostras ambientais, constitui-se em trabalho laborioso, pois exige procedimentos demorados, de complexidades variáveis e muitas vezes por demais onerosos para serem aplicados rotineiramente. Em função disso, o uso de microrganismos indicadores em análises de amostras ambientais, em substituição à pesquisa direta de microrganismos patogênicos,

tem sido uma prática internacionalmente aceita.

Entre os principais microrganismos indicadores frequentemente utilizados para avaliar a poluição, e em especial a de origem fecal, encontram-se a bactéria coliforme *Escherichia coli* e o grupo Enterococos. Sendo assim, e a exemplo das caracterizações microbiológicas efetuadas nos anos anteriores, os parâmetros selecionados para a presente caracterização foram os seguintes: Coliformes totais, *Escherichia coli*, *Enterococos sp*, *Pseudomonas aeruginosa*, presença de *Salmonella sp* e de outras enterobactérias como *Staphylococcus aureus*.

- ***Coliformes totais***

As bactérias do grupo coliforme (Coliformes Totais) têm sido amplamente empregadas como indicadores de contaminação ambiental. Os coliformes totais incluem tanto bactérias originárias do trato gastrintestinal de humanos e outros animais de sangue quente, com destaque para a *Escherichia coli*, como também diversas espécies de bactérias que não são de origem gastrointestinal e que são encontradas normalmente no solo, vegetação, águas poluídas e lixo. Por essa razão, a enumeração de coli totais é menos representativa como contaminação de origem fecal, do que a enumeração de *E.coli* que é uma bactéria de origem exclusivamente fecal. Porém, a presença de coli totais é considerada uma indicação útil de poluição.

- ***Escherichia coli***

É uma bactéria coliforme comumente presente no trato gastrintestinal de animais de sangue quente, incluindo humanos. A bactéria *E. coli* é eliminada em grande quantidade nas fezes desses animais e sua presença no ambiente sinaliza a possibilidade de coexistência de diversos organismos patogênicos de origem humana e de outros animais. É uma bactéria frequentemente isolada no ambiente hospitalar e um importante agente causador de infecção hospitalar. Ela tem sido usada como indicador de contaminação em alimentos, águas de abastecimento e recreação, bem como em resíduos sólidos *in natura* e após tratamento (compostagem, incineração, autoclavação, etc.).

- **Gênero *Enterococcus***

Os enterococos constituem um grupo de bactérias reconhecidas como indicadores

de poluição fecal. A espécie *Enterococcus faecalis* é uma bactéria comumente isolada do trato gastrointestinal humano e de animais de sangue quente. Este grupo engloba várias espécies que apresentam diferentes graus de resistência às variações ambientais.

Características intrínsecas desse gênero permitem que eles cresçam e sobrevivam em ambientes pouco favoráveis. São microrganismos de distribuição ampla, podendo ser encontrados no solo, água, plantas, alimentos, animais e insetos. Atuam como patógenos oportunistas, podendo ser causa de infecção hospitalar no homem.

- ***Pseudomonas aeruginosa***

É uma bactéria de distribuição ampla, podendo ser encontrada na água, no solo, vegetação, despejos, lixo, etc. Em seres humanos a *P. aeruginosa* está associada a uma grande variedade de infecções oportunistas provocando doença nosocomial (hospitalar) em pacientes debilitados ou com problemas de imunossupressão como, por exemplo, pacientes de AIDS e câncer, vítimas de queimaduras, e portadores de fibrose cística. Por causa da alta resistência a antibióticos e do grande arsenal de fatores de virulência desta bactéria, as infecções causadas por ela são de difícil controle.

- ***Salmonella e outras enterobactérias***

As salmonelas são bactérias intestinais (enterobactérias) amplamente distribuídas na natureza e vêm sendo empregadas como bioindicadores em microbiologia ambiental. São patógenos primários que estão entre as bactérias mais comumente responsabilizadas pelo elevado número de infecções gastrintestinais que representam um importante problema em saúde pública. O habitat das enterobactérias é o intestino normal e patológico, podendo também ser localizadas fora do intestino: sangue, urina, secreções purulentas, águas poluídas, solo, esgoto, lixo, etc. Além das salmonelas, o grupo das enterobactérias inclui também diversos patógenos oportunistas causadores de infecções, inclusive hospitalares, entre os quais: *Klebsiella pneumoniae*, *Proteus mirabilis*, *Proteus vulgaris*, *Enterobacter sp* e *Citrobacter sp*.

- ***Estafilococos***

Os estafilococos são habitantes naturais do organismo humano. Como agentes patogênicos, os estafilococos são a causa de muitos processos supurativos, variando desde espinhas, furúnculos e abscessos até septicemias fatais. Como saprófitas (alimentam-se de

matéria orgânica em decomposição), os estafilococos são encontrados na pele normal, no nariz, na boca e nos intestinos, assim como no ar, na água, no leite, em secreções, nos despejos e em resíduos sólidos. As infecções se estabelecem quando esses germes penetram nos tecidos através de cortes ou de erosões da pele. O *Staphylococcus aureus* é a espécie patogênica enquanto que o *S. epidermidis* rara vez produz infecções no homem, sendo um patógeno oportunista em pessoas com defesas antimicrobianas deficientes.

Na fase termofílica, onde a temperatura pode chegar a 70°C, é geralmente a fase do processo de compostagem onde ocorre a eliminação de microorganismos patogênicos (Tabela 3) e sementes de plantas daninhas são eliminadas (KIEHL, 2004).

Durante a fase de maturação, há a continuidade da degradação, com a redução dos microorganismos patogênicos remanescentes e primordialmente a humificação dos intermediários mais estáveis. Os fungos e, principalmente os actinomicetes tornam-se o grupo dominante, dando continuidade à degradação de substâncias mais resistentes, como a celulose e a lignina. Nessa fase, ocorrerão complexas reações enzimáticas, levando à produção de húmus por meio, principalmente, da condensação entre ligninas e proteínas (MARAGNO, 2007).

Tabela 3. Tempos e temperaturas necessárias para a destruição de patógenos.

	Tempo de exposição (em minutos)				
	50°C	55°C	60°C	65°C	70°C
<i>Entamoeba histolica</i>	5				
Ovos de <i>Ascaris lumbricoides</i>	60	7			
<i>Brucella abortus</i>		60		3	
<i>Corynebacterium diphtheriae</i>		45			4
<i>Salmonella typh</i>			30		4
<i>Escherichia coli</i>			60		5
<i>Micrococcus pyogenes</i>					20
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>					20
<i>Shigella sp.</i>	60				
<i>Mycobacterium diphteria</i>	45				
<i>Necator americanus</i>	50				
<i>Taenia saginata</i>					5
<i>Virus</i>					25

Fonte: Prosab, 1999.

Material produzido

De acordo com Pereira Neto (2007), o composto maduro encontra-se com o teor médio de carbono na faixa de 58% e chama-se por húmus ou parte humificada da matéria orgânica. As propriedades do composto final dependem do grau de humificação alcançado durante o processo que, em regra não termina completamente na unidade de compostagem. Segue-se lhe uma fase de maturação à temperatura ambiente, por vezes no próprio solo, após a aplicação do fertilizante (BAETA-HALL, 2002). Segundo Maragno (2007), o material produzido, humificado, a relação C/N deve ser de 12/1.

2.5.7 Principais problemas na fase de degradação ativa de um sistema de compostagem

De acordo com Pereira Neto (2007), os problemas que podem ocorrer durante o processo de compostagem, suas causas e formas de controle são apresentados nas tabelas 4, 5, 6, 7, 8 e 9.

Tabela 4. Demora no aquecimento dos resíduos em processo de compostagem.

Causas	Controle
Material muito seco	Adicionar água a leira e manter a umidade a 55%
Material com excesso de umidade	Adicionar a leira, adubo maturado, terra vegetal ou material palhoso.
Material com balanceamento da relação C/N incorreto	Relação C/N alta, adiciona material nitrogenado como grama, lodo de esgoto, esterco de animal, entre outras; Relação C/N baixa adiciona material carbonáceo como folhas secas, capim seco e nunca adicionar serragem em excesso
Material muito compactado	Adicionar material que promova a porosidade da massa de compostagem como serragem, sabugos de milho, casca de grãos.
Baixa atividade microbiana	Adicionar resíduo orgânico doméstico ou esterco e misturar mais homoganeamente possível.

Tabela 5. Queda abrupta na leira de compostagem após curto período de aquecimento.

Causas	Controle
Leira formada sob temperatura excessivamente alta (temperatura > 78°C), causando a morte temporária de microorganismos	Revirar a leira de compostagem, corrigir a umidade e modificar a configuração geométrica da leira;
Material com excesso de umidade, muito compactado, sem porosidade	Seguir o ciclo correto de reviramento.
Ciclo de reviramento muito longo	

Tabela 6. Maus odores emitidos durante a compostagem.

Causas	Controle
Partículas muito grandes	Triturar o material durante o processo, não sendo possível, cobrir a leira com uma camada de 15 cm de adubo maturado, com umidade entorno de 50%, funcionando como filtro.
Volatilização da amônia (NH ₃), devido à alta temperatura e pH alcalino.	Revirar a leira e modificar a sua forma geométrica.
Anaerobiose devido a excesso de umidade	Triturar o material durante o processo, não sendo possível, cobrir a leira com uma camada de 15 cm de adubo maturado, com umidade entorno de 50%, funcionando como filtro. Impedir a entrada de umidade do processo cobrindo a leira até meia altura, sendo o processo manual de compostagem.

Tabela 7. Produção de chorume e aumento da umidade no processo de compostagem.

Causas	Controle
Excesso de umidade da massa de compostagem	Seguir o processo anterior, em caso de sistema convencional, também lavar a área afetada no pátio.
Prudução de chorume devido a excesso de umidade	Manter as leiras operando com umidade mínima (45%) e cobrir com composto maturado seco ou lona plástica até meia altura

Tabela 8. Atração de vetores para o processo de compostagem.

Causas	Controle
Composto orgânico em putrefação	Adicionar a leira uma camada de 15 cm de adubo maturado, com umidade entorno de 50%, funcionando como filtro. Pode-se impedir a entrada de umidade do processo cobrindo a leira até meia altura, sendo o processo manual de compostagem.
Anaerobiose no processo de compostagem devido a excesso de umidade ou falta de oxigenação	

Tabela 9. Alta contaminação de patógenos (>10² coliformes.g⁻¹) e/ou alta relação C/N (> 18) no composto.

Causas	Controle
Controle precário na fase termofílica do processo.	Continuar o processo de degradação caso ainda existam picos de temperaturas termofílicas no processo. Prolongar o período de maturação sendo que a temperatura esteja na fase mesofílica (< 45 °C), até que o composto maduro apresente uma relação C/N menor que 15 e concentração de patógenos menor que 10 ² col.g ⁻¹ .

3. REATOR AERÓBIO

O reator aeróbio de aeração forçada é um método de compostagem acelerada onde se simula condições ótimas de decomposição, através do controle de parâmetros tais como temperatura, umidade, taxa de aeração por massa de resíduos, etc, diminuindo assim o tempo de processo para a formação do material estabilizado (húmus).

Devido á homogeneidade do meio, inclusive com relação à temperatura, a compostagem em reatores também é tida como mais eficiente no controle dos patógenos. Outra característica desta alternativa é a maior facilidade para controlar odores, pois o sistema é fechado e a aeração controlada. (PROSAB, 1999 ; HOGGLAND, 2002).

O processo de compostagem em reator é mais dependente de equipamentos do que os sistemas de leiras revolvidas ou leiras estáticas aeradas, sendo que a sofisticação do sistema depende do fabricante do reator e a escala da quantidade de resíduo orgânico que irá tratar.

Segundo Prosab (1999), os reatores estão enquadrados em três grandes categorias: Reatores de fluxo vertical, reatores de fluxo horizontal e reatores de batelada. Os reatores de fluxo vertical e os reatores de fluxo horizontal recebem resíduos de forma contínua, em que o período de detenção é determinado pela velocidade em que os resíduos percorrem o trajeto da entrada até a saída do reator. No caso de reatores de bancada, recebem uma determinada quantidade de resíduos, processa-os, e quando a fase termofila chega ao seu final, o reator é aberto, descarregado em batelada, recomeçando-se o processo com novos resíduos frescos.

3.1 Reatores de fluxo vertical

São constituídos por sistemas parecidos com silos verticais onde os resíduos geralmente entram pela parte superior e percorrem o reator no sentido descendente. O ar pode ser injetado em vários níveis ou apenas na parte inferior do reator. O dimensionamento é feito de tal forma que quando o composto chega á parte inferior do reator, a fase termófila terminou. O composto então é descarregado e transportado ao pátio de maturação (PROSAB, 1999). O reator aeróbio de fluxo ascendente testado no presente trabalho é um reator de fluxo vertical, mas o sistema de alimentação é oposto dos sistemas mais comuns de reatores verticais, pois aos resíduos entram pela parte inferior e percorrem o reator no sentido crescente e o seu dimensionamento é feito para que o composto esteja humificado quando for

expelido pela parte superior do reator. Devido a problemas mecânico, para esta tese ele funcionou como reator de batelada.

3.2 Reatores de fluxo horizontal

Apresentam geralmente forma cilíndrica e são dispostos horizontalmente. Por estas características às vezes são conhecidos como túneis. Os resíduos entram por uma extremidade do reator e saem pela outra, com tempo de detenção suficiente para a realização da fase termófila. O ar é injetado sob pressão ao longo do trajeto.

3.3 Reatores de batelada

Difere dos anteriores pelo fato do composto ficar confinado no mesmo local, sem se deslocar. O reator geralmente é dotado de um sistema de agitação da massa de resíduos, que pode ser por rotação lenta do reator em torno de seu próprio eixo, ou por um sistema misturador interno. O revolvimento é necessário para limitar os caminhos preferenciais de passagem do ar, porem alguns modelos de reatores, por batelada, não são dotados deste dispositivo.

Na Tabela 10, são mencionadas as vantagens e desvantagens do sistema de compostagem em reatores, em comparação com outros sistemas de compostagem.

Tabela 10. Principais vantagens e desvantagens dos diferentes sistemas de compostagem.

Sistema	Vantagens	Desvantagens
Compostagem em reatores	Menor demanda de área; Melhor controle do processo de compostagem; Independência de agentes climáticos; Facilidade de controlar odores; Potencial para recuperação de energia térmica.	· Maior investimento inicial; · Dependência de sistemas mecânicos especializados; · Menor flexibilidade operacional para tratar volumes variáveis de resíduos; · Risco de erro difícil de ser reparado se o sistema for mal dimensionado ou com tecnologia inadequada.
Leiras estáticas Aeradas	Baixo investimento inicial; Melhor controle de odores; Fase de bioestabilização mais rápida que o sistema anterior; Possibilidade de controle da temperatura e da aeração; Melhor uso da área disponível que no sistema de leiras revolvidas.	Necessidade de bom dimensionamento do sistema de aeração e controle dos aeradores durante a compostagem; Operação também influenciada pelo clima;
Leiras revolvidas	Baixo investimento inicial; Flexibilidade de processar volumes variáveis de resíduos; Simplicidade de operação; Uso de equipamento simples; Produção de composto homogêneo e de boa qualidade; Possibilidade de rápida diminuição do teor de umidade das misturas devido ao revolvimento.	Maior necessidade de área, pois as leiras têm que ter pequenas dimensões e há necessidade de espaço livre entre elas; Problema de odor mais difícil de ser controlado, principalmente no momento do revolvimento; Em períodos de chuva o revolvimento não pode ser feito; O monitoramento da aeração deve ser mais cuidadoso para garantir a elevação da temperatura.

Fonte: Prosab, 1999, citado por Dalpian, 2004.

4. RESPIRAÇÃO COMO INDICADOR DO METABOLISMO AERÓBIO

O metabolismo microbiano aeróbio tanto em meio sólido (ex: composto de resíduos orgânicos), quanto em meio líquido (ex: tratamento biológico de efluentes com carga orgânica biodegradável) pode ser medido através da respiração, que, por sua vez, pode ser medida tanto pelo consumo de O₂ quanto pela produção de CO₂.

Entre os vários índices propostos na literatura, os testes respirométricos já são aceitos como o método mais sustentável, sendo considerado um método padronizado para a determinação da estabilidade biológica (BAFFI et al., 2007; ADANI et al., 2003; ADANI et al., 2001; SCAGLIA et al., 2000).

O Laboratório de Biorremediação e Fitotecnologias (LABIFI) do Depto de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente da UERJ realiza rotineiramente o monitoramento da respiração microbiana (respirometria) durante experimentos de biorremediação de solos contaminados por hidrocarbonetos de petróleo, que são de difícil biodegradação.

A respirometria é uma metodologia bastante adequada à quantificação da atividade biológica aeróbia, a qual determina a velocidade de respiração de certa quantidade de biomassa ativa. Por esta razão, a respirometria (determinação da taxa de produção de CO₂ e/ou da taxa de consumo de O₂) tem sido utilizada largamente na avaliação da atividade microbiológica e por isso, na estabilidade dos substratos em compostagem.

Atualmente são utilizadas diferentes técnicas respirométricas para avaliar a atividade microbiológica no composto através da determinação de índices de respiração (IR) (GÓMEZ e LIMA, 2006; TCHOBANOGLOUS e KREITH, 2002).

Respirômetros comerciais automatizados são caros. Estes podem funcionar através de processo eletrolítico (Ex: Saproimat) que mede o consumo de O₂ por uma amostra colocada em uma câmara, consumo este detectado através da queda da pressão, que leva à eletrólise de uma solução apropriada (ex: CuSO₄) para substituir o O₂ consumido. Tais equipamentos podem ser usados para amostras sólidas (ex. amostra de composto) ou suspensão aquosa, ou ambos. Outros equipamentos medem bolhas de O₂ puro em uma câmara com a amostra, enquanto outros circulam ar através da amostra e medem a mudança de volume em um sistema fechado, após a remoção do CO₂ (Micro-Oxymax, Columbus Instruments, um dos mais populares).

Segundo Haug (1993), os parâmetros físico-químicos e microbiológicos devem ser determinados em conjunto, pois um parâmetro por si só não confirma o grau de maturação do composto.

4.1 Indicação da metabolismo microbiano através da produção de CO₂

Os métodos baseados na produção de CO₂ são utilizados com frequência porque os equipamentos são de modo geral mais baratos e simples de ser utilizados (GÓMEZ e LIMA, 2006). A produção de CO₂ está diretamente relacionada com a respiração aeróbia (SILVEIRA, 1997). Entre os mais utilizados estão às células que medem CO₂, técnicas de calorimetria, cromatografia gasosa e respirométrica (GÓMEZ e LIMA, 2006). Para os métodos respirométricos baseados na medição da produção de CO₂ por microorganismos foram desenvolvidos aparelhos denominados respirômetros, que de acordo com Ros (1993) podem ser classificados como: **fechados** (manométricos, volumétricos ou combinados) ou **abertos** (semicontínuos ou contínuos).

Segundo (ADANI et al., 2001) a desvantagem principal dos métodos baseados na produção de CO₂ é não fazerem a distinção entre o CO₂ aeróbio e anaeróbio. Gómez e Lima (2006) por sua vez consideram que se o ensaio for efetuado com o controle das condições aeróbias, ou seja não permitindo condições de anaerobiose, todo o CO₂ será produzido através da respiração microbiana.

Um dos métodos utilizados para a determinação da produção de CO₂ é o respirométrico de Bartha. O procedimento é padronizado pela norma brasileira NBR 14283 (ABNT, 1999) e é comumente aplicada no Brasil para determinar a respiração microbiana e indiretamente, a biodegradação de poluentes e resíduos no solo. O método faz uso de um respirômetro do tipo aberto e semicontínuo sendo que a NBR 14283 é uma adaptação de uma norma holandesa, sendo um método simples e economicamente viável para determinar a atividade microbiológica pela geração de gás carbônico (CO₂).

4.2 Indicação da metabolismo microbiano através do consumo de O₂

Os testes respirométricos baseados no consumo de O₂ estão entre os métodos mais comuns para determinar a biodegradabilidade nos sistemas aeróbios. O objetivo destes testes é medir o consumo de oxigênio de modo a garantir as condições que evitem a limitação da taxa de respiração devida á falta de nutrientes, oxigênio, umidade, pH, ou inoculação por microrganismos inadequados (BUCKLEY, 2001).

Os métodos respirométricos baseados no consumo de O₂ são classificados de duas formas: **dinâmico** e **estático** (ADANI *et al.* 2001; GÓMEZ *et al.* 2005). No método dinâmico ocorre aeração de forma intermitente ao longo do teste que utiliza uma quantidade de amostra menor. Já no método estático, a aeração é interrompida durante o teste e a quantidade de amostra utilizada é maior (ADANI *et al.* 2001; GÓMEZ *et al.* 2005).

O teste respirométrico SOUR (*specific oxygen uptake rate*), é relativamente simples e amplamente aplicável, que visa determinar a estabilidade do composto e permite obter indicações sobre a caracterização da biomassa e a atividade dos organismos (LASARIDI E STENTIFORD 1998; SCAGLIA *et al.* 2007; JAHNEL *et al.* 1999; GÓMEZ *et al.* 2005). O teste de SOUR (*specific oxygen uptake rate*) começou a ser estudado na Itália por Lasaridi e Stentiford (1998) e atualmente é bem utilizado por ser de fácil EXECUÇÃO (SCAGLIA *et al.* 2007; GÓMEZ *et al.* 2006; ADANI *et al.* 2001, 2003).

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo geral

O presente projeto teve como objetivo testar um reator aeróbio de aeração forçada e de fluxo ascendente originalmente desenvolvido pelas Universidades de Lund e Universidade de Kalmar, Suécia doado à UERJ pela segunda e sugerir aperfeiçoamentos, particularmente no sistema de trituração para o tratamento de resíduos sólidos domiciliares em pequena escala (atendimento de no máximo 100 famílias) nas condições brasileiras. Ao mesmo tempo o projeto objetivou avaliar a aplicabilidade de testes de respirometria como indicadores do grau de maturação do composto gerado e testar um sistema piloto que simulasse os processos do reator aeróbio em estudo.

5.2 Objetivos específicos

- Descrever e estudar o reator aeróbio de fluxo ascendente em fase de aprimoramento, doado pela Universidade de Kalmar, Suécia;
- Testar o reator sob condições do verão sueco, alimentando-o com resíduos de restaurantes de uma pequena e típica cidade sueca costeira (Kalmar);
- Testar o reator sob condições brasileiras, alimentando-o com resíduos de cozinha de uma escola municipal localizada em Abraão - Ilha Grande;
- Propor modificações operacionais e mecânicas necessárias para otimização da degradação da matéria orgânica pelo reator estudado;
- Avaliar a qualidade e o grau de maturação de diferentes compostos através de dois métodos: (a) o método respirométrico Specific Oxygen Uptake Rate (SOUR) baseado na quantificação do consumo de O₂ pela atividade microbiana aeróbia em composto produzido a partir da fração orgânica do lixo; (b) o método respirométrico NBR 14283 que utiliza o respirômetro de Bartha, baseado na quantificação de CO₂ produzido pela atividade microbiana aeróbia em composto produzido a partir da fração orgânica do lixo.

6. MATERIAL & MÉTODOS

O presente capítulo descreve os materiais e abordagem metodológica das seguintes etapas da investigação:

- 6.1 Descrição do reator aeróbio de fluxo ascendente utilizado no presente estudo;
- 6.2 Descrição do experimento de compostagem conduzido em Kalmar, Suécia;
- 6.3 Descrição do experimento de compostagem conduzido na Ilha Grande;
- 6.4 Diagnóstico eletro-mecânico do reator e recomendações;
 - 6.4.1 *Verificação do funcionamento atual do reator baseado em testes;*
 - 6.4.2 *Detecção de eventuais erros de projeto do sistema de trituração;*
 - 6.4.3 *Identificação de eventuais falhas na transmissão de potência;*
 - 6.4.4 *Detecção de eventuais erros de projeto do sistema de aeração;*
 - 6.4.5 *Proposição de soluções de ajuste, re-projeto e aperfeiçoamento das partes;*
- 6.5 Métodos respirométricos testados.

6.1 Descrição do reator aeróbio de fluxo ascendente utilizado

O reator aeróbio (aeração forçada) de fluxo ascendente desenvolvido por uma equipe de pesquisadores suecos que mantém acordo de cooperação internacional com a UERJ foi testado na Suécia e posteriormente transportado para a Ilha Grande, Angra dos Reis, RJ. O reator que tem por objetivo, a compostagem da fração orgânica dos resíduos sólidos domiciliares com a capacidade potencial de atendimento de aproximadamente 100 famílias e pode produzir aproximadamente 500 kg de composto por semana. Tal reator, ainda em fase de aperfeiçoamento, é constituído de um corpo em formato cilíndrico, construído em aço inoxidável, tem um diâmetro de 96 cm, altura de 185 cm e capacidade para 830 L e apresenta um revestimento de polietileno para isolamento térmico. O reator possui uma câmara de alimentação e um triturador com capacidade de 12 L cuja função é facilitar demais etapas e um sistema de aeração forçada ascendente. Os resíduos orgânicos são introduzidos pela câmara de alimentação e descarregado a partir de um tubo de saída localizado na parte superior do reator (Figura 1). Possui ainda um sistema de “mixer” interno que revolve o composto por 2 minutos a cada intervalo de 10 minutos. Segundo testes anteriores realizados pelo grupo de pesquisa na Suécia, tal reator teria o potencial de produzir composto maduro num período de 28-30 dias, caso as condições ideais fossem mantidas, tais como faixa ideal de: pH, umidade, taxa de aeração, além do uso de material estruturante adequado para

garantir a boa distribuição do ar na massa em processo de compostagem (MUNIZ, 2008; MARQUES; HOGLAND, 2002; HORISAWA et al, 2001).

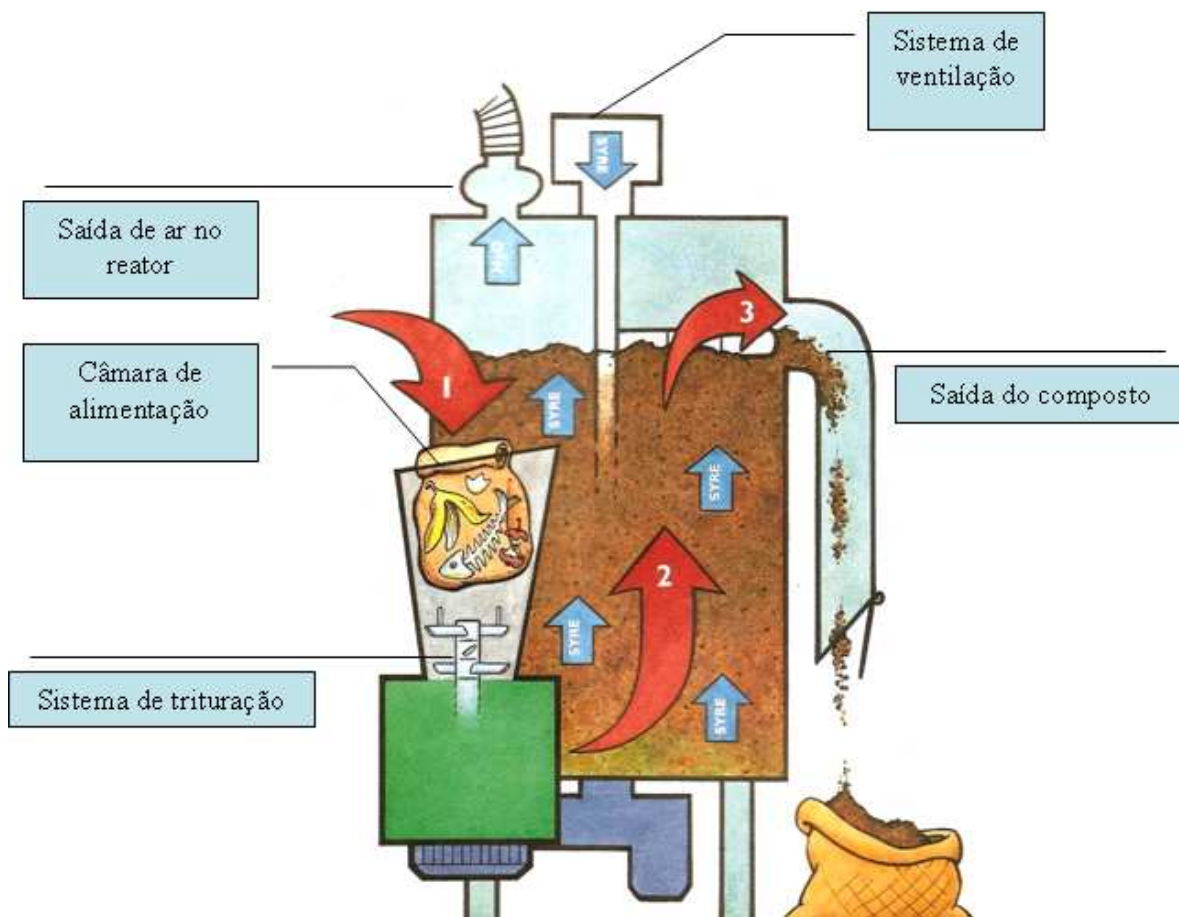


Figura 1. Processo que ocorre no interior do reator. 1: Entrada de alimentos no triturador; 2. Entrada de alimento triturado no compostador e início da compostagem; 3. Saída do composto já transformado em adubo (fim do processo de compostagem).

Material particulado tal como pó de serra (função estruturante) com alto teor de carbono orgânico deve ser adicionado. Em alguns casos, dependendo da composição do lixo a ser processados (o que deve ser definido durante os estudos), sacos de papel de fácil biodegradação utilizados para acondicionamento e transporte dos resíduos pode ser fonte de carbono suficiente. Quando a boca de alimentação é fechada, o processo de homogeneização (4 kW) é iniciado automaticamente promovendo trituração do material em particulados mais finos. O material vai para o fundo do vaso cilíndrico de compostagem. Após um tempo a ser determinado e ajustado às condições brasileiras e composição de lixo local, o triturador para e mais material pode ser adicionado via boca de alimentação.

O material no vazo de compostagem é tratado com um mixer operado em intervalos a serem definidos nas condições brasileiras. Com o objetivo de suprir o material com oxigênio e reduzir umidade geralmente muito alta nesse tipo de resíduo, o sistema é continuamente suprido com ar a partir do fundo do vazo. O ar atravessa a massa em compostagem e é ativamente extraído com um exaustor. Uma característica interessante do sistema é que o próprio composto produzido age como filtro biológico e reduz o odor desagradável gerado por emissões gasosas. Composto processado e maduro é continuamente descarregado de uma saída no alto do reator (Figura 1). Facas situadas na unidade de mistura criam canais na massa de composto, resultando assim em bom suprimento de oxigênio para todo o material em processamento, otimizando a degradação biológica aeróbia e tornando o processo de compostagem mais efetivo. Tal fenômeno também resulta em uma distribuição mais homogênea de umidade na massa (MUNIZ et al, 2009). Um equipamento para medir temperatura será instalado em quatro níveis distintos no compartimento de compostagem.

A alimentação do sistema dar-se-á de forma contínua e não por batelada e espera-se que o tempo médio requerido para fechar o ciclo completo de compostagem varie entre 3 a 4 semanas. O ciclo completo (Figura 1) inclui do momento da primeira alimentação, enchimento completo do sistema, início da expulsão do composto até a expulsão de volume equivalente ao processamento do volume total do reator. O tempo exato requerido para completar um ciclo de compostagem é um dos aspectos a ser investigado.

6.2 Descrição do experimento de compostagem com o reator em Kalmar, Suécia

O objetivo deste estudo foi avaliar a tratabilidade dos resíduos orgânicos provenientes de três restaurantes de pequeno porte, localizados em uma pequena cidade sueca litorânea com alto percentual de resíduos de gordura de frituras e frutas cítricas durante o verão europeu. Ao mesmo tempo, objetivou-se testar o funcionamento de um reator aeróbio de aeração forçada e fluxo ascendente para tratar resíduos de cozinha de restaurantes em pequena escala.

O experimento foi realizado durante o verão sueco de 2008, para reproduzir condições mais próximas o possível das condições brasileiras, durante um período de 20 dias, com o reator sendo abastecido com resíduos orgânicos proveniente de três pequenos restaurantes denominados R1, R2 e R3, localizados nas proximidades de um cais com perfil e infra-

estrutura voltados para turismo náutico em uma cidade onde a separação na fonte em diferentes frações faz parte das práticas urbanas.

A fração orgânica foi caracterizada durante a primeira semana do experimento (Tabela 1). Da alimentação diária (25 kg peso úmido) de lixo, retiravam-se componentes não biodegradáveis eventualmente encontrados, e decorrentes de falhas no sistema de separação na fonte tais como plásticos, metais, vidros, resultantes de falhas no sistema de separação na fonte (Figura 2). A fração orgânica era diariamente acrescida de 10% de pó de serra (material estruturante). Composto obtido a partir de esterco de cavalo (nos primeiros 4 dias de alimentação do reator) e composto obtido a partir de resíduos de poda de jardim (nos 3 dias subsequentes) foi adicionado durante os primeiros 7 dias, representando 10% do total de peso úmido de lixo diário com percentuais decrescentes até atingir 5% do total de peso úmido no 7º dia de operação do reator.



Figura 2. Separação dos componentes não biodegradáveis do lixo fornecido pelos restaurantes na cidade de Kalmar, Suécia (Foto: M. Marques, 2008).

O monitoramento da temperatura ambiente e do composto em diferentes alturas no interior do reator foi realizado no campo utilizando um termômetro de modelo utilizado para solos. A amostragem para determinações em laboratório seguiu os procedimentos especificados pela NBR 10.007. As determinações de umidade da massa em compostagem foram feitas através de amostras diárias e secagem em estufa a 65°C até atingir peso constante (adaptado de EMBRAPA, 1997) e metodologia descrita por Kiehl (1985). O pH em água e CaCl₂ da amostra seca na proporção 1:5 como tempo de repouso de 30 minutos com agitação ocasional, foi determinado segundo método adaptado de EMBRAPA (1997) e metodologia descrita por Kiehl (1985). Os sólidos totais e voláteis foram determinados segundo a

metodologia descrita em ALPHA (2002). O teor de material volátil possibilitou calcular de forma indireta a porcentagem de carbono (Maragno *et al*; 2007 e Kiehl, 1985), segundo a fórmula:

$$C \text{ (mg g}^{-1}\text{)} = \frac{\text{teor de sólidos voláteis (mg g}^{-1}\text{)}}{1,8} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

C= Carbono orgânico total contido na amostra, em mg g⁻¹

6.3 Descrição do experimento de compostagem na Ilha Grande

Mesmo com os problemas eletromecânicos apresentados durante os testes na Suécia, o reator de compostagem foi instalado na Escola Municipal Brigadeiro Nóbrega localizada na Vila de Abraão, Ilha Grande, RJ (Figuras 3 e 4) entre os meses de março e abril de 2009 para um teste de compostagem com o objetivo de observar o desempenho do mesmo em condições brasileiras e sob tais condições, o reator era capaz de processar a fração orgânica do resíduo domiciliar proveniente do refeitório (Figura 3), em curto espaço de tempo, caracterizando compostagem acelerada pelo sistema.



Figura 3. Foto do reator instalado na Escola Municipal Brigadeiro Nóbrega, localizada na Vila de Abraão, Ilha Grande, RJ (Foto: Rodrigo S. Muniz, 2009).



Figura 4. Refeitório da Escola Municipal Brigadeiro Nóbrega com capacidade para 400 refeições diárias (Foto: Rodrigo S. Muniz, 2009).

Decidiu-se que as recomendações de aperfeiçoamento do sistema dar-se-iam após essa avaliação inicial. Foram colocados no interior do reator 40 Kg de resíduos orgânicos gerados no refeitório da escola além de 20 % da massa de resíduos em material estruturante, 20 % de material inoculante (composto estabilizado da Comlurb obtido de uma leira com aproximadamente 6 meses). Tal teste caracterizou-se por regime de batelada e não alimentação continua como previsto no funcionamento rotineiro, já que o objetivo era monitorar o processo de compostagem em um curto espaço de tempo, evitando os problemas eletromecânicos. Ou seja, os resíduos, material estruturante e inóculo foram deixados no interior do reator, com revolvimentos mecânicos e aeração forçada automatizados para trabalhar por um período de 8 horas diárias durante 28 dias consecutivos.

Antes de serem introduzidos no reator de fluxo aeróbico ascendente, os resíduos orgânicos de cozinha (Figura 5) passavam por um processo de triagem manual, para retirada de eventuais recicláveis provenientes de falhas do sistema de separação na fonte geradora, e por uma trituração mecânica. É necessário certificar-se da procedência e provável composição do resíduo, tendo em vista os riscos envolvidos em sua manipulação, de acordo com a NBR 10004 (ABNT, 1999) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).



Figura 5. Resíduo orgânico da cozinha após a triagem manual (Foto: R. S. Muniz, 2009).

O material estruturante utilizado foi formado por restos de poda triturados (Figura 6) com um triturador da marca TRAPP modelo TR 200 (Figura 7), sendo estes restos oriundos da própria Ilha Grande-RJ como produto de podas das árvores nativas. Este material triturado foi misturado com o resíduo processado no interior do reator, facilitando a distribuição do oxigênio e melhorando a capacidade de retenção de umidade na massa de compostagem (Marques, 2002). Este material estruturante passava numa peneira com malha de 5 mm de abertura, para a retirada de galhos de tamanho grosseiros.



Figura 6. Restos de poda
(Foto: Rodrigo S. Muniz, 2009).



Figura 7. Triturador TRAPP TR 200
(Foto: Rodrigo S. Muniz, 2009).

Foram coletadas amostras compostas para avaliação da qualidade do composto:

- ✓ amostra inicial - antes do início do processo de compostagem (resíduos recém-gerados pelo refeitório, triturados e levados para laboratório);
- ✓ amostra intermediária - 15 dias e;
- ✓ amostra final - 28 dias.

Foram analisados os seguintes parâmetros físicos e químicos: pH, umidade, Carbono Orgânico Total (COT) e Matéria Orgânica Total (MOT) baseado na mesma metodologia descrita no experimento realizado da Suécia. As análises foram realizadas no Laboratório de Fitorremediação e Biorremediação (LABIFI) da UERJ.

Além disso, para efeito de comparação com composto a partir de resíduos sólidos produzido por outras tecnologias, foi feita a caracterização físico-química do composto final, segundo metodologias utilizadas rotineiramente no Laboratório de Físico-Química da Gerência de Pesquisas Aplicadas da Companhia Municipal de Limpeza Urbana do Município do Rio de Janeiro (Comlurb). Tais procedimentos analíticos totalizaram 22 parâmetros de caracterização física e química do composto. As metodologias de análise, tanto de monitoramento como da qualidade do composto final foram as descritas por Kielh (1985), Instrução Normativa Nº 28 (2007) e APHA (1998). As caracterizações microbiológicas foram feitas no laboratório de microbiologia da Comlurb. Os procedimentos das análises microbiológicas foram baseados nas metodologias preconizadas por Environmental Protection Agency – EPA, American Public Health Association-APHA e pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental -CETESB. As densidades de Coliformes Totais, *E. coli* e Enterococos foram expressas em números mais prováveis por 100 mL de amostra (NMP/100mL) e determinadas pela Técnica dos Tubos Múltiplos. As ocorrências de *Staphylococcus aureus* e de *Salmonella* e outras enterobactérias foram registradas como presença ou ausência. A identificação das espécies bacterianas foi obtida a partir dos resultados fornecidos pelos testes bioquímicos e sorológicos de acordo com o Manual do Bergey (2003) para sistemática bacteriana foram feitas

6.4 Diagnóstico dos problemas eletromecânicos do reator

Durante procedimentos e operação do reator experimental na University of Kalmar, Suécia em Julho-Agosto 2008 identificou-se alguns problemas eletromecânicos que demandariam investigação e aperfeiçoamento, uma vez que o reator iniciasse sua operação no Brasil. Tais problemas já eram do conhecimento da coordenadora que também participou do projeto original na Suécia, por ocasião do pedido de recursos à FAPERJ, sendo que parte dos objetivos eram justamente o aperfeiçoamento do sistema e até mesmo, depósito de um pedido de patente, se fosse o caso.

O presente trabalho foi concentrado principalmente no sistema de trituração (Figura 8), pelo fato do mesmo interferir de forma relevante no funcionamento do reator. Os testes foram feitos com o auxílio de 3 alunos de graduação em Eng. Mecânica da UERJ para avaliação do funcionamento durante a alimentação do reator testado na Ilha.

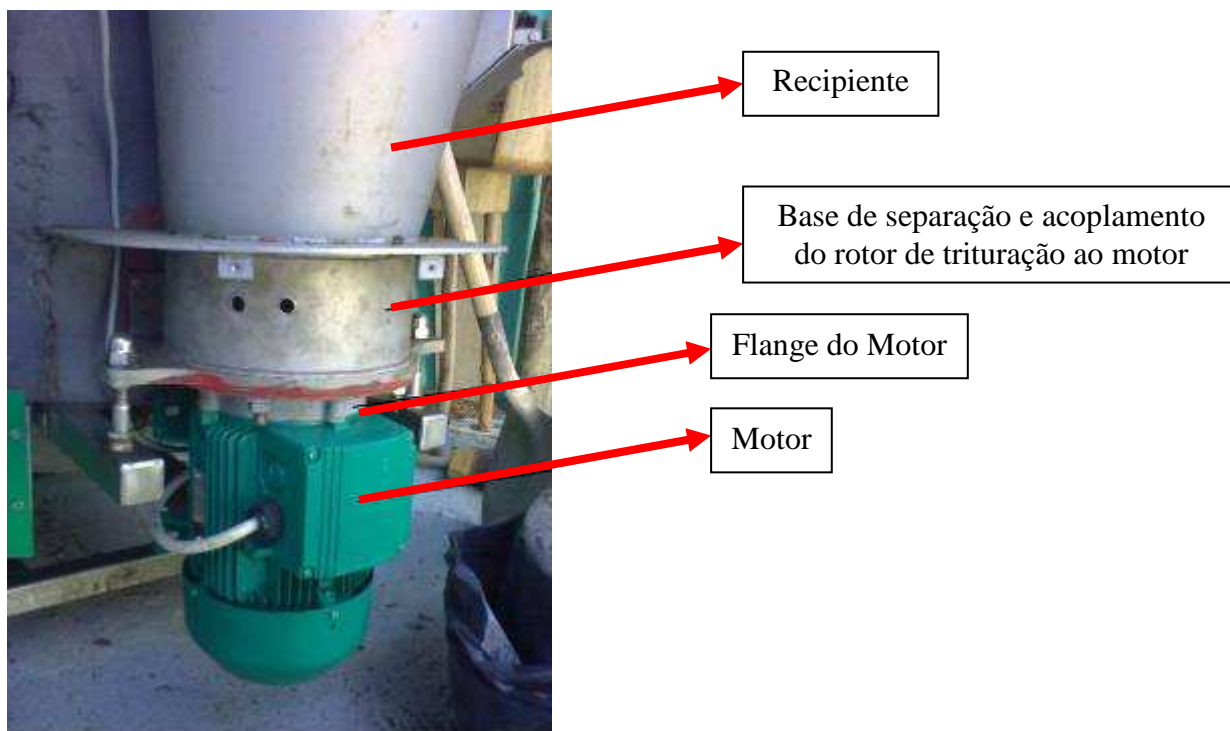


Figura 8. Sistema de trituração de lixo orgânico: componentes externos (Foto: R.S. Muniz, 2009).

6.4.1 Teste de nível do terreno

O nível do terreno assim do sistema de trituração do próprio corpo do bio-reator foi verificado com o auxílio de um nível eletrônico.

6.4.2 Testes elétricos

Foi realizada a medição da voltagem de entrada do painel de relés com a finalidade de eliminar a possibilidade de existência de problemas elétricos que provocariam os mesmos sintomas de mau funcionamento na máquina. A medição foi realizada com um multímetro, onde foram tomadas as medidas de três fios (dois a dois) e foi constatada a voltagem de 380 V, sem queda de tensão na partida do motor.

6.4.3 Planificação do solo e instalação sob o piso

Realizado através de uma curva de nível eletrônica.

6.4.4 Testes de desempenho do sistema de trituração

O sistema de trituração foi testado nas seguintes condições:

- (a) Com o triturador vazio (o equipamento foi posto em funcionamento, apenas com a carga do eixo, da voluta e das hélices);
- (b) Com 200g de composto orgânico bioestabilizado;
- (c) Com 400g de composto orgânico bioestabilizado.

6.4.5 Análise das partes do sistema de trituração

Após os primeiros testes e o conseqüente travamento do rotor do sistema de trituração, tornou-se necessária a desmontagem do mesmo. A análise das peças do sistema proporcionou uma melhor avaliação do problema de travamento do sistema. A questão nesse momento foi determinar se os formatos do rotor (Figura 9) e das hélices (Figura 10) interferem no funcionamento do sistema.



Figura 9. Rotor de alimentação do reator (Foto: R. S. Muniz, 2009).



Figura 10. Hélice típica do sistema de trituração (Foto: R. S. Muniz, 2009).

6.4.6 Análise do sistema de ventilação

O sistema de ventilação, foi realizado através de um anemômetro digital (Figura 11).



Figura 11. Ventoinha localizada na parte superior do reator (Foto: R. S. Muniz, 2009).

6.5 Métodos respirométricos

Foram aplicados dois métodos respirométricos para avaliar grau de maturação de um composto, sendo um método baseado no consumo de O_2 (Specific Oxygen Uptake Rate SOUR), segundo Lasaridi & Stentiford (1998), e o outro, baseado na produção de CO_2 utilizando respirômetro de Bartha, conforme descrito na norma técnica NBR 14283 (ABNT, 1999). O composto gerado a partir do resíduo orgânico no reator experimental aeróbio de fluxo ascendente, após 28 dias de processamento, foi comparado à matéria orgânica fresca gerada pela cozinha da escola que alimenta o reator testado e ao composto maduro produzido pela Comlurb em leiras convencionais de compostagem com a idade de 4 meses. Dessa forma, pretendeu-se verificar a aplicabilidade de ambos os métodos respirométricos como indicadores do grau de maturação do composto.

6.5.1 Método Respirométrico Specific Oxygen Uptake Rate SOUR (Lasaridi & Stentiford, 1998)

No respirometria baseado no método de *SOUR* (*specific oxygen uptake rate*) descrito em Lasaridi & Stentiford (1998), o consumo de oxigênio pela atividade microbiana é medido em uma amostra de 8g de composto, diluída em 500 mL de água destilada em um erlenmeyer de 1 L. Uma solução tampão de 15 mL de fosfato (feita sem o uso de NH_4Cl para evitar a nitrificação e o conseqüente consumo de O_2 pela reação) e uma solução de nutrientes formada

de CaCl_2 , FeCl_3 e MgSO_4 (5mL cada) foram preparadas, segundo o Standard Method para análise de DQO (APHA, 1992; LASARIDI & STENTIFORD, 1998) e adicionadas à amostra. O experimento foi realizado com duas sub-amostras de uma mesma amostra composta. As amostras analisadas foram a amostra inicial, amostra de 14 dias de compostagem e amostra de 28 dias retiradas do reator em operação na Ilha Grande e uma amostra obtida de uma leira convencional de compostagem para o tratamento da fração orgânica de lixo domiciliar, com a idade de 4 meses (e, portanto, composto maduro), fornecida pela Comlurb.

O sistema proposto pelo método (Figura 12) inclui banho para manutenção de temperatura em $30\text{ }^\circ\text{C}$ com agitação, bombas de aeração para o controle e o teste, sensores de oxigênio dissolvido-OD, datalogger e interface para registro das leituras.



(a)



(b)

Figura 12. (a) Vista do topo do banho Maria com agitação orbital; (b) oxímetro digital com timer.

Um aparelho de banho Maria a $30\text{ }^\circ\text{C}$ com agitação orbital constante foi utilizado no LABIFI-ERJ para manter suspensas as partículas sedimentáveis, aumentando assim o contato entre a matéria orgânica e os microorganismos e melhorando a eficiência do processo (Figura 13).

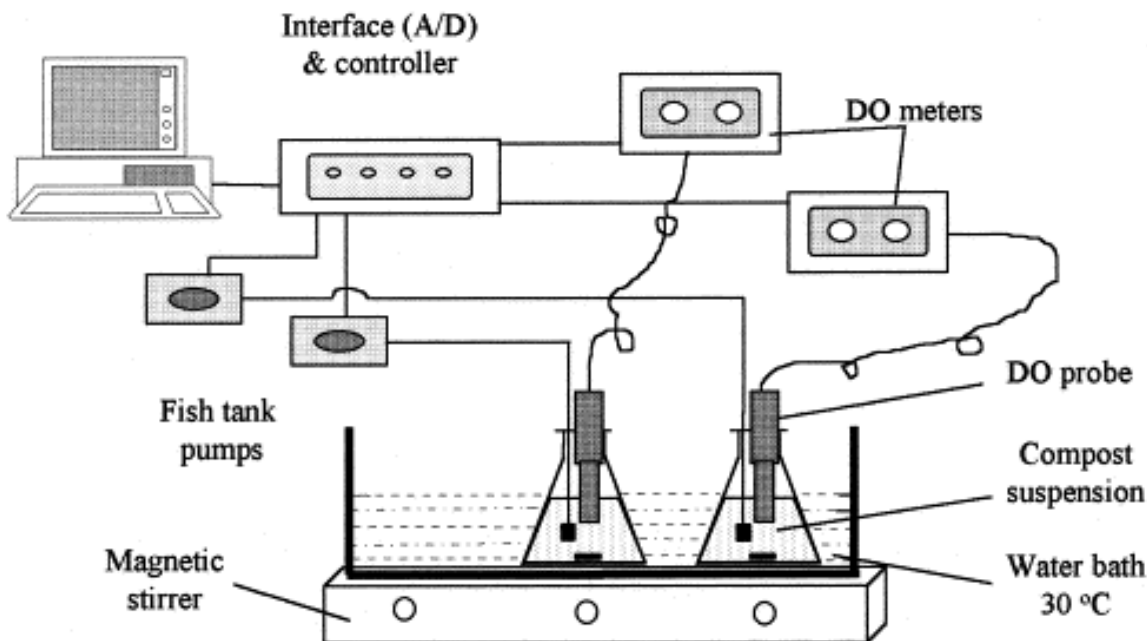


Figura 13. Sistema para respirometria SOUR. Fonte: Lasaridi e Stentiford (1998).

Tal temperatura é escolhida, apesar de estar abaixo da temperatura ótima de atividade bacteriana, tendo em vista o fato de que em temperaturas superiores, a leitura do OD pelo eletrodo pode sofrer interferência (Lasaridi & Stentiford, 1998).

Em outro estudo (GÓMEZ *et al.*, 2006) que ignorou tal efeito, é relatado o uso de temperaturas na faixa de 30 a 37°C. A aeração foi feita através de uma bomba de aquário e um difusor (pedra porosa), para melhor distribuição do oxigênio e redução do tamanho das bolhas, mantendo uma eficiente taxa de oxigenação. Essa aeração foi ajustada para fornecer oxigênio de forma intermitente: a cada período de 20 minutos com aeração, seguia-se um intervalo de 15 minutos sem aeração, durante o qual ocorria a medição do OD. A medição foi feita com auxílio de um oxímetro digital a uma profundidade entre 5 e 7 cm e os valores foram registrados manualmente (sem datalogger) a cada 10 segundos, perfazendo um total de 91 medições a cada intervalo sem aeração. Os testes duram em torno de 20 horas e meia e exigem a participação de equipe com revezamento.

Os dados obtidos foram analisados em planilha Excel e, a partir destes, foram plotados os gráficos de regressão linear (OD x Tempo), calculado o R^2 , medindo quanto da variabilidade em Y que é explicada por X, sendo esta, uma função direta da correlação entre as variáveis OD e tempo. O *SOUR* representa a taxa máxima de consumo de oxigênio, e foi calculada de acordo com a equação (1) (Lasaridi & Stentiford, 1998):

$$SOUR = \frac{60 \cdot ISl_{max} \cdot V}{m \cdot TS \cdot VS}$$

Equação (1)

Onde:

$SOUR$ = taxa máxima de consumo de oxigênio ($\text{mg O}_2 \text{ g}^{-1} \text{ VS h}^{-1}$);

60 = conversor de min para h;

ISl_{max} = máxima inclinação absoluta de consumo de oxigênio ($\text{mg O}_2 \text{ L}^{-1} \text{ min}^{-1}$);

V = volume de suspensão (L);

m = massa da amostra analisada (g);

TS = fração de sólidos totais (de 0 a 1,0);

VS = fração de sólidos voláteis (Apha, 2002).

6.5.2 Método respirométrico segundo a NBR 14283 da ABNT (respirômetro de Bartha)

Material: A respirometria conduzida com o respirômetro de Bartha (Figura 14) consiste em quantificar a atividade metabólica microbiana, através da quantificação de gás carbônico (CO_2) produzido pelos microorganismos e é padronizado pela a norma brasileira NBR 14283 (ABNT, 1999).

O respirômetro de Bartha é um sistema fechado constituído por duas câmaras de vidro interligadas, sendo que em uma ocorre a biodegradação dos compostos orgânicos pelos microorganismos, produzindo CO_2 , que é transferido passivamente e dissolvido em uma solução de hidróxido de potássio contida na segunda câmara. A quantificação do gás produzido é feita regularmente (a princípio, a cada 24 h) através da titulação de neutralização.

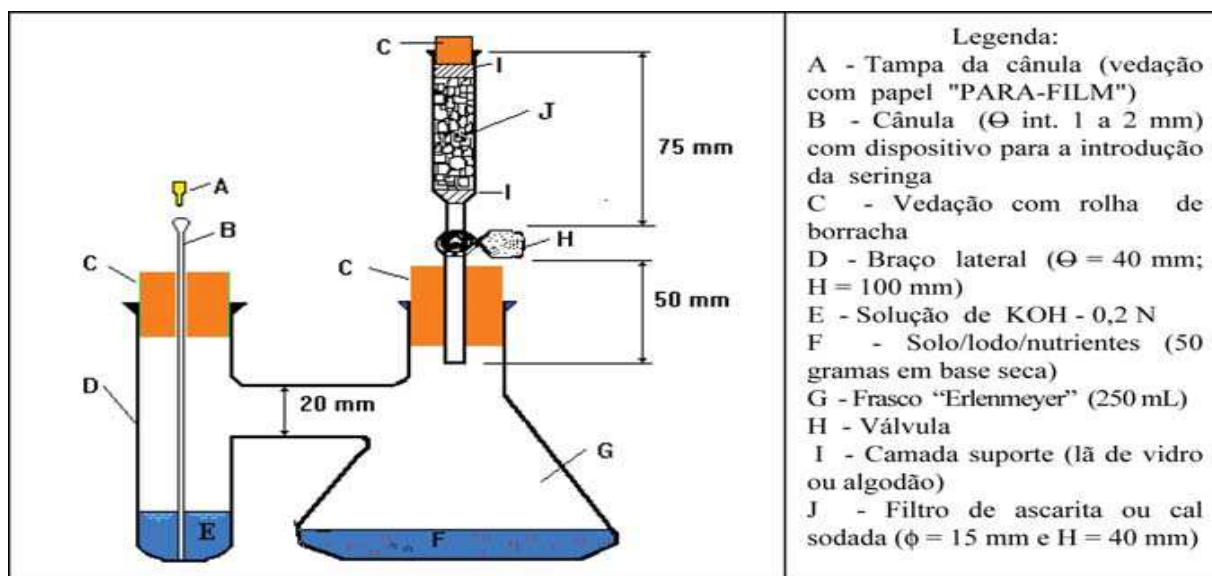


Figura 14. Ilustração do aparelho respirométrico de Bartha utilizado no experimento.

Fonte: ABNT (1999).

Procedimentos

Ensaio para averiguar a estanqueidade do respirômetro: Para investigar se poderia haver algum tipo de infiltração de gás carbônico no sistema, um respirômetro é montado somente com a solução de hidróxido de potássio no braço direito, sem a amostra de composto. As titulações foram efetuadas freqüentemente e em todas elas não foi detectado gás carbônico. Os resultados mostraram que o sistema de vedação utilizado nos respirômetros era eficiente.

Ensaio de respirometria: Nos ensaios realizados no LABIFI, a amostras do composto de 28 dias e o composto da Comlurb, foram primeiramente, peneirados numa malha de 2,0 mm de abertura para retirada de possíveis materiais grosseiros e deixar os compostos mais homogêneos possíveis, com a mesma granulometria, para posterior comparação de resultados. Devido ao experimento ter sido conduzido com composto e não com solo contaminado, como originalmente previsto na NBR 14283, e em conseqüência a grande quantidade de biomassa biodegradável, verificou-se uma alta atividade microbiana saturando de CO_2 a solução de hidróxido de potássio antes do prazo para titulação, impossibilitando desta forma a quantificação real de CO_2 liberado pela degradação da matéria orgânica.

Em função disso, fez-se um pré-ensaio com quantidades decrescentes de matéria orgânica, com 3 repetições para definir a quantidade ideal de matéria orgânica que permitiria

quantificar CO₂ emitido com intervalos razoáveis antes da titulação. Este teste durou 3 dias consecutivos, com titulações a cada 24 h. Após esse teste, foi escolhida a alíquota de 8 g de composto, para a utilização nos ensaios de respirometria com amostras de composto (diferentemente das 50g preconizadas na NBR 14283). O controle dos ensaios respirométricos, foi feito com o composto de 28 dias do reator e de 4 meses da Comlurb, esterilizados em autoclave por 30 minutos a 121° C em seis esterilizações consecutivas. A cada esterilização, as amostras controle eram resfriadas a temperatura ambiente. Tal procedimento tinha como finalidade permitir a eclosão de possíveis esporulados que poderiam resistir à esterilização e que seriam eliminados na esterilização seguinte. O conteúdo foi homogeneizado com o auxílio de uma espátula e vedado cuidadosamente, para impedir a entrada de gás carbônico. Monitorou-se a geração de CO₂ até a estabilização da atividade microbiana aeróbia, que durou 28 dias.

Notou-se que as relações C/N e C/P das amostras tanto de 28 dias do reator como de 4 meses da Comlurb estavam abaixo do estipulado pela NBR 14283, não havendo, portanto, necessidade de balanceamento de nutrientes.

Ajuste dos nutrientes: Segundo a NBR 14283, com base do conteúdo de carbono, devem-se adicionar sais de nitrogênio e fósforo, de modo a atingir as seguintes relações: C/N = 60 e C/P = 300. É fundamental a utilização de reagentes que não interfiram no pH e nos equilíbrios de CO₂, bicarbonatos e carbonatos.

Tabela 11. Relação C/N e C/P dos diferentes amostras no respirômetro de Bartha.

Relação carbono: nutriente	NBR 14283 Recomendado	Amostra reator 28 dias	Amostra 4 meses Comlurb
C/N	60	28,35	14 *
C/P	300	17,41	10,28 *

Fonte: * De Azevedo, 2000.

Ajuste do pH: Não houve a necessidade de correção de pH devido pH básico das amostras Amostra 28 dias (pH = 8,5) e amostra 4 meses Comlurb (pH = 7,92).

Ajuste da umidade do composto: A partir da umidade residual e do conteúdo da água do resíduo, foi determinada a quantidade de água necessária para que cada respirômetro operasse dentro de uma faixa de umidade entre 50% a 70% da capacidade de campo. . No experimento em questão, a amostra de 28 dias do reator apresentava 32,50 % de umidade e a amostra de 4 meses da Comlurb apresentava 56% de umidade. Segundo a legislação vigente (Instrução Normativa N° 23) para compostos orgânicos, a umidade do composto deve ser no máximo de 50 %, razão pela qual não foi feito ajuste de umidade.

Montagem dos respirômetros de Bartha: Foram montado um total de 12 respirômetros de Bartha formados por amostras de 28 dias do reator e de 4 meses da Comlurb, com os seus respectivos controles, cada uma com 3 repetições (A, B, C); As seguintes adaptações foram feitas na NBR 14283 (ABNT, 1999) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT):

- ✓ As amostras - por serem ricas em matéria orgânica biodegradável - tiveram suas quantidades reduzidas de 50 g para 8 g, ou seja, a mesma quantidade utilizada no teste respirométrico de SOUR que também foi a concentração que em três titulações seguidas (com intervalos de 24 h), não apresentou saturação;
- ✓ Em cada respirômetro na parte superior foi preenchida com ascarita, mantendo a válvula de ventilação fechada. Foram adicionados 10 ml de solução de KOH (0,2M) ao braço lateral e fechou-se a respectiva rolha com a seringa de adição;
- ✓ Os respirômetros foram incubados a $28^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$, com fotoperíodo de 24 h, até a parada total de produção de CO_2 em três determinações consecutivas ou, pelo menos, por 15 dias. No caso o experimento teve duração de 28 dias consecutivos.

Determinação da quantidade de CO_2 produzido em um ensaio respirométrico: A medição da produção de CO_2 foi realizada através da titulação da solução de hidróxido de potássio KOH (0,2M), onde o CO_2 estava dissolvido, utilizando para tanto, uma solução de ácido clorídrico HCl (0,1M).

Para a titulação, foram adicionadas 2 gotas de fenolftaleína e 1 mL de solução de cloreto de bário BaCl_2 (0,05 M) em Erlenmeyer. A solução de KOH contendo CO_2 era retirada do braço lateral do respirômetro de Bartha com uma seringa de 10 mL. Para isto, a rolha de borracha do filtro de cal soldada era removida e a válvula para entrada de oxigênio no respirômetro, aberta. A solução de KOH era introduzida no Erlenmeyer contendo a

fenolftaleína e a solução de cloreto de bário. Eoram realizadas três lavagens do braço lateral do respirômetro com 10 mL de água destilada isenta de CO₂. Imediatamente após tais lavagens, era feita a titulação da solução de KOH com a de HCl. A quantidade de ácido necessária para a viragem da coloração rosa para incolor era anotada e uma nova solução de KOH era colocada imediatamente no braço lateral do respirômetro.

Para cada ensaio, era realizada a prova em branco em um Erlenmeyer contendo 10 mL de solução de KOH (0,2 M), 2 gotas de fenolftaleína, 1 mL de solução de cloreto de bário (0,05 M) e 30 mL de água destilada isenta de CO₂. Também era realizado em cada ensaio a padronização do HCl e do KOH.

Em cada respirometro, a produção de gás carbônico entre a determinação anterior e o presente era calculada por:

$$QCO_2 = (A - B) \cdot 8 \cdot fHCl \cdot 0,044 \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

Q CO₂ = quantidade de CO₂ produzida pelo respirometro (mg)

A = volume de HCl 0,1 N gasto para titular o branco (mL);

B = volume de HCl 0,1 M gasto para titular o tratamento (mL);

8 = um fator para transformar equivalente em μmol de CO₂;

fHCl = fator do HCl 0,1M;

0,044 = fator de transformação de μmol de CO₂ em mg de CO₂;

Também se determinou a eficiência de biodegradação pela norma, admitindo-se que 50 % do carbono biodegradado se transformaram em CO₂ e 50% permaneceu no composto, estes calculo fez-se através das seguintes equações:

$$QCTR = QCO_{2ac} \times 2 \quad \text{Equação (3)}$$

$$EB (\%) = (QCTR / COTi) \times 100 \quad \text{Equação (4)}$$

Onde:

QCO_{2ac} = quantidade de CO₂ acumulada no respirômetros, em mg. g⁻¹ de composto;

QCTR = quantidade de carbono acumulada no respirometros, em mg. g⁻¹ de composto;

COTi = quantidade de carbono do resíduo no inicio do experimento, em mg. g⁻¹ de composto

EB = eficiência de biodegradação de carbono durante o experimento, em porcentagem.

7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente capítulo é dividido nos seguintes itens coerentes com o Capítulo 4:

7.1 Resultados anteriores do reator aeróbio de fluxo ascendente utilizado no estudo;

7.2 Resultados do experimento de compostagem conduzido em Kalmar, Suécia;

7.3 Resultados do experimento de compostagem conduzido na Ilha Grande, RJ;

7.4 Diagnóstico eletro-mecânico do reator e recomendações;

7.5 Maturidade do composto através de métodos respirométricos testados.

7.1 Resultados anteriores do reator aeróbio de fluxo ascendente utilizado no presente estudo

Antes desta pesquisa, ocorreram estudos anteriormente na Suécia com o objetivo de aprimoramentos deste reator.

Na sua primeira versão (Figura 15), o bio-reator não possuía aeração forçada nem sistema de trituração. Como consequência, uma camada de material parcialmente digerido, em condições anaeróbicas formava-se no fundo do reator dando origem a uma “torta” de consistência dura e seca. Para minimizar o problema, durante a fase de aprimoramento do equipamento, facas foram adicionadas à unidade de mistura dentro do reator e aeração forçada foi introduzida a partir do fundo do reator. Verificou-se que as facas, além de auxiliarem na trituração, criam canais de aeração na massa de material, melhorando o suprimento de oxigênio, otimizando a digestão aeróbica e conferindo eficiência ao processo de compostagem. A mistura mecânica e a aeração também propiciam melhor distribuição da umidade e remoção do calor (MARQUES, 2002).

Durante a fase teste da primeira versão do reator, a perda total em peso entre a quantidade alimentada no reator e o peso final do composto produzido foi de aproximadamente 50%. Durante os primeiros 10 dias, a perda de peso do material em compostagem foi de cerca de 20%. Teoricamente, o teor de umidade na massa de lixo apresenta um valor máximo ótimo acima do qual, a intensidade do processo de compostagem diminui. Verificou-se na prática que o processo começa a aumentar em intensidade a partir de um valor de 20% de umidade até o máximo de 50-60%.

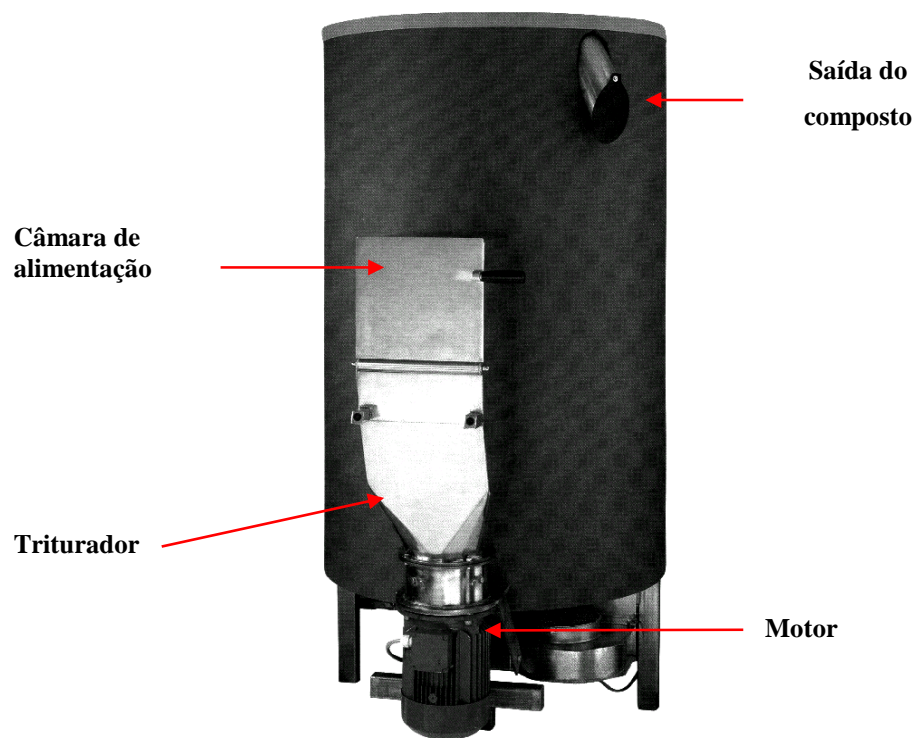


Figura 15: Primeira versão do reator aeróbio de fluxo ascendente (Lund, 1999).

Segundo Marques (2002), três dias após iniciado o experimento com a primeira versão do reator, as concentrações de CO₂ aumentaram gradativamente, alcançando um máximo após 8 dias, seguido de um decréscimo a quase zero. Uma leve variação na concentração de O₂ em diferentes níveis do reator durante o processo de compostagem (20-21% no fundo, 14-21% na porção mediana e 18-21% na porção superior do cilindro) indicando que a atividade biológica ocorreu de forma quase homogênea ao longo do cilindro, levemente mais intensa na porção mediana do cilindro. Foi observado que em condições favoráveis de processamento, um aumento da temperatura era observado toda vez que novo material para compostagem era adicionado através da câmara de alimentação.

O composto produzido pela antiga versão do reator apresentou pH 6,5 o conteúdo de material seca obtido foi de aproximadamente 84%, em função da grande quantidade de pó-de-serra adicionado ao processo. Tal fato também se reflete na taxa relativamente alta de C/N: 25. O pH médio alcalino durante o processo foi de 8,0. Entretanto, durante certos períodos o pH decrescia a valores ligeiramente ácidos: 6,2 (MARQUES, 2002). Geralmente, valores de pH do composto flutuam entre 6,0 e 7,5, com uma média em torno de 7,0 (CHEREMISINOFF, 1994).

As concentrações encontradas do composto para metais pesados foram consideradas bem baixas, quando comparadas aos diferentes limites internacionais permitidos em compostos. Na verdade, as concentrações observadas estavam dentro dos limites para composto não-contaminado (MARQUES, 2002; LUNDEBERG, 1998;).

Conclusões que serviram como base para criação do atual reator de fluxo ascendente estão abaixo:

- A regularização do suprimento de ar durante o processo reduz os riscos de odor e auxilia no transporte e retirada de calor excessivo da massa de material processado;
- Separação da fonte e o sistema de trituração (facas trituradoras introduzidas no cilindro de compostagem) são componentes essenciais para otimização do processo de compostagem; resíduos perigosos e plásticos devem ser retirados da fração a ser processada;
- A homogeneização através do misturador aumenta a atividade microbiológica devido ao aumento da superfície específica;
- Utilização de materiais estruturais, tais como pó-de-serra, facilitam a distribuição do oxigênio e melhoram a capacidade de retenção de umidade na massa de resíduos processados;
- O suprimento adequado de oxigênio depende do grau de mistura alcançado com a ação do misturador e com a posição das facas localizadas na porção inferior do bio-reator;
- O sistema de exaustão deve ser construído de tal forma que a condensação de vapor nos tubos de aeração seja evitada; o vapor formado deve retornar ao material em processamento.

7.2 Resultados do experimento de compostagem realizado em Kalmar, Suécia

Com relação aos dados obtidos no experimento conduzido em Kalmar, Suécia, quanto à caracterização qualitativa das frações orgânicas geradas pelos três restaurantes fornecedores de matéria prima para os testes (Tabela 12), nota-se que os restos de comida oriundos particularmente do restaurante R1 são de natureza ácida, influenciando negativamente a velocidade de estabelecimento do processo de compostagem. O material estruturante (pó de serra) disponível para compostagem apresentou uma granulometria relativamente fina (Tabela

13), o que teoricamente propiciaria uma maior superfície específica e conseqüentemente, um melhor suporte microbiano, favorecendo a compostagem. Entretanto, tal material estruturante apresentou o inconveniente de ter um pH também baixo (pH CaCl₂ = 4,8), o que juntamente com o pH predominante nos resíduos dos restaurantes (pH CaCl₂ = 5,07), pode ter contribuído para o tempo prolongado da fase ácida inicial também denominada fase fitotóxica (KIEHL, 2004).

Tabela 12. Resultados da caracterização (em % peso úmido) do lixo orgânico de três restaurantes costeiros, e predomínio de componentes na fração orgânica do lixo.

Restaurante	Restos de comida	Restos de papel	Outros
R1	T	G	F
R2	P	G	R
R3	B	G	M

Predomínio de: T= temperos, molhos, saladas; G= guardanapos; F=filtros de papel para café; P = pães e carne; R= restos de plantas ornamentais; B= batatas e frutas cítricas; M= cascas de mexilhões.

A umidade diária durante todo o período estudado manteve-se na faixa de 40% a 65%, sendo que a faixa de umidade propícia para compostagem varia de 40% a 60% (Pereira Neto, 2007), indicando que a ausência de calor no processo não se deve à falta ou ao excesso de umidade. O pH permaneceu ácido durante os primeiros dias e à medida que o volume de resíduos orgânicos aumentava, o pH decrescia ainda mais (Figura 14).

Tabela 13. Caracterização física (granulometria) do pó de serra utilizado.

Diâmetro da partícula (mm)	4,00	2,80	2,00	1,00	0,50	0,25	0,125	< 0,125
Porcentagem (%)	0,03	0,02	0,13	2,95	9,58	38,07	28,22	21,01

É comum o registro de pH ácido no início da compostagem devido à formação de ácidos orgânicos. Entretanto, à medida que ocorre a decomposição da matéria orgânica, o pH apresenta um aumento, favorecendo o crescimento dos microorganismos termofílicos. Segundo Smars *et al.* (2002), o pH em reator aeróbio começa a se elevar em média a partir do 5^a dia do início do experimento, podendo chegar a 8,0. Devido ao baixo pH observado, provavelmente em decorrência da composição peculiar do lixo dos restaurantes e do pó de serra e da alimentação contínua, com entrada de resíduos frescos todos os dias, no 12^a dia foi interrompido o suplemento de resíduo orgânico e houve adição de calcário (CaCO₃) com vista

à elevação do pH. Nos dias subsequentes, notou-se um aumento discreto do pH, devido às características do calcário utilizado que quando aplicado em solos, por exemplo, requer aproximadamente 10 dias para correção de pH. A temperatura na massa em compostagem permaneceu durante todo o período acima da temperatura ambiente, mas não atingiu a fase termofílica do processo, quando a temperatura pode chegar a 70°C. Tal comportamento observado indica que não houve uma alta atividade microbiana termofílica, e sim de microorganismos predominantemente mesofílicos, permanecendo a temperatura numa faixa de temperatura de 20 a 40°C (Figura 17), conforme Souza *et al.* (2002).

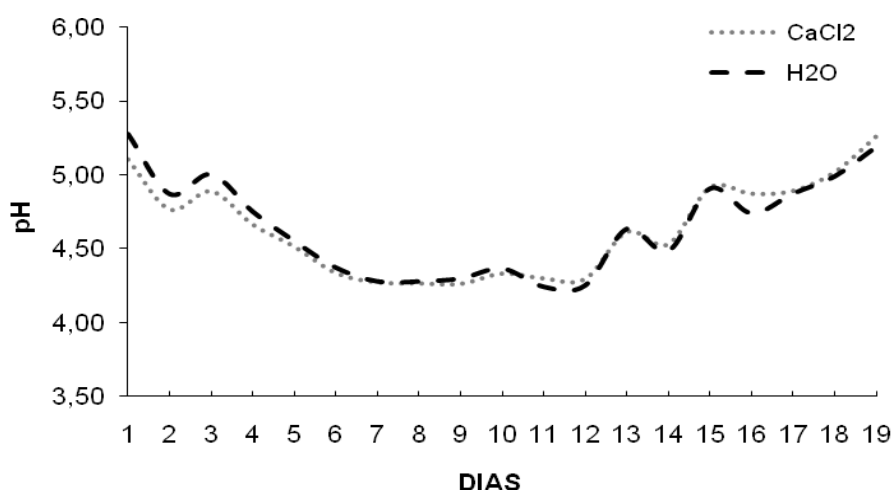


Figura 16. Variação de pH na massa de lixo em processo de compostagem durante os primeiros 19 dias, ilustrando o aumento discreto, mas contínuo a partir da adição de CaCO_3 no 12º dia.

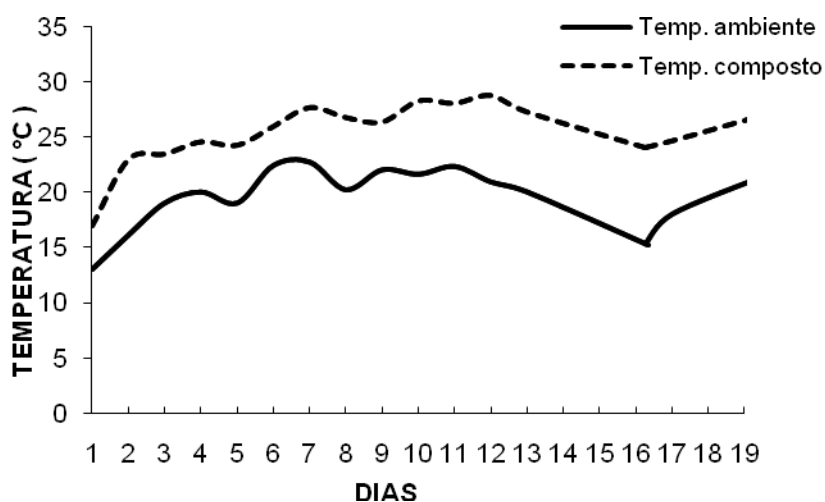


Figura 17. Variação de temperatura ao longo do tempo durante os primeiros 19 dias.

Durante o período estudado, os sólidos voláteis mantiveram-se aproximadamente constantes até o 14º dia. Após esse período, houve uma tendência de queda atingindo 13,5% do valor inicial (Figura 18). Tal comportamento sugere ineficiência do processo de compostagem, pois em um processo eficiente, a redução em período similar deveria ser de aproximadamente 50 % do valor inicial (Pereira Neto, 2007). A taxa de carbono total, por sua vez, manteve-se constante durante os primeiros 12 dias indicando uma baixa atividade microbiana (Figura 19). Houve um decréscimo discreto do teor de carbono a partir do 12ª dia, provavelmente devido à melhoria das condições de evolução do processo de compostagem com o aumento do pH.

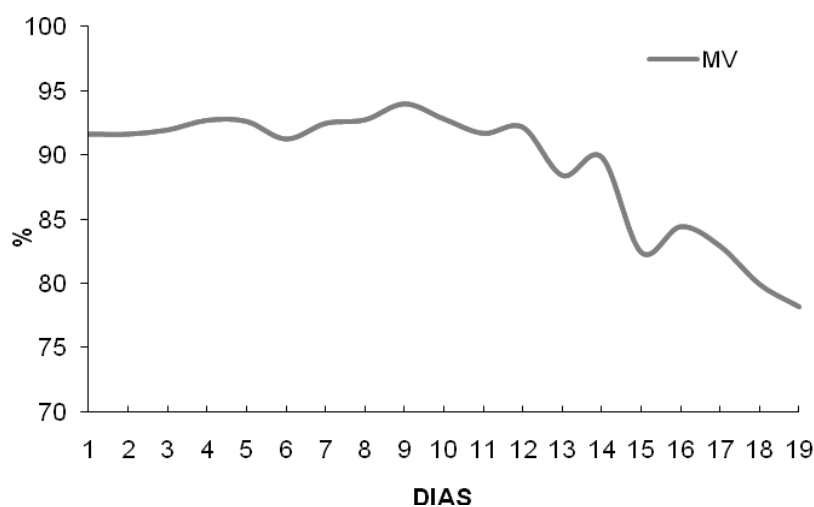


Figura 18. Variação de sólidos voláteis (%) ao longo do tempo.

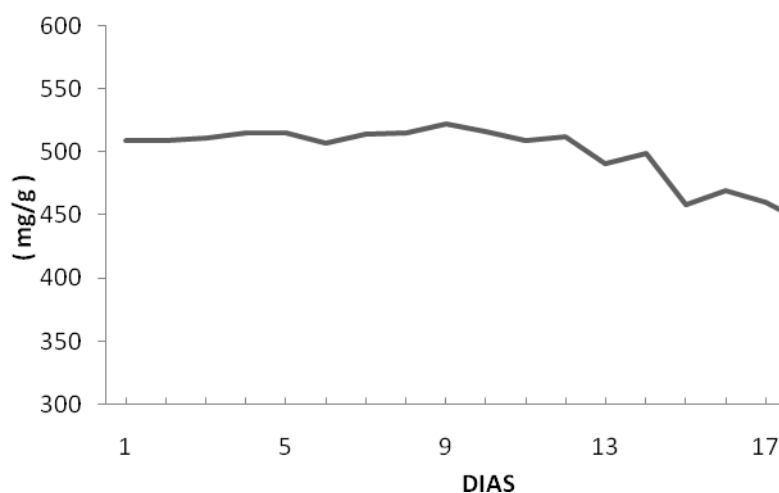


Figura 19: Variação de carbono total orgânico nos resíduos dentro do reator.

7.3 Resultados do experimento de compostagem conduzido na Ilha Grande, RJ

Os dados de monitoramento do pH, umidade, MOT e COT da massa em compostagem no reator durante o experimento de 28 dias na Ilha Grande estão apresentados na Figura 14.

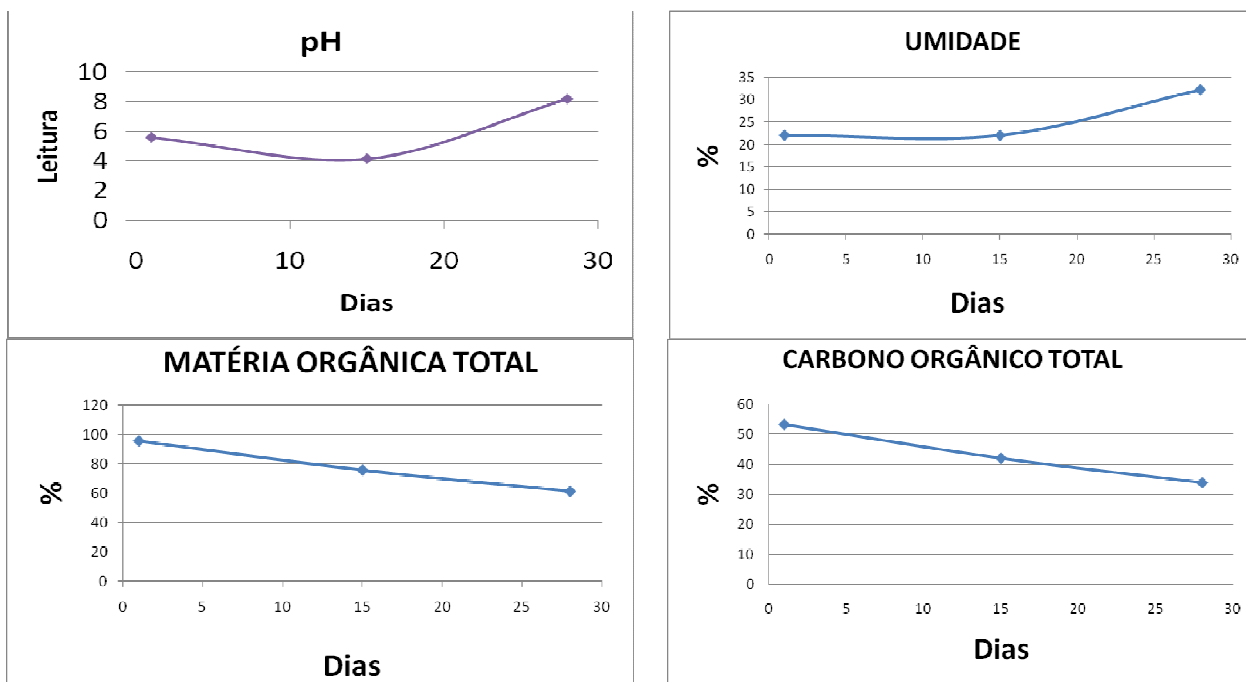


Figura 20. Variação do pH, umidade, matéria orgânica total e carbono orgânico total em três pontos ao longo do processo de compostagem por 28 dias no reator experimental.

pH: O pH teve uma queda nos primeiros dias, devido ao fato da matéria orgânica de alimentação do reator ser de natureza tanto animal quanto vegetal e ácida (Kiehl, 1998). Iniciando-se a decomposição, ocorre uma fase fitotóxica, pela formação de ácidos que tornam o meio ainda mais ácido do que a própria matéria orgânica original. Entretanto, com a evolução da decomposição da matéria orgânica, esses ácidos orgânicos e os traços de ácidos minerais que se formam, reagem com bases liberadas da matéria orgânica, gerando compostos de reação alcalina e também com esta decomposição a formação de ácidos húmicos que reagem com elementos químicos básicos, formando humatos alcalinos. Como conseqüência, o pH do composto se eleva à medida que o processo se desenvolve, alcançando pH básico superior a 8, como nota-se no composto após 28 dias.

Umidade: A umidade no período de 28 dias ficou entre 22 e 33 %, considerada baixa, já que o ideal para o processo de compostagem seja em torno 40 a 60 % (Pereira Neto, 2007). Neste

sentido, umidade abaixo de 40%, a atividade microbiana é inibida, tornando a biodegradação mais lenta (PROSAB, 1999). A baixa umidade ocorreu provavelmente como consequência da forma de alimentação do reator (por batelada) nesta fase experimental que objetivou contornar os problemas mecânicos de trituração observados. Com alimentação contínua e adição diária de umidade através de resíduos frescos, tal problema deve ser contornado.

Matéria Orgânica Total e Carbono Orgânico Total: Com relação à MOT e ao COT, houve um decréscimo durante os 28 dias de duração, indicando que houve decomposição da matéria orgânica, uma consequência do processo de compostagem, embora fosse esperado um decréscimo mais acentuado. Após 28 dias, o composto apresentou uniformidade com relação à cor e à textura, não apresentando mau cheiro, e com indícios de que o composto estaria estável ou próximo da estabilidade (fase de humificação) de acordo com Kiehl (2004). Com relação às análises do composto final (Tabela 14), com exceção da relação C/N ainda muito alta, todos os demais resultados estavam de acordo com a legislação vigente para composto, possibilitando a utilização do mesmo como adubo orgânico. Apesar da relação C/N não interferir na imobilização momentânea do nitrogênio no solo quando este composto for utilizado, com base no observado recomenda-se misturar no processo de compostagem, fontes que possuam relação C/N baixa, tais como: lodo de esgoto, gramas e esterco de galinha (Pereira Neto, 2007) e um controle maior com relação à umidade mantendo-a da faixa de 40 à 60%. A DBO apresentou o valor de 554 mg O₂. g⁻¹ de amostra, sendo considerado pronto para ser usado como adubo pois o valor encontrado se encontra abaixo de 700 mg O₂ / g (Kiehl, 2004).

Fertilizante orgânico, condicionador de solo e substrato para plantas: Com relação à utilização do composto produzido pelo reator, pela legislação vigente (Instrução Normativa N° 27, 2008) ser mais rigorosa com relação aos limites estipulados para fertilizante orgânicos, o composto de 28 dias pode ser utilizado como fertilizante orgânico, condicionador de solo ou substrato para plantas.

Microorganismos patogênicos: A amostra de 28 dias está em conformidade com os padrões microbiológicos exigidos pela legislação vigente. As baixas concentrações de patógenos (Tabela 15) indicam que o composto de 28 dias é um adubo orgânico refinado, de alta qualidade, que pode ser comercializado, sem risco à saúde.

Valor agrícola do composto produzido no reator após 28 dias: Observando a Tabela 16, 17 e Tabela 18, nota-se que 10 toneladas de composto de 28 dias, superam a concentração de NPK de 1 tonelada de todas as formulações comerciais de adubo minerais descritas na Tabela 18. Além de fornecer nutrientes macronutrientes e micronutrientes para as culturas, o adubo orgânico aumenta a capacidade de troca de cátions do solo, complexação de elementos tóxicos, a capacidade de agregação do solo e indiretamente a densidade, porosidade, aeração e a capacidade de infiltração e retenção de água, além de aumentar a atividade e biomassa microbiana neste solo (SANTOS, 1999).

Tabela 14. Caracterização físico-química da amostra de 28 dias.

Parâmetros	Composto de 28 dias	Instrução Normativa N° 25 23/07/2009	U.S. EPA Part 503	Instrução Normativa N° 27 05/07/2008
Tempo de compostagem (dias): 28 dias				
pH (em solução CaCl ₂ 0,01 M)	8,2	mín 6,5	-	-
Peso Específico (Kg/m ³ ou g/L)	413,71	-	-	-
Teor de umidade (%)	49,39	máx 50	-	-
Matéria Orgânica Total (% base seca)	61,44	-	-	-
Resíduo Mineral Total (% base seca)	28,55	-	-	-
Resíduo Mineral Insolúvel (% base seca)	17,11	-	-	-
Resíduo Mineral solúvel (% base seca)	11,43	-	-	-
Ntot (% N, base seca)	1,4	mín 0,5	-	--
**Ctot (% base seca)	39,69	mín 15	-	--
Taxa C:N	28,35	máx 20-	-	--
P (% P ₂ O ₅ , base seca)	2,28	-	-	-
Ca (% CaO, base seca)	2,31	-	-	-
K (% K ₂ O, base seca)	1,02	-	-	-
Fe (mg/Kg, base seca)	2592,5	-	-	-
Cr (mg/Kg, base seca)	380	-	máx 1.200	máx 200
Pb (mg/Kg, base seca)	80	-	máx 300	máx 150
Zn (mg/Kg, base seca)	90	-	máx 2.800	-
Cd (mg/Kg, base seca)	0	-	máx 39	máx 3
Cu (mg/Kg, base seca)	135	-	máx 1.500	-
Ni (mg/Kg, base seca)	122,5	-	máx 420	máx 70* 175**
Na (mg/Kg, base seca)	8275	-	-	-
DQO (mg/g, base seca)	554	-	-	-

* para fertilizantes orgânicos; ** para condicionadores de solos e substratos de plantas.

Tabela 15. Caracterização microbiológica da amostra de 28 dias.

Parâmetros Analíticos	Amostra de 28 dias	Limites de Referência INSDA nº 27	U.S. EPA Part 503
Coliformes Termotolerantes (NMP/g de mat seca)	4	1.000	1000
Enterococos (NMP/g de mat seca)	26	-	-
<i>Salmonella</i> sp	Ausente	Ausência em 10g de matéria seca	< 3

Tabela 16 - Concentração de nitrogênio, fósforo e potássio no composto de 28 dias.

Composto	Nitrogênio Ntot (%)	Fósforo P ₂ O ₅ (%)	Potássio K ₂ O (%)	Soma
28 dias	1,4	2,28	1,02	4,7

Tabela 17- Quantidades em NPK no composto de 28 dias levadas ao solo pela aplicação de 10, 15 e 20 Ton/ha.

Composto	NPK Kg/ton	NPK em 10 Ton/ha	NPK em 15 Ton/ha	NPK em 20 Ton/ha
28 dias	47	470	705	940

Tabela 18 - Quantidades de NPK contidas em algumas fertilizantes minerais comercializados no Rio de Janeiro.

NPK	Formulações			
	4-6-6	10-10-10	4-14-8	8-15-15
%	16	30	26	38
Kg/Ton	160	300	260	380

Fonte: MF Rural.

A tabelas 19 e 20 apresentam valores de mercado dos de macronutrientes (N. P e K) contidos nos fertilizantes comerciais e no composto de 28 dias retirado do reator

Tabela 19 – Composição, preço dos fertilizantes minerais e valor dos nutrientes em reais por quilograma.

Fertilizante	Nutriente	Preço de mercado (R\$/Ton)	Elemento (Kg/Ton)	Valor em (R\$/Kg)
Uréia	45% N	195,00	450	0,43
Superfosfato simples	18% P ₂ O ₅	170,00	180	0,94
Cloreto de potássio	60% K ₂ O	515,00	600	0,86

Fonte: MF Rural

Tabela 20 – Valor do composto de 28 dias pelos seus nutrientes minerais comparados com os preços de nutrientes de fertilizantes minerais.

Nutrientes presentes no composto (%)	Nutriente (Kg/Ton)	Valor do NPK (R\$/Kg)	Valor do NPK (R\$)
N 1,40 %	14	0,43	6,02
P ₂ O ₅ 2,28 %	22,8	0,94	21,43
K ₂ O 1,02 %	10,2	0,86	8,77
Soma 4,70 %	47	---	36,22

Só os nutrientes NPK do composto valem R\$ 36,22/ton. Contudo, este fertilizante também contém macronutrientes secundários, micronutrientes e matéria orgânica, que agregam valor ao composto. Segundo Kiehl (2004), o valor estimado de macronutrientes secundários, micronutrientes e matéria orgânica deve ser 50% do valor dos nutrientes NPK, ou seja, o valor do composto será R\$ 36,22 mais R\$ 18,11, resultando no valor mínimo de R\$54,30/ton.

Considerando, que o reator aeróbio de fluxo ascendente, esteja na sua capacidade máxima de fornecimento de composto, que é em torno de 60 Kg/dia, o ganho mínimo diário estimado seria em torno de R\$ 3,26, ou seja, aproximadamente R\$ 100,00/mês.

Comercialmente no município do Rio de Janeiro, vende-se fertilizante orgânico por um preço mínimo de R\$2,20/kg (MFRURAL, 2010), estima-se o preço mínimo diário de R\$132,00 para o fertilizante orgânico produzido pelo reator.

7.4 Diagnóstico eletro-mecânico do reator e recomendações

Com relação aos aspectos eletro-mecânico do reator, foi identificado itens que necessitam aperfeiçoamento, tais como o sistema de trituração e de aeração, além da possibilidade de redução do ruído gerado.

7.4.1 Teste de nível do terreno

Nenhum desnível foi detectado.

7.4.2 Testes elétricos

Foi verificado que a instalação elétrica de todos os componentes do reator foi muito bem realizada.

7.4.3 Planificação do solo e instalação sob o piso

Não foram constatados desníveis na instalação do reator, assim como não foram constatados desníveis e tampouco desequilíbrio no sistema rotativo de trituração.

7.4.4 Testes de desempenho do sistema de trituração

- (d) Com o triturador vazio: Constatou-se nesta operação que independente de dejetos, o rotor encontrava-se em mau funcionamento, com dificuldade de rotação. Também se percebeu um som de metais se atritando.
- (e) Com 200g de composto orgânico bioestabilizado: em tais condições não apresentou dificuldades de funcionamento.
- (f) Com 400g de composto orgânico bioestabilizado: Nestas condições apresentou travamento do rotor, tornando necessária a desmontagem do sistema de trituração.

7.4.5 Análise das partes do sistema de trituração

Ao retirar todas as partes do sistema de trituração, evidenciou-se que o travamento ocorre principalmente no rotor devido a dejetos que se prendem entre este e a parede e a base do recipiente de alimentação. Não obstante, materiais orgânicos de maior volume se prendem entre as pontas das hélices e a parede do recipiente de alimentação. Algumas modificações imediatas com o intuito de impedir o travamento foram testadas, mesmo com os problemas oriundos da transmissão de potência utilizados na montagem original, os quais serão apresentados mais adiante.

7.4.6 Análise do sistema de ventilação

Através da medição de um anemômetro digital, observou-se ineficiência na renovação do ar no interior do reator, pois as extremidades da ventoinha (Figura 11) esta atuando com função “contrária”, ou seja, está funcionando com refluxo de ar no interior da tubulação (na região do redutor) que conduz o ar para a parte interna do reator. A eficiência do equipamento está muito baixa devida à vazão da base do reator está bem inferior em comparação a vazão de entrada na ventoinha, prejudicando o processo de compostagem.

De acordo com os valores recomendados na literatura, a vazão de saída de ar na base interior do reator é insuficiente para que ocorra de forma eficiente o processo (Tabela 21).

Tabela 21: Comparação entre a vazão de ar no interior do reator testado com dados da literatura de vazão de ar ideal para compostagem.

Condições do reator	Vazão de ar no interior do reator ¹	Vazão ideal (dm ³ ar/dia/matéria seca)	Referências Bibliográficas
Densidade inicial do composto = 700 g.dm ⁻³ , Altura de saída do composto = 1,15 m Umidade= 55%, sendo umidade ideal para o processo de compostagem	136,47	144 40,56 - 399,12 345,6 300 - 600 576 900	Sá Aragão, 1999. De Guardia et al, 2008; Fernandes et al, 1988; Fumihito & Iwabuchi, 2006; PROSAB, 2009. Pereira Neto, 2007 Kulcu & Yaldiz, 2004 Schloss et al, 2003

¹ = dm³ ar/dia/kg matéria seca.

Em comparação com a vazão de entrada da ventoinha e a vazão que chega efetivamente no resíduo, a perda de eficiência do sistema de ventilação esta em torno de 90,5%, o sistema com nenhuma perda, ou seja, com máxima eficiência, a vazão estaria em torno de 1437,04 dm³ ar/dia/kg matéria seca, em comparação a bibliografia consultada, suficiente para uma compostagem de forma eficiente e, além disso, com a possibilidade de funcionamento de forma intermitente permitindo um menor gasto de energia e aumento da durabilidade do equipamento.

7.4.7 Modificações parciais do sistema de trituração

Foi diagnosticado que o rotor de alimentação tem a maior parcela de desempenho no travamento do sistema de trituração. Sendo assim, foi a primeira peça a passar por modificações. Ao analisar os modelos de rotores no mercado, utilizam-se rotores fechados com uma ou duas pás. O rotor em questão, apesar de fechado, tem quatro pás. Realizou-se uma da modificação imediata: fechamento de três das quatro pás do rotor. A Figura 21 apresenta a peça alterada, com a utilização de uma chapa de latão.



Figura 21 - Rotor com apenas uma pá (Foto: R. S. Muniz, 2009).

Verificou-se que a neutralização de três pás não seria suficiente para que todo o conjunto funcionasse perfeitamente à plena carga. Após limpeza, foi feita lubrificação entre o eixo do sistema de trituração e o selo mecânico. Foi feita também a suspensão desse eixo, para que o material estruturante não se prendesse entre o rotor a base do recipiente de alimentação, travando novamente o sistema. Não era esperado que ocorresse a trituração de partículas pequenas de dureza considerável (ex: lascas de árvore), mas havia a expectativa de que todo o material orgânico de fácil trituração fosse completamente fracionado. Infelizmente, ao primeiro teste com as modificações do sistema de trituração onde foram utilizadas cascas de frutas (laranja, melão e melancia), o sistema novamente não realizou o trabalho com a eficiência esperada.

7.4.8 Capacidade de trituração do motor atual acoplado ao sistema de trituração

Foi verificado que com base nas características do motor atual do sistema de trituração, o mesmo é capaz de triturar os 35 kg diários da fração orgânica de resíduo doméstico previstos neste sistema atual de trituração que tem como características a trituração de resíduos através de hélices e o funcionamento do motor após o incremento do resíduo na câmara de trituração (Figura 22).

7.4.9 Transmissão direta motor-eixo do sistema de trituração

Com base nas observações, sugere-se que a escolha do projeto original pela transmissão direta do torque do motor para o eixo do sistema de trituração tenha acarretado o maior problema que o sistema apresenta atualmente. A relação de transmissão é muito prejudicada devido à falta de aumento de torque. Foi verificado que todo o peso do sistema de trituração, mais o peso do rotor de alimentação são suportados exclusivamente pelo eixo

do motor, sem nenhum mancal de escora. Além de ser prejudicial aos rolamentos internos do motor, tal instalação afeta diretamente a rotação do eixo e consome mais energia.

7.4.10 Interferência das peças rotativas do sistema de trituração

O rotor de alimentação não tem uma forma adequada ao trabalho que realiza. As hélices do sistema de trituração são demasiadamente longas, fazendo com que o torque necessário em suas pontas seja muito elevado. O eixo central de rotação é muito espesso, o que força o torque inicial na base da hélice a ser muito elevado ao realizar o trabalho de corte. Parafusado à parede do recipiente de alimentação, havia uma peça maciça com a finalidade de cortar o material que se encontrasse inteira na abertura do rotor. Essa peça foi retirada do sistema, já que se chocava com o rotor e este não apresentava fio, ou seja, não realizava trabalho de corte de material.

CARACTERÍSTICAS MOTOR ATUAL DO SISTEMA DE TRITURAÇÃO			ACOPLAMENTO DIRETO:	
2 Polos, marca SIEMENS, 220V, trifásico, 3500RPM, 5 CV			$P_n = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot C_n$	
Pn>>Potencia nominal [W]				
n>> Rotação (rps)				
Cn/Torque>>Conjugado Nominal (Nm)				
Ccn>>Torque da carga/ Conjugado nominal da carga				
ηac>>rendimaneto do acoplamento				
Pc>>Potencia da Carga				
$P_n = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot C_n$	Pn	3680 W		
	n	58 rps		
$C_n = R \cdot C_{cn}$	R	1		
$J_{ce} = J_c \cdot R^2$	Cn	10,103229 Nm		
$P_n = P_c / \eta_{ac}$	ηac	85%		
Com 15% de perdas no sistema.				
Pc		3128 W		
$P_c = 2 \cdot \pi \cdot n_c \cdot C_{cn}$				
Torque nominal do motor é de:				
Ccn		8.587744 Nm		

$C_n = R \cdot C_{cn}$

$J_{ce} = J_c \cdot R^2$

$P_n = \frac{P_c}{\eta_{ac}}$

$R = \left(\frac{n_c}{n} \right)$

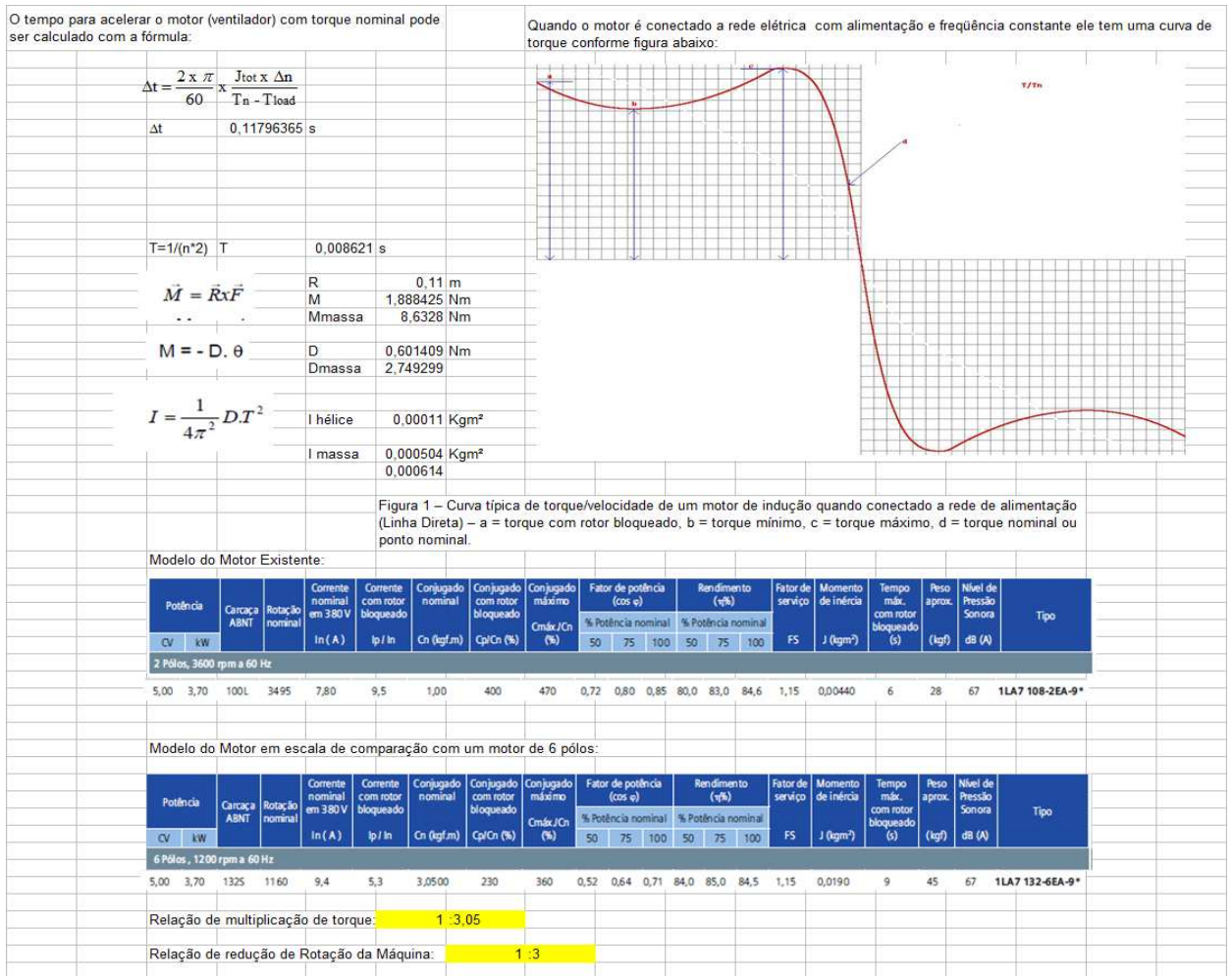


Figura 22. Memória de cálculo referente à capacidade do motor.

7.4.11 Avaliação do atual motor do sistema de trituração

O motor atual é insuficiente para o sistema de trituração existente, apesar de apresentar uma potência de 5 CV, possui apenas dois pólos e conseqüentemente menor força inicial de trituração, o sistema de trituração não possui correia e nem redutores, ou seja, as hélices e a revoluta estão acopladas diretamente no eixo do motor ocasionando maior resistência e conseqüentemente maior “esforço” eletro-mecânico do motor.

7.4.12 Conclusões e recomendações relativas à parte mecânica

O reator de compostagem apresenta muitos problemas de projeto. Conseqüentemente, a reformulação de seus sistemas mecânicos necessita de conhecimentos avançados em várias áreas da Engenharia.

Das questões levantadas acima referentes ao componente de trituração, diversas medidas podem ser tomadas. Para viabilizar ao máximo o funcionamento imediato do biorreator, este projeto adotará resoluções mecânicas e equipamentos já conhecidos no mercado. Não é da vontade do autor e da orientadora desenvolver novos métodos ou materiais no momento, mas analisar aplicações especiais de equipamentos existentes ou ater-se a descrição detalhada de algum tópico, caso isso se faça necessário.

7.4.13 Sistema de Trituração

Transmissão de Potência: A primeira recomendação é a substituição da transmissão direta por uma caixa de redução. Tal mecanismo já de uso generalizado pelo mercado brasileiro e mundial em vários ramos e aplicações, não só aumentará a relação de torque no eixo do sistema de trituração, como também eliminará a sustentação do peso das partes rotativas pelo eixo do motor, prolongando a vida deste motor. Será usado um mancal de escora para sustentar o sistema.

Hélices e Rotor de Alimentação: Inicialmente, serão soldadas duas pás a mais em cada hélice. O rotor será usado da forma modificada, mas com eventual balanceamento. No futuro, deverão ser fornecidos novos modelos de rotor e de hélices, visando um melhor aproveitamento do sistema. Inicialmente, para este processo é preciso conhecer o material utilizado para confecção das peças do bio-reator. Por se tratar de material orgânico, onde existe a ocorrência de ácidos, umidade, materiais abrasivos, etc., são fundamentais a utilização de um material não corrosivo. A escolha pelo aço inoxidável é indiscutível. Entretanto, será necessário um estudo para saber qual é a classificação AISI do inox utilizado no reator original.

7.4.14 Avaliação do atual motor do sistema de trituração

O motor atual deverá ser substituído por um motor de mesma potência com 6 pólos e 1200 rpm. Além disso, o motor deverá estar em alta rotação quando receber o resíduo orgânico e não em estado de inércia (como atualmente). Com isso, todo o sistema de

alimentação deverá ser redesenhado, com o incremento de uma câmara de forma revestida de polietileno rígido que possibilite colocar o resíduo com motor em alta rotação sem oferecer perigo ao operador, adaptar uma “boca de lobo” feita de polietileno flexível de 3 mm que possibilite limitar a quantidade de resíduo no sistema de trituração, facilitando o processo e a instalação de uma botoeira na parte externa deste cilindro que possibilite ao operador ligar o motor do triturador antes de adicionar o resíduo orgânico.

As realizações destas melhorias estão vinculadas a estudos que serão realizados na próxima etapa, assim como memórias de cálculo, escolha de equipamentos, descrição de materiais e detalhamento de modificações de peças. Em função de todas as modificações que se fazem necessárias, a coordenadora estará empenhada nos meses subsequentes, na captação de recursos para construção do protótipo aperfeiçoado.

7.4.15 Sistema de aeração

Modificações para o sistema de trituração são bem simples, substituição da peça de redução por outra peça de formato circular de aço inox, que o seu comprimento em linha reta, chegue à base no interior do reator, evitando o refluxo de ar e perda de carga do sistema, aumentando sua eficiência.

7.5 Métodos respirométricos para determinar o grau de maturidade do composto

7.5.1 Método respirométrico segundo o Specific Oxygen Uptake Rate SOUR

As amostras obtidas para análise comparativa do grau de maturação através do metabolismo aeróbio incluíram:

- **amostra inicial** (amostra de lixo de cozinha da Escola Brigadeiro Nóbrega, Abraão, Ilha Grande recém obtida, antes da entrada do reator);
- **amostra de 14 dias** de compostagem (amostra obtida nos 14 dias de funcionamento do reator da Suécia);
- **amostra de 28 dias** (amostra retirada após 28 dias de funcionamento do reator na Escola Municipal Brigadeiro Nóbrega, Ilha Grande), a
- **amostra de 4 meses** de composto maduro Comlurb (amostra retirada de uma leira operada pela Comlurb de compostagem de lixo orgânico domiciliar).

Tais amostras apresentaram umidades de 22,2%; 56,5%, 32,5 %; 56,0%, sólidos voláteis de 95,7%; 79,0%, 61, 0%; 41,3% e potencial hidrogeniônico (pH) de 5,6; 5,07; 8,21 e 7,92 respectivamente. Os pHs da amostra inicial (5,6) e da amostra de 14 dias (5,07) sugerem que a biomassa encontrava-se em fase anterior à fase termofílica, num processo prolongado de acidogênese, possivelmente provocado pelo tipo de resíduos introduzidos (frutas cítricas, gorduras, molhos para salada e temperos diversos), necessitando de um tempo maior para o consumo dos ácidos e aclimação dos microorganismos. Neste caso, o baixo valor de pH, está diretamente ligado ao estágio do processo de decomposição, retardando a atividade microbiana na decomposição de proteínas e alimentos crus (NAKASAKI *et al.*, 1993). Lasaridi & Stentiford (1998), descrevem que algumas limitações no teste respirométrico podem ocorrer devido a um pH desfavorável, justificando o uso de uma solução tampão na realização da solução de análise.

O pH da amostra de 28 dias de compostagem no reator e do composto maduro Comlurb está de acordo com o parâmetro de potencial hidrogeniônico estabelecida pela Instrução Normativa nº 23 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento para adubo orgânico (mínimo de 6,5).

A Tabela 22 refere-se à duração e ao SOUR nas três amostras testadas. Os dados referentes à amostra inicial e à amostra maturada da Comlurb serviram como base para analisar em que estágio se encontrava a amostra retirada após 28 dias de processo no reator aeróbio de fluxo ascendente, em abordagem semelhante à utilizada por Scaglia *et al.* (2007), que buscou padronizar uma escala para verificar o grau de maturação do composto, tendo como base os dois extremos, a amostra do resíduo que estava entrando no reator e o composto estabilizado e maduro. Com esses valores foi possível verificar que o composto do 28º dia apresentava atividade biológica aeróbia relativamente alta e, portanto, se encontrava mais próxima da amostra inicial do que da amostra estabilizada proveniente da Comlurb (LASARIDI & STENTIFORD 1998; GÓMEZ *et al.* 2005).

Tabela 22. Teste de respirometria das diferentes amostras: duração (em horas) e respectivos valores da taxa *SOUR* ($\text{mg O}_2 \text{ g}^{-1} \text{ VS h}^{-1}$).

Fases	Amostra inicial t_0 0° dia Ilha		Composto do reator 14° dias Kalmar		Composto do reator 28° dia Ilha		Composto maduro 4 meses Comlurb	
	Tempo de experim. (h)	<i>SOUR</i> ($\text{mg O}_2 \text{ g}^{-1}$ VS h^{-1})	Tempo de experim. (h)	<i>SOUR</i> ($\text{mg O}_2 \text{ g}^{-1}$ VS h^{-1})	Tempo de experim. (h)	<i>SOUR</i> ($\text{mg O}_2 \text{ g}^{-1}$ VS h^{-1})	Tempo de experim. (h)	<i>SOUR</i> ($\text{mg O}_2 \text{ g}^{-1}$ VS h^{-1})
Inicial ou <i>lag</i>	0-6	0,55	0-10	0,25	0-6	0,24	0-8	0,11
Fase ativa	6-27	3,3	10-26	1,15	6-9	0,5	8-12	0,34
Pico de atividade	9	3,3	17	1,15	6,7	0,5	11	0,34
Estabilização	27 - 31	0,38	26-32	0,63	9-10	0,63	12	0,08

Nas Figuras 23, 24, 25 e 26 podem-se observar as três fases do teste respirométrico. A primeira fase é a **lag** (ou inicial), que é caracterizada pela respiração endógena (Andreottola *et al.* 2005), onde o consumo de oxigênio é somente para respiração celular, ou seja, a energia requerida para manter as funções da célula, enquanto os microorganismos passam pela fase da aclimatação, resultando numa baixa atividade microbiana e conseqüentemente um baixo consumo de oxigênio. A segunda fase, a **ativa**, é caracterizada pela respiração exógena e a degradação do substrato, onde se pode observar a maior atividade microbiana, com um alto consumo do oxigênio dissolvido e um pico de atividade, que é verificado no auge da atividade microbiana. Esta segunda fase pode ser dividida em duas etapas. A primeira etapa da fase ativa é marcada por um substrato rapidamente biodegradável e a segunda etapa é marcada por um substrato lentamente biodegradável, esta última, com uma velocidade de consumo de oxigênio inferior a anterior, porém superior à endógena (SALOMÃO *et al.*, 2009). A última fase, a de **estabilização** é quando ocorre o decréscimo da atividade microbiana, marcado pelo esgotamento dos nutrientes e da matéria orgânica presente na amostra e, com isso, observa-se novamente uma respiração endógena (Salomão *et al.*, 2009). O consumo por parte dos microorganismos torna-se estável, podendo ocorrer eventuais picos de atividades, como visto na Figura 26.

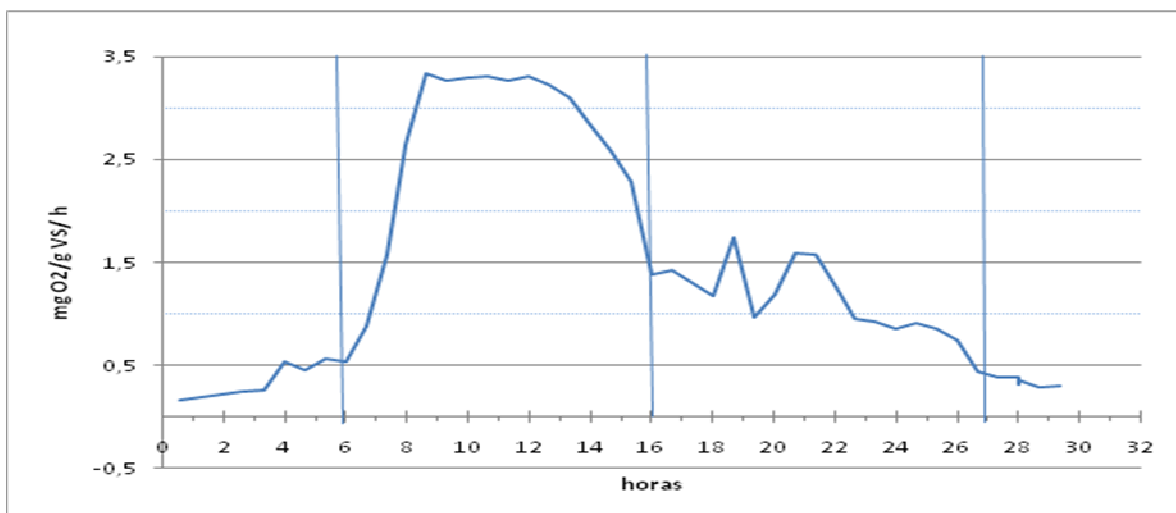


Figura 23. Variação do consumo de O₂ durante 30 horas de teste *SOUR* para a amostra inicial (0º dia Ilha Grande).

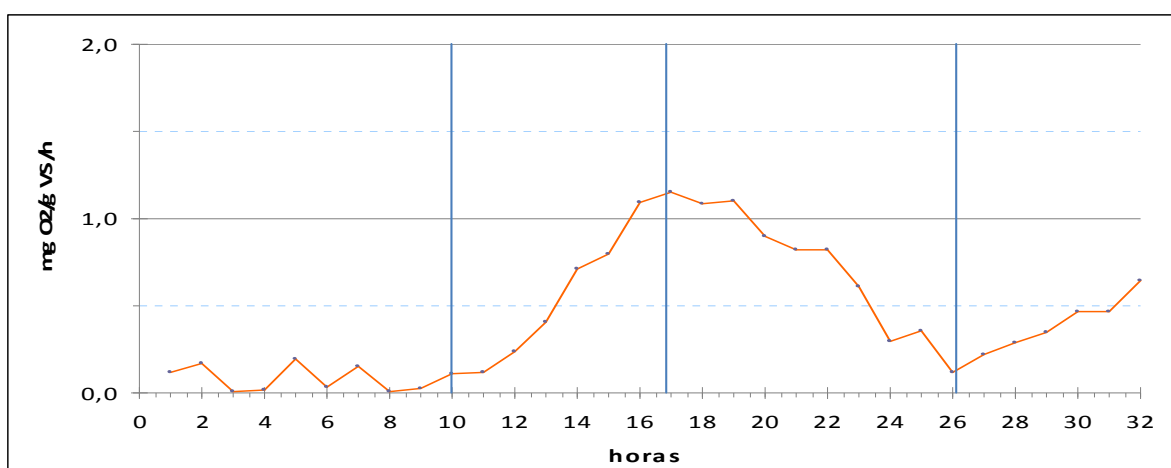


Figura 24. Variação dos dados do *SOUR test* durante 32 horas de análise do composto de 14 dias (composto processado em Kalmar, Suécia).

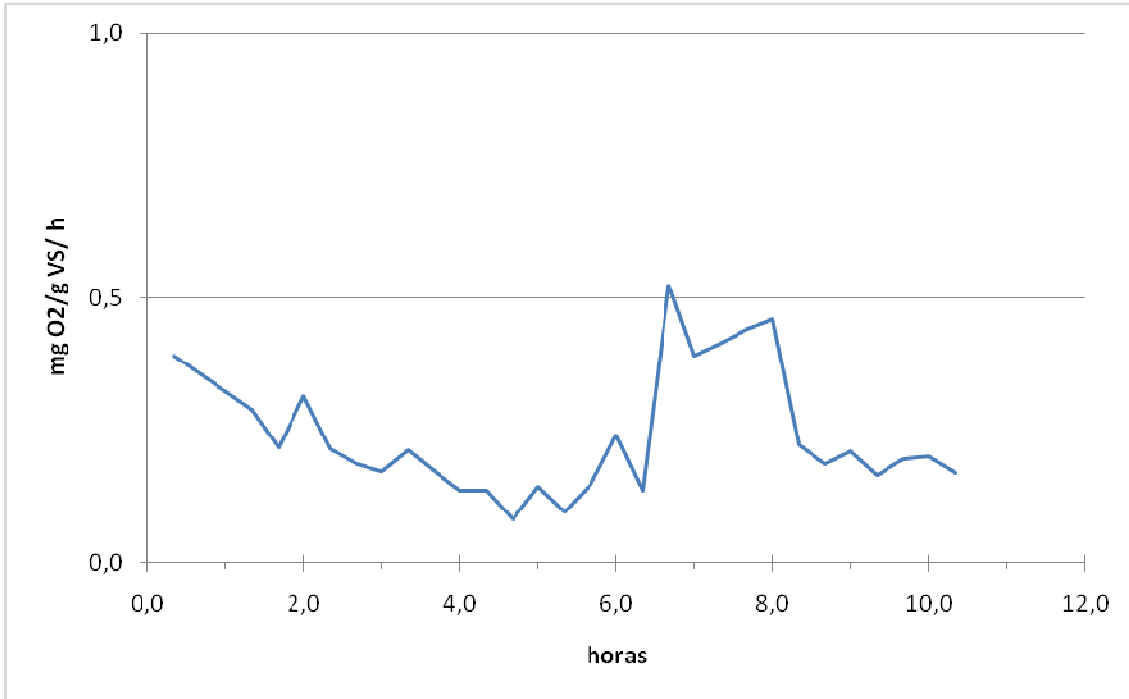


Figura 25. Variação do consumo de O₂ durante 10 horas de teste *SOUR* com amostra de composto de 28 dias do reator (Ilha Grande).

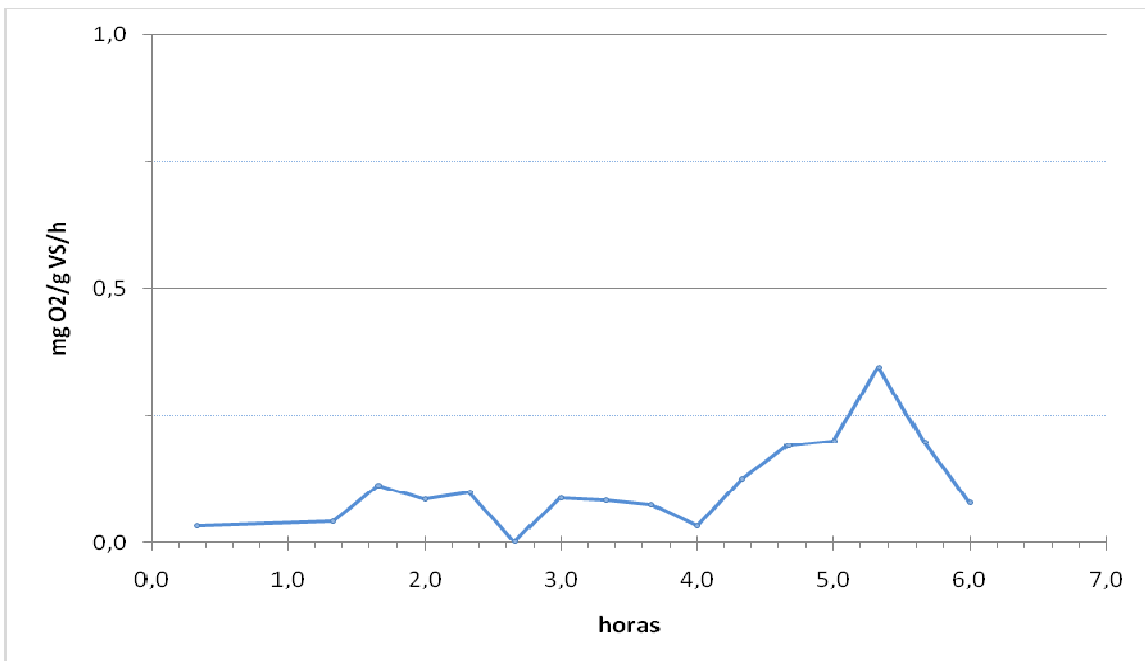


Figura 26. Variação do consumo de O₂ durante 12 horas de teste *SOUR* com amostra de composto maduro (4 meses) da Comlurb.

A equação aplicada aos gráficos das Figuras 27, 28, 29 e 30 onde estão contidos os dados de O₂ dissolvido e consumido registrados durante o teste, gerou os respectivos R². Pode-se observar a evolução do teste de respirometria e o consumo do OD nas fases *lag*, ativa e de estabilização bem marcada, como na Figura 27. Na Figura 30 não é possível distinguir as fases, mas sim uma atividade biológica bem baixa, normalmente encontrada em compostos estabilizados. Quando os dados obtidos com o composto de 28 dias do reator (Figura 29) são comparados a matéria orgânica fresca (Figura 27) e ao composto maduro da Comlurb (Figura 30), observa-se que a primeira se encontra num estágio, mais próximo da amostra inicial do que na amostra da Comlurb, indicando que a amostra de 28 dias não está totalmente maturada.

Todavia se a Figura 28 é comparada às figuras 27 e 30 observa-se que a primeira se encontra num estágio intermediário, embora mais próximo a um resíduo triturado, com a fase *lag* bem marcada e uma fase ativa presente.

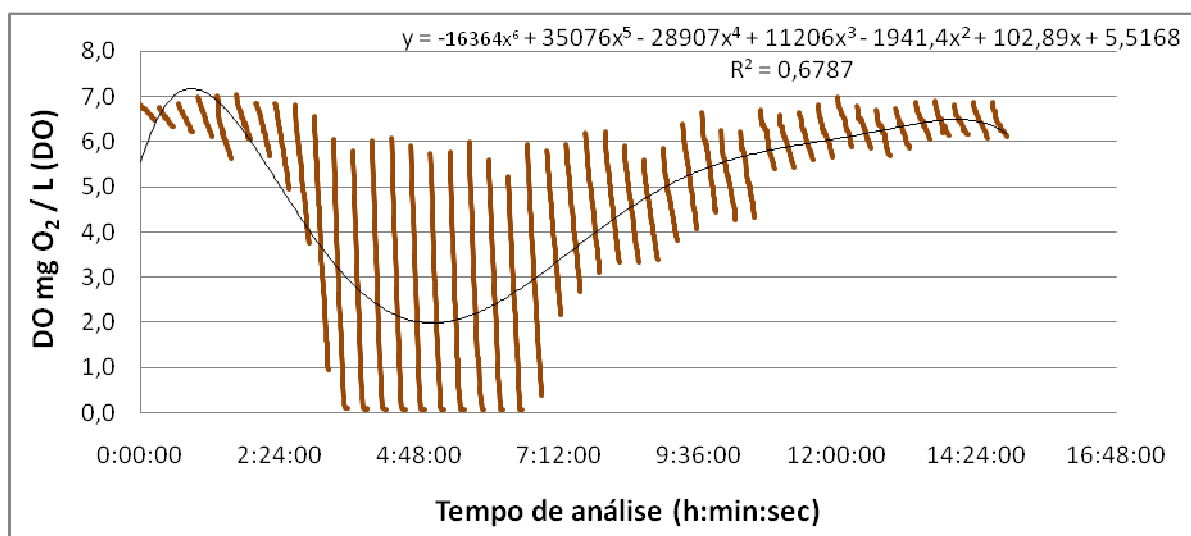


Figura 27. Dados de OD registrados durante o teste SOUR da amostra inicial.

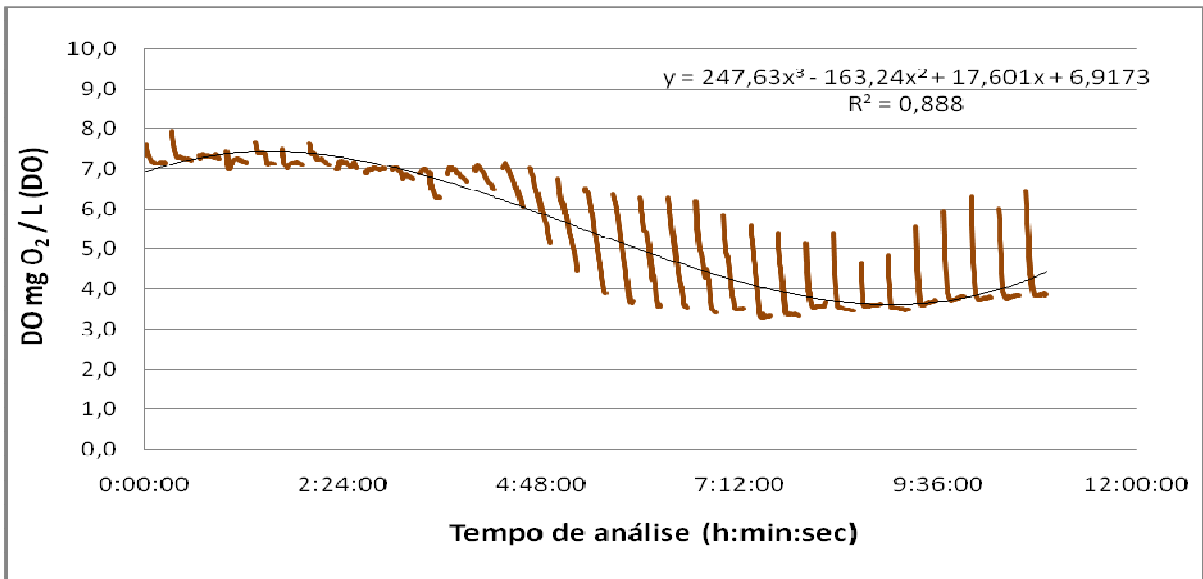


Figura 28. Dados de OD registrados durante o teste SOUR do composto de 14 dias.

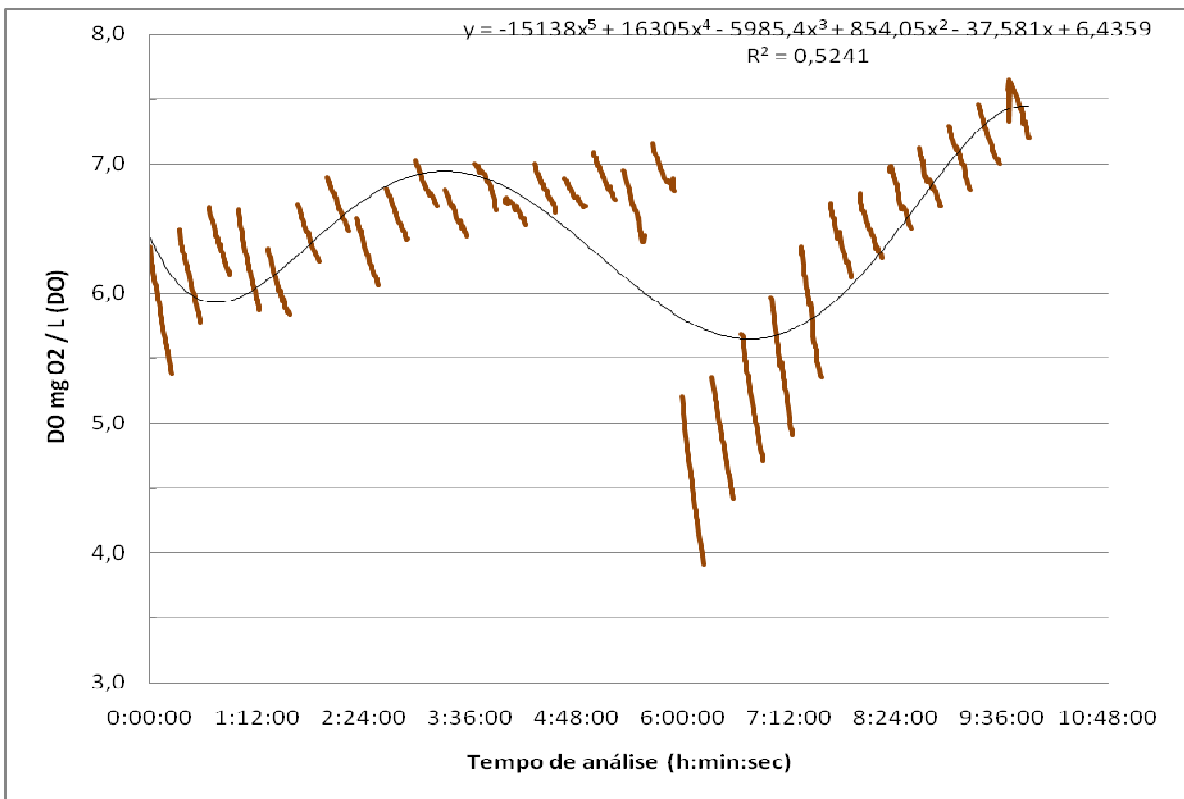


Figura 29. Dados de OD registrados durante o teste SOUR da amostra de 28 dias do reator.

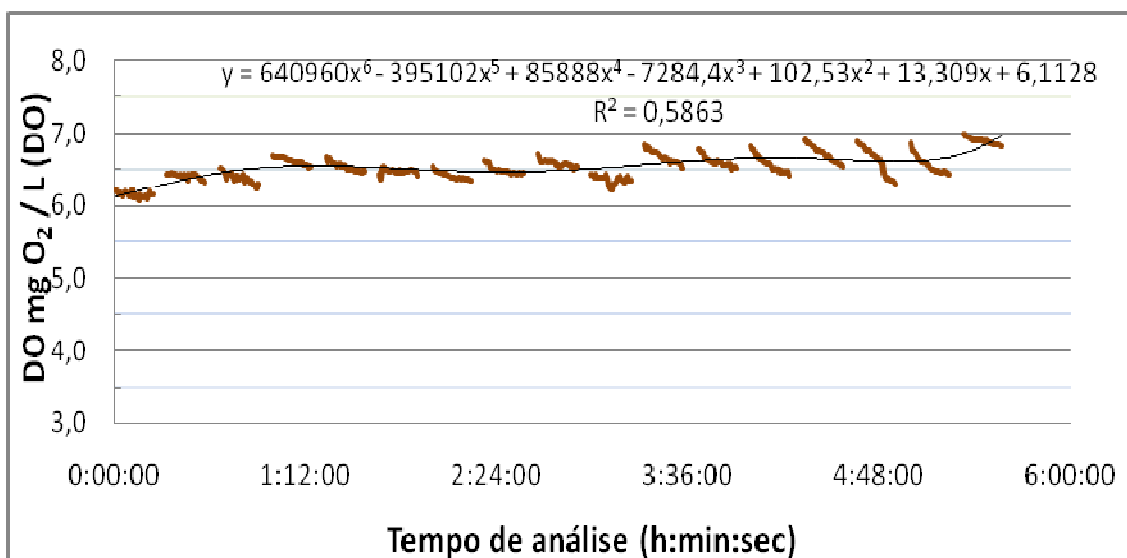


Figura 30. Dados de OD registrados durante o teste SOUR do composto maduro da Comlurb.

Conclusões dos testes SOUR: O teste respirométrico SOUR indicou atividade microbiana aeróbia relativamente alta no material de 28 dias de compostagem em comparação com a amostra da Comlurb, em um sistema que recebeu alimentação em batelada. Um dos fatores importantes para o andamento do processo de compostagem em um reator aeróbio é o pH, sendo frequentemente observado que sua queda está associada com a formação de ácidos orgânicos no estágio inicial do processo, retardando o desenvolvimento dos microorganismos aeróbios. Além do pH, fatores como aeração contínua, umidade suficiente e revolvimento mecânico aceleram o processo de compostagem, para que no período proposto de tratamento (neste caso, 28-30 dias), o adubo orgânico esteja maturado e umidificado de acordo com a legislação vigente do país.

O tipo de resíduo orgânico e o material estruturante adicionado ao reator podem influenciar diretamente no tempo de compostagem, diminuindo a fase ácida, antecipando o início da fase termofílica e, conseqüentemente, a estabilização do composto.

O teste respirométrico SOUR mostrou-se eficiente na identificação do grau de avanço do processo de compostagem, com algumas vantagens em relação a outros métodos de análise disponíveis no mercado, sendo um teste que não requer equipamentos sofisticados e de baixo custo, necessitando de equipamentos normalmente encontrados nos laboratórios das instituições de ensino e pesquisa do Brasil, sendo a sua automação desejável, algo que está sendo no momento, implantado no LABIFI. O método SOUR pode, portanto, ser utilizado no

monitoramento do metabolismo microbiano aeróbio e na determinação do estágio de maturação do composto produzido pelo reator aeróbico de fluxo ascendente em estudo.

7.5.2 Respirometria segundo a norma ABNT 14283 (Respirômetro de Bartha)

O experimento durou um período de 28 dias. Ao comparar a atividade respiratória após 28 dias de experimento medida no composto do reator de 28 dias no composto da Comlurb de 4 meses (Tabela 24), com as especificações da Tabela 23, conclui-se que as amostras estão estáveis e bem maturadas por apresentarem respectivamente 14,0620 e 3,0377. mg CO₂/g de composto, em 28 dias.

Na Figura 31, nota-se que a amostra de 28 dias tem um comportamento distinto com relação à amostra da Comlurb, e a figura ilustra que a amostra retirada do reator de 28 dias não está tão estabilizada quando comparada a uma leira de compostagem de 4 meses. Os controles feitos das respectivas amostras com esterilização térmica, não foi efetivo, pois tais controles aparentemente não foram mantidos estéreis, provavelmente devido à recolonização das amostras e/ou sobrevivência de esporos resistentes às autoclações consecutivas.

Tabela 23. Índice de estabilidade e maturação do composto com base na evolução da produção de CO₂.

Taxa de respiração mg CO₂/g / 28 dias	Classificação	Características
< 56	Muito estável	Bem maturado, odor de húmus
56 - 140	Estável	Composto maturado, impacto mínimo na dinâmica do solo
140- 280	Moderadamente estável	Maturação incompleta. Odor potencial. Pode imobilizar o nitrogênio do solo e provocar efeitos fitotóxicos. Não deve ser utilizado em contato direto com sementes de plantas.
280 - 560	Composto instável	Muito imaturo. Odor agressivo e alto potencial de fitotoxicidade
> 560	Muito instável	Resíduo extremamente instável, odor ofensivo forte e alta fitotoxicidade. Não recomendável para uso.

Fonte: Adaptação do PROSAB (1999).

Tabela 24. Produção média de CO₂ acumulado nos seguintes ensaios, em mg.g⁻¹ em 28 dias.

Dias	Controle Comlurb	Amostra Comlurb	Controle reator	Amostra reator
	4 meses	4 meses	28 dias	28 dias
1	1,582128	1,582128	1,582128	1,582128
2	1,672214	1,658369	2,084714	2,091352
3	1,714703	1,675837	2,514328	2,527575
4	1,787407	1,716957	3,000594	2,998262
5	1,876071	1,789050	3,513611	3,506063
6	1,943763	1,806349	3,974295	3,968627
7	2,022666	1,874577	4,444928	4,417446
8	2,114716	1,959263	4,930032	4,884141
9	2,161725	2,026955	5,409519	5,342004
10	2,233504	2,079951	5,903587	5,848656
11	2,301197	2,104113	6,380254	6,304639
12	2,324404	2,132426	6,837427	6,758099
13	2,389360	2,187900	7,302082	7,218013
14	2,400594	2,214581	7,739274	7,659885
15	2,427504	2,244087	8,184939	8,113104
16	2,460270	2,275449	8,622130	8,560126
17	2,464951	2,297308	9,085534	8,983274
18	2,490555	2,349463	9,580534	9,446507
19	2,498650	2,379940	10,050534	9,892698
20	2,522255	2,421485	10,511779	10,319479
21	2,591125	2,493224	11,007736	10,814001
22	2,661125	2,521795	11,457259	11,258762
23	2,697633	2,561623	11,914328	11,720573
24	2,754286	2,585228	12,367547	12,177096
25	2,824798	2,618604	12,844214	12,648592
26	2,891178	2,654164	13,313611	13,102342
27	2,960525	2,687643	13,788763	13,574386
28	3,037668	2,734786	14,269715	14,062005

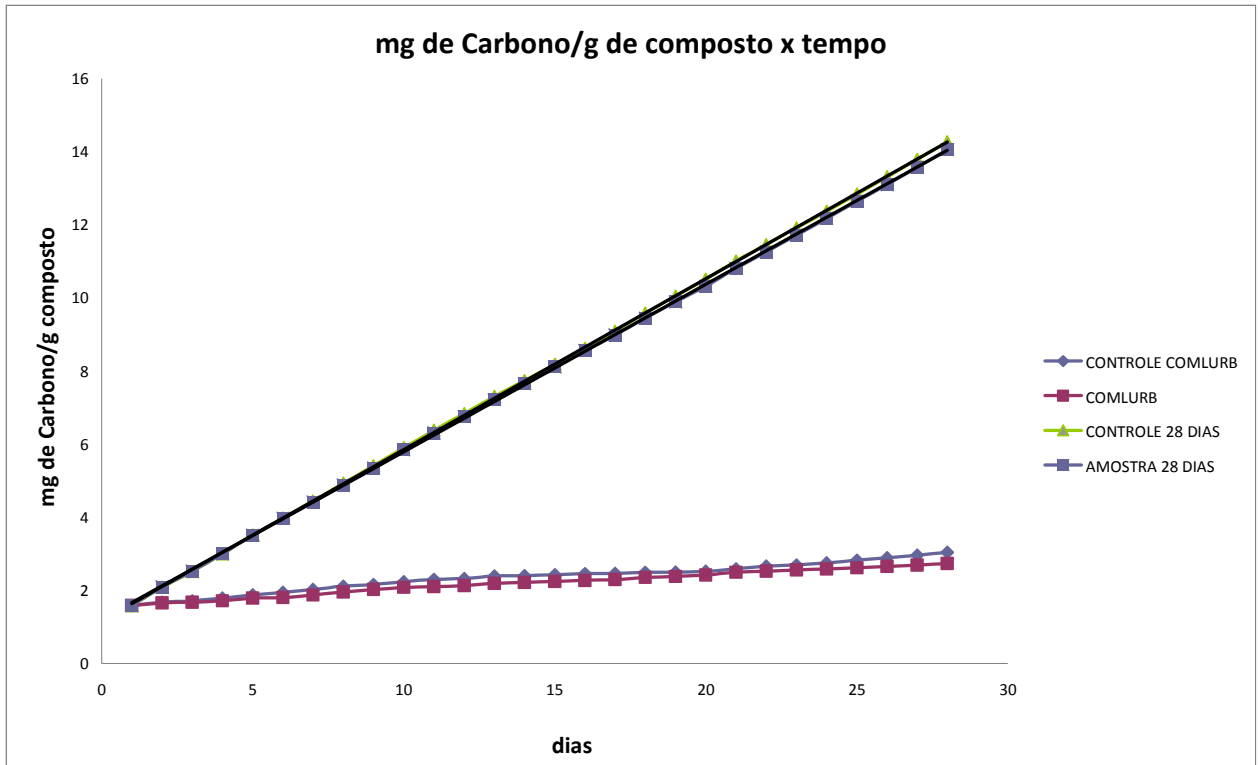


Figura 31. Comportamento da emissão de CO₂ das diferentes amostras durante os 28 dias.

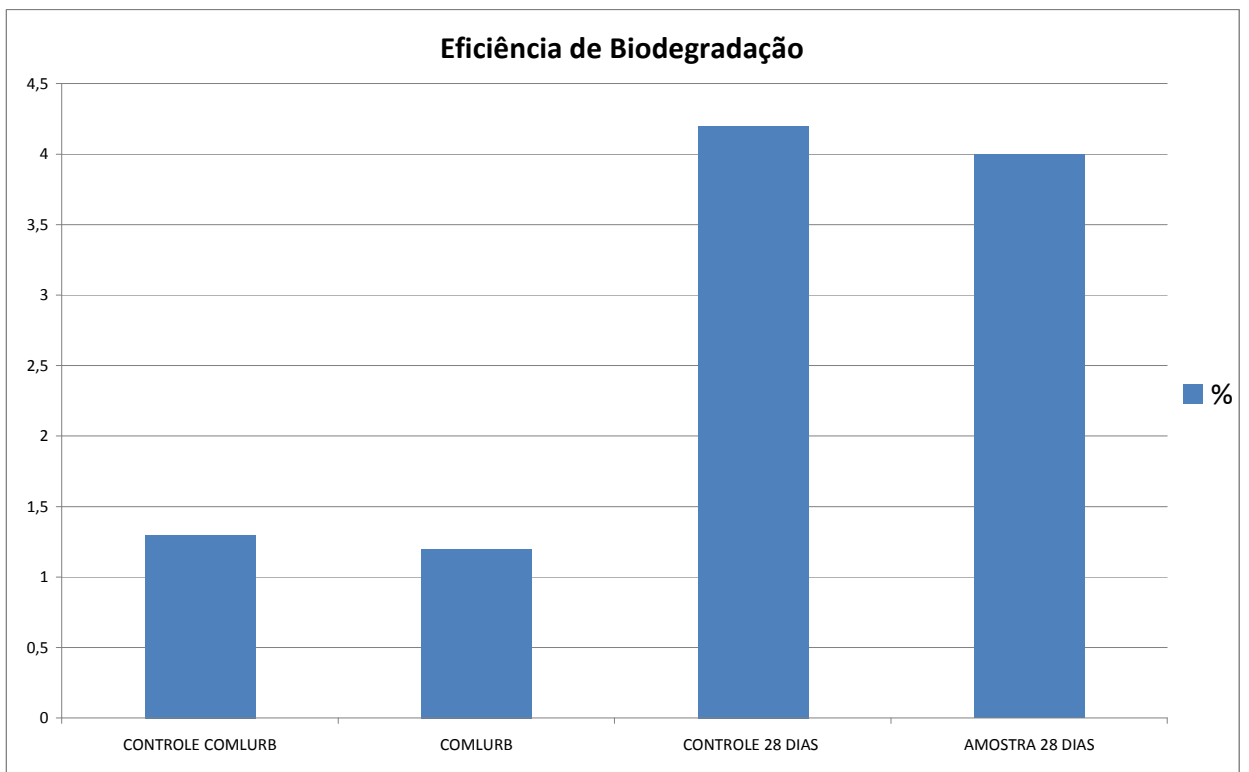


Figura 32. Eficiência da biodegradação de acordo com a Equação 2 do método NBR 14283 (ABNT, 1999).

Na Figura 32, nota-se que as amostras de 28 dias e a amostra da Comlurb apresentaram baixa eficiência de biodegradação Ou seja baixa perda de carbono durante o experimento, indicando que houve uma baixa atividade microbiana e que estes compostos orgânicos estão estabilizados. Segundo a Norma NBR 14283, originalmente feita para resíduos em solos, diz que os resíduos que apresentarem eficiência acima de 30% são passíveis de serem tratados , neste caso, por serem resíduos apresentam eficiência de biodegradação abaixo de 30 %, e tanto o composto de 28 dias como da Comlurb, são originários de resíduos domésticos orgânicos, conclui-se que estes compostos não precisam de tratamento e podem ser utilizados.

As figuras 31 e 32 indiretamente mostram que : os controles (onde teoricamente não deveria ter havido respiração pelo fato das amostras estarem estéreis) tiveram aproximadamente a mesma produção de CO₂ que as respectivas amostras testes. Isso significa que não podemos estimar quanto de CO₂ foi introduzido no sistema por entrada indesejada via ascarita ou outros pontos de entrada. Somos forçados a acreditar que todo o CO₂ titulado foi produzido via respiração.

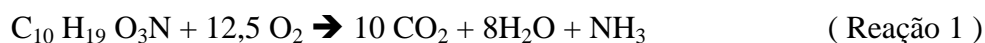
Conclusões da respirometria segundo NBR 14283: Pelo método respirométrico Bartha, amostras de 28 dias retiradas do reator aeróbio de fluxo ascendente e as amostras de 4 meses da leira de compostagem convencional de lixo orgânico da Comlurb apresentaram-se bem estáveis e maturadas. Em comparação com a amostra de da Comlurb, a amostra de 28 dias apresenta-se com maior atividade microbiana e menos maturada. Os controles das respectivas amostras de 28 dias e amostra, feitas por esterilizações térmicas sucessivas, neste caso, não deram certo pois os controles apresentaram comportamentos semelhantes aos seus tratamentos no teste respirométrico. O teste respirométrico pela NBR mostrou resultados equivalentes aos obtidos pelo método SOUR com relação à eficiência na identificação do grau de avanço do processo de compostagem. Portanto, o método Bartha, assim como o SOUR pode ser utilizado no monitoramento do metabolismo microbiano aeróbio e na determinação do estágio de maturação do composto produzido pelo reator aeróbico de fluxo ascendente em estudo.

Estudos de respirometria conduzidos com amostras de diferentes idades sugerem baixa atividade microbiana aeróbia, comparada aos valores esperados na literatura (SALOMÃO et. al, 2009).

Correlação entre os testes de respirometria BARTHA e SOUR: Os experimentos de respirometria tanto o SOUR como BARTHA apresentaram resultados semelhantes com relação a maturação do composto de 28 dias, pois os dois experimentos confirmaram que este estava maturado, baseado neste resultado, tentamos fazer uma correlação entre os resultados.

Primeiramente, fizemos a média em $\text{mg O}_2 \text{ g}^{-1} \text{ VS h}^{-1}$ das amostras analisadas pelo método SOUR (Amostra Inicial-Ilha Grande , Amostra de 14 dias – Suécia, Amostra 28 dias – Ilha Grande e Amostra Comlurb) e a média, em $\text{mg CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ VS h}^{-1}$ das amostras analisadas pelo método BARTHA (Amostra 28 dias – Ilha Grande, Amostra Comlurb).

Fez-se um balanço de massa das médias das amostras do método SOUR, transformando para $\text{mg CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ VS h}^{-1}$ através da reação de biodegradabilidade da matéria orgânica (PROSAB, 1999) apresentada abaixo:



Após o balanço de massa, através dos resultados retirados das amostras analisadas pelo método SOUR (Tabela 25) , fez-se o gráfico de correlação com do dados das amostras do método BARTHA, para se saber, se existe um tipo de correlação.

Tabela 25. Média em $\text{mg CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ VS h}^{-1}$, das amostras analisadas pelo SOUR e pela ABNT.

Amostras	SOUR - $\text{mg CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ VS h}^{-1}$	ABNT - $\text{mg CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ VS h}^{-1}$
Amostra inicial	2,39	-----
Composto reator 14 dias - Kalmar	0,77	-----
Composto reator 28 dias - Suécia	0,36	0,01
Composto Comlurb	0,18	0,05

Apesar que o dados analisados pelo método SOUR e o método BARTHA apresentarem correlação (Figura 33), percebe-se que os valores pelo método SOUR pelo balanço de massas estão acima, dos que encontrados pelo metodo de BARTHA nas amostras de 28 dias – Ilha Grande e Amostra Comlurb, esta diferença pode-se por ser metodologias completamente diferentes sendo que o método SOUR pela metodologia ocorre obrigatoriamente um incremento de nutrientes possibilitando um crescimento do numero de microrganismos existentes no composto e conseqüentemente maior consumo de oxigênio, além disso, o

método SOUR o sistema não é hermeticamente fechado, ou seja, o consumo de oxigênio pelos microorganismos pode ser superestimado devido a perda de oxigênio para atmosfera por difusão.

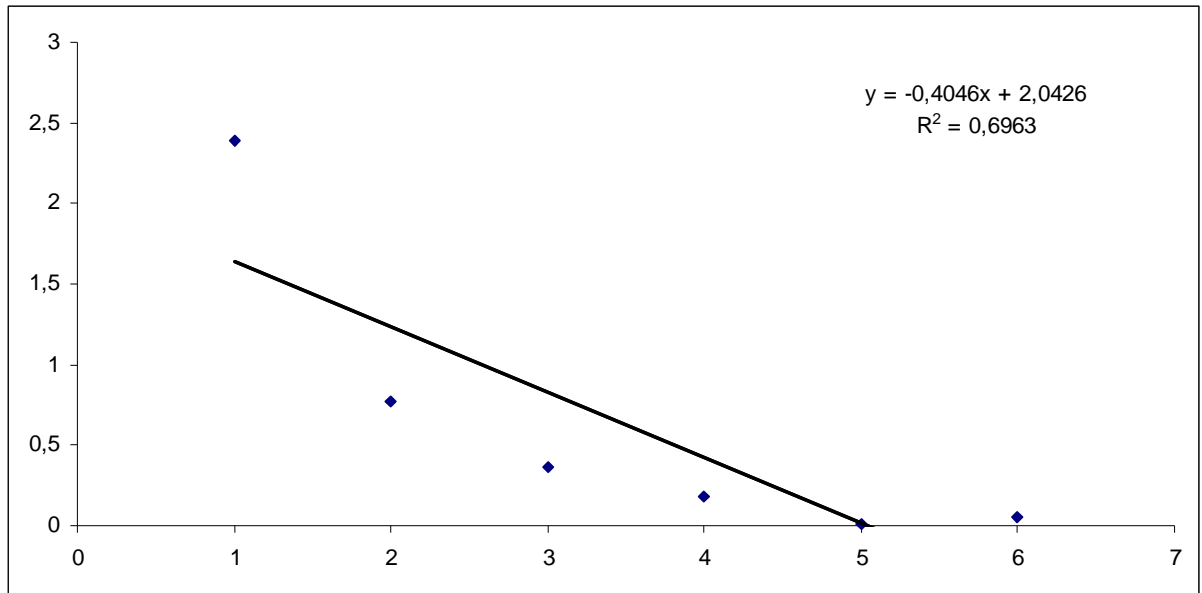


Figura 33. Correlação entre as amostras do método SOUR e o método BARTHA

8. CONCLUSÕES

A composição do lixo orgânico utilizado na alimentação do reator assim como do pH inicial do material estruturante adicionado são fatores determinantes do tempo requerido para degradação dos ácidos orgânicos gerados e subsequente elevação do pH. Dependendo das características do resíduo orgânico que se pretende processar, é necessária a inclusão de material inoculante para desenvolvimento de bactérias e fungos e, conseqüentemente, otimização do processo de compostagem. As análises físico-químicas e microbiológicas confirmaram que o composto gerado pelo reator é viável e que o processo de degradação aeróbia ocorre no interior do corpo principal do reator. Portanto, há uma excelente chance de que uma vez removidos os problemas mecânicos de trituração e alimentação, o reator possa ser utilizado como uma tecnologia inovadora do tratamento de lixo orgânico in situ para pequenos e médios geradores. O sistema de trituração está sendo reconstruído e, em breve, o reator será novamente testado, completando pelo menos 4 ciclos completos para avaliação detalhada do funcionamento do sistema. Pelos métodos respirométricos *Specific Oxygen Uptake Rate* (SOUR) e Bartha, amostra de 28 dias retirada do reator aeróbio de fluxo ascendente e apresentou-se bem estável e maturada. Os testes respirométrico através do *Specific Oxygen Uptake Rate* (SOUR) e da norma NBR 14283 (ABNT, 1999) que faz uso do respirômetro de Bartha mostraram-se ambos eficientes na identificação do grau de avanço do processo de compostagem. Tais métodos medem de forma direta o processo em curso através da atividade microbiana aeróbia responsável pela compostagem, que é uma forma complementar da normalmente utilizada, baseada em análises físico-químicas do composto gerado. Além disso, esses testes apresentam algumas vantagens em relação a outros métodos de análise disponíveis no mercado: não necessitam de equipamentos sofisticados ou caros, mas utilizam equipamentos normalmente encontrados nos laboratórios das instituições de ensino e pesquisa do Brasil. Os métodos SOUR e Bartha podem, portanto, serem utilizados no monitoramento do metabolismo microbiano aeróbio e na determinação do estágio de maturação do composto produzido pelo reator em estudo. Após a reconstrução mecânica do sistema de trituração e alimentação (em desenvolvimento, com o apoio da Eng. Mecânica da UERJ), assim como o aperfeiçoamento do sistema de aeração, tudo indica que o reator testado poderá ser utilizado conforme proposta original.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADANI, F.; LOZZI, P.; GENEVINI, P. *Determination of biological stability by oxygen uptake on municipal solid waste and derived products*. Compost Science & Utilization, v. 9, n. 2. 163- 178 p. 2001.

ADANI, F.; GIGLIOTTI, G.; VELENTINI, F.; LARAIA, R. *Respiration Index Determination: a comparative of different methods*. Compost Science & Utilization, v. 11, n. 2, 144-151 p. 2003.

ALVES, W L. *Compostagem e vermicompostagem no tratamento de lixo urbano*. Jaboticabal: FUNEP, 1996. 47 p.

ANDREOTTOLA, G.; OLIVEIRA, E.L, FOLADORI, P.; DALLAGO, L.; PETERLINI, R.; CADONNA, M. *Método respirométrico para o monitoramento de processos biológicos*. Engenharia Sanitária Ambiental v.10 n.1, 14-23p. 2005.

APHA. *Standard Methods for examination of water and wastewater*, 21st Edition, Washington, D.C. American Public Health Association, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL - ABES. *Guia do Saneamento no Brasil 1992/1993*. RJ. 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14283**. *Resíduos em solos – Determinação da Biodegradação pelo método respirométrico*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**. *Resíduos Sólidos - Classificação*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10007** *Amostragem de resíduos sólidos*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT, 2004.

BAETA-HALL, L.; SÀ ÁGUA, M. C.; BARTOLOMEU, M. L.; ANSELMO, A. M.; ROSA, M.F. *A compostagem como processo de valorização dos resíduos produzidos na extração de azeite em contínuo*. Boletim Biotecnologia. nº 72. 31-37p. 2002.

BARLSHEN, K.D.; BAETZ, B.W. *Development of a Decision Support System for the Planning of Municipal Solid Waste Composting and Recycling Programs*. MacMaster University. Hamilton, Canadá, 1994.

BAFFI, C.; DELL'ABATE, M.T.; NASSINI, A.; SILVA, S.; BENEDETTI, A.; GIGLIOTTI, G.; ADANI, F. *Determination of biological stability in compost: a comparison of methodologies*. Soil Biology & Biochemistry. v. 39, 1284-1293 p. 2007.

BERGEY'S. *Manual of determinative Bacteriology*. Williams & Wilkins, Baltimore, MD, 2003.

BRUNI, V. C. *Avaliação do processo operacional de compostagem aerada de lodo de esgoto e poda vegetal em reatores fechados*. Curitiba - PR, Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental), Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Paraná. 2005.

BUCKLEY, K.E. *Pig production in straw bedded systems*. Brandon Research Centre, Brandon, 7p. 2001.

CAMPOS, A. L. de O.; BLUNDI, C. E. *Avaliação de matéria orgânica em compostagem: metodologia e correlações*. 1998.

CAMPBELL, STU. *Manual de compostagem para hortas e jardins: como aproveitar bem o lixo orgânico doméstico*, tradução de Marcelo Jahnel. São Paulo: Nobel. 144p. 1999.

CHEREMISINOFF P.N. *Biomanagement of wastewater and wastes*. PTR Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 221p. 1994.

CEBALLLOS, O.B.S.; PAZ, M.C.F.; VELOSO, M.F.L.; RAPOSO, R.W.C.; GRISI, B. M. *Características sanitárias e biológicas de compostos orgânicos produzidos na paraíba e determinação da proporção ideal no solo para estimular a fixação biológica de nitrogênio*. 20o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Joinville - Santa Catarina. Anais 2003.

COMPANHIA MUNICIPAL DE LIMPEZA URBANA-COMLURB. *Caracterização Gravimétrica e Microbiológica de Resíduos Sólidos Domiciliares do município do Rio de Janeiro*. Centro de Informações Técnicas - CITE da COMLURB, Rio de Janeiro, RJ, 2009.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. *Enterococos – determinação pela técnica de membrana filtrante – método de ensaio*. L5.212. CETESB, São Paulo. 29 p. 1993.

_____. *Estreptococos fecais – Determinação do número mais provável pela técnica de tubos múltiplos - método de ensaio*. L5.205. CETESB, São Paulo. 1984. 32p. 1984.

_____. *Salmonella – isolamento e identificação – método de ensaio*. L5. 218. CETESB, São Paulo. 42p. 1993b.

_____. *Coliformes totais e fecais – determinação do número mais provável pela técnica de tubos múltiplos - métodos de ensaio*. L5. 202. CETESB, São Paulo. 39 p. 1993a.

_____. *Pseudomonas aeruginosa – determinação em amostras de água pela técnica de tubos múltiplos – método de ensaio*. L5. 220. CETESB, São Paulo. 29 p. 1993.

COSTA E SILVA, C.A.M.; QUINTÃES, B.R, PASTURA, C.P.; HENRIQUES, A.L.M.; SANTOS, F.M. *Caracterização microbiológica de resíduos sólidos domiciliares de bairros e comunidades carentes da cidade do Rio de Janeiro*. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Campo Grande/MS. 2005.

D'ALMEIDA, M.L., VILHENA, A. *Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado*. 2ª ed. São Paulo: IPT/CEMPRE , 370 p. 2000.

DALPIAN, J. J. *Compostagem de resíduos contendo gordura e celulose de indústria de produtos cárneos: valoração de resíduos à subproduto*. Dissertação Curso de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional-Mestrado, Programa de Mestrado e Doutorado em Desenvolvimento Regional da Universidade de Santa Cruz do Sul, 2004.

DE AZEVEDO, J. *Estudo ambiental/econômico do composto orgânico do sistema de beneficiamento de resíduos sólidos urbanos da usina de Irajá, município do rio de janeiro*. Tese de mestrado do Curso de Pós-graduação em Geociências da Universidade Federal Fluminense, 2000.

DE GUARDIA, A.; PETIOT, C.; ROGEAU, D.; DRUILHE, C. Influence of aeration rate on nitrogen dynamics during composting. *Waste Management*, v. 28, n. 3. 575-587 p. 2008.

DE PAIVA, D.P. *Compostagem: destino correto para animais mortos e restos de parição. Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos: manual de boas práticas*. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves. 100 – 105p. 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. *Centro Nacional de Pesquisa de Solos*. Manual de Métodos de Análise de Solos. 2a ed. Rio de Janeiro. 212p. 1997.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). *Characterization of municipal solid waste in the United States: 2001 update*. Estados Unidos da América: Publicação Científica, 2003.

FRANCISCO NETO, J. T.; *Manual de horticultura ecológica: guia de auto-suficiência em pequenos espaços*. São Paulo: Nobel. 57-76. 1995.

FERNANDES, F.; VIEL, M.; SAYAG, D.; ANDRÈ, L. *Microbial break down of fats through in-vessel co-composting of agricultural and urban wastes*. *Biological Wastes*, n 26, p.33-48. 1988.

GÓMEZ, R.B.; LIMA, F.V.; BOLASELL, M.A.G.; GEA, T.; FERRER, A.S. *Respirometric assays at fixed and process temperatures to monitor composting process*. *Bioresource Technology* v.96. 1153-1159 p. 2005.

GÓMEZ, R.B.; LIME, F.V. *The use of respiration indices in the composting process: a review*. *Waste Management & Research* v.24. 37-47p. 2006.

HAUG, R.T. *The Practical Handbook of Compost Engineering*. Lewis Publishers, Florida, 1993.

HOGLAND, W.; BRAMRYD, T.; MARQUES, M.; NIMMERMARK, S. *Physical, chemical and biological processes for optimizing decentralized small-scale household composting*. *Compost Science & Utilization*, v. 11. n. 4. 330-336p. 2003.

HORISAWA, S.; SALUMA, Y.; TAMAI, Y.; DOI, S.; TERAZAWA, M. *Effect of environmental temperature on a small-scale biodegradation system for organic solid waste*. *Journal of Wood Science*, v.47, n.2, 154-158 p, 2001.

INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 25, DE 23 DE JULHO DE 2009. *Normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura*. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento.

INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 27, DE 05 DE JUNHO DE 2006 – *Anexo V - Limites máximos de contaminantes admitidos em fertilizantes orgânicos*. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento.

INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 28. *Manual de Métodos Analíticos Oficiais Para Fertilizantes Minerais, Orgânicos, Organominerais e Corretivos*. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2007.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA - IPEA Aspectos Econômicos da Gestão Integrada de Resíduos Sólidos. Texto para discussão n.º 416. Maio, 26 p. 1996.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA – IBGE. *Pesquisa nacional de saneamento básico*. Rio de Janeiro, RJ. 397p. 2002.

JAHNEL, M.C.; MELLONI, R.; CARDOSO, E.J.B.N. Maturidade de composto de lixo urbano. *Scientia Agricola* v.56, n. 2 301 p. 1999.

JAMES, B. *Lixo e Reciclagem*. São Paulo, Scipione, 43p. 1997.

JUNKES, M. B. *Procedimentos para aproveitamento de resíduos sólidos urbanos em município de pequeno porte*. Florianópolis-SC. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina. 2002.

JARDIM N. S. *Lixo Municipal: manual de gerenciamento integrado*. 1ª ed. São Paulo: IPT/CEMPRE. Publicação IPT 2163. 1995.

KIEHL, E.J. *Fertilizantes Orgânicos*. São Paulo: Ceres. 492 p. 1985.

KIEHL, E.J. *Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto*, Editora: Livroceres, 4ª ed. Piracicaba. 2004.

KOEPF, H. *Composto. O que é - como é feito - o que faz*. Artigo “Bio-dinâmica”. n 77, publicado pela Associação Beneficente Tobias. Botucatu, 22p. 1976.

KULCU, R.; YALDIZ, O. *Determination of aeration rate and kinetics of composting some agricultural wastes*. *Bioresource Technology*, v. 93, n. 1. 49-57 p., 2004.

LASARIDI, K.E. AND STENTIFORD, E.I, *Biological parameters for compost stability assessment and process evaluation*. *Acta Hort. (ISHS)* v. 469.119-128 p., 1998.

LASARIDI, K.; STENTIFORD, E.I. *A simple respirometric technique for assessing compost stability*. *Water Research* v. 32, n. 12. 3717–3723 p. 1998.

LINDENBERG, R. C. *60 Questões Sobre a Compostagem*. São Paulo, 15 p. 1992.

LOUREIRO, D.C.; DE AQUINO, A.M.; ZONTA, E.; LIMA, E. *Compostagem e vermicompostagem de resíduos domiciliares com esterco bovino para a produção de insumo orgânico*. Pesq. Agropec. Bras. Brasília, v. 42, n.7, 1043-1048 p. 2007.

LUNDEBERG S. *Quality certification of compost and fermentation residues from organic wastes*. AFN Report 197, 1-156. Swedish Environmental Protection Agency, Stockholm (In Swedish). 120 p. 1998.

MARAGNO, E. S, TROMBIN, D. F, VIANA, E. *O uso da serragem no processo de minicompostagem*. Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental. v. 12, n. 4.355-360 p. 2007.

MARQUES, M.; HOGLAND, W. *Processo descentralizado de compostagem em pequena escala para resíduos sólidos domiciliares em áreas urbanas*. In: XVIII Congresso Interamericano di Ingeniería Sanitaria y Ambiental-AIDIS, Cancún, 2002.

MARQUES, M. MOTTA, P.C. ROSA, G.S.; AGUIAR, C.R.C.; MORAES, L. *Perfil sócio-econômico dos turistas e moradores da Ilha Grande, RJ e disposição em pagar taxa ambiental*. I Encontro Interdisciplinar de Ecoturismo em Unidades de Conservação - I ECOUC, UERJ, Rio de Janeiro 2005.

MIYATAKE, F., IWABUCHI, K. *Effect of compost temperature on oxygen uptake rate, specific growth rate and enzymatic activity of microorganisms in dary cattle manure*. Bioresource Technology, v. 97, n.7, 961-965 p. 2006.

MF RURAL REPRESENTAÇÕES LTDA MFRURAL. *Venda de Fertilizantes* site: <http://www.mfrural.com.br>. Acesso: 08 de Março de 2010.

MUNIZ, R.S.; SALOMÃO, A.L.S.; MARQUES, M.; HOGLAND, W. *Compostagem de resíduos orgânicos de restaurantes em um reator aeróbio de fluxo ascendente*. 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2009.

NAKASAKI, K.; YAGUCHI, H.; SASAKI, Y.; KUBOTA, H. *Effects of pH control on composting of garbage*. Waste Management & Research v.11, 117-125. p. 1993.

OWEN, P. A. *The history of composting*. 2003. Disponível em: <<http://www.powen.freemove.co.uk/Guides/histcomp.html>> Acesso em: 28 set. 2008.

PEREIRA NETO, J. T. *Gerenciamento dom lixo urbano: aspectos técnicos*. Ed. UFV, 129p. 2007.

PEREIRA NETO, J.T. *Manual de Compostagem: Processo de baixo custo* - Ed. Rev. e Aum. Viçosa, MG : Ed. UFV, 81 p, 2007.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ANGRA DOS REIS – PMAR. *Plano de Gestão Ambiental De Resíduos Sólidos – Pgars Da Ilha Grande*. Angra dos Reis, RJ, 48p. 2006.

PROSAB. *Manual Prático para Compostagem de Biossólidos*. Rio de Janeiro, RJ: 1ª Ed. ABES, 1999.

ROS, M. *Respirometry of Activated Sludge*. Technomic Publishing Company, Inc.; Lancaster, 149 p. 1993.

SÁ ARAGÃO, J.M.; STENTIFORD, E.I. *A Influencia da Temperatura na perda de Nitrogênio Durante a Compostagem*. 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro/ RJ, 1999.

SALOMÃO, A.L.S.; MUNIZ, R.S.; PEREIRA, D.A.; MARQUES, M. *Teste respirométrico simplificado na avaliação do processo de compostagem em um reator aerado de fluxo ascendente*. 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Recife, 2009.

SANTOS, G.A., CAMARGO, F.A.O. *Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre, Ed: Genesis, 1999.

SCAGLIA, B.; TAMBONE, F.; LUIGI, P.; GENEVINI, P.L.; ADANI, F. *Respiration Index Determination: Dynamic and Static Approaches*. *Compost Science & Utilization*. v. 8, n. 2, 90- 98 p. 2000.

SCAGLIA, B.; ERRIQUENS, F.G.; GIGLIOTTI, G.; TACCARI, M.; CIANI, M.; GENEVINI, P.L.; ADANI, F. *Precision determination for the specific oxygen uptake rate (SOUR) method used for biological stability evaluation of compost and biostabilized products*. *Bioresource Technology*, v. 98, 706-713 p. 2007.

SCHLOSS, P.D.; HAY, A.G.; WILSON, D.B.; WALKER, L.P. *Tracking temporal changes of bacterial community fingerprints during the initial stages of composting*. *FEMS Microbiology Ecology*, v. 46, n.1. 1-9 p. 2003.

SILVEIRA, A. *Contributo para o desenvolvimento do modelo cinético de compostagem*. Dissertação de doutoramento em Engenharia Sanitária. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 1997.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO-SNIS. *Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos - Parte 2 tabelas de informações e indicadores*. Ministério das Cidades, Secretaria de Meio Ambiente, Brasília, 458p. 2007.

SMARS, S., GUSTAFSSON, L., FRIIS-BECK, B., JONSSON, H. *Improvement of the composting time for household waste during an initial low pH phase by mesophilic temperature control*. *Bioresource Technology*, v.84, 237-241 p. 2002.

SOUZA, F. C.; PEREIRA NETO, J.T.; CEBALLOS, B. S. O. *Avaliação da compostagem mesofílica e termofílica*. VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia sanitária e Ambiental. Vitória, 2002.

SUNDBERG, C. 2003. *Food waste composting – effects of heat, acids and size*. *Licentiate Thesis*. Dept. of Agriculture Engineering, Sveriges Lantbruksuniversitetet - SLU, Uppsala, Sweden.

TSUTIYA, M. T.; COMPARINI, J. B.; SOBRINHO, P. A.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P. C. T.; MELFI, A. J.; MELO, W.J.; MARQUES, M. *Biossólidos na agricultura*. São Paulo: SABESP. 133-180 p. 2002.

TOGNETTI, C.; MAZZARINO, M.J.; LAOS, F. *Improving the quality of municipal organic waste compost*. *Bioresource Technology*. v. 98, n. 5, 1067-1076p. 2007.

TCHOBANOGLIOUS, G.; KREITH, F. *Handbook of Solid Waste Management*, Second Edition. McGraw-Hill, New York. 2002.

TOGNETTI, C.; MAZZARINO, M.J.; LAOS, F. *Improving the quality of municipal organic waste compost*. *Bioresource Technology* v. 98, n. 5, 1067-1076 p. 2007.

VAILATI, J. *Agricultura alternativa e comercialização de produtos naturais*. IBD- Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Rural, Botucatu. São Paulo, 1998.

ANEXO I

Atividades de Educação Ambiental na Escola Municipal Brigadeiro Nóbrega, Abraão, Ilha Grande. Mestrando Eng. Rodrigo Sonderrmann Muniz explicando o processo de compostagem de resíduos sólidos e o funcionamento do reator instalado no pátio da Escola, (Ilha Grande, 2009).

