



UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS
CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**COMPOSTAGEM PARA TRATAMENTO DA PARCELA
FACILMENTE DEGRADÁVEL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS
DOMÉSTICOS REJEITADA NOS PROCESSOS DE TRIAGEM
DE INERTES.**

CAROLINE LOBATO DE LIMA SOUZA

São Leopoldo, Dezembro de 2014.

CAROLINE LOBATO DE LIMA SOUZA

**COMPOSTAGEM PARA TRATAMENTO DA PARCELA
FACILMENTE DEGRADÁVEL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS
DOMÉSTICOS REJEITADA NOS PROCESSOS DE TRIAGEM
DE INERTES.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof^ª. Dr^ª. Luciana Paulo Gomes

Banca examinadora: Prof. Dr. Fernando Fernandes – UEL

Prof. Dr. Luis Alcides Schiavo Miranda - UNISINOS

São Leopoldo, Dezembro de 2014.

- S729c Souza, Caroline Lobato de Lima
 - Compostagem para tratamento da parcela facilmente degradável dos resíduos sólidos domésticos rejeitada nos processos de triagem de inertes / Caroline Lobato de Lima Souza. – 2014.
 - 124 f. : il.
 - Dissertação (mestrado) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Ciências Exatas e Tecnológicas, 2014.
 - Orientação: Profa. Dra. Luciana Paulo Gomes.
- Compostagem. 2. Resíduos sólidos domésticos. I. Gomes, Luciana Paulo. II. Título.

Catálogo na publicação
Michele Carvalho Nunes – CRB 10/1872

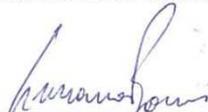
TERMO DE APROVAÇÃO

CAROLINE LOBATO DE LIMA SOUZA

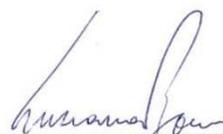
COMPOSTAGEM PARA TRATAMENTO DA PARCELA FACILMENTE DEGRADÁVEL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DOMÉSTICOS REJEITADA NOS PROCESSOS DE TRIAGEM DE INERTES

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração: Gerenciamento de Resíduos, da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS.

Aprovada em 16 de dezembro de 2014



Prof.ª Dr.ª Luciana/Paulo Gomes
Orientadora – UNISINOS

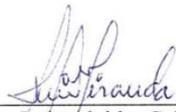


Prof.ª Dr.ª Luciana/Paulo Gomes
Coordenadora do PPGEC/UNISINOS

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Fernando Fernandes - UEL



Prof. Dr. Luís Alcides Schiavo Miranda – UNISINOS

“Nunca é alto o preço a pagar pelo
privilégio de pertencer a si mesmo...”

Friedrich Nietzsche

AGRADECIMENTOS

Eu realmente tenho muito que agradecer! Tantas foram as pessoas que colaboraram nessa minha formação que não receio em dizer que poucas vezes na vida recebi tanta contribuição. Tantas foram as pessoas que, sob pena de ser injusta, não me arriscaria aqui em tentar citar todos os nomes.

Começo então agradecendo aos meus colegas e professores, em especial àqueles que colocaram a mão na massa junto comigo, seja na preparação do pátio ou na montagem das pilhas, ou, em alguns casos nas duas ocasiões. Destaco aqui os professores Luis Miranda e Marcelo Caetano, a vocês dois a minha eterna gratidão.

Agradeço em especial também a Aimée e Bruna Serena, que souberam ser amigas, companheiras e pacientes e a Neuri Rempel que compartilhou comigo informações e experiências preciosas que muito contribuíram em meu trabalho experimental.

À Jalir e Marlucci pela generosidade e pela disponibilidade. Com vocês entendi o verdadeiro significado de ajudar sem esperar nada em troca.

À Rafaela Paulo Gomes que literalmente viu e participou do início, do meio e do fim e que consegue ser ao mesmo tempo tão meiga e tão forte.

À Claudia Kohl que iniciou e terminou (exatamente no mesmo dia) toda essa jornada junto comigo. Que a amizade continue, que o afeto continue, que a cumplicidade continue e que venham outros projetos para iniciarmos e terminarmos juntas.

Agradecimento mais do que especial aos meus colegas e amigos Alisson Schons e Fabian Mayer que foram tão parceiros e tão incansáveis que deixaram de ser apenas importantes e se tornaram essenciais. Eu realmente não teria conseguido sem vocês!

A minha orientadora Luciana Paulo Gomes, foi professora, crítica, incentivadora, conselheira e amiga. Que mais do que a palavra certa no momento certo, soube ter a atitude certa no momento certo. Se hoje estou me tornando Mestre é porque tive uma “Grande Mestre”.

E por fim, porém mais vital do que tudo, Rudinei, à você, para você, por você...

FONTES DE FINANCIAMENTO DA PESQUISA

Ministério da
Ciência e Tecnologia



*Conselho Nacional de Desenvolvimento
Científico e Tecnológico*



FINEP

FINANCIADORA DE ESTUDOS E PROJETOS
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	23
1.1	OBJETIVOS	26
1.1.1	<i>Objetivo geral.....</i>	26
1.1.2	<i>Objetivos específicos</i>	26
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	27
2.1	RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU):	27
2.2	COMPOSTAGEM.....	33
2.2.1	<i>Compostagem de Resíduos Sólidos Urbanos.....</i>	35
2.2.2	<i>Microbiologia do Processo de Compostagem.....</i>	37
2.2.3	<i>Implantação e Características Operacionais do Processo de Compostagem.....</i>	39
2.2.4	<i>Monitoramento do Processo de Compostagem.....</i>	45
2.2.5	<i>Efeito da Compostagem na Eliminação de Patógenos.....</i>	48
2.3	FERTILIZANTES ORGÂNICOS: QUALIDADE, LEGISLAÇÃO E UTILIZAÇÃO DO COMPOSTO PRODUZIDO.....	50
2.4	CORRETIVOS DE ACIDEZ DE SOLO	55
2.5	TESTES DE GERMINAÇÃO NA DETERMINAÇÃO DO GRAU DE MATURAÇÃO E DA FITOTOXICIDADE DE COMPOSTOS ORGÂNICOS.....	58
3	METODOLOGIA.....	63
3.1	SISTEMA DE AERAÇÃO E PÁTIO DE COMPOSTAGEM.....	64
3.2	MONTAGEM DAS PILHAS DE COMPOSTAGEM	65
3.3	OPERAÇÃO DA COMPOSTAGEM E MONITORAMENTOS	66
3.4	TESTE DA POTENCIALIDADE DO USO DO COMPOSTO ORGÂNICO E DE RESÍDUO DE MARMORARIA COMO CORRETIVO DE ACIDEZ DE SOLO	70
3.5	TESTES DE GERMINAÇÃO	71
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	73
4.1	CARACTERIZAÇÃO INICIAL DOS SUBSTRATOS	73
4.1.1	<i>Teor de inertes.....</i>	73
4.1.2	<i>Caracterização Química:</i>	74
4.1.3	<i>Granulometria.....</i>	75
4.2	CARACTERIZAÇÃO INICIAL DAS PILHAS DE COMPOSTAGEM (T ₀):.....	76
4.3	MONITORAMENTO DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM (T _{PROCESSO}):	79
4.3.1	<i>Temperatura e umidade.....</i>	80
4.3.2	<i>pH.....</i>	84
4.3.3	<i>Carbono Orgânico Total, Nitrogênio Total e C:N</i>	86
4.3.4	<i>Variação de massa e volume</i>	92
4.4	CARACTERIZAÇÃO DO PRODUTO FINAL (T _{FINAL}):	96
4.4.1	<i>Caracterização Física</i>	96
4.4.2	<i>Caracterização química</i>	99
4.4.3	<i>Caracterização microbiológica.....</i>	102
4.5	TESTE DA POTENCIALIDADE DO USO DO COMPOSTO ORGÂNICO E RESÍDUO DE MARMORARIA COMO CORRETIVO DE ACIDEZ DE SOLO.....	104
4.6	TESTES DE GERMINAÇÃO.....	105
5	CONCLUSÕES.....	111
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	113
	APÊNDICE A	124

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Vantagens e desvantagens dos sistemas de compostagem.....	42
Quadro 2: Concentrações máximas admitidas para agentes microbiológicos patogênicos em fertilizantes	48
Quadro 3: Padrões de referência para fertilizantes orgânicos Classe C	52
Quadro 4: Especificações Granulométricas para compostos orgânicos	53
Quadro 5: Parâmetros analíticos empregados para a caracterização de Resíduos	66
Quadro 6: Parâmetros de análise para monitoramento da compostagem.....	69
Quadro 7: Descrição dos tratamentos para análises de corretivo de acidez de solo.....	70
Quadro 8: Recomendações do manual “Regras para Análise de Sementes”	71
Quadro 9: Seqüência de apresentação e discussão dos resultados	73
Quadro 10: Caracterização Inicial de Resíduos: Composição Química.....	74
Quadro 11: Identificação das Pilhas de Compostagem	77
Quadro 12: Caracterização Inicial de Resíduos: Composição físico-química	78
Quadro 13: Variação de volume ao longo do processo de compostagem.....	94
Quadro 14: Variação de massa ao longo do processo de compostagem	95
Quadro 15: Resultados de Umidade em Tfinal	98
Quadro 16: Caracterização Química do produto final.....	100
Quadro 17: Ensaios microbiológicos em Tfinal	103
Quadro 18: Resultados de PRNT	104
Quadro 19: PG e IVG para pilhas de compostagem.....	106
Quadro 20: PG e IVG para resíduos de marmoraria	107

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Evolução da coleta de resíduos domésticos, anual, em São Leopoldo, RS.	29
Figura 2: Composição Gravimétrica dos RSU no Brasil.....	30
Figura 3: Esquema simplificado do processo de compostagem.....	34
Figura 4: Evolução da temperatura de uma leira de compostagem.....	38
Figura 5: Sistema de compostagem em pilhas estáticas aeradas.....	44
Figura 6: Fluxograma das etapas metodológicas da pesquisa.....	64
Figura 7: Pilhas de compostagem com sua respectiva identificação.....	65
Figura 8: Pontos de amostragens.....	67
Figura 9: Teor de inertes em RSD.....	74
Figura 10: Curva granulométrica para misturas de RSD e resíduos de podas.....	76
Figura 11: Evolução da temperatura em função do tempo para pilhas não trituradas.....	82
Figura 12: Evolução da temperatura em função do tempo para pilhas trituradas.....	82
Figura 13: Variação da umidade em função do tempo para pilhas não trituradas.....	83
Figura 14: Variação da umidade em função do tempo para pilhas trituradas.....	84
Figura 15: Evolução do pH em função do tempo para pilhas não trituradas.....	84
Figura 16: Evolução do pH em função do tempo para pilhas trituradas.....	85
Figura 17: Variação do teor de Carbono em função do tempo para pilhas não trituradas.....	86
Figura 18: Variação do teor de Carbono em função do tempo para pilhas trituradas.....	87
Figura 19: Variação do teor de Nitrogênio em função do tempo para pilhas não trituradas....	88
Figura 20: Variação do teor de Nitrogênio em função do tempo para pilhas trituradas.....	89
Figura 21: Evolução da relação C:N em função do tempo para pilhas não trituradas.....	91
Figura 22: Evolução da relação C:N em função do tempo para pilhas trituradas.....	91
Figura 23: Visão geral do pátio de compostagem em momentos distintos.....	93
Figura 24: Distribuição granulométrica em Tfinal.....	97
Figura 25: Amostra dos compostos gerados pelo processo de compostagem.....	98
Figura 26: Amostra dos compostos gerados pelo processo de compostagem.....	99
Figura 27: Teste de germinação (contagem do 7º dia) – Amostra controle (Branco).....	109
Figura 28: Teste de germinação (contagem do 7º dia) – Amostra Marmoraria 50% Fertilizante NT 50%.....	109
Figura 29: Teste de germinação (contagem realizada no 7º dia) – Amostra Pilha P-1.....	109

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas Públicas e Resíduos Especiais

ANOVA - Análise de Variância

C:N - Relação Carbono Nitrogênio

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO - Demanda Química de Oxigênio

ER - Eficiência Relativa

FUNASA - Fundação Nacional de Saúde

hab - Habitantes

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IVG - Índice de Velocidade de Germinação

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

PIB - Produto Interno Bruto

PG - Porcentagem de Germinação

PN - Poder de Neutralização

PRNT - Poder Relativo de Neutralização Total

PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos

RSD - Resíduos Sólidos Domiciliares/Domésticos

RSU - Resíduos Sólidos Urbanos

SEMMAM - Secretaria Municipal de Meio Ambiente de São Leopoldo - RS

SM - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

RESUMO

SOUZA, Caroline Lobato de Lima. **Compostagem para tratamento da parcela facilmente degradável dos resíduos sólidos domésticos rejeitada nos processos de triagem de inertes**. São Leopoldo, 2014. 124 folhas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Unisinos, São Leopoldo. 2014.

A crescente produção de resíduos sólidos de origem doméstica, frente à escassez de áreas que possibilitem uma destinação final técnica e ambientalmente adequadas torna imprescindível a busca de alternativas de tratamento ou gerenciamento desses resíduos de forma a minimizar a parcela a ser destinada para os Aterros Sanitários. Sendo os resíduos de origem orgânica predominantes na composição dos Resíduos Sólidos Domésticos nas cidades brasileiras essa pesquisa visa empregar o processo de compostagem para estabilizar a parcela facilmente degradável dos resíduos rejeitados da Central de Triagem de resíduos sólidos domésticos de São Leopoldo, RS. Nesse estudo foram montadas seis pilhas de compostagem compostas por uma mistura de resíduos sólidos domésticos e resíduos de podas, sendo que em três pilhas os resíduos sólidos domésticos passaram por um processo de trituração prévia. Os controles externos de temperatura e umidade foram realizados via aeração mecanizada. Foram realizadas análises periódicas durante o processo de compostagem, e no composto final. A qualidade sanitária do composto foi avaliada pela eliminação de patógenos e pelo potencial de utilização deste através de testes de germinação. Também foi testada a potencialidade do uso do composto final puro e em proporções de misturas com resíduos de pó de mármore e rochas ornamentais como corretivo de acidez de solo.

Os resultados obtidos demonstraram que ao final do processo a matéria orgânica mostrou-se com características físicas de estabilizada. As pilhas onde os resíduos sólidos domésticos não foram triturados apresentaram melhor desempenho em redução de volume, rentabilidade do processo e tempo de maturação do composto. Quimicamente, todas as pilhas geraram produtos em conformidade com a legislação aplicável, porém os resultados referentes a quantificação de coliformes termotolerantes ficaram acima do limite estabelecido. O potencial de uso dos fertilizantes como corretivos de acidez de solo é viável a partir da mistura destes com pelo menos 50% de resíduos oriundos do corte de mármore e de rochas ornamentais. Os testes de germinação confirmaram a boa maturação e a ausência da fitotoxicidade dos produtos avaliados.

Palavras-chave: Compostagem; Resíduos Sólidos Domésticos; Parcela facilmente degradável.

ABSTRACT

SOUZA, Caroline Lobato de Lima. **Composting for treatment of easily degradable portion of domestic waste rejected in the screening processes of inert.** São Leopoldo, 2014. 124 folhas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Unisinos, São Leopoldo. 2014.

The increasing production of solid domestic waste and shortage of areas where you can make a disposal in an environmentally and technically correct form necessitates the search for alternative treatment or management of such wastes so as to minimize the portion being destined for landfills. In Brazilian cities, the waste of organic origin are predominate in the composition of Domestic Solid Waste, thus, this research aims to employ the composting processes to stabilize the biodegradable portion of waste rejected in waste sorting central located on landfill of São Leopoldo city, RS. In this research were made six compost piles with mixtures of domestic waste and green waste. In three piles domestic waste was previously triturated. The external control of temperature and humidity were made by mechanical aeration. Analyzes were conducted during the composting process and final compost. The sanitary quality of the compost was evaluated by the elimination of pathogens and their potential use by germination testing. In addition was tested potential of using the final compost in a pure form and proportions of mixtures with marble powder and ornamental rocks as corrective of soil acidity. At the end of the process, the physical characteristics of organic matter show that she was stabilized. The piles where domestic waste is not triturated performed better in volume reduction, process profitability and compost maturation time. In the chemical assay, all piles generated products in accordance with applicable legislation, but the results for the quantification of fecal coliform were above the limit. The use of the compounds as a corrective of soil acidity is possible from the mixture with at least 50% of marble powder and ornamental rocks. Germination tests confirmed the good maturity and the absence of phytotoxicity of product reviews.

Key-words: Composting, Domestic Solid Waste, Portion with easy degradation.

1 INTRODUÇÃO

É fato conhecido que no período pré Revolução Industrial as atividades do homem eram baseadas na produção agrícola e na vida no campo. Posterior a este período, houve, gradativamente, uma mudança nos costumes e no modo de vida da população que passou a concentrar-se cada vez mais nos grandes centros urbanos e, conseqüentemente, a ter uma dependência cada vez maior dos produtos industrializados. Além disso, conforme Assis (2002) com o aumento destas populações o problema do saneamento básico assumiu um caráter primordial no planejamento urbano, pois esse já havia sido responsável por episódios de epidemias.

Assis (2002) completa dizendo que os avanços, no entanto, se fizeram sentir de forma mais acentuada na questão de administração dos recursos hídricos já que a deterioração destes recursos compromete de forma direta a sobrevivência da nossa espécie no planeta. Assim, inicialmente o abastecimento de água, por razões óbvias, foi priorizado em detrimento dos serviços de coleta de rejeitos, que englobam as questões do esgoto e dos resíduos sólidos. Entretanto, chegou-se a uma situação de impasse porque, quando não se trata o esgoto e resíduos sólidos, o abastecimento de água fica comprometido, piorando a qualidade da água e provocando a sua escassez.

Além disso, para Malutta (2004) o desenvolvimento urbano, o avanço tecnológico e os padrões de consumo e produção aumentaram a quantidade de exploração de recursos naturais e, conseqüentemente, produziram aumento proporcional na quantidade e na diversificação da composição de resíduos sólidos gerados. Em D'Almeida e Vilhena (2000) é argumentado que em soma a estes fatores, as mudanças na política econômica de um país também são determinantes para a composição e a quantidade dos resíduos sólidos que são gerados por uma determinada população.

É consenso que, no Brasil, os restos de alimentos putrescíveis representam mais da metade dos resíduos sólidos urbanos (RSU), desta forma, seu reaproveitamento é fundamental para a redução do volume de resíduos destinados aos aterros sanitários, já que esses aterros ocupam grandes áreas. Monteiro e Zveibil (2001) alegam que a escolha de um local para a implantação de um aterro sanitário não é tarefa simples, pois o alto grau de urbanização das cidades, associado a uma ocupação intensiva do solo, restringe a disponibilidade de áreas próximas aos locais de geração de lixo e com as dimensões requeridas para se implantar um aterro sanitário que atenda às necessidades dos municípios.

Além desse aspecto, há que se levar em consideração outros fatores, como os parâmetros técnicos de normas e diretrizes, aspectos legais, planos diretores dos municípios, além dos aspectos relacionados à aceitação do empreendimento pela comunidade.

Neste sentido a compostagem surge como uma alternativa para o tratamento dos resíduos sólidos domiciliares ou domésticos (RSD) e conseqüentemente a minimização da parcela a ser encaminhada ao Aterro Sanitário, o que também colabora para redução da geração de lixiviado e de emissão de metano para a atmosfera. Em sua pesquisa, Reis (2005), conclui que a compostagem, cujo objetivo principal é a reciclagem da matéria orgânica, é um processo com alto potencial de redução e transformação de resíduos sólidos orgânicos. Somando-se a este fato, ainda é possível destacar que essa técnica é capaz de gerar um composto com elevado valor agrônômico e, desta forma, devolver ao solo os nutrientes e o carbono dele retirados.

Frente ao exposto, justifica-se o presente estudo, pelo fato da compostagem possuir o potencial de ser um dos tratamentos ambientais mais adequados para tratamento e estabilização da parcela de resíduos sólidos potencialmente biodegradáveis. Do ponto de vista ambiental, só o fato de permitir o uso útil da fração biodegradável dos RSDs e, portanto diminuir a produção de lixiviado dos aterros sanitários, já seria um ganho considerável já que os lixiviados são de difícil tratamento e responsáveis em grande parte pelo impacto ambiental causado por esse tipo de resíduo (FERNANDES et al., 2006).

A pesquisa a ser realizada faz parte de um projeto maior que visa empregar tecnologias para estabilizar a parcela biodegradável dos RSDs, rejeitados nas centrais de triagem de resíduos. Será avaliado o desempenho do tratamento aeróbio via compostagem e do tratamento anaeróbio através de reator anaeróbio de mistura completa para conversão da matéria orgânica em biogás. A ênfase do presente estudo visa empregar o processo de compostagem com a finalidade de produção de um biocomposto estável e com valor agrônômico. Neste projeto será avaliada a biodegradação da parcela orgânica dos RSD coletados após a esteira de triagem na Unidade de Triagem do município de São Leopoldo, RS e antes da mesma ser encaminhada para o Aterro Sanitário.

O município de São Leopoldo, conforme a Prefeitura Municipal de São Leopoldo, está localizado na região da encosta inferior do nordeste do Rio Grande do Sul, faz parte da Grande Porto Alegre, estando a 31,4 km da capital gaúcha e sendo cortada pelas rodovias BR 116 e RS 240. A cidade está localizado dentro do Vale do Sinos. Possui uma área total de 102,738 km², sendo que aproximadamente 68% dessa área é urbanizada (SÃO LEOPOLDO,

2013). Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2010), a cidade conta com uma população de 214.087 habitantes e uma taxa de urbanização de 99,7%. A densidade populacional é 2.083,79 hab./km² e estima-se que a população cresça 1,72% ao ano.

A secretaria responsável pelo gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos de São Leopoldo é a Secretaria Municipal de Serviços Públicos. Atualmente essa secretaria é a responsável pela fiscalização e gerenciamento dos serviços de limpeza urbana, porém a operação do sistema é realizada por empresa privada, por meio de contrato de concessão (SÃO LEOPOLDO, 2013).

A empresa SL Ambiental Serviços de Limpeza Urbana e Tratamento de Resíduos S/A, pertencente ao grupo SOLVÍ, é concessionária de todos os serviços de limpeza pública do município, incluindo a coleta, tratamento e destinação final dos resíduos sólidos bem como operação, manutenção e monitoramento da Central de Triagem e do Aterro Sanitário da cidade. A área do Aterro Sanitário é de propriedade da Prefeitura Municipal de São Leopoldo (informação verbal)¹. Esta pesquisa poderá subsidiar novas formas de gerenciamento de resíduos do município, já que atualmente a compostagem não é uma atividade implementada.

¹ Informação coletada na reunião com o representante da empresa, realizada em São Leopoldo, no dia 17 de abril de 2013

1.1 OBJETIVOS

Na sequencia passa-se a apresentar os objetivos desse trabalho.

1.1.1 Objetivo geral

Estudar a alternativa tecnológica “Compostagem” para o tratamento dos rejeitos gerados nos processos de triagem de RSD.

1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos são:

- a) Avaliar a variação de massa e de volume durante o processo de compostagem;
- b) Estudar o efeito da trituração dos resíduos em relação na qualidade do composto produzido;
- c) Analisar a viabilidade do uso de resíduos de marmoraria, associado ao biocomposto, como corretivo de acidez de solos;
- d) Avaliar a qualidade físico-química e microbiológica do composto visando a sua utilização agrônômica.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta uma revisão bibliográfica abrangente, de forma a buscar subsídios para construção do conhecimento em relação ao tema abordado, bem como, estabelecer a metodologia da pesquisa a ser realizada.

2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU):

Segundo a NBR 10.004:2004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (2004) “resíduos sólidos são resíduos nos estados sólidos e semissólidos, que resultam de atividades da comunidade 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 d’água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível”.

De acordo com Castilhos Jr. (2003), há vários tipos de classificação dos resíduos sólidos que se baseiam em determinadas características ou propriedades identificadas sendo que a classificação é relevante para a escolha da estratégia de gerenciamento mais viável. A norma NBR 10004, de 2004 trata da classificação de resíduos sólidos quanto a sua periculosidade, ou seja, característica apresentada pelo resíduo em função de suas propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas, que podem representar potencial de risco à saúde pública e ao meio ambiente. Sendo assim, a partir da compreensão da NBR 10004 é possível afirmar que simplifadamente os resíduos sólidos são classificados em dois grupos - perigosos e não perigosos, sendo ainda este último grupo subdividido em não inerte e inerte.

Aos resíduos considerados perigosos atribuiu-se a denominação de Resíduo Classe I e estes compreendem aqueles resíduos que possuem uma ou mais características tais como inflamabilidade, corrosividade, toxicidade ou patogenicidade e que por apresentar tais propriedades sejam potencialmente perigosos à saúde pública ou ao meio ambiente.

Para os resíduos considerados não perigosos atribuiu-se a denominação de Resíduo Classe II e estes foram subdenominados como Resíduo Classe II-A para os não inertes e Resíduo Classe II-B para os inertes. Os Resíduos classificados como Classe II-A são aqueles que podem apresentar características de combustibilidade, biodegradabilidade ou

solubilidade, porém não se enquadram como resíduos classe I ou classe II-B, já para que um resíduo seja considerado como resíduo classe II-B é preciso que estes não sofram transformações químicas, físicas ou biológicas significativas a ponto de acarretar risco à saúde e ao meio ambiente.

Os resíduos gerados pela população doméstica são apenas uma pequena parte do total de resíduos gerados, pois além desses também são gerados diariamente resíduos industriais, da construção civil, da agricultura, dos estabelecimentos de atenção à saúde, entre outros conforme afirmado pela Fundação Nacional de Saúde – FUNASA (BRASIL, 2009a). Castilhos Jr. (2003) ressalta que dentre os vários RSU gerados, os que são normalmente encaminhados para a disposição em aterros sob a responsabilidade do poder municipal são os resíduos de origem doméstica ou aqueles com características similares, como os comerciais, e os resíduos da limpeza pública, já o gerenciamento de resíduos de origem não domiciliar, são de responsabilidade do gerador, estando sujeitos a legislação específica vigente.

A quantidade exata de resíduos gerados é de difícil determinação pelo fato de esta sofrer interferências do armazenamento, da reutilização ou reciclagem e do descarte em locais clandestinos, que acabam por desviar parte do fluxo de materiais antes do descarte dos resíduos por seu gerador em local de domínio público, ou seja, aquele onde a responsabilidade pelos resíduos passa a ser do poder público. Em razão dessas interferências, na prática, determina-se a quantidade de resíduos sólidos coletados (CASTILHOS Jr., 2003).

Nesse sentido, os dados da Associação Brasileira de Empresas Públicas e Resíduos Especiais - ABRELPE (2013) revelam que no Brasil, em 2012, foi coletado um total de 62.730.096 toneladas de RSU, gerando uma média per capita de 383,2 kg/hab. ano. Dessa forma, foi registrado crescimento de resíduos coletados quando comparados os anos de 2011 e 2012, pois segundo os dados da ABRELPE (2012) em 2011 haviam sido coletados um total de 61.936.368 toneladas de RSU, ou seja, uma média per capita de 381,6 kg/hab./ano. Especificamente no Rio Grande do Sul, em 2012 a média per capita de resíduo coletado foi de 0,832 kg/hab./dia, tendo sido coletados uma média de 7.635 t/dia de RSU. (ABRELPE 2012).

No ano de 2009, a Secretaria Municipal do Meio Ambiente da cidade de São Leopoldo - SEMMAM realizou uma avaliação quantitativa de resíduos sólidos coletados no município de São Leopoldo no período de 2005 a 2008 que resultou na publicação do 3º Relatório de Geração de Resíduos Sólidos da cidade de São Leopoldo. Segundo esse relatório na cidade observa-se uma tendência de aumento na geração de RSD com o passar dos anos, conforme evidenciado na Figura 1.

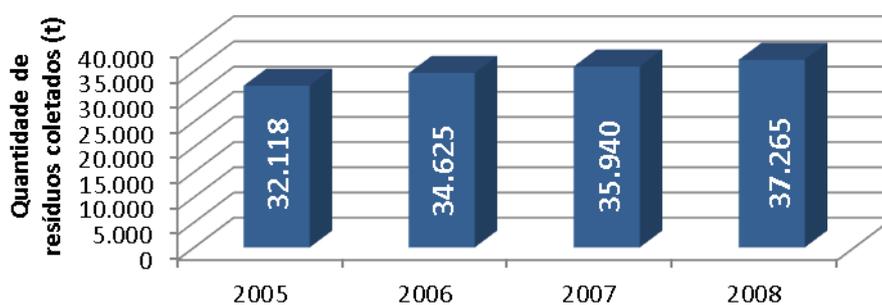


Figura 1: Evolução da coleta de resíduos domésticos, anual, em São Leopoldo, RS.

Fonte: São Leopoldo, 2009a

Com base nestes registros, correlacionados com as informações de geração de resíduos frente à população do município, a SEMMAM conclui a geração per capita do município em 0,563 kg/hab.dia para o ano de 2008. (SÃO LEOPOLDO, 2009a).

Schneider (2012) avaliou em sua pesquisa a geração de RSD no município de São Leopoldo no ano de 2011 e concluiu que neste ano a quantidade de resíduos coletados no município foi de 45.138,7 toneladas. Para determinar a geração per capita desse ano, Schneider (2012) utilizou-se dos dados informados pela empresa SL Ambiental sobre a coleta de RSD durante o ano de 2011 e dos dados de população da cidade obtidos no site do IBGE. O valor do parâmetro resultou em 0,669 kg/hab.dia.

Schneider (2012) salienta que neste valor não foram contabilizados os resíduos recolhidos pela coleta seletiva, que é implantada em 100% do município, e, portanto não reflete a totalidade de resíduos coletados nessa cidade. Esse fato explicaria a ocorrência do resultado de geração per capita ter sido inferior a geração do RS. De qualquer forma, a taxa de geração per capita de 2011 é 18,83% maior do que a taxa de 2008, indicando que São Leopoldo possui o mesmo comportamento que o Brasil, onde há crescimento no resíduo gerado por habitante.

A crescente geração de resíduos pode ser explicada, segundo Ilpes (1999 apud Reis e Ferreira 2008) pelo crescimento e a evolução da população, aliados à melhoria do poder aquisitivo e à forte industrialização ocorrida durante o século XX, sendo influenciada por fatores como: densidade populacional; grau de desenvolvimento econômico do local; hábitos de consumo, principalmente alimentício; variações sazonais e condições sociais.

De acordo com Contador (2000) cada 1% de aumento na renda per capita está associado com o aumento de 0,34% na geração de resíduos sólidos, enquanto que cada 1% de

aumento na população expande a geração de resíduos em 1,04%. Com base nessa afirmação é possível relacionar a geração de resíduos com a renda e crescimento populacional e inferir que as duas variáveis influenciam diretamente na quantidade de resíduos gerados.

Para Assis (2002), o processo acelerado de urbanização tem evidenciado a correlação direta entre o aumento do padrão de qualidade de vida das populações e o aumento da produção RSD. Esta afirmação é confirmada pelos dados da ABRELPE (2013), que demonstram que nos anos comparados acima, a taxa de crescimento na geração de RSU superou a taxa de crescimento populacional, ou seja, de 2011 para 2012 a taxa de crescimento populacional foi de 0,9%, enquanto que a taxa de crescimento da geração de RSU foi de 1,3%.

Quanto a composição dos RSU domésticos, Castilhos Jr. (2003) afirma que é bastante diversificada, compreendendo desde restos de alimentos, papéis, plásticos, metais e vidro até componentes considerados perigosos por serem prejudiciais ao meio ambiente e à saúde pública. O autor destaca que as características quali-quantitativas desses resíduos podem variar em função de vários aspectos, como os sociais, econômicos, culturais, geográficos e climáticos, ou seja, os mesmos fatores que também diferenciam as comunidades entre si. De um modo geral, a composição gravimétrica média dos RSU coletados em 2012 no Brasil pode ser representada, de acordo com os dados da ABRELPE (2013) conforme Figura 2, onde nos permite visualizar que a matéria orgânica é predominante, representado 51,4% do total desses resíduos.

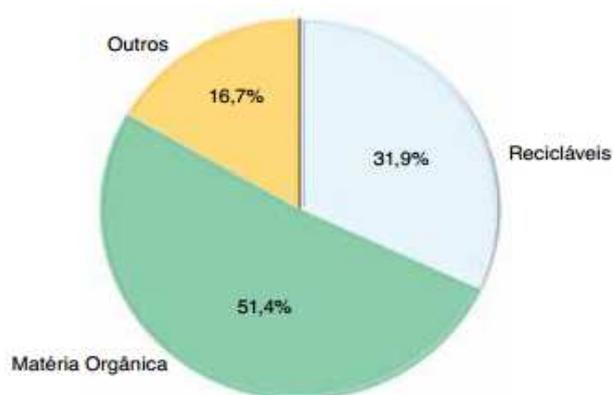


Figura 2: Composição Gravimétrica dos RSU no Brasil

Fonte: ABRELPE, 2013

Ainda em 2009, a mesma secretaria municipal de São Leopoldo realizou estudos de avaliação qualitativa dos resíduos sólidos gerados no município. Nestes estudos foram

feitos os levantamentos da composição gravimétrica dos resíduos provenientes da coleta doméstica da cidade onde foi constatado que a matéria orgânica representava, nesse ano, 58,65% dos resíduos coletados. O último estudo realizado com esse objetivo havia sido em 2006 e havia concluído que, naquele ano, a matéria orgânica tinha uma representatividade de 69,94% (SÃO LEOPOLDO, 2009b).

Os resultados encontrados por Schneider (2012) demonstram a continuação de uma tendência que já existia entre 2006 e 2009. O teor de matéria orgânica continuou diminuindo, sendo, nesse ano responsável por 43,19% dos resíduos coletados. Entre 2006 e 2009 a redução foi de 11,29% e entre 2009 e 2012 foi de 15,46%.

Porém, independentemente da diminuição da fração orgânica, sua quantidade ainda é bastante significativa. Portanto, é consenso entre os autores supracitados que a estruturação de mecanismos de compostagem seria uma medida bastante salutar para o aumento da vida-útil do aterro sanitário, principalmente pelo fato do município contar com uma unidade de triagem e separação de resíduos inertes recicláveis, mas não contar com nenhuma medida de gerenciamento da fração orgânica facilmente degradável desses resíduos.

Da mesma forma, quando os dados referentes à implantação de unidades de compostagem são analisados nacionalmente é possível perceber que o número de municípios brasileiros com esse sistema ainda é inexpressivo. Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, dos 5.564 municípios pesquisados, apenas 211, ou seja, menos de 3,8% deles possuíam unidade de compostagem de resíduos orgânicos (IBGE, 2008). Já em relação a coleta seletiva, os dados da ABRELPE (2013) apontam que no Brasil 60,0% dos municípios já possuem esse sistema. Quando analisado os dados da Região Sul esse número cresce para 79,5%. A ABRELPE (2013) destaca, porém que embora a quantidade de municípios com atividades de coleta seletiva seja expressiva é importante considerar que muitas vezes tais atividades resumem-se na disponibilização de pontos de entrega voluntária à população ou na simples formalização de convênios com cooperativas de catadores para a execução dos serviços. Esses números tornam-se incoerentes quando leva-se em consideração que no Brasil a matéria orgânica representa mais de 50% dos resíduos gerados, conforme já citado anteriormente.

Quanto a São Leopoldo, a situação fica ainda mais preocupante, se levarmos em conta os resultados da composição gravimétrica dos resíduos desse município pós passagem por esteira de triagem, ou seja, aqueles que efetivamente serão dispostos em aterro sanitário. Segundo Schneider (2012), após esse processo de separação a matéria orgânica passa a

representar 51,31% do material que não será reaproveitado, justificando assim, a suma importância da criação de tecnologias para utilização e valorização dessa parcela de resíduos.

A questão mais importante é a proporção entre a quantidade de resíduos gerados contra a quantidade aterrada. Quanto maior for o aproveitamento dos resíduos obtidos em outros tratamentos, maior será a vida útil da célula de aterro sanitário em operação. Após o encerramento do aterro sanitário o local permanecerá com limitações de uso por tempo indeterminado. Segundo Russo (2003) os processos ou métodos de tratamento por compostagem não são concorrentes com o aterro sanitário, mas complementares a este. O aterro sanitário é imprescindível, pois serve para a disposição do rejeito de todos os outros tratamentos, ou seja, para a disposição de materiais realmente inservíveis e sem valor econômico.

A afirmativa acima é confirmada pelas conclusões da SEMMAM que assevera que a tecnologia de destinação de resíduos usada em São Leopoldo, o aterro sanitário, tem suas limitações. Ainda de acordo com a SEMMAM, nesse ano, o local onde se encontra o aterro já havia sido esgotado e em caráter emergencial havia sido construída uma nova célula de operação e estava em estudo uma quarta, que envolveu mudanças no Plano Diretor do Município, com a utilização de uma área inicialmente prevista para ser de preservação (SÃO LEOPOLDO, 2009a). Segundo a SL Ambiental, essa terceira célula foi esgotada em outubro de 2011 e, desde essa data, os rejeitos do município passaram a ser aterrados nessa nova área (informação verbal)².

A SEMMAM destaca também que duas frentes de ação seriam necessárias: a instituição de incentivos à menor geração, por um lado, e o aumento da vida útil do sistema, por outro. Fugir destas premissas leva à espiral de aumento de geração de resíduos, ao incremento dos custos e à necessidade de majorar a arrecadação para gerenciar este sistema. Infelizmente, exceto por programas de incentivo e educação e sensibilização ambiental, o primeiro mecanismo é de difícil realização apenas no aspecto local, já que envolve, por exemplo, uma nova mentalidade produtiva. Porém, o aspecto reativo é mais tangível. Portanto, quanto mais bem beneficiada for a fração orgânica, menos deverá ser remetido para aterramento. Como proposta, foi sugerida a efetiva implantação e operação da unidade de compostagem, que beneficiará a fração orgânica de nossos resíduos, bem como os resíduos de podas, evitando o envio de material para aterramento (SÃO LEOPOLDO, 2009a).

² Informação coletada na reunião com o representante da empresa, realizada em São Leopoldo, no dia 17 de abril de 2013

2.2 COMPOSTAGEM

Castilhos Jr. (2003) afirmou que além da Constituição Federal, o Brasil já dispunha de uma legislação ampla (leis, decretos, portarias, etc.), porém a falta de diretrizes claras e de sincronismo entre as fases que compunham o sistema de gerenciamento e de integração dos diversos órgãos envolvidos com a elaboração e aplicação das leis possibilitavam a existência de algumas lacunas e ambiguidades.

É neste sentido que sancionou-se a lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010 que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos dispondo sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos. Considerando as metas e objetivos dessa Lei destaca-se o artigo 15, que institui o estabelecimento de metas de redução, reutilização, reciclagem, entre outras, com vistas a reduzir a quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada e ainda determina a criação de metas para a eliminação e recuperação de lixões, associadas à inclusão social e à emancipação econômica de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis. Nesse contexto a compostagem surge como alternativa de processo econômico para ser utilizado em pequenas comunidades já que poderá resultar em um bio composto estável e com valor agregado (BRASIL, 2010).

Compostagem é um processo biológico, aeróbio, de decomposição da matéria orgânica que tem como resultado final um composto orgânico que pode ser aplicado ao solo para melhorar suas características, sem ocasionar riscos ao meio ambiente (D'ALMEIDA e VILHENA, 2000). É uma técnica idealizada para obter, no mais curto espaço de tempo, a estabilização ou humificação da matéria orgânica que na natureza se dá em tempo indeterminado. É um processo controlado de decomposição microbiana de uma massa heterogênea de resíduos no estado sólido e úmido (NUNES, 2009).

Bidone e Povinelli (1999) complementam esses conceitos ao afirmar que a compostagem é um processo de decomposição controlado que tem o potencial de transformar um resíduo orgânico em um produto estabilizado, com propriedades e características diferentes a do material que lhe deu origem.

De acordo com Fernandes e Silva (1999), a compostagem é praticada desde a História antiga, porém até recentemente, de forma empírica. Gregos, romanos, e povos orientais já sabiam que resíduos orgânicos podiam ser retornados ao solo, contribuindo para

sua fertilidade. No entanto, só a partir de 1920, é que o processo passou a ser pesquisado cientificamente e realizado de forma racional. Nas décadas seguintes, muitos trabalhos científicos lançaram as bases para o desenvolvimento desta técnica, que hoje pode ser utilizada em escala industrial.

Dentre as vantagens de se fazer a compostagem, segundo Brasil (2009b) está o fato de que o composto ajuda a melhorar as características de solos, como a sua estrutura; os solos enriquecidos com o composto são menos afetados pela erosão; o uso de composto eleva a quantidade de nutrientes desse solo, reduzindo a utilização de fertilizantes químicos.

Brasil (2009b) cita também, entre as principais vantagens da compostagem o fato de que esse processo diminui consideravelmente o volume de resíduos encaminhado para os aterros sanitários, o que corrobora com as afirmações de Barreira, Philippi Júnior e Rodrigues (2006). Esses autores salientam que, mesmo que as usinas não produzam compostos de alta qualidade, a retirada destes materiais da rota tradicional de descarte já pode ser considerada um benefício extremamente vantajoso para o meio ambiente, pois esse processo transforma a matéria orgânica crua em um produto estabilizado. Caso esse composto viesse a ter uma destinação em aterros sanitários, devido sua pouca qualidade, o processo ainda levaria vantagem em relação à disposição direta no solo devido à diminuição da massa em volume e ao reduzido potencial de contaminação.

Simplificadamente, o processo de compostagem pode ser representado conforme Figura 3.

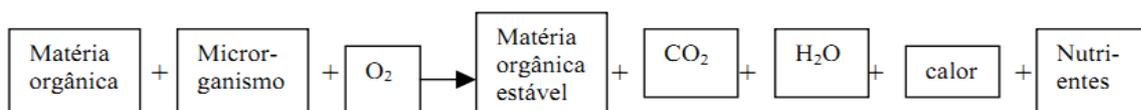


Figura 3: Esquema simplificado do processo de compostagem

Fonte: Fernandes e Silva, 1999

De forma geral, essa figura demonstra que na medida em que o processo de compostagem se inicia, há proliferação de diversos grupos de microrganismos que na presença do oxigênio decompõem o resíduo orgânico resultando em uma matéria orgânica estável, gás carbônico, água, calor e nutrientes.

Conforme Brasil (2009b), pode-se subdividir o processo de compostagem em três fases, conforme segue:

1ª Fase ou fase da decomposição: ocorre a decomposição da matéria orgânica facilmente degradável. A temperatura pode chegar naturalmente a 65-70°C. Com esta temperatura é possível eliminar os microorganismos patogênicos.

2ª Fase ou fase de maturação: Presença de bactérias, actinomicetos e fungos. A temperatura fica no intervalo de 45-30°C.

3ª Fase ou fase de humificação: A celulose e lignina, componentes de difícil degradação, são transformadas em substâncias húmicas. O aspecto do composto é próximo a de terra vegetal. O intervalo da temperatura diminui para 25-30°C.

Já Fernandes e Silva (1999) ressaltam que basicamente esses processos podem ser subdivididos em duas fases: fase de degradação rápida ou bioestabilização e fase de maturação. Os autores descrevem a fase de bioestabilização como sendo a fase em que há intensa atividade microbiológica, rápida transformação da matéria orgânica e grande consumo de O₂ pelos microrganismos e a fase de maturação como sendo aquela em que a atividade biológica diminui e, como a predominância das transformações são de ordem química, ocorre o processo conhecido como humificação. O produto final de todo esse processo é uma massa de textura fina e homogênea, sem cheiro característico dos resíduos que lhe deram origem. Esse produto constitui fonte de nutrientes para as plantas por apresentar os mesmos na forma mineralizada e é excelente condicionador e melhorador das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (NUNES, 2009).

2.2.1 Compostagem de Resíduos Sólidos Urbanos

Segundo Pereira Neto (1999 apud Santos et al. 2006) os impactos sanitários gerados pela falta de manejo do lixo urbano são mais contundentes junto às populações gerando as chamadas doenças de saúde pública. Sabe-se que o lixo urbano é veiculador de doenças, propriedade que se torna mais intensa face à proliferação dos vetores biológicos (moscas, mosquitos, baratas, ratos) transmissores de bactérias e fungos de características patogênicas. O excesso de matéria orgânica (frutas, legumes, alimentos) presentes no lixo urbano constitui-se em habitat ideal para proliferação desses vetores. Os impactos ambientais se destacam na poluição dos solos e corpos hídricos (superficiais e subterrâneos) provocados por líquidos lixiviados. Em alguns casos a poluição pode ser irreversível, tanto para os

aquíferos quanto para os mananciais de superfícies (córregos, rios, lagos), devido à dissolução de substâncias químicas, as quais não são retiradas nem mesmo pelos sistemas de tratamento de águas usuais no Brasil.

Ainda na esfera ambiental, Massukado (2008) destaca que os resíduos orgânicos têm como característica a rápida degradação, porém o ambiente em que essa degradação ocorre é basicamente anaeróbico, tendo como consequência a geração de produtos indesejáveis, como o gás metano. É amplamente difundido que o metano participa da formação do efeito estufa, colaborando, desta forma, para o aquecimento global. A CETESB (2001 apud Castilhos Junior 2003) destaca que cabem aos aterros sanitários controlados e aos lixões cerca de 8% das emissões mundiais de metano.

Komilis (2006) destaca a compostagem como sendo uma potencial técnica de tratamento de RSU e acrescenta que a compostagem ganhou interesse especial na Europa após a publicação da Directiva 99/31/CE. Essa legislação europeia dita que componentes biodegradáveis devem ser gradualmente desviados dos aterros, necessitando do uso de alternativas e técnicas de tratamento, como a compostagem.

Tränkler et al (2002 apud Gabiatti et al. 2006) afirmam que, quando a compostagem antecede o aterramento de resíduos, a DQO e os compostos nitrogenados do lixiviado do aterro podem ser reduzidos em, respectivamente, 77% e 89% e em 20 anos a formação de gás pode ter um abatimento de mais que 35%, reduzindo também o aquecimento global potencial em mais que 63%. O impacto será ainda menor se, ao invés ser aterrado, o composto for aplicado no solo. De acordo com Pereira Neto e Lelis (1999 apud Gabiatti et al. 2006) este será sempre inerte, não gerando gases ou percolado. Na compostagem a matéria orgânica atinge sua estabilidade em semanas ou poucos meses, ao passo que, num aterro sanitário, é preciso anos.

Conforme dados obtidos em estudo paralelo realizado na FEPAM, um total de 4.318.330 kg/dia de RSU são destinado à disposição final no Rio Grande do Sul. O mesmo estudo estima a geração de gases a partir desta quantidade de resíduos, conferindo a eles um potencial de geração de 13.847.800 kg de dióxido de carbono (CO₂) equivalente, ao longo de anos. Se toda a matéria orgânica fosse enviada para compostagem o potencial de geração cairia para 3.066.730 kg de CO₂ equivalente (KIST et al., 2006 apud GABIATTI et al., 2006).

Na sequencia apresentam-se características de implantação, operação e monitoramento da compostagem, principalmente aquela empregada para tratar resíduos

sólidos domésticos. Serão indicados outros trabalhos que também estudaram o tema, permitindo a delimitação deste estudo, a ser detalhado no capítulo de Metodologia.

2.2.2 Microbiologia do Processo de Compostagem

Segundo Brasil (2009b) os microorganismos necessários para a degradação da matéria orgânica estão contidos em quantidade suficiente no lixo domiciliar. Controlando a umidade e a aeração estes microorganismos multiplicam-se e distribuem-se pela massa de lixo.

Os principais microorganismos responsáveis pelo processo de compostagem são as bactérias, os fungos e os actinomicetos. Dessa forma, sendo a compostagem, fundamentalmente, um processo biológico, torna-se essencial conhecer a dinâmica dos microorganismos que atuam nesse processo.

Biologicamente as bactérias são organismos microscópicos unicelulares, procariotos e que podem ser encontradas em ambientes tanto aeróbios como anaeróbios, os fungos são organismos maiores que bactérias, eucariotos, que podem ser unicelulares ou formar filamentos chamados hifa, já os actinomicetos são um filo de bactérias Gram-positivas e, portanto, eucariotos que têm organização filamentosa, muitas vezes ramificada e que devido a essa característica podem ser erroneamente classificados como fungos. (TORTORA et al., 2000).

Reis (2005) e Paiva (2008), afirmam que cada grupo de microrganismos atuantes no sistema, possui uma faixa ótima de temperatura para seu metabolismo, sendo as bactérias os microorganismos encontrados em maior número e responsáveis pela maior parte da decomposição da matéria orgânica.

A partir disso, é possível inferir que no início do processo predomina o crescimento dos microrganismos mesófilos (microrganismos com temperaturas ótimas entre 20°C e 45°C) que metabolizam predominantemente, carboidratos, açúcares e proteínas. Conforme a temperatura vai se elevando há a proliferação dos microrganismos termófilos (microrganismos com temperaturas ótimas entre 45°C e 65°C) que decompõem proteínas, lipídios, gorduras e frações de hemicelulose. Por volta do 26º dia a temperatura volta a cair. Bidone e Povinelli (1999), explicam esse comportamento pelo fato de nessa fase o substrato orgânico já ter sido em sua maior parte transformado, fazendo com que a população termófila se restrinja e a atividade biológica global seja reduzida. Dessa forma, os mesófilos se instalam novamente.

Paiva (2008), citando Graves et al. (2000) destacou que os microrganismos realizam uma série de transformações bioquímicas durante o processo de compostagem com o intuito de obter a energia em quantidade suficiente e realizar a síntese celular, com destaque para o processo de respiração aeróbia. Esse processo ocorre quando os microrganismos utilizam o oxigênio molecular (O_2) para obter a maior parte da energia das fontes de carbono, produzindo dióxido de carbono (CO_2) e água.

A Figura 4 ilustra um exemplo genérico da evolução da temperatura de uma leira de compostagem.

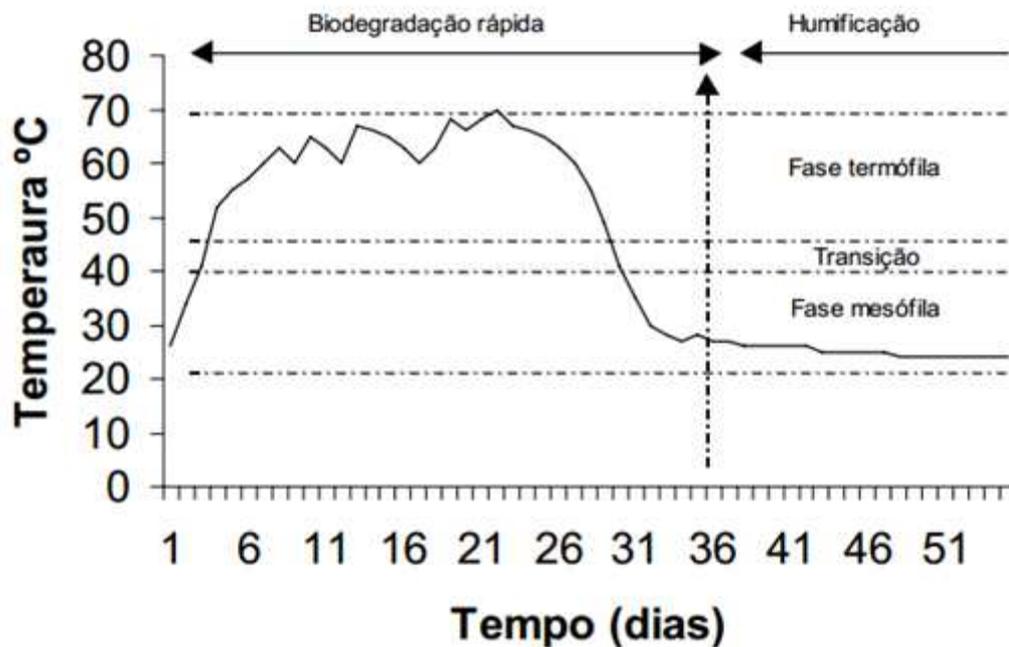


Figura 4: Evolução da temperatura de uma leira de compostagem

Fonte: Fernandes e Silva, 1999

Os Fungos e os actinomicetos tendem a aparecer nos últimos estágios da compostagem, sendo que os actinomicetos tornam-se ainda mais abundantes na fase final do processo, quando a maior parte dos compostos lábeis já foram degradados, o conteúdo de água é menor e o pH é menos ácido. Além disso, a atividade metabólica dos actinomicetos é fundamental para a humificação da matéria orgânica e produção de compostos aromáticos, portanto, essencial para a fase de maturação. (GRAVES et al.2000 apud Paiva 2008).

Segundo BIDDLESTONE e GRAY (1981 apud Paiva 2008), isso ocorre em função da natureza dos materiais que eles decompõem como celulose, hemicelulose e lignina para os fungos e ácidos orgânicos, açúcares, amidos, hemiceluloses, proteínas, polipéptidos, ligninas, além do material constituinte de outras bactérias para os actinomicetos.

2.2.3 Implantação e Características Operacionais do Processo de Compostagem

Alguns autores comprovam a viabilidade da implantação ao obter bons resultados em seus estudos. Jahnel, Melloni e Cardoso (1999) pesquisaram a maturidade de compostos a partir de RSD e evidenciaram que foi possível verificar a obtenção de compostos estabilizados e aptos à utilização racional, sem comprometimento do ecossistema agrícola.

Segundo Veras e Povinelli (2004), a destinação dos resíduos sólidos constitui um sério problema ambiental para a humanidade, principalmente em regiões de grande concentração urbana, onde a disponibilidade de áreas para disposição dos rejeitos é quase sempre restrita. A partir daí, os autores desenvolveram um estudo para avaliar a compostagem de um lodo industrial associado com composto de RSU. Dentre os resultados obtidos destacam-se os bons indicadores do nível de maturidade dos resíduos, representados pela boa relação carbono/nitrogênio (C:N).

Reis (2005) avaliou o processo de compostagem de RSU e concluiu que devido ao alto potencial de redução e transformação de matéria orgânica a compostagem poderá ser um dos tratamentos mais adequado do ponto de vista ambiental para o tratamento de resíduos sólidos.

Reis, Ellwanger e Hoffmann (2006) testaram a produção de composto orgânico em uma unidade de triagem e compostagem e comprovaram através das caracterizações químicas, físicas e biológicas que os teores de contaminantes desse composto ficaram abaixo dos limites permitidos ou recomendados pela Portaria 1 do Ministério da Agricultura. O produto teve também uma aceitação bastante satisfatória dos usuários, tais como agricultores e floriculturas. Reis, Ellwanger e Hoffmann (2006) concluíram também que uma triagem eficiente é premissa importante para geração de um composto com boa qualidade ambiental.

Ao testar a compostagem de resíduos sólidos com e sem a adição de esterco bovino, Loureiro et al. (2007), verificaram que a utilização dos resíduos orgânicos de origem doméstica para a produção de insumo é tecnicamente viável por meio da compostagem. Além disso, os autores afirmaram também que a adição de esterco, na dosagem utilizada neste

trabalho, não reduz o tempo de maturação do composto e que a integração dos processos de compostagem com e sem esterco produz adubos com características químicas similares.

Segundo Kiehl (1985) quanto ao ambiente da compostagem, a classificação geral é dividida em dois eixos principais: Aberto, que é quando o processo ocorre em pátios descobertos, a céu aberto e fechado, quando a compostagem ocorre em locais tais como digestores ou reatores, porém com possibilidade aeração. No caso da compostagem em ambientes abertos, ou pátios de compostagem, o piso desse local deve ser impermeabilizado com cimento ou asfalto de modo que não haja mistura de solo com o composto e deve ter declive de 2% a 3% para não haver acúmulo de água na parte inferior da leira ou pilha (NUNES, 2009).

Para Reis (2005), outro aspecto de elevada importância a ser considerado em sistemas de compostagem consiste na geração de lixiviado. Essa geração é influenciada pelos mesmos fatores que influenciam a formação de lixiviado em aterros sanitários, sendo, dessa forma, essencial a construção de um sistema para captação desses líquidos. Segundo USEPA (1994 apud Reis 2005) a geração de lixiviado pode ser reduzida ou prevenida através do monitoramento e correção dos níveis de umidade nas leiras, podendo esse ser recirculado como agente compensador de temperatura e umidade nas próprias leiras durante o processo. Essa recirculação deve ser realizada somente na etapa termofílica, a fim de evitar recontaminação biológica. Seu excedente deve ser encaminhado a sistema de tratamento adequado.

A qualidade do lixiviado tem grande variação em função da composição dos resíduos, das condições operacionais e da climatologia local, sendo sua caracterização fator crítico para a definição do sistema de tratamento. Reis (2005) avaliou o lixiviado produzido durante o período de estabilização da matéria orgânica e o comparou com lixiviado bruto de aterro sanitário concluindo que, de forma geral, o lixiviado gerado pela compostagem possui menores concentrações de DBO, sólidos, nitrogênio amoniacal e fósforo. Reis (2005) atribuiu essas características ao fato de na compostagem ocorrer uma maior diluição pelas precipitações e em relação ao nitrogênio amoniacal soma-se o processo da biodegradação da matéria orgânica que reduz a concentração desse composto no lixiviado.

Os processos convencionais de compostagem, para ambientes abertos, mais amplamente difundidos são o processo windrow e o processo de leiras ou pilhas estáticas aeradas. No sistema windrow ou sistema de leiras revolvidas a mistura de resíduos é disposta em leiras, sendo a aeração fornecida pelo revolvimento dos resíduos e pela convecção e

difusão do ar na massa do composto. No sistema de leiras estáticas aeradas a mistura a ser compostada é colocada sobre uma tubulação perfurada que injeta ou aspira o ar na massa do composto, sendo esse considerado como um acelerador do processo (FERNANDES e SILVA, 1999). Outra alternativa aos processos abertos são os processos fechados ou acelerados que fazem uso de dispositivos tecnológicos tais como digestores e bioestabilizadores que além de acelerarem o processo de compostagem permitem um maior controle dos odores, uma vez que o sistema é fechado e a aeração controlada (MASSUKADO, 2008).

Vale ressaltar que é consenso entre os autores que a alternativa escolhida deve ser adequada ao ponto de vista técnico e a situação sócio-econômica. A tomada da decisão sobre o sistema a ser utilizado depende também da avaliação das vantagens e desvantagens que cada sistema apresenta. O Quadro 1 faz uma comparação em relação aos sistemas.

Quadro 1: Vantagens e desvantagens dos sistemas de compostagem

SISTEMA DE COMPOSTAGEM	VANTAGENS	DESVANTAGENS
Leiras revolvidas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Baixo investimento inicial; 2. Flexibilidade de processar volumes variáveis de resíduos; 3. Simplicidade de operação; 4. Uso de equipamentos simples; 5. Produção de composto homogêneo e de boa qualidade; 6. Possibilidade de rápida diminuição do teor de umidade das misturas devido ao revolvimento. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Maior necessidade de área, pois as leiras tem que ter pequenas dimensões e há necessidade de espaço livre entre elas; 2. Problema de odor mais fácil de ser controlado, principalmente no momento do revolvimento; 3. Muito dependente do clima. Em períodos de chuva o revolvimento não pode ser feito; 4. O monitoramento da aeração deve ser mais cuidadoso para garantir a elevação da temperatura.
Leiras estáticas aeradas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Baixo investimento inicial; 2. Melhor controle de odores; 3. Etapa de estabilização mais rápida que o sistema anterior; 4. Possibilidade de controle da temperatura e da aeração; 5. Melhor uso da área disponível que o sistema anterior. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Necessidade de bom dimensionamento do sistema de aeração e controle dos aeradores durante a compostagem; 2. Operação também influenciada pelo clima.
Reatores fechados	<ol style="list-style-type: none"> 1. Menor demanda de área; 2. Melhor controle de odores; 3. Melhor controle do processo; 4. Independência de agentes climáticos. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Maior investimento inicial; 2. Menor flexibilidade para volumes variáveis de resíduos; 3. Dependência de sistemas mecânicos especializados, podendo ter manutenção cara.

Fonte: Adaptado de Fernandes e Silva, 1999 apud Reis, 2005

Paiva (2008) destaca que os sistemas de compostagem em pilhas estáticas aeradas surgiram da necessidade de se obter um grau de controle satisfatório sobre o processo, porém com baixo custo. Até então os processos estavam basicamente concentrados em dois pontos extremos, de um lado os processos em reatores fechados e mecanizados com um alto grau de controle, porém com custo elevado e do outro lado sistema windrow, que apresenta um baixo custo, mas com grau de controle reduzido.

Esse mesmo autor comparou o processo de compostagem de carcaças de frango pelo método de leiras estáticas aeradas e pelo método da composteira. Nesse estudo leiras estáticas aeradas mostraram-se mais eficientes na estabilização da matéria orgânica que a composteira, denotada pela maior redução de SV. Apesar disso, ambos os sistemas avaliados mostraram-se eficientes na eliminação ou na redução de microrganismos patogênicos, a níveis compatíveis com o que é exigido pela legislação CONAMA 375.

Buttenbender e Miller (2005), em suas conclusões, definiram que do ponto de vista operacional, o sistema de compostagem em leiras estáticas caracterizou-se como um sistema flexível, de baixo custo, que utiliza equipamentos simples e é sanitariamente adequado. Esse autor destaca ainda que após passar pelas fases termofílica e de maturação, o composto orgânico apresentou-se como um material tipo “húmus”, inodoro, de fácil armazenamento, estabilizado e com granulometria uniforme. Em todas as análises realizadas o composto orgânico maturado apresentou uma relação C:N abaixo dos valores máximos permitidos pela legislação e as análises laboratoriais de pH do composto orgânico, em todas as amostras, mantiveram valores mínimos requeridos pela legislação.

Fernandes e Silva (1999), baseados em EPA (1978) recomendam que, para que esse sistema se desenvolva de forma eficiente, a tubulação de aeração seja constituída de canos de PVC de 100 mm de diâmetro, sendo os orifícios de saída de ar com espaçamentos de no máximo 18 cm e que a tubulação seja recoberta com uma camada de 20 a 30 cm de resíduo estruturante seco, para evitar entupimentos. Além disso, também é recomendável que as pilhas sejam recobertas com uma camada de aproximadamente cinco centímetros de resíduo estruturante. A Figura 5 apresenta o desenho esquemático de um exemplo de sistema de compostagem em pilhas estáticas aeradas.

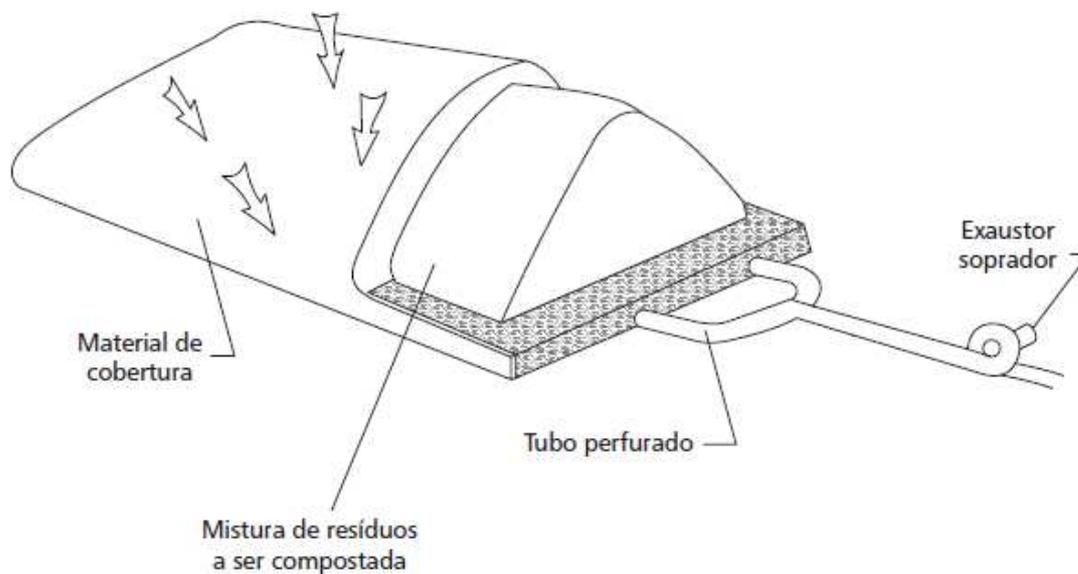


Figura 5: Sistema de compostagem em pilhas estáticas aeradas

Fonte: Adaptado de Andreoli, 2001

Qualquer de seja o sistema escolhido, de modo a otimizar o processo de compostagem, torna-se necessário adicionar um material auxiliar, que forneça estrutura apropriada para a construção das leiras de compostagem, absorção do excesso de umidade e principalmente à porosidade necessária à manutenção das condições aeróbias no interior da leira de compostagem.

Higarashi, Sardá e Oliveira (2010) cita que serragem tem sido empregada com sucesso, no entanto, o aumento da escala de sistemas de compostagem pode levar a uma falta desse material e incentivar o desmatamento. A fim de evitar isso, outros resíduos podem ser avaliados como agentes de enchimento alternativos, preferencialmente aqueles que constituam matéria-prima abundante na região.

Adhikari et.al. (2008) desenvolveram um estudo que teve por objetivo investigar a eficácia de três agentes de volume no processo de compostagem de resíduos de alimentos. Os materiais testados foram palha de trigo picada, feno maduro picado e aparas de madeira. Após período de compostagem as duas primeiras fórmulas foram bem decomposta sem ou com muito poucas partículas de substrato reconhecíveis. Aparas de madeira produziram um composto menos decomposto na maturação, com partículas de madeira ainda visíveis no produto final. No entanto, todos os agentes de volume apresentaram características químicas viáveis para o uso como correção do solo.

É cada vez maior o uso de materiais alternativos para a produção de substratos e adubos orgânicos. Esta tendência está relacionada diretamente com o aproveitamento de resíduos que são descartados no meio urbano, rural e agroindustrial e indiretamente gera benefícios ambientais (BARATTA JUNIOR, 2007).

Bidone (2001) relata que os materiais provenientes de cortes de grama e podas de árvores, por sua dificuldade de compactação e pelo grande volume gerado diariamente em grandes centros se constituem em um grande problema quando destinados a aterros sanitários. Como alternativa de valorização desses resíduos sugere-se o seu reaproveitamento compostando-os juntamente lodos ou resíduos de alimentos, conforme comprovado pelo autor ao obter bons resultados em seus estudos utilizando essas misturas.

Silva e Fernandes (1998) também utilizaram resíduos de poda como agente estruturante para a compostagem de biossólidos e lodo de tratamento de água, e concluíram que tais combinações de resíduos permitiram excelente desempenho da atividade biológica no processo.

2.2.4 Monitoramento do Processo de Compostagem

Para fins práticos, são dois os principais graus de decomposição do material submetido a compostagem: semicurado ou tecnicamente bioestabilizado e curado ou humificado. O primeiro indica que o composto já pode ser empregado como fertilizante sem causar danos às plantas e o segundo indica que está completamente estabilizado e com qualidade apropriada (D'ALMEIDA e VILHENA, 2000).

Para que o processo de compostagem se desenvolva de maneira satisfatória, é necessário que alguns parâmetros físico-químicos sejam respeitados e monitorados a fim de permitir que os microrganismos encontrem condições favoráveis para se desenvolverem e transformarem a matéria orgânica.

Sendo a compostagem um processo biológico, os fatores mais importantes, que influenciam na degradação da matéria orgânica, são a aeração, pH e a umidade. A temperatura também é um fator importante, principalmente no que diz respeito à rapidez do processo de biodegradação e à eliminação de patógenos, porém é resultado da atividade biológica. Os nutrientes, principalmente carbono e nitrogênio, são fundamentais ao crescimento bacteriano. O carbono é a principal fonte de energia e o nitrogênio é necessário para a síntese celular (FERNANDES e SILVA, 1999).

2.2.4.1 Aeração

Fernandes e Silva (1999) esclarecem que sendo a compostagem um processo aeróbio, o fornecimento de ar é vital à atividade microbiana, pois os microrganismos aeróbios têm necessidade de O₂ para oxidar a matéria orgânica que lhes serve de alimento. Bidone e Povinelli (1999) complementam dizendo que a aeração pode ocorrer por revolvimento manual ou por meios mecânicos, com insuflamento de ar e que devido à dificuldade de mensuração de O₂ na pilha, o monitoramento ocorre pela avaliação da temperatura e da umidade.

Seja qual for a tecnologia utilizada, a aeração da mistura é fundamental no período inicial da compostagem, na fase de degradação rápida, onde a atividade microbiana é intensa. Na fase seguinte, a maturação, a atividade microbiana é pouco intensa, logo a necessidade de aeração é bem menor (FERNANDES e SILVA, 1999).

2.2.4.2 Temperatura

A temperatura é um fator indicativo do equilíbrio biológico, é de fácil monitoramento e reflete a eficiência do processo. Se a leira, em compostagem, registrar temperatura da ordem de 40-60°C no segundo ou terceiro dia é sinal que o ecossistema está bem equilibrado e que a compostagem tem todas as chances de ser bem sucedida. Caso contrário, é sinal de que algum ou alguns parâmetros físico-químicos (pH, relação C:N, umidade) não estão sendo respeitados, limitando assim a atividade microbiana (FERNANDES e SILVA, 1999).

Embora a elevação da temperatura seja necessária para a eliminação de organismos patogênicos é importante observar que a ação dos microrganismos sobre a matéria orgânica aumenta com a elevação da temperatura até 65°C. Acima desse valor, o calor limita as populações aptas, havendo o decréscimo da atividade biológica (BIDONE e POVINELLI, 1999).

Portanto, caso a temperatura atinja níveis superiores a 65°C se faz necessário a introdução de mecanismos de controle para diminuir a temperatura. As medidas de controle mais comum são a irrigação, a aeração ou a combinação das duas medidas. Loureiro et al. (2007), testaram a compostagem de resíduos sólidos com e sem a adição de esterco bovino. O autor utilizou combinadamente os métodos de irrigação e reviramento das pilhas, verificando que a temperatura decaía após a tomada dessas medidas.

2.2.4.3 Umidade

O teor de umidade dos resíduos depende da sua porosidade e grau de compactação. Se a umidade for muito baixa, a atividade biológica é reduzida e se for muito elevada a aeração é prejudicada e ocorre a anaerobiose (D'ALMEIDA E VILHENA, 2000). Em umidades abaixo de 40% a decomposição será aeróbia e, portanto, mais lenta, isso ocorre porque os fungos passam a ser os organismos predominantes e a atividade das bactérias é reduzida (KIEHL, 1985).

Para Fernandes e Silva (1999), o teor ótimo de umidade, de modo geral, situa-se entre 50 e 60% e o ajuste da umidade pode ser feito pela mistura de componentes, pela adição de água ou por uma aeração eficaz.

2.2.4.4 pH

É fato conhecido que níveis de pH muito baixos ou muito altos reduzem ou até inibem a atividade microbiana. De acordo com Kiehl (1985), os valores abaixo de 6,0 são indesejáveis, entre 6,0 e 7,5 bons e acima de 7,5 ótimos.

Fernandes e Silva (1999) indicam que quando são utilizadas misturas com pH próximo da neutralidade, o início da compostagem é marcado por uma queda sensível de pH, variando de 5,5 a 6,0, devido à produção de ácidos orgânicos. Quando a mistura apresentar pH próximo de 5,0 ou ligeiramente inferior há uma diminuição drástica da atividade microbiológica e o composto pode não passar para a fase termófila. Porém, e principalmente se, a relação C:N da mistura for conveniente, o pH geralmente não é um fator crítico da compostagem.

Vários são os autores que consideram a dificuldade do controle do pH durante o processo de compostagem, no entanto Russo (2003) constatou em sua revisão bibliográfica que alguns autores citam que durante o processo o pH tende a se autorregular. A citação de D'Almeida e Vilhena (2000) corrobora com essa afirmativa, pois segundo essa publicação os RSDs são, via de regra, ácidos, com faixa de pH entre 4,5 e 5,5, já o composto curado humificado apresenta, geralmente, pH na ordem de 7,0 a 8,0.

2.2.4.5 Relação C:N

Fernandes e Silva (1999) destacam que a relação C:N é considerada como fator que melhor caracteriza o equilíbrio dos substratos, pois os microrganismos necessitam de carbono, como fonte de energia, e de nitrogênio para síntese de proteínas. Se a relação C:N for muito baixa pode ocorrer grande perda de nitrogênio pela volatilização da amônia. Se a

relação C:N for muito elevada os microrganismos não encontrarão N suficiente para a síntese de proteínas e terão seu desenvolvimento limitado. Como resultado, o processo de compostagem será mais lento.

Para D'Almeida e Vilhena (2000), a relação C:N desejável para o início da compostagem deve ser na ordem de 30/1. Reis (2005) acrescenta que para equacionar essa relação basta utilizar no início do processo um volume de três partes de materiais ricos em carbono para uma parte de materiais ricos em nitrogênio.

2.2.5 Efeito da Compostagem na Eliminação de Patógenos

Na compostagem, além dos microrganismos responsáveis pelo processo de degradação da matéria, pode ocorrer a presença de microrganismos patogênicos indesejáveis para o processo. Apesar disso, vários são os estudos que apontam que a compostagem é o processo que combina eliminação adequada de patógenos com alto grau de estabilização de forma mais eficiente. Os principais organismos patogênicos que podem estar presentes em leiras de compostagem são os coliformes termotolerantes e os helmintos, esse últimos geralmente ainda no estágio de ovo.

Buttenbender e Miller (2005) destacam que o índice de determinação da presença de organismos patogênicos é empregado como indicador de condições higiênico sanitárias. A Instrução Normativa nº27 de 05 de junho de 2006, determina, entre outros, as concentrações máximas admitidas para agentes microbiológicos patogênicos para a utilização, produção, importação e comercialização de fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes. As condições definidas por esta normativa estão demonstradas no Quadro 2.

Quadro 2: Concentrações máximas admitidas para agentes microbiológicos patogênicos em fertilizantes

CONTAMINANTE BIOLÓGICO	CONCENTRAÇÃO MÁXIMA ADMITIDA
Coliformes termotolerantes: NMP/g de MS	1.000,00
Ovos viáveis de helmintos: nº em 4g ST	1,00

Legenda:

NMP: Número Mais Provável. MS: Matéria Seca.

ST: Sólidos Totais.

Fonte: Adaptado de BRASIL, 2006

Soares et al. (2000) destacam que muitas são as variáveis que afetam a sobrevivência desses organismos tais como: fatores físicos (temperatura, intensidade de luz solar) e fatores químicos (amônia, sais, ácidos). Esse autor destaca ainda que no caso dos helmintos baixas temperaturas (8,9 °C a 15,6 °C) inibem o desenvolvimento das células dentro dos ovos, assim como temperaturas muito altas podem ocasionar a morte dos ovos quando expostos por um determinado tempo. Andreoli (2001) concorda com essa afirmação e acrescenta que a própria atividade microbiológica durante a compostagem determina uma elevação natural da temperatura do meio. A rigor, quanto mais elevada for a temperatura, mais rápida será a eliminação de patógenos. Porém, acima de 60°C, a atividade microbiológica global do composto tende a cair, reduzindo-se muito se a temperatura chegar em 70°C, pois o meio se torna excessivamente limitante, mesmo para muitos grupos de bactérias termofílicas.

Andreoli (2001) acrescenta que na prática, a temperatura mantida em torno de 60°C parece conciliar a eficiência na eliminação de patógenos com alto nível de atividade microbiológica global. A elevação da temperatura acima de 55°C é fundamental para a boa eliminação de patógenos: a 60°C, a eliminação de coliformes é seis vezes mais rápida que a 55°C. Pelos dados disponíveis na literatura, a temperatura de 60°C alia boa eficiência de eliminação de patógenos à alta taxa de biodegradação da matéria orgânica. Zerbini, Chernicharo e Viana (1999) fazem uma ressalva em relação aos ovos de helmintos e afirmam que não basta apenas avaliar o aspecto quantitativo de sua presença, mas também o aspecto qualitativo relativo à viabilidade destes.

Heck et al. (2012) avaliaram a temperatura de degradação de resíduos em processo de compostagem e sua correlação com a qualidade microbiológica do composto final. Seus estudos concluíram que as coliformes totais oscilaram ao longo do processo e o composto maturado apresentou-se livre de ovos de helmintos.

Buttenbender e Miller (2005), em sua pesquisa, avaliaram a higienização da fração orgânica dos RSUs, durante o processo de compostagem, através da redução do número mais provável de coliformes presentes nas amostras. Os autores monitoraram o experimento após a fase termofílica, sendo coletadas amostras do composto, durante a fase de maturação e após o peneiramento do composto orgânico. Os autores concluíram que foi possível evidenciar, em todas as amostras, uma redução significativa dos microrganismos potencialmente patogênicos, através da técnica de compostagem termofílica em leiras estáticas.

2.3 FERTILIZANTES ORGÂNICOS: QUALIDADE, LEGISLAÇÃO E UTILIZAÇÃO DO COMPOSTO PRODUZIDO

O composto orgânico produzido pela compostagem do resíduo domiciliar tem como principais características a presença de húmus e nutrientes minerais e sua qualidade é função da maior ou menor quantidade destes elementos. O húmus torna o solo poroso, permitindo a aeração das raízes, retenção de água e dos nutrientes. Os nutrientes minerais podem chegar a 6% em peso do composto e incluem, entre outros, o nitrogênio, fósforo e o potássio, que são absorvidos pelas raízes das plantas. No Brasil o composto orgânico produzido em usinas de compostagem de RSU deve atender a valores estabelecidos pelo Ministério da Agricultura para que possa ser comercializado (MONTEIRO e ZVEIBIL, 2001).

O Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento – MAPA dispõe de uma ampla Legislação, na forma de Leis, Decretos, Portarias e Instruções Normativas de maneira a controlar, fiscalizar e definir parâmetros para produção, comercialização, análises, classificação e registros desses compostos.

O composto orgânico produzido através de resíduos urbanos domiciliares é enquadrado na lei como fertilizante orgânico composto. Até 1982 o Ministério da Agricultura não dispunha de uma regulamentação específica para fertilizantes orgânicos. O Decreto 75.583 de 09 de abril de 1975 regulamentou a Lei nº 6.138, de 8 de novembro de 1974 que dispõe sobre a inspeção e fiscalização do comércio de fertilizantes, corretivos e inoculantes destinados à agricultura de uma forma geral (BRASIL, 1974, BRASIL, 1975).

Com a publicação do Decreto 86.955 de 18 de fevereiro de 1982 que Regulamentou a Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, inseriu-se então, o conceito de fertilizante orgânico, sendo esse definido como fertilizante de origem vegetal ou animal contendo um ou mais nutrientes das plantas. Mais tarde, com a publicação do Decreto 4.954 de 14 de janeiro de 2004, este ainda em vigor, que revogou o Decreto 86.955, houve então, uma alteração desse conceito passando esse a definir compostos orgânicos por produto de natureza fundamentalmente orgânica, obtido por processo físico, químico, físico-químico ou bioquímico, natural ou controlado, a partir de matérias-primas de origem industrial, urbana ou rural, vegetal ou animal, enriquecido ou não de nutrientes minerais. Esse decreto também inseriu a categoria fertilizante orgânico composto, tendo esse o conceito de produto obtido por processo físico, químico, físico-químico ou bioquímico, natural ou controlado, a partir de

matéria-prima de origem industrial, urbana ou rural, animal ou vegetal, isoladas ou misturadas, podendo ser enriquecido de nutrientes minerais, princípio ativo ou agente capaz de melhorar suas características físicas, químicas ou biológicas (BRASIL, 1980, 1982a, 2004a).

A Instrução Normativa nº10 de 06 de maio de 2004, além de aprovar as disposições sobre a classificação e os registros de estabelecimentos e produtos, as exigências e critérios para embalagem, rotulagem, propaganda e para prestação de serviço, bem como os procedimentos a serem adotados na inspeção e fiscalização da produção, importação, exportação e comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes, destinados à agricultura ampliou a classificação de fertilizantes ao classifica-los quanto à natureza, quantidade de nutrientes, categoria e quanto ao modo de aplicação (BRASIL, 2004b).

Segundo Monteiro e Zveibil (2001), o composto orgânico produzido em uma unidade de compostagem deve ser regularmente submetido a análises físico-químicas de forma a assegurar o padrão mínimo de qualidade estabelecido pelo governo. A Portaria 31 de 08 de junho de 1982 aprovou os métodos analíticos, que passam a constituir métodos padrões, oficiais, para análise de corretivos, fertilizantes e inoculantes sujeitos a inspeção e fiscalização previstas na legislação acima referida. Em 2007, essa portaria foi revogada pela Instrução Normativa nº 28 de 27 de julho de 2007, que tem o mesmo objetivo. Em anexo a essa Instrução Normativa, foi publicado pelo Ministério da Agricultura o Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes Minerais, Orgânicos, Organominerais e Corretivos (BRASIL, 1982b, 2007).

Kiehl (1985) destaca que os resultados analíticos, além de confirmar se os parâmetros estão de acordo com a legislação, também possuem a finalidade de controlar a garantia do produto e calcular seu valor nutricional, podendo assim indicar a possível necessidade de complementação nutricional nesse produto. O autor esclarece que o recomendado é sempre realizar três determinações e usar a média dos dados como resultado final, expressando-os em números inteiros ou com apenas uma casa decimal.

O termo “composto de lixo” foi citado pela primeira vez na Instrução Normativa nº 23 de 31 de agosto de 2005 que o conceituou como fertilizante orgânico composto, obtido pela separação da parte orgânica dos RSDs e sua compostagem, resultando em produto de utilização segura na agricultura e atendendo aos limites estabelecidos para contaminantes e o reconheceu como fertilizante Classe C. Para essa Instrução Normativa essa classe de fertilizante é definida por fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza qualquer

quantidade de matéria-prima oriunda de lixo domiciliar, resultando em produto de utilização segura na agricultura. Essa Instrução Normativa foi revogada pela Instrução Normativa n° 25 (BRASIL, 2005).

A Instrução Normativa n° 25, de 23 de Julho de 2009, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento aprovou as normas sobre as especificações, garantias e tolerâncias dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos organominerais e biofertilizantes. Essa Instrução Normativa, a exemplo da Instrução Normativa n°23, reconhece o fertilizante com fabricação a partir matéria prima oriunda de RSU como sendo um fertilizante orgânico Classe C e fixa os padrões de acordo com o Quadro 3.

Quadro 3: Padrões de referência para fertilizantes orgânicos Classe C

PARÂMETRO	MISTO/COMPOSTO	VERMICOMPOSTO
Umidade (Máxima)	50	
N total (Mínimo)	0,5	
Carbono Orgânico Total (Mínimo)	15	10
CTC	Conforme declarado	
pH (Mínimo)	6,5	6,0
Relação C:N (Máxima)	20	14
Relação CTC/C	Conforme declarado	
Outros nutrientes	Conforme declarado	

Fonte: Adaptado de BRASIL, 2009c

Em relação aos padrões fixados é importante salientar que, apesar da CTC não ter um limite estabelecido KIEHL (1985) esclarece que um bom composto deverá apresentar CTC de 60 a 80 cmolc/kg e, ainda, uma relação CTC/C acima de 1,7 já que esses valores indicam boas condições de maturação do composto.

A CTC mede a capacidade do composto de adsorver cátions e é responsável pela retenção de nutrientes, favorecendo a absorção destes pelas plantas. Segundo Paiva (2008) a CTC será tanto maior, quanto maior for o índice de humificação do material. Isto porque as substâncias húmicas que compõe o composto são colóides eletronegativos com grande superfície específica. O processo de humificação, pode ser medido pelo valor da CTC do composto ou também pela relação CTC/C, ou seja, estas variáveis dão indicativos do grau de maturação do composto orgânico sendo inclusive mais confiável que a relação C:N, uma vez que, a última, pode ser afetada, por exemplo, pela maior presença de N amoniacal.

Essa Instrução Normativa tem suas bases encravadas na Portaria 1 de 4 de março de 1983, pois essa portaria foi revogada pela Instrução Normativa nº 15 de 22 de dezembro de 2004, que por sua vez foi revogada pela Instrução Normativa nº 23. Ainda de acordo com a Instrução Normativa nº 25, os fertilizantes orgânicos e biofertilizantes, que de acordo com a sua natureza física, sejam considerados como produto sólido, ou seja, constituído de partículas ou frações sólidas, serão classificados de acordo com sua especificação granulométrica conforme Quadro 4 (BRASIL, 1983, 2004c, 2005, 2009c).

Quadro 4: Especificações Granulométricas para compostos orgânicos

NATUREZA FÍSICA	ESPECIFICAÇÃO GRANULOMÉTRICA		
	PENEIRA	PASSANTE	RETIDO
Granulado	4 mm (ABNT nº 5) 1 mm (ABNT nº 18)	95% mínimo 5% máximo	5% máximo 95% mínimo
Pó	2,0 mm (ABNT nº 10) 0,84 mm (ABNT nº 20) 0,3 mm (ABNT nº 50)	100% 70% mínimo 50% mínimo	0% 30% máximo 50% máximo
Farelado	3,36 mm (ABNT nº 6) 0,5 mm (ABNT nº 35)	95% mínimo 25% máximo	5% máximo 75% mínimo
Farelado Grosso	4,8mm (ABNT nº 4) 1,0 mm (ABNT nº 18)	100% 20% máximo	0% 80% mínimo

Fonte: BRASIL, 2009c

Para Schalch et al. (2002) os compostos orgânicos obtidos pelo processo de compostagem de RSU, ao contrário dos adubos químicos, apresentam uma concentração baixa de macronutrientes, geralmente entre 1,5 a 2,5 % em peso (1,2% N + 0,6% K). Dessa forma, sua utilização é aconselhada primordialmente para melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Também foi frisado por esses autores que o composto de RSDs não pode ser empregado de maneira generalizada, pois seu conteúdo relativamente elevado de sais pode ser prejudicial a uma série de plantas. Também o pH alcalino do composto restringe a sua aplicação em plantas acidófilas como cenouras, alface, feijão, cebola, arbustos frutíferos, coníferas e azaléas. Dentre as plantas que aceitam bem o composto orgânico, estão as árvores frutíferas, vinhedos, plantas ornamentais, couve e outras hortaliças afins.

Reis (2005) esclarece que devido a sua natureza orgânica, o composto de RSU apresenta uma densidade média entre 0,4 e 0,7g/cm³, bem como uma capacidade de retenção até três ou quatro vezes seu peso. Em função dessas características, também atua como condicionador de solo, diminuindo sua densidade e melhorando sua estruturação.

Barreira, Philippi Júnior e Rodrigues (2006) pesquisaram a qualidade do composto produzido em 14 usinas de compostagem operantes no Estado de São Paulo e perceberam que, das usinas pesquisadas, apenas o composto produzido por uma delas apresentou pH abaixo da norma estabelecida. Porém, para essa usina esse já era um resultado esperado já que a matéria-prima não sofria o processo total de decomposição pela falta de espaço físico na usina. Esses mesmos autores também verificaram o parâmetro umidade em sua pesquisa e compararam seus resultados com os limites impostos pela legislação, chegando a conclusão de que somente dois dos seus compostos apresentaram valores acima dos estipulados devido a falta de decomposição da matéria orgânica e da umidade inerente aos resíduos. Todos os demais estavam dentro das especificações. Quando verificaram a relação C:N foi visto que 11 usinas produziam compostos dentro dos limites exigidos.

Porém, na pesquisa de Barreira, Philippi Júnior e Rodrigues (2006) foi constatado que, a maioria dos compostos analisados possui baixos valores de nutrientes, sendo que para Fósforo e Potássio a concentração foi baixa em todos os compostos verificados. Quanto ao nitrogênio, de acordo com a Legislação Brasileira, apenas os compostos produzidos em duas usinas estavam dentro dos parâmetros exigidos.

Fernandes e Silva (1999) destacam que quando se discute uso de compostos orgânicos, é preciso evitar o erro simplório de fixar seu valor apenas no seu teor de nutrientes. Evidentemente, os nutrientes, principalmente o nitrogênio e fósforo, tem valor econômico

importante, porém, o valor agrônômico do composto vai além dos nutrientes minerais. Para esses autores um composto bem maturado é rico em colóides húmicos, ou húmus, que tem ação nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, pois além de estruturar o solo, também se constituem na parte quimicamente ativa do sistema, armazenando os nutrientes mais solúveis, que são os alimentos das plantas.

Estudos em países de clima temperado mostraram que cerca de 4% dos restos de culturas deixadas no solo se transformam em húmus estável, sendo que o resto é simplesmente mineralizado. Em países quentes e chuvosos, como o Brasil, esta taxa de conversão em húmus deve ser ainda menor. A taxa de transformação de matéria fresca em húmus salta para 20-40% quando os resíduos passam pelo processo de compostagem. Devido a isso, alguns pesquisadores da área agrônômica dizem que ao se colocar adubo químico no solo, alimentam-se as plantas e ao se colocar composto, alimenta-se o solo, melhorando suas propriedades globais e conseqüentemente seu potencial de produção (FERNANDES E SILVA, 1999).

Dessa forma, infere-se que a ação dos fertilizantes orgânicos é diferente dos fertilizantes minerais. Fernandes e Silva (1999) observam que não deve existir qualquer tipo de antagonismo entre o uso do composto orgânico e o dos fertilizantes minerais, ou seja, o ideal é que ambos sejam usados em harmonia um com o outro.

2.4 CORRETIVOS DE ACIDEZ DE SOLO

Furtini Neto et al. (2001) afirmam que a grande maioria dos solos brasileiros apresenta pH inferior a 5,5, sendo essa uma condição química desfavorável, pois reduz a fertilidade do solo e, conseqüentemente, sua produtividade. Fadigas et al. (2002) comprovou essa afirmação ao testar 162 amostras de solo, provenientes da soloteca da Embrapa Solos e constatar que 89% dessas amostras apresentaram $\text{pH} \leq 6$, e destas 60% apresentaram $\text{pH} \leq 5$, sendo os solos classificados como extremamente a fortemente ácidos.

Segundo a Comissão de Química e Fertilidade do Solo - CQFSRS/SC (2004) os solos dos estados RS e SC seguem o mesmo padrão sendo predominantemente ácidos, apresentando restrições ao desenvolvimento da maioria das plantas cultivadas. Essa mesma referência destaca que a acidificação do solo cultivado é um processo contínuo e sua intensidade depende de vários fatores, dessa forma, a utilização de corretivos da acidez do solo é, portanto, de grande importância para a produção agrícola. Segundo Alcarde (2005)

corretivos da acidez dos solos são produtos capazes de neutralizar (diminuir ou eliminar) a acidez dos solos e ainda carrear nutrientes vegetais ao solo, principalmente cálcio e magnésio.

Para Machado, Ribeiro e Andrade (2008) as características mais importantes a serem avaliadas em corretivos de acidez são a granulometria ou eficiência relativa (ER), o poder de neutralização (PN) e o poder relativo de neutralização total (PRNT). O Manual de Métodos Analíticos para Fertilizantes (BRASIL, 2007) estabelece os procedimentos analíticos para determinação desses parâmetros e a publicação intitulada Manual de Adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFSRS/SC, 2004) descreve e explica cada um desses parâmetros, conforme segue:

A eficiência relativa das frações granulométricas do corretivo ou o efeito do tamanho de partículas na eficiência do corretivo é definida como Eficiência Relativa (ER). Nesse caso, quanto maior o diâmetro das partículas do corretivo, tanto maior será o tempo necessário para a reação com os ácidos do solo. Assim, os valores de reatividade são: 1,0 para partículas com diâmetro menor que 0,30 mm; 0,6 para partículas entre 0,30 e 0,84 mm; 0,2 para partículas entre 0,84 e 2,00mm; e zero para partículas maiores que 2,00 mm de diâmetro. Um exemplo hipotético para o cálculo ER para um corretivo pode ser expresso da seguinte forma:

- 60% passa na peneira n°50 (< 0,30 mm);
- 20% passa na peneira n°20, mas é retido na de n°50 (>0,30 e < 0,84 mm);
- 18% passa na peneira n°10, mas é retido na de n°20 (>0,84 e <2,00 mm);
- 2% é retido na peneira n°10 (>2,00 mm);

Então, ER é a soma das eficiências das quatro frações:

$$ER = (60\% \times 1,0) + (20\% \times 0,60) + (18\% \times 0,20) + (2\% \times 0,0) = 75,6\%.$$

A capacidade que um corretivo tem de neutralizar ácidos é a definição de Poder de Neutralização (PN). É expressa em relação àquela do carbonato de cálcio puro, ao qual é atribuído o valor de 100%. Assim, a PN dos compostos e corretivos é também chamada de equivalente em carbonato de cálcio (ECaCO₃). Quanto maior o PN de um composto ou corretivo, maior é a quantidade de ácidos que ele neutraliza. Em laboratório, a determinação do PN é feita pela reação de amostra do corretivo com quantidade conhecida de ácido, titulando-se o excesso de ácido com hidróxido de sódio.

Finalmente, Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT) refere-se à eficiência de um corretivo que, por sua vez, depende de suas características químicas, expressas pelo PN e de suas características físicas, expressas pela RE. Dessa forma, $PRNT (\%) = (PN \times RE)/100$. Por exemplo, se um corretivo tem $PN=91\%$ e $RE=75,6\%$, seu $PRNT = 68,8\%$. Esse valor indica que uma quantidade de 1.000 kg deste corretivo terá o mesmo efeito de correção da acidez do solo que 688 kg de $CaCO_3$ puro e finamente moído.

Baldotto et al., 2007 destacam que os calcários são os materiais corretivos mais usados na agricultura, entretanto, alguns resíduos industriais poderiam, potencialmente, ser utilizados com esses fins, uma vez que a produção de resíduos industriais representa grande preocupação para a sociedade. Souza, et al (2009) concordam e complementam dizendo que a busca por novos insumos agrícolas é de suma importância para uma agricultura sustentável e ecologicamente viável.

Nesse sentido, por geralmente apresentarem valores de pH básicos, os compostos orgânicos podem ser indicados para utilização como corretivo de solos acidificados. Lima, Lima e Aguiar (2005) testaram o efeito da adubação orgânica sobre o pH do solo constataram um aumento considerável em relação ao pH. Nesse estudo, a aplicação de 10 kg de composto orgânico teve resultados semelhantes à aplicação das doses de calcário dolomítico recomendadas em parcelas de 2m.

Outro material com grande potencial de uso para esse fim é o pó oriundo do corte de mármore e rochas ornamentais surge como alternativa para correção de acidez de solos. Os mármore são rochas metamórficas de natureza Calcária, constituídos, geralmente, da mistura de carbonatos de cálcio e de magnésio ($CaCO_3$ e $MgCO_3$). Baldotto et al., 2007 ao estimular o uso desse material, complementam afirmando que o processo industrial destes não inclui metais pesados ou outros contaminantes, além de que com o crescimento da indústria de rochas ornamentais elevadas quantidades de resíduos sólidos oriundas do beneficiamento desses materiais têm-se constituído em um problema ambiental em potencial. Segundo esses autores a quantidade de pó-de-mármore, que se aproxima de 25 % do total obtido no processo de beneficiamento, é geralmente descartada, acumulando-se em grandes tanques de deposição nas proximidades das indústrias, uma ameaça constante ao meio ambiente e à qualidade de vida dos moradores da região.

Alguns autores comprovaram em suas pesquisas a viabilidade do uso agrônômico desses resíduos. Baldotto et al., 2007 avaliou a potencialidade agrônômica do resíduo de mármore. Esse autor aplicou esse resíduo como corretivo da acidez do solo em uma cultura do

milho e comparou com um calcário de referência. Os resultados obtidos demonstraram que a elevação do pH e o crescimento inicial de milho foram semelhantes quando usado o pó-de-mármore ou corretivo de referência.

Machado, Ribeiro e Andrade, 2008 avaliaram a utilização de rejeitos de rochas ornamentais na correção da acidez do solo e, a partir dos resultados observados concluíram que esses rejeitos apresentam potencialidade para serem utilizados como tal, à medida que contribuiriam para o aumento de pH nos solos estudados.

Mesquita, Cardoso Filho e Andrade (2009), desenvolveram um estudo com o objetivo avaliar a evolução do pH, em condições de laboratório, de dois tipos de solo. Nessa pesquisa, o calcário dolomítico foi utilizado como corretivo padrão na correção da acidez do solo para a comparação com os corretivos alternativos calcário marinho e resíduo de marmoraria. Os resultados evidenciaram um comportamento similar entre os corretivos na eficiência da neutralização da acidez do solo, demonstrando potencial para o uso na agricultura.

Em razão da problemática ambiental, motivada pela geração dos resíduos e pela necessidade de encontrar alternativas para seu melhor aproveitamento, surge a estratégia do aproveitamento do pó-de-mármore como corretivo da acidez do solo, haja vista o seu alto teor de carbonatos e a sua granulometria aparentemente compatível com a dos calcários comerciais.

2.5 TESTES DE GERMINAÇÃO NA DETERMINAÇÃO DO GRAU DE MATURAÇÃO E DA FITOTOXICIDADE DE COMPOSTOS ORGÂNICOS

A germinação pode ser definida, conforme IPEF (1998 apud Machado et al. 2002), como um fenômeno biológico que pode ser considerado pelos botânicos como a retomada do crescimento do embrião, com o subsequente rompimento do tegumento pela radícula e para os tecnólogos de sementes, como a emergência e o desenvolvimento das estruturas essenciais do embrião, manifestando a sua capacidade para dar origem a uma planta normal. Machado et al. (2002) comentam ainda que a avaliação da germinação das sementes pode ser efetuada pelo teste de germinação, conduzido em laboratório sob condições controladas e por meio de métodos padronizados.

O MAPA explica que a germinação de sementes em teste de laboratório é a emergência e desenvolvimento das estruturas essenciais do embrião, demonstrando sua

aptidão para produzir uma planta normal sob condições favoráveis de campo. Nos testes de laboratório a porcentagem de germinação de sementes corresponde à proporção do número de sementes que produziu plântulas classificadas como normais, em condições e períodos especificados (BRASIL, 2009d).

Silva e Villas Bôas (2007) avaliaram a viabilidade do uso do teste de germinação na predição do grau de maturação de compostos orgânicos. Embasados em suas pesquisas bibliográficas, esses autores afirmam que ensaios e investigações têm sido realizados utilizando o método de germinação de sementes como parâmetros de avaliação do grau de maturação em que se encontra o composto. A confiabilidade do método estaria embasada no fato de que baixos índices de germinação podem ser associados à presença de metais pesados, elementos inorgânicos e sais solúveis em compostos orgânicos. Se essas características estão presentes no composto, a germinação de sementes diminuirá dependendo do grau de fitotoxicidade que possua a mistura. Além disso, sementes que são colocadas em um composto imaturo não germinam, ou, se germinam, morrem rapidamente logo após a germinação.

Belo (2011) ressalta que atualmente, não existe um método universal estabelecido para avaliar a fitotoxicidade de um composto, porém, entre os diversos métodos propostos na literatura, os ensaios com plantas têm sido muito utilizados neste âmbito, os quais empregam uma variedade de espécies, substratos e procedimentos. Estes métodos são muito vantajosos porque permitem avaliar simultaneamente os efeitos provocados por diversos fatores fitotóxicos. Destes, destacam-se os testes de germinação. Belo (2011) desenvolveu um estudo, cujo principal objetivo foi avaliar a fitotoxicidade de materiais durante os processos de compostagem e em compostos em fase de maturação. Para tanto, o efeito dos extratos aquosos dos compostos na germinação de sementes e crescimento das raízes primárias de agrião de jardim (*Lepidium sativum*) foi medido e o índice de germinação foi calculado. A autora acrescenta que este índice para além de demonstrar como o composto afeta a produção vegetal pode ser usado como indicador de maturação do composto.

Kiehl (1985) acrescenta que nos testes de germinação, o grau de maturação e de fitotoxicidade de um composto pode ser determinado por meio de plantas indicadoras ou plantas testes. Esse autor aponta como plantas indicadoras o agrião (*Lepidium sativum*), a alface (*Lactuca sativa*) e a cevada (*Hordeum vulgare*).

Em 2009, o MAPA publicou o manual “Regras para Análise de Sementes” que teve por finalidade disponibilizar métodos para análise de sementes, sendo estes de uso

obrigatório nos Laboratórios de Análise de Sementes credenciados no MAPA, objetivando o cumprimento da Lei nº 10.711, de 5 de agosto de 2003 e Decreto nº 5.153, de 23 de julho de 2004. Em seu capítulo cinco, ao abordar testes de germinação, esse manual trata da duração do teste para cada espécie, esclarece as circunstâncias em que possa haver prolongamento dos testes e determina número de dias para a primeira contagem bem como o desvio aceitável nesses dias para que seja suficiente a avaliação correta das plântulas. Nesse manual também acham-se indicados, por espécie, a recomendação de temperaturas mínimas e máximas, além dos melhores substratos a serem preconizados para condução dos testes, bem como, de que forma devem ser preferivelmente empregados (BRASIL, 2003, 2004d, 2009d).

É importante destacar, que os tipos de substratos mais usados para testes de germinação em laboratório são papel e areia. Os tipos de papel mais comumente utilizados são o mata-borrão, toalha e o filtro. O Manual discrimina também as especificações gerais e o controle de qualidade para cada tipo de substrato, de forma a garantir sua eficácia na condução do teste (BRASIL, 2009d).

De modo geral, para avaliar a influência de certo material ou substância sobre a capacidade de germinação de determinadas plantas os pesquisadores utilizam-se do extrato aquoso da substância a ser avaliada e realizam quatro repetições do teste com 25 sementes tomadas totalmente ao acaso em cada repetição.

Borella e Pastorini (2009) avaliaram o efeito do umbu (*Phytolacca dioica L.*) na germinação e crescimento inicial de tomate e picão-preto. Para tanto, os autores utilizaram-se do extrato do umbu obtido a partir folhas frescas da planta trituradas em liquidificador industrial, na proporção de 8g para 100mL de água destilada. O extrato bruto obtido permaneceu 24h em repouso e posteriormente foi filtrado em gaze, seguindo-se centrifugação a 3000rpm por 10 minutos, sendo o sobrenadante utilizado como extrato de maior concentração. Foram realizadas diluições em água destilada para a obtenção de extratos nas concentrações de 4%, 2% e 1%. Como tratamento controle utilizou-se somente água destilada, a fim de comparar com os efeitos das quatro concentrações. Foram realizadas quatro repetições de 25 sementes para cada tratamento, distribuídas aleatoriamente em placas de Petri esterilizadas de 9cm de diâmetro contendo como substrato folhas de papel umedecidas com 5mL de extrato aquoso, de modo que a solução estivesse bem distribuída.

Harber et al. (2006) realizaram um estudo com o objetivo de avaliar o efeito do extrato aquoso da alga marinha *A. nodosum*, na germinação de sementes de cenoura e tomate. O extrato aquoso foi preparado a partir de 0,010g de alga seca, diluída em 500mL de água

destilada. Foram realizados quatro repetições para cada tratamento e foi utilizado papel como substrato.

Silva e Villas Bôas (2007) pesquisaram a utilização do teste de germinação como indicador de maturação de compostos orgânicos. Nessa pesquisa foi utilizado sementes de agrião (*Lepidim sativum*) em extrato aquoso de compostos orgânicos obtidos a partir de diferentes etapas do processo de compostagem de resíduos oriundos do processamento de plantas medicinais e de resíduos de bovinocultura (esterco). O extrato aquoso foi obtido através da mistura de 5g de amostra moída e seca ao ar com 50 ml de água destilada a 60°C, agitando-se em seguida durante 30 minutos e filtrando-se até obter um extrato transparente. Foram realizadas quatro repetições por tratamento utilizando placas de Petri forradas com papel de filtro, umedecidas com 6mL do extrato. Utilizou-se como testemunha placas irrigadas com água destilada e os índices de germinação foram calculados em relação a essa testemunha.

Os índices mais comumente avaliados são os de porcentagem de germinação (PG) e o índice de velocidade de germinação (IVG). Em testes de laboratório PG corresponde ao quociente entre o número de sementes semeadas e o número de plântulas classificadas como normais que emergiram (BRASIL, 2009d).

Oliveira et al. (2009) conceituam IVG como um teste baseado no princípio de que lotes de sementes que possuem maior velocidade de germinação são mais vigorosos. Por isso através deste teste determina-se o vigor avaliando a velocidade da germinação das sementes e cita, entre outras, a Fórmula de Maguire (1962) para cálculo desse parâmetro. Nessa fórmula, quanto maior o índice, maior será a velocidade de germinação das sementes. Santana e Ranal (2000) destacam a fórmula proposta por Maguire é uma das medidas mais amplamente utilizadas por pesquisadores da área de ciências agrárias, sendo esta uma medida adimensional (sem unidade) que prediz o vigor relativo de amostras de sementes.

Martins et al. (2004), com sementes de *Chenopodium ambrosioides* L., Bezerra, Momenté e Medeiros Filho (2004), com sementes de moringa, Bezerra et al. (2002), com sementes de melão-de-são-caetano, Romani et al. (2010) com sementes de *Merremia spp.* e Catunda et al. (2003), com sementes de maracujá, são autores que utilizaram esta fórmula.

3 METODOLOGIA

A ênfase do presente estudo é na produção de um biocomposto, desenvolvido através do processo de compostagem, utilizando a parcela facilmente degradável dos resíduos coletados em São Leopoldo e que foram rejeitados no processo de triagem de inertes. O município conta com uma cooperativa de catadores, com aproximadamente 120 colaboradores, que está localizada nas dependências do Aterro Sanitário de São Leopoldo. O Aterro em questão possui três células, sendo que todas já estão encerradas. A última célula esgotou seu limite em outubro de 2011 e, portanto, a partir desta data, o resíduo não triado pela cooperativa e levado para um Aterro Sanitário particular, de propriedade do Grupo Solvi, localizado nas imediações do Aterro do município.

A triagem do material é realizada com o auxílio de uma esteira mecânica com 25 metros de comprimento por 1 metro de largura, suspensa sobre uma plataforma de aproximadamente 2 metros de altura. Ao lado da esteira há compartimentos em forma de funis organizados a aproximadamente 3 metros de distância um do outro que abastecem carrinhos posicionados abaixo da área suspensa. Apenas o material inerte reciclável é separado, para posterior venda. Todo material orgânico é tratado como rejeito.

Considerando a disponibilidade, bem como a problemática ambiental de tais resíduos, conforme já descrito no capítulo de revisão bibliográfica foi utilizado resíduos de poda e grama como agente de *bulking*, ou agente estruturante, para compor a montagem das pilhas de compostagem. Os resíduos de podas e grama foram obtidos no local de armazenamento temporário na Unisinos.

O sistema de compostagem empregado nessa pesquisa foi o processo de Pilhas Estáticas com Aeração Forçada. A escolha desse sistema se deu levando em consideração as características apresentadas anteriormente no Quadro 1..

Figura 6 ilustra as etapas metodológicas da pesquisa, as quais na sequência serão descritas.

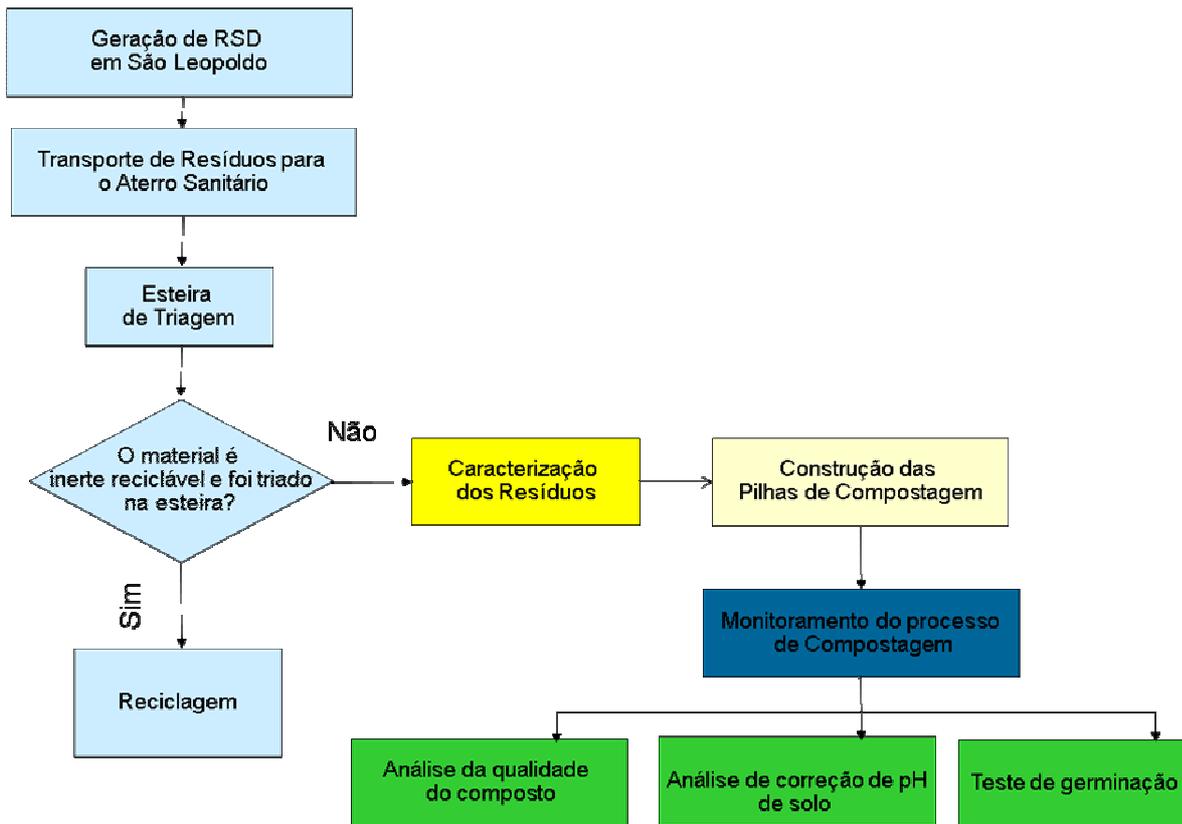


Figura 6: Fluxograma das etapas metodológicas da pesquisa

3.1 SISTEMA DE AERAÇÃO E PÁTIO DE COMPOSTAGEM

Para a execução desse estudo, em que foi realizada a compostagem através do sistema de pilhas estáticas com aeração forçada, foram seguidas as orientações de Fernandes e Silva (1999), ou seja, a mistura de resíduos sólidos e agente de *bulking* foi colocada sobre uma tubulação perfurada, conectada a um soprador. A aeração necessária foi fornecida por este sistema.

O sistema de aeração instalado na Unisinos foi constituído de canos de PVC de 50 mm de diâmetro, com orifícios de saída de ar a cada 15 cm aproximadamente. Esta tubulação foi recoberta com uma camada de 20 a 30 cm de resíduo estruturante seco, para evitar entupimentos. Além disso, as pilhas foram recobertas por uma camada de aproximadamente cinco centímetros de resíduo estruturante, evitando problemas de odor no local.

O pátio é coberto, de forma a não sofrer influência pluviométrica, impermeabilizado e com inclinação suficiente para a drenagem de possíveis lixiviados, conforme recomendação do D'Almeida e Vilhena (2000), porém, não foi observada a geração de lixiviado durante o processo.

3.2 MONTAGEM DAS PILHAS DE COMPOSTAGEM

O experimento foi testado utilizando uma mistura de RSD e Resíduos de poda, sendo que três pilhas foram montadas utilizando RSD triturados e três pilhas utilizaram RSD não triturados, totalizando assim seis pilhas de compostagem. O intuito da variação da granulometria dos resíduos foi comparar o desempenho dos dois sistemas, já que a trituração constitui uma etapa a mais no processo. As pilhas compostas por resíduos não triturados foram identificadas como P-1, P-2 e P-3 e as pilhas montadas com resíduos triturados foram identificadas como P-4, P-5 e P-6, conforme demonstrado na Figura 7.

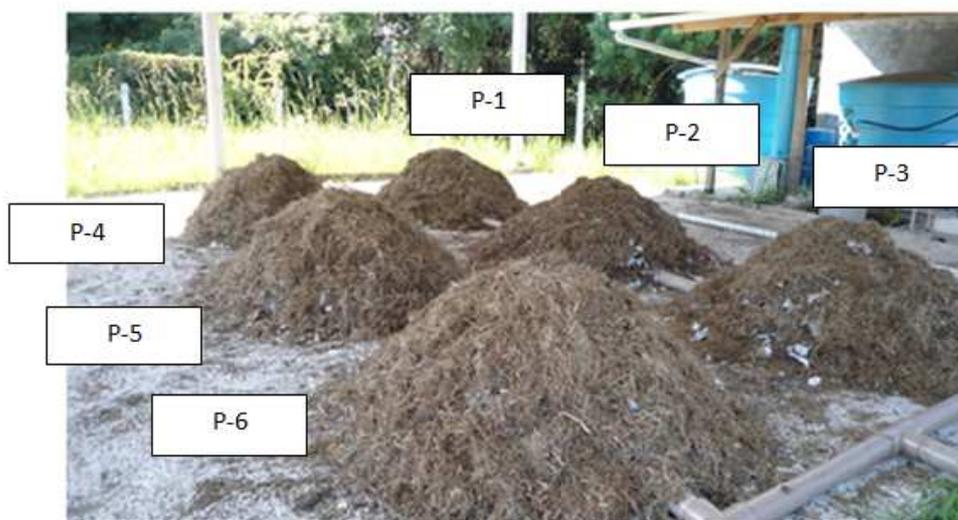


Figura 7: Pilhas de compostagem com sua respectiva identificação

Para a montagem das pilhas, foi transportado do Aterro Sanitário para a Unisinos um total de 1.890 kg de RSU. Nesse material, apesar de ter sido coletado pós-passagem em esteira de triagem, foi realizada uma segunda segregação, onde foram retirados materiais dificilmente degradáveis (trapo, couro, borracha, madeira) ou não degradáveis (vidro, metal, plástico, pedras). Posterior a essa separação o material foi pesado para que fosse calculado o percentual de inertes presentes nesse montante.

Os resíduos de poda utilizados como agente de *bulking* e os RSD utilizados para montagem das pilhas com RSD triturados foram passados por um triturador Trapp, modelo TR200, para reduzir o tamanho dos galhos e, desta forma, proporcionar ao material um aumento da superfície exposta, deixando-o mais vulnerável à ação dos microrganismos.

A proporção de RSD e de Resíduo estruturante foi calculada levando em consideração a massa específica desses resíduos, de forma a compor uma mistura equivalente a 70% de RSD e 30% de resíduo estruturante em volume.

Imediatamente antes da montagem das pilhas foi realizada uma amostragem para a caracterização inicial dos substratos das pilhas (podas e RSD triturados e RSD não triturados). A amostragem dos resíduos foi realizada de acordo com a Norma ABNT NBR 10.007/2004 e o preparo da amostra conforme Manual de Métodos Analíticos para Fertilizantes (ABNT, 2004 e BRASIL, 2007).

As características que foram analisadas estão descritas no Quadro 5. Estas análises foram realizadas em triplicata.

Quadro 5: Parâmetros analíticos empregados para a caracterização de Resíduos

PARÂMETRO	MÉTODO	EQUIPAMENTO
Carbono Orgânico Total	Detector de infravermelho não dispersivo de radiação focalizada	Analytik Jena Multi N/C
Nitrogênio Total	Extração da amostra: Oxidação com o Ácido Perclórico* Detecção de N: Detector de infravermelho não dispersivo de radiação focalizada	Analytik Jena Multi N/C
Relação C:N	Cálculo entre os resultados de teor de carbono e nitrogênio	-
Granulometria	ABNT/NBR 7181/82	Peneiras

*Método Analítico oficial definido conforme Manual de Métodos Analíticos para fertilizantes - Instrução Normativa nº28 do MAPA (BRASIL, 2007).

3.3 OPERAÇÃO DA COMPOSTAGEM E MONITORAMENTOS

A temperatura e a umidade foram monitoradas em todos os dias úteis por meio de um termohigrometro digital Incoterm com faixa de uso de -40°C a 70°C para temperatura e de 0% a 99% para umidade. Sempre que a temperatura esteve próxima dos 60°C foi realizada insuflação de ar no interior da pilha. A umidade foi mantida entre 60% e 70%. O excesso da umidade foi corrigido mediante insuflação de ar no interior da pilha e a sua falta por meio de irrigação.

Tanto para o monitoramento diário de temperatura e umidade quanto para as amostragens para realização dos ensaios laboratoriais foram definidos cinco pontos de

amostragens, sendo quatro pontos na base da pilha, um em cada face, e um ponto no topo. Esses cinco pontos compuseram uma amostra composta para cada pilha.

A Figura 8 apresenta um registro fotográfico das pilhas de compostagem com destaque para as setas que representam os pontos de amostragem. O preparo das amostras foi realizado conforme o Manual de Métodos Analíticos para Fertilizantes (BRASIL, 2007) e as análises serão realizadas em triplicata.



Figura 8: Pontos de amostragens

Para fins de definição dos parâmetros de análise e frequência dos monitoramentos nas pilhas de compostagem foram considerados três tempos: **T₀** – logo após montagem das pilhas e antes do início do processo de compostagem; **T_{processo}** – tempo do processo de compostagem, previamente definido em 90 dias; **T_{final}** – produto final, pós peneiramento. Tomando por base o que já é consenso entre os autores, ficou definido que uma relação C:N igual ou inferior a 18/1 indicou que o composto estava semicurado e inferior a 12/1 indicou que o composto estava curado. As análises realizadas, bem como a frequência desses monitoramentos estão descritas no Quadro 6.

Os parâmetros monitorados, a frequência do monitoramento e os métodos de análise para T_{processo} estão de acordo com os estudos realizados por Blundi e Campos (1999). As análises físico-químicas realizadas em T_{final} foram as mesmas efetuadas por Büttendender e Miller (2005). Em T_{final} também foram realizados ensaios microbiológicos. Estas análises tiveram como objetivo determinar o índice de coliformes termotolerantes e de ovos de helmintos, portanto verificam a qualidade do composto gerado sob o ponto de vista

das condições higiênico sanitárias. Para a avaliação do número mais provável (NMP/100mL) de coliformes termotolerantes foi utilizada a metodologia do substrato cromogênico enzimático, utilizando a Seladora Colilert IDEXX. Para a determinação de ovos de helmintos foi utilizado o método da sedimentação desenvolvido por Bailenger (OMS, 1989) e modificado por Ayres & Mara (1996), conforme referenciado por Soares et al. (2000), Coelho, Carvalho e Araújo (2002) e Zerbini, Chernicharo e Viana (1999).

Também foi monitorada a variação de volume nas pilhas de compostagem ao longo do processo. Este monitoramento se deu mensalmente em concordância com a frequência utilizada por Silva (2007). Para o cálculo dessa redução de volume a pilha foi conformada de forma obter novamente a sua base inicial e posteriormente a sua altura foi medida, calculando-se assim a sua área atual.

Quadro 6: Parâmetros de análise para monitoramento da compostagem

PARÂMETRO	MÉTODO	EQUIPAMENTO	AMOSTRA/TEMPO	FREQUÊNCIA
pH	Potenciométrico*	pHmetro portátil Thermo	T0	Única
			Tprocesso	Semanal
			Tfinal	Única
Umidade	Direto	Termohigrômetro Digital	Tprocesso	Diária
	U65*	Estufa	T0	Única
			Tfinal	Única
Temperatura	Direto	Termohigrômetro Digital	Tprocesso	Diária
Nitrogênio Total	Extração da amostra: Oxidação com o Ácido Perclórico* Detecção de N: detector de infravermelho não dispersivo de radiação focalizada	Analytik Jena Multi N/C	T0	Única
			Tprocesso	Semanal
			Tfinal	Única
Carbono Orgânico Total	Detector de infravermelho não dispersivo de radiação focalizada	Analytik Jena Multi N/C	T0	Única
			Tprocesso	Semanal
			Tfinal	Única
Relação C:N	Cálculo entre os resultados de teor de carbono e nitrogênio	-	T0	Única
			Tprocesso	Semanal
			Tfinal	Única
Fósforo	Colorimétrico*	Espectrofotômetro	T0	Única
			Tfinal	Única
Potássio	Espectofotométrico*	Fotômetro de Chamas	T0	Única
			Tfinal	Única
Granulometria	ABNT/NBR 7181/82	Peneiras	Tfinal	Única
CTC	Titulométrico*	-	Tfinal	Única
Relação CTC/C	Cálculo entre os resultados de teor de CTC e C	-	Tfinal	Única
Coliformes Termotolerantes	Substrato Cromogênico Enzimático	Seladora Colilert IDEXX	Tfinal	Única
Ovos de Helminhos	Sedimentação	Câmara McMaster	Tfinal	Única

*Método Analítico oficial definido conforme Manual de Métodos Analíticos para fertilizantes - Instrução Normativa nº28 do MAPA (BRASIL, 2007).

3.4 TESTE DA POTENCIALIDADE DO USO DO COMPOSTO ORGÂNICO E DE RESÍDUO DE MARMORARIA COMO CORRETIVO DE ACIDEZ DE SOLO

Será verificada a potencialidade do uso do composto orgânico e de resíduos oriundos do corte de mármore e rochas ornamentais como potencial corretivo de acidez de solo. Ambos os materiais serão avaliados de forma distinta e também consorciados em diferentes proporções de massa (tratamentos), conforme demonstrado no Quadro 7.

Nesse caso, simplificada, serão utilizadas as denominações “Fertilizante NT” e “Fertilizante Tr”. Fertilizante NT foi o resultado obtido nas misturas, em iguais proporções de massa seca, dos compostos orgânicos resultantes das pilhas montadas com resíduos não triturados P-1, P-2 e P-3) e Fertilizante Tr dos compostos oriundos das pilhas montadas com resíduos triturados (P-4, P-5 e P-6).

Quadro 7: Descrição dos tratamentos para análises de corretivo de acidez de solo

TRATAMENTO	MATERIAL		
	MARMORARIA (%)	FERTILIZANTE NT (%)	FERTILIZANTE Tr (%)
1	100	-	-
2	70	30	-
3	70	-	30
4	50	50	-
5	50	-	50
6	30	70	-
7	30	-	70
8	-	100	-
9	-	-	100

O PRNT será a característica avaliada para comprovar a eficiência dos materiais para tal fim. Os valores serão confrontados com a Instrução Normativa nº 35, de 04 de Julho de 2006, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento que preconiza o valor mínimo de PRNT 45% para que um material seja reconhecido como corretivo de acidez de solo. Esses ensaios serão realizados conforme o Manual de Métodos Analíticos para Fertilizantes (BRASIL, 2007).

Com a finalidade de testar a fitotoxicidade, também serão realizados testes de germinação, com os diferentes tratamentos. A condução desses testes está descrita no item 3.5.

3.5 TESTES DE GERMINAÇÃO

A maturidade do composto foi avaliada via teste de germinação utilizando alface (*Lactuca sativa*). Para a realização destes testes foi utilizado o extrato aquoso extraído a partir dos compostos gerados pelos tratamentos que resultarem em um biocomposto considerado apropriado quando comparado com os parâmetros pré-estabelecidos pela Instrução Normativa nº 25, de 23 de Julho de 2009, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento e também o extrato aquoso obtido a partir das misturas geradas com os compostos e com resíduos de marmoraria, nas proporções definidas no item 3.4. A obtenção do extrato foi realizada conforme a metodologia descrita por Silva e Villas Bôas (2007).

Assim como no experimento de Silva e Villas Bôas (2007) para cada composto foram realizadas quatro repetições utilizando 25 sementes escolhidas de forma aleatória distribuídas em placas de Petri, usando papel filtro como substrato, umedecidas com 6 mL do extrato e um experimento com placas irrigadas apenas com água destilada. A duração do teste, o número de dias para a primeira contagem, as temperaturas mínimas e máximas, as especificações gerais e o controle de qualidade do substrato seguem o Manual de Regras para Análise de Sementes publicado por MAPA (BRASIL, 2009d) e estão demonstrados no Quadro 8.

Quadro 8: Recomendações do manual “Regras para Análise de Sementes”

ESPÉCIE BOTÂNICA	SUBSTRATO	TEMPERATURA (°C)	CONTAGEM (DIAS)	
			PRIMEIRA	FINAL
<i>Lactuca sativa</i>	SP; EP; SA	20; 15	4	7

Legenda: EP: Entre Papel SA: Sobre Areia SP: Sobre Papel

Fonte: Adaptado de Brasil, 2009d

Para análise da germinação foram considerados os parâmetros PG (Porcentagem de Germinação) e IVG (Índice de Velocidade de Germinação) conforme empregados por Romani et al. (2010). Para o parâmetro PG foi utilizada a fórmula proposta no Manual de Regras para Análise de Sementes (Equação 1) e para IVG a Fórmula de Maguire (Equação 2).

$$PG = \frac{NG \times 100}{NT}$$

Equação 1

Onde:

NG = número de sementes germinadas.

NT = número de sementes colocadas para germinar.

$$IVG = \frac{G1}{T1} + \frac{G2}{T2} + \dots + \frac{Gi}{Ti}$$

Equação 2

Onde:

G1 até Gi = número de plântulas germinadas ocorridas a cada dia. T1 até Ti = dias

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na sequência passa-se a apresentar e a analisar os principais resultados obtidos durante o desenvolvimento dessa pesquisa. O Quadro 9 orienta sobre a sequência de apresentação e discussão dos resultados, assim como o item da metodologia empregada para obtenção dos dados, bem como o objetivo específico ao qual se propõe a responder.

Quadro 9: Seqüência de apresentação e discussão dos resultados

RESULTADOS E DISCUSSÃO	METODOLOGIA	OBJETIVO ESPECÍFICO
4.1. CARACTERIZAÇÃO INICIAL DOS SUBSTRATOS	3.2	-
4.2. CARACTERIZAÇÃO INICIAL DAS PILHAS DE COMPOSTAGEM (T ₀)	3.3	-
4.3. MONITORAMENTO DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM (T _{processo}):	3.3	a); b).
4.4. CARACTERIZAÇÃO DO PRODUTO FINAL (T _{final}):	3.3	b); d).
4.5. TESTE DA POTENCIALIDADE DO USO DO COMPOSTO ORGÂNICO E RESÍDUO DE MARMORARIA COMO CORRETIVO DE ACIDEZ DE SOLO	3.4	c)
4.6. TESTES DE GERMINAÇÃO	3.5	c); d).

4.1 CARACTERIZAÇÃO INICIAL DOS SUBSTRATOS

4.1.1 Teor de inertes

De acordo com a pesagem realizada foram transportados 1.890 kg de resíduos do Aterro Sanitário, coletados pós-passagem por esteira de triagem. Após realizada a segunda segregação foi constatado que o resíduo ainda continha 844,34 kg de resíduos inertes e 1.045,66 kg de matéria orgânica. Os resultados percentuais estão demonstrados na Figura 9:

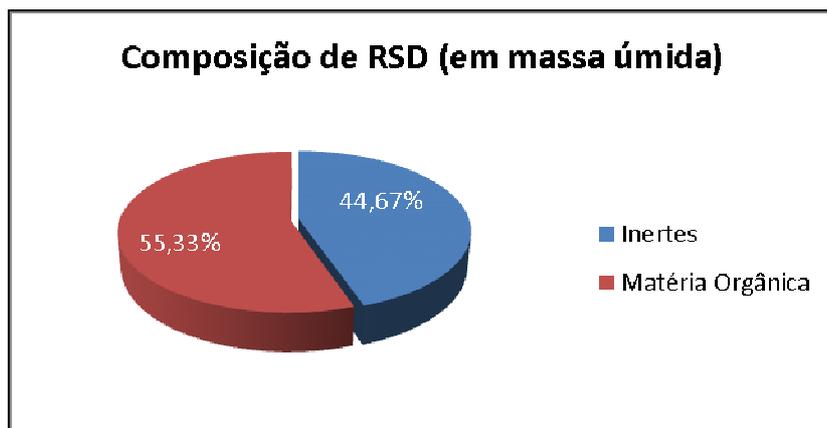


Figura 9: Teor de inertes em RSD

Os resultados encontrados estão coerentes com os resultados apresentados por Schneider (2012), que realizou o estudo no mesmo local. Esse autor encontrou, pós-esteira de triagem, um resíduo composto de 51,31% de matéria orgânica e 48,69% de inertes.

Esse resultado é preocupante, à medida que demonstra a ineficiência do processo de triagem, já que, de acordo com essa análise 44,67% do resíduo tratado como rejeito tem potencial de reciclagem.

4.1.2 Caracterização Química:

Quimicamente, os resíduos foram caracterizados em Carbono Orgânico Total, Nitrogênio Total e Relação C:N. As análises foram realizadas em triplicata. Os resultados médios obtidos estão demonstrados no Quadro 10.

Quadro 10: Caracterização Inicial de Resíduos: Composição Química

RESÍDUO	CARBONO ORGÂNICO TOTAL			NITROGÊNIO TOTAL			RELAÇÃO C:N
	VALOR MÉDIO (%)	DP	CV(%)	VALOR MÉDIO (%)	DP	CV(%)	
RSD não triturado	33,2	0,3	0,01	1,3	0,1	0,1	26:1
RSD triturado	27,7	1,4	0,04	1,0	0,1	0,1	27:1
Podas	46,1	1,9	0,04	0,7	0,1	0,1	65:1

Legenda: DP: Desvio Padrão CV: Coeficiente de Variação

Não foram encontradas diferenças significativas quando comparados RSD triturados ou não triturados. A relação C:N para RSD está coerente com os resultados encontrados por Lu, Wu e Guo (2008) que analisaram essas características em RSD de

Shanghai, China e com os estudos de Chroni et al. (2009), que analisou essas características em resíduos gerados na Grécia. Esses autores evidenciaram em suas pesquisas uma relação C:N de 25:1. Adhikari et al. (2007) analisou essas características em RSD gerados em Montreal, Canadá em quatro diferentes meses do ano. A relação C:N não apresentou diferença significativa entre os meses estudados, tendo apresentado resultado médio de 23:1.

A relação C:N de 65:1 para os resíduos de podas foi superior a encontrada por Chroni et al.(2009), que evidenciou uma relação C:N de 42:1 para esse resíduo e também foi superior a relação C:N teórica apresentada por Fernandes e Silva (1999) que é de 46:1. Em ambos os casos os teores de Carbono estão condizentes com os encontrados nessa pesquisa, porém o teor de nitrogênio do material aqui utilizado foi inferior ao referenciado por esses autores. Por outro lado, Reis (2005) verificou em um de seus experimentos teores de Nitrogênio em resíduos de podas que variaram de 0,5% a 1,2% sendo, dessa forma, coerente com o encontrado nesse estudo. Vale lembrar nesse caso, que os teores de nitrogênio encontrados em resíduos de poda podem apresentar ampla variação, já que, de forma genérica, quanto mais frescos e verdes forem os materiais maior é a tendência destes serem mais ricos em nitrogênio quando comparados a materiais secos e acastanhados.

4.1.3 Granulometria

O ensaio de granulometria foi realizado para a mistura composta por resíduos triturados mais resíduos de podas e para resíduos não triturados mais os resíduos de podas. Para a mistura com resíduos não triturados foi utilizado 6,02 kg que correspondem a aproximadamente 10% da soma dos materiais utilizados para montagem das 3 pilhas compostas por resíduos não triturados mais os resíduos de podas. Para a mistura com resíduos triturados foi utilizado 4,38 kg que correspondem a aproximadamente 10% da soma dos materiais utilizados para montagem das 3 pilhas compostas por resíduos triturados mais os resíduos de podas. A Figura 10 demonstra a curva granulométrica para ambos os ensaios realizados.

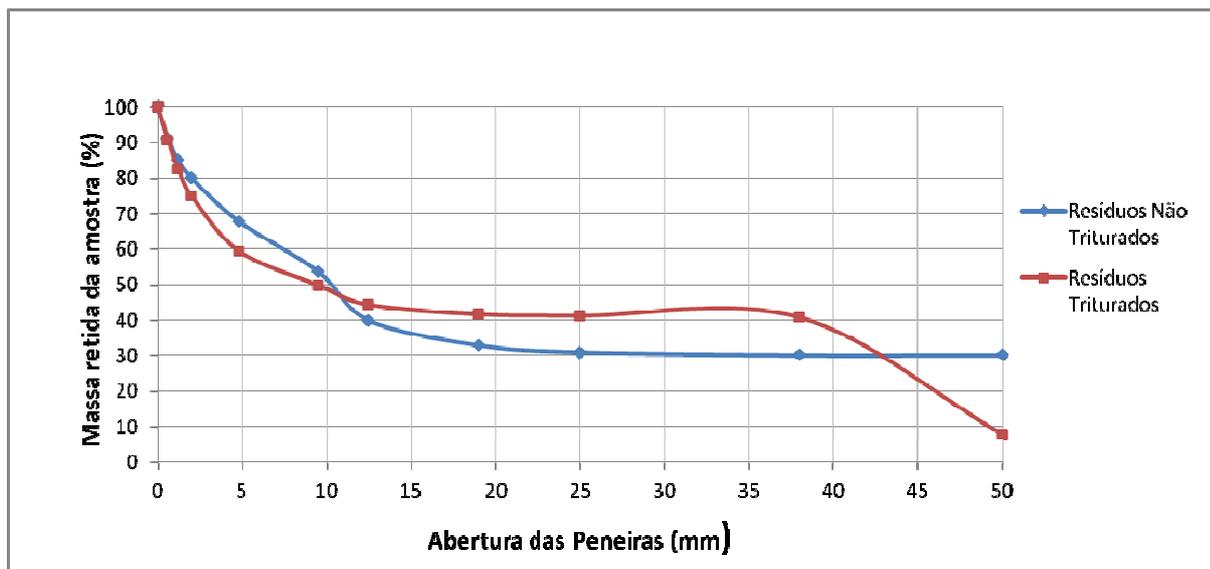


Figura 10: Curva granulométrica para misturas de RSD e resíduos de podas

De acordo com os estudos de Russo (2003) partículas inferiores a 2mm dificultam a aeração e acima de 50mm podem dificultar a ação dos microrganismos.

Observando a curva granulométrica é possível entender que para a mistura com resíduos triturados aproximadamente 92% do material passou pela primeira peneira, enquanto que para a mistura com resíduos não triturados esse percentual caiu para aproximadamente 68%, ou seja, em torno de 32% desse material possui uma granulometria superior a 50mm.

Da mesma forma, visualizando a curva granulométrica é possível confirmar que para ambos os casos o percentual de partículas maiores que 2mm é superior a 74%.

4.2 CARACTERIZAÇÃO INICIAL DAS PILHAS DE COMPOSTAGEM (T0):

Nessa pesquisa T0 caracteriza-se como o momento imediatamente após a montagem das pilhas. Em T0 foram realizadas as identificações individuais em cada uma das pilhas no que se refere a volume, massa e parâmetros físico-químicos.

As dimensões iniciais das pilhas, bem como a massa, em base úmida, de resíduos utilizados na montagem estão descritos no Quadro 11.

Quadro 11: Identificação das Pilhas de Compostagem

Identificação da Pilha	Base (m)		Altura (m)	Volume (m ³)	Volume Média (m ³)	Volume DP (m ³)	Volume CV (%)	Quantidade de Resíduos		
								RSU (kg)	Podas (kg)	Mistura total na Pilha (kg)
P-1	1,95	1,70	0,80	0,88	0,77	0,03	3,3%	210,32	19,00	229,32
P-2	1,65	1,80	0,77	0,76				203,92	19,00	222,92
P-3	1,48	1,73	0,75	0,64				185,80	19,00	204,80
P-4	1,27	1,34	0,78	0,44	0,51	0,06	11,7%	144,22	14,00	158,22
P-5	1,56	1,50	0,70	0,55				151,89	14,00	165,89
P-6	1,53	1,53	0,70	0,55				149,51	14,00	163,51

Legenda: DP: Desvio Padrão CV: Coeficiente de Variação

De acordo com as dimensões das pilhas pode-se classificar a compostagem de acordo com a escala em que o composto é produzido. Segundo Marques e Hogland (2002), o processo em questão pode ser classificado como pequena escala por ser realizado em pilhas com volumes inferiores a 3m³. Esses mesmos autores destacam que a compostagem em pequena escala, proporciona uma economia significativa de energia e custos de transporte de resíduos sólidos, assim como uma redução substancial da emissão de poluentes, uma vez que pode ser realizada de forma descentralizada, onde o resíduo recebe uma destinação adequada e no próprio local onde é gerado.

Pereira (2013), testou a compostagem em pequena escala, como a alternativa para a problemática dos resíduos sólidos orgânicos em pilhas com dimensões semelhantes às montadas nessa pesquisa, tendo ao final de seus estudos concluído que o processo mostrou-se eficaz para o tratamento dos resíduos estudados, já que obteve como resultado um produto dentro dos requisitos exigidos pela legislação brasileira.

A importância do conhecimento das características físico-químicas iniciais de cada pilha consiste no fato de que essas características fornecem subsídios que permitem antecipar o comportamento das pilhas ao longo do processo, bem como, dá a possibilidade de corrigir alguns parâmetros considerados indesejáveis ou não ideais a fim de obter uma melhor produtividade e qualidade no composto gerado.

A umidade inicial média das pilhas não trituradas foi de 42,9%, sendo 39,7% para P-1, 45,7% para P-2 e 43,2% para P-3. Para as pilhas trituradas a umidade em T0 ficou em 35,3% para P-4, 37,7% para P-5 e 24,1% para P-6, sendo a média dessas pilhas 32,4%.

A caracterização química inicial das pilhas está demonstrada no Quadro 12. Para os parâmetros Carbono Orgânico Total, Nitrogênio Total, Fósforo Total e Potássio Total as análises foram realizadas em triplicata.

Quadro 12: Caracterização Inicial de Resíduos: Composição físico-química

PILHA	CARBONO ORGÂNICO TOTAL (%)	MÉDIA	DP	CV(%)	NITROGÊNIO TOTAL (%)	MÉDIA	DP	CV (%)
P-1	26,7	28,5	2,6	9%	1,0	1,0	0,0	0%
P-2	31,5				1,0			
P-3	27,2				1,0			
P-4	22,7	22,3	1,3	6%	0,6	0,6	0,1	9%
P-5	20,9				0,7			
P-6	23,4				0,6			
PILHA	RELAÇÃO C:N	MÉDIA	DP	CV (%)	pH	MÉDIA	DP	CV(%)
P-1	27:1	28,5	2,6	9%	7,0	7,1	0,2	2%
P-2	32:1				7,0			
P-3	27:1				7,3			
P-4	38:1	35,6	5,0	14%	7,5	7,4	0,2	3%
P-5	30:1				7,5			
P-6	39:1				7,1			
PILHA	FÓSFORO TOTAL (%)	MÉDIA	DP	CV(%)	POTÁSSIO TOTAL (%)	MÉDIA	DP	CV (%)
P-1	0,2	0,3	0,1	43%	0,4	0,4	0,1	13%
P-2	0,2				0,4			
P-3	0,4				0,5			
P-4	0,3	0,3	0,0	0%	0,3	0,3	0,1	17%
P-5	0,3				0,4			
P-6	0,3				0,3			

Legenda: DP: Desvio Padrão CV: Coeficiente de Variação

Em relação aos resíduos sólidos domésticos, fatores como local de geração e sazonalidade influenciam diretamente nas características desse material e, portanto, os resultados encontrados por diferentes autores apresentam flutuações significativas que, dessa maneira, inviabilizam comparações. A forte influência da sazonalidade sobre as características químicas de resíduos sólidos domésticos foi comprovada por Rempel (2014), avaliando essas características nos resíduos orgânicos coletados pós-esteira da central de triagem do município de São Leopoldo/RS, mesmo local de onde provém o material-base para esse estudo. Esse autor realizou suas análises em diferentes períodos que compreenderam

parte do inverno, a primavera e o verão e verificou que resíduo estudado apresentou oscilações em suas características.

Os resultados obtidos evidenciaram que a faixa de umidade estava abaixo do ideal para que o processo se desenvolvesse satisfatoriamente em todas as pilhas. Diante do evidenciado a umidade foi corrigida para 65% de forma a equacionar o ambiente desejado. A umidade baixa na mistura deveu-se ao fato de que os resíduos de poda utilizados já se encontravam dispostos no armazenamento temporário da Unisinos em uma temperatura ambiente média superior a 30°C e, portanto, já estavam secos.

As relações C:N das misturas encontraram-se muito próximas ao ideal, que é de 30:1, nas pilhas P-2 e P-5. Em P-4 e P-6 esse parâmetro ficou ligeiramente acima do ideal e em P-1 e P-3 levemente abaixo. O pH apresentou-se neutro ou muito próximo da neutralidade em todas as pilhas, ficando assim, no patamar ideal para não inibir a atividade microbiana.

Embora, segundo Fernandes e Silva (1999) as propriedades agronômicas do composto não se limitem ao seu teor de nutrientes como Fósforo e Potássio, estes elementos têm uma função importante na melhoria da fertilidade do solo, o que justifica a necessidade de sua determinação analítica e sua divulgação aos agricultores e agrônomo, para a definição de um plano geral de adubação. Dessa forma, conhecendo o seu teor inicial é possível observar o comportamento e as possíveis alterações nos percentuais desses parâmetros ao longo do processo. Segundo Kiehl (1985), os resíduos orgânicos a serem compostados têm, geralmente, maior proporção de nitrogênio do que de fósforo e potássio, e os resultados obtidos confirmam a hipótese.

4.3 MONITORAMENTO DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM (T_{processo}):

Nessa pesquisa T_{processo} caracteriza-se como o tempo em que as pilhas permaneceram montadas (90 dias) e, dessa forma, em processo de compostagem. Em T_{processo}, em cada pilha individualmente, os parâmetros temperatura e umidade foram monitorados diariamente e os parâmetros pH, carbono orgânico total, nitrogênio total e relação carbono nitrogênio foram monitorados semanalmente. Além destes, também foram definidas as variações de massa e de volume.

4.3.1 Temperatura e umidade

A temperatura e a umidade foram avaliadas levando em consideração as médias dos resultados obtidos nos cinco pontos de amostragens.

Para temperatura, em P-1, P-2 e P-3, as médias desses cinco pontos apresentaram coeficiente de variação (CV) médio de 3,0%, 2,7% e 3,3% respectivamente. Para P-4, P-5 e P-6 o CV médio obtido foi de 3,4%, 3,6% e 3,0 respectivamente. Resultados significativamente superiores a essa média foram vistos em P-1 (CV de 10,8%) e P-2 (CV de 11,1%) no quarto dia após a montagem das pilhas e em P-2 (CV de 11,6%) no 11° dia após montagem das pilhas. Para umidade em P-1, P-2 e P-3, as médias desses cinco pontos apresentaram coeficiente de variação (CV) médio de 2,4%, 2,0% e 2,1% respectivamente. Para P-4, P-5 e P-6 o CV médio obtido foi de 2,5%, 1,7% e 2,5% respectivamente. Resultados significativamente superiores a essa média foram vistos apenas em P-6 (CV de 9,1%) no 11° dia após montagem das pilhas.

A temperatura apresentou comportamento semelhante em todas as pilhas avaliadas elevando-se gradativamente até atingir 60°C no quarto dia após a montagem das pilhas, quando foi realizada a primeira insuflação de ar nas pilhas. As pilhas foram aeradas por seis horas e novamente monitoradas após esse período. Como, após esse período, as temperaturas ficaram próximas as desejadas, em torno de 50°C, convencionou-se como sendo essa a duração aproximada da aeração padrão nesse experimento.

Porém, é importante ressaltar que as temperaturas das pilhas já se encontravam superiores a 50°C já no primeiro dia de monitoramento, característica que leva a crer que a fase termofílica tenha sido iniciada já nas primeiras horas após montagem das pilhas, praticamente não ocorrendo a fase mesofílica inicial, comumente observada em processos de compostagem. A explicação para esse comportamento está associada ao tipo de substrato utilizado no processo, RSU, que podem já ter sido gerados a alguns dias, levando em consideração o período de coleta e transporte desses resíduos. Nesse caso, o processo de degradação pode já ter sido iniciado, fazendo com que no momento da montagem das pilhas já existisse microrganismos em atividade.

Durante a etapa termofílica houve a necessidade de insuflação de ar nas pilhas nos dias 4, 6, 7, 11, 14 e 19 após montagem do experimento. Após a aeração realizada no 19° dia, as pilhas não atingiram mais a temperatura termofílica, ficando, dali em diante, sempre próxima da temperatura ambiente, caracterizando assim o final da etapa termofílica. Se comparado com a pesquisa de Brito et al. (2008), que também utilizaram aeração forçada,

percebe-se que a fase termofílica foi relativamente curta, pois nesse experimento a fase termofílica manteve-se por aproximadamente 1,5 meses. Porém, é importante salientar que esses autores trabalharam com pilhas iniciadas com 1,7 m de altura.

Reis (2005) ao trabalhar com leiras de alturas iniciais em torno de 1,0m evidenciou perda de calor durante o processo e, conseqüentemente, a fase termofílica foi mantida por períodos mais curtos do que quando trabalhou com leiras com dimensões maiores. Resultados semelhantes ao desse estudo foram vistos por Pereira (2013) que trabalhou com pilhas com dimensões semelhantes à dessa pesquisa e obteve o final da fase termofílica no 23º dia após montagem do experimento e por Paiva (2008) que verificou que a temperatura de suas leiras estáticas após 17 dias da montagem do experimento apresentaram decréscimo contínuo. Fernandes, Silva e Trennepohl (2009) avaliaram as três tecnologias mais usuais de compostagem, empregando-se substratos semelhantes e comparando os tempos de duração das respectivas fases termófilas, concluindo que, para leiras aeradas esse período teve duração de 20 dias.

Após esse período foi realizada aeração nas pilhas, pelo tempo padrão de seis horas, uma vez por semana (nos dias 27, 34, 41, 48, 55, 62, 69, 76 e 83 após montagem), de forma a evitar a comatação dos substratos que poderiam gerar pontos de anaerobiose, comprometendo assim a qualidade final do produto.

A Figura 11 ilustra o comportamento da temperatura nas pilhas montadas com resíduos não triturados e a Figura 12 elucida o comportamento da temperatura nas pilhas montadas com trituração prévia dos resíduos.

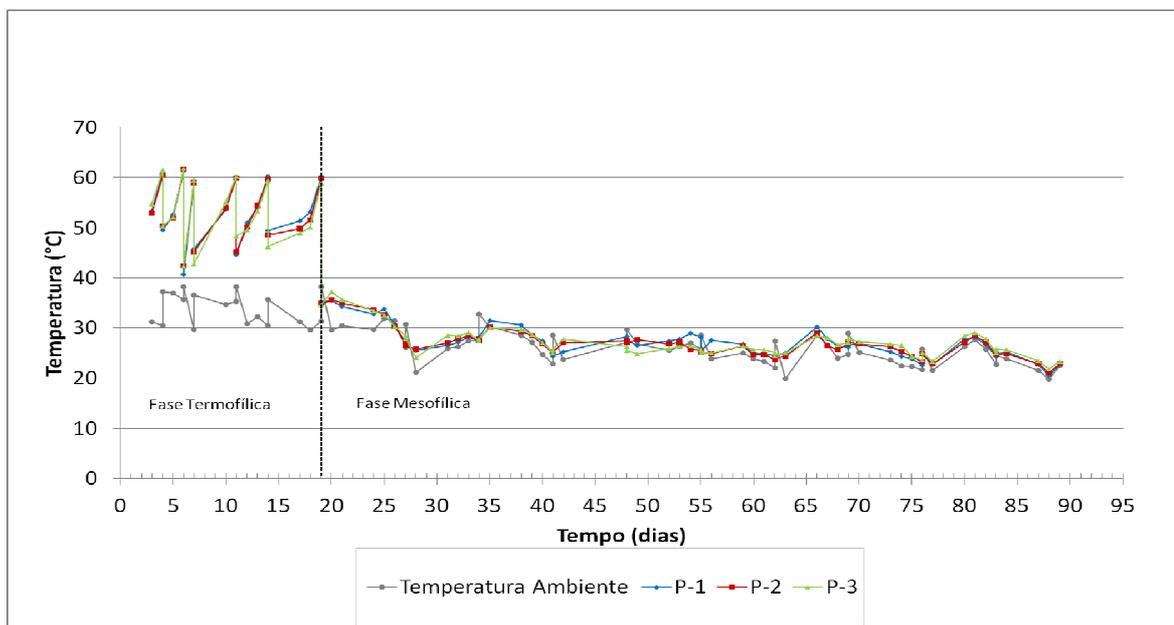


Figura 11: Evolução da temperatura em função do tempo para pilhas não trituradas

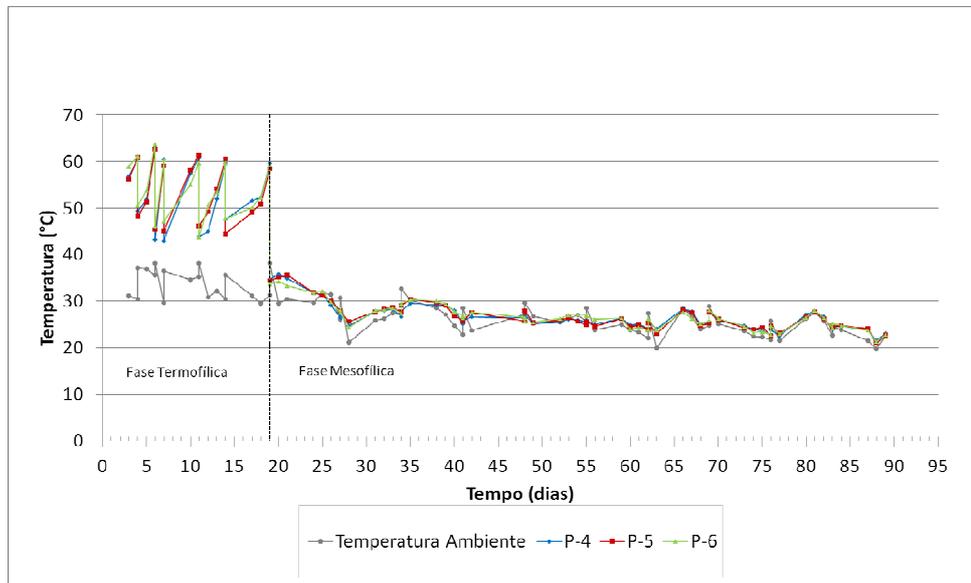


Figura 12: Evolução da temperatura em função do tempo para pilhas trituradas

A umidade inicial, em Tprocesso, de todas as pilhas iniciou em 65% e manteve-se constante, entre 60% e 70% até o 11º dia, quando começou a cair gradativamente até ficar abaixo de 50% no 24º dia, quando foi necessário pela primeira vez adicionar água para reestabelecer a umidade desejada. Apesar da temperatura ambiente ter estado elevada o que facilitaria a perda de água por evaporação e acarretaria em perda acentuada de umidade, essa condição não foi verificada em nenhuma das pilhas. Condições semelhantes foram observadas por Reis, Bidone e Gehling (2000) em leiras de com altura de 1,20m aproximadamente. Os autores atribuíram tal fenômeno a alta umidade do ambiente que possibilita que o calor produzido nas leiras, inicialmente com altas temperaturas seja perdido em sua maior parte por convecção, isto é, troca de calor com a atmosfera. Brito et al. (2008) atribuiu o fato da umidade não diminuir durante a compostagem devido a evaporação de água não ter compensado a produção de água resultante do processo de mineralização da matéria orgânica e a diminuição da matéria seca.

Nessa pesquisa, as observações realizadas em campo sugerem que no decorrer do processo, o vapor de água perdido no processo tendeu a migrar para a superfície junto com o ar quente formando uma área de condensação entre a pilha e a sua cobertura confeccionada com resíduos de poda secos que, aparentemente, funcionou como uma barreira diminuindo a

perda de água para o ambiente. O fenômeno proporcionou o umedecimento da camada de topo, logo abaixo da cobertura, e a distribuição da água no material da pilha.

Nas semanas subsequentes foi sendo adicionado água uma vez por semana, sempre após o uso do soprador (nos dias 27, 34, 41, 48, 55, 62 e 69 após montagem), de forma a manter a umidade ideal a fase do processo. Nas duas últimas semanas não houve adição de água nas pilhas, de forma a proporcionar a estabilização do material e a umidade natural do processo de forma a facilitar o beneficiamento e armazenamento do composto. A redução da umidade também visa reduzir a atividade microbiana, condição necessária para um armazenamento adequado do composto (KIEHL, 1985).

A umidade final ficou abaixo dos 40% para todas as pilhas, sendo que as pilhas trituradas mostraram-se com uma umidade ligeiramente menor que as pilhas não trituradas.

A Figura 13 ilustra o comportamento da umidade nas pilhas montadas com resíduos não triturados e a Figura 14 elucida esse comportamento nas pilhas montadas com trituração prévia dos resíduos.

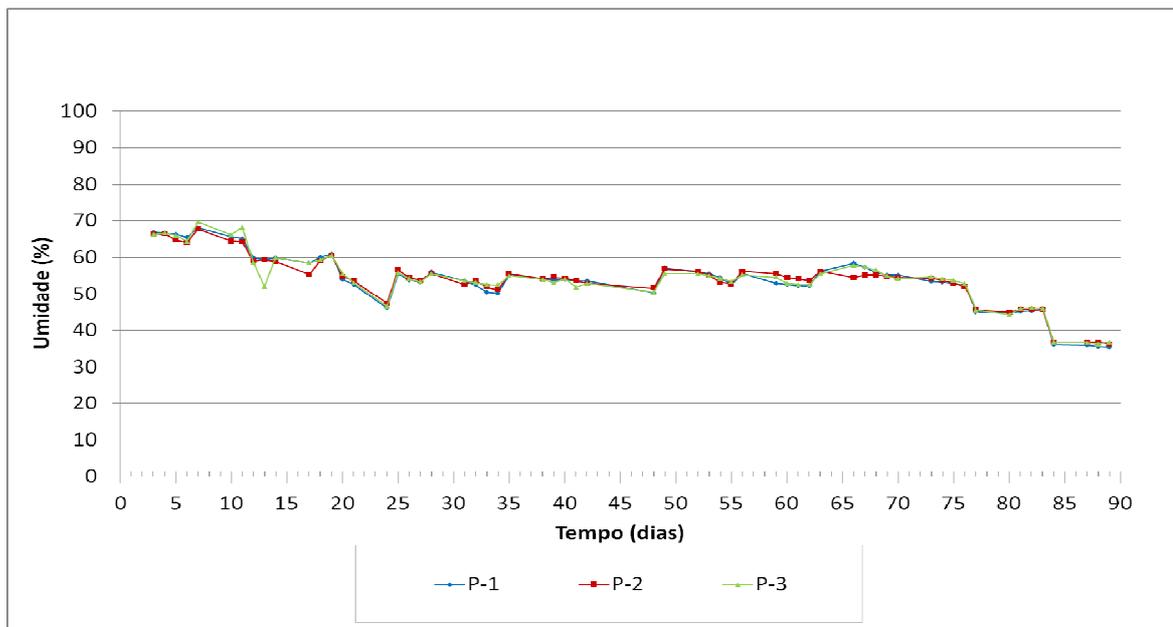


Figura 13: Variação da umidade em função do tempo para pilhas não trituradas

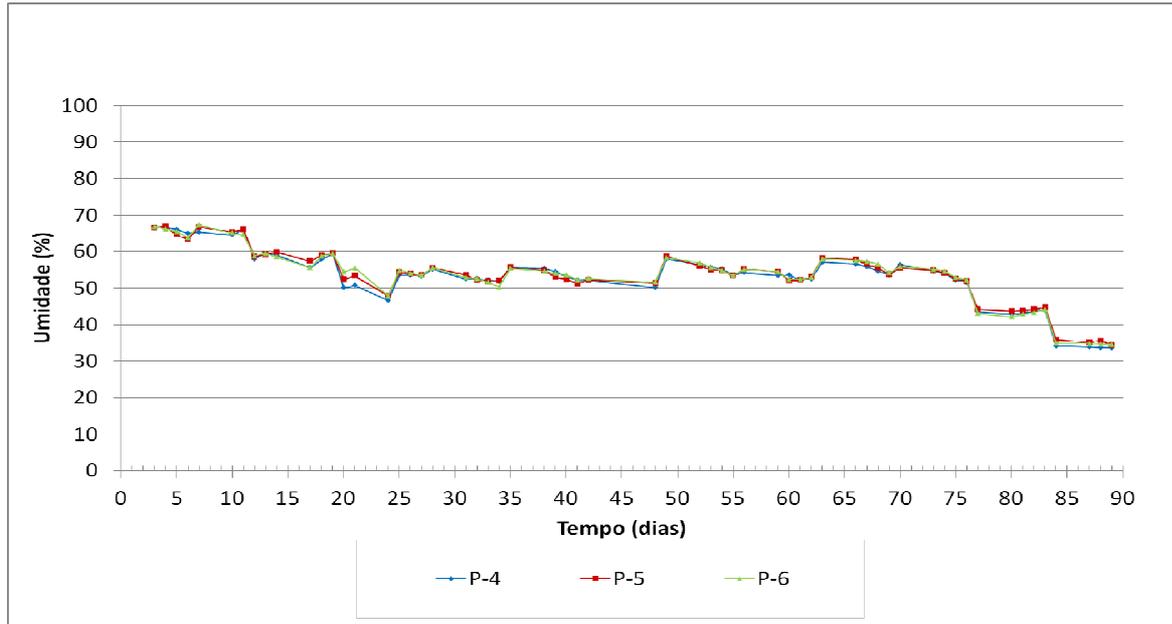


Figura 14: Variação da umidade em função do tempo para pilhas trituradas

4.3.2 pH

A evolução do pH em relação ao tempo das pilhas para pilhas montadas com resíduos não triturados são apresentadas na Figura 15 e a Figura 16 mostra o comportamento desse parâmetro nas pilhas montadas com trituração prévia dos resíduos.

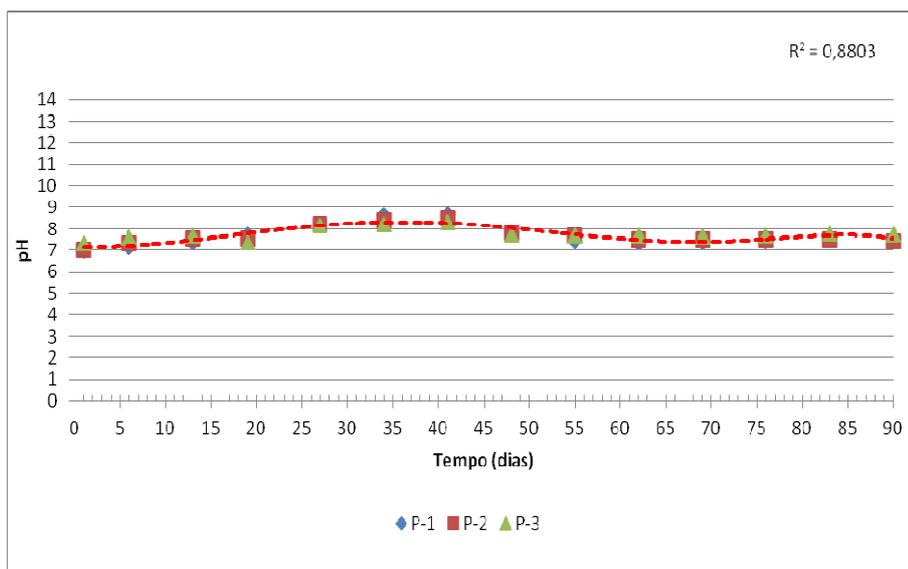


Figura 15: Evolução do pH em função do tempo para pilhas não trituradas

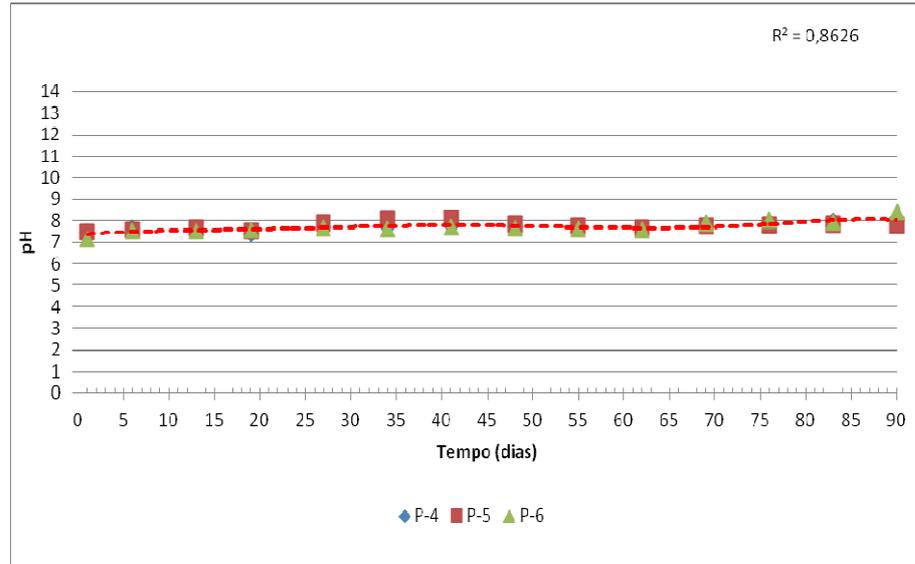


Figura 16: Evolução do pH em função do tempo para pilhas trituradas

Em geral, a evolução do pH foi semelhante para todas as pilhas. No início do processo (T0) o pH médio para as pilhas não trituradas foi de 7,1 e de 7,4 para as pilhas trituradas. Em ambos os casos a variação do pH mostrou tendência a aumentar até o 41º dia após o início do processo, quando atingiu seu valor médio máximo de 8,5 nas pilhas não trituradas e de 7,9 nas pilhas trituradas.

Nas semanas subsequentes, para as pilhas não trituradas foi decrescendo discretamente, chegando ao final dos 90 dias com valor médio de 7,6, enquanto que nas pilhas trituradas manteve-se a partir dali praticamente estabilizado, chegando na 13ª semana com valor de 8,1. Os resultados obtidos sugerem uma boa biodegradação dos substratos, já que a matéria orgânica estabilizada tende a apresentar pH levemente alcalino.

Brito (2008), obteve em sua pesquisa resultados análogos e que também não apresentaram variação significativas entre as leiras por ele testadas. Em seu estudo no início do processo o pH variou entre 5,8 e 6,1 e evoluiu até seus valores máximos de 9,5 a 9,2 entre a terceira e quarta semana. Após esse período o pH teve um pequeno decréscimo estabilizando-se entre 8,0 e 8,6.

Huang et al. (2004), explicaram seus resultados semelhantes esclarecendo que aumento do pH é induzido pela produção de amônia durante a nitrificação do nitrogênio orgânico sendo esse processo natural e resultado das atividades microbianas e a diminuição do pH na fase posterior de compostagem provocada pela volatilização do nitrogênio amoniacal e

como resultado do processo de nitrificação microbiana por bactérias nitrificantes. Considerando essa afirmação, o valor do pH está correlacionado ao percentual de nitrogênio amoniacal disponível nas pilhas. Com base nisso, embora não tenha sido realizado o ensaio específico para a determinação de Nitrogênio Amoniacal, simplifadamente é possível inferir que as pilhas trituradas possuem um teor maior desse componente.

Vale lembrar que, segundo esses mesmos autores, a decomposição da matéria orgânica e produção de ácidos orgânicos e inorgânicos, além da quantidade de dióxido de carbono desprendido durante o processo de compostagem também podem ser responsáveis pela diminuição do pH.

4.3.3 Carbono Orgânico Total, Nitrogênio Total e C:N

Os resultados referentes ao comportamento do parâmetro carbono orgânico total mostraram-se de acordo com a dinâmica geral relatada pela literatura. Ao final da fase termofílica as pilhas não trituradas apresentaram índices de percentuais médios de redução de carbono orgânico total na faixa de 23% e as pilhas trituradas em torno de 12%. Esse resultados podem ser conferidos na Figura 17 e na Figura 18.

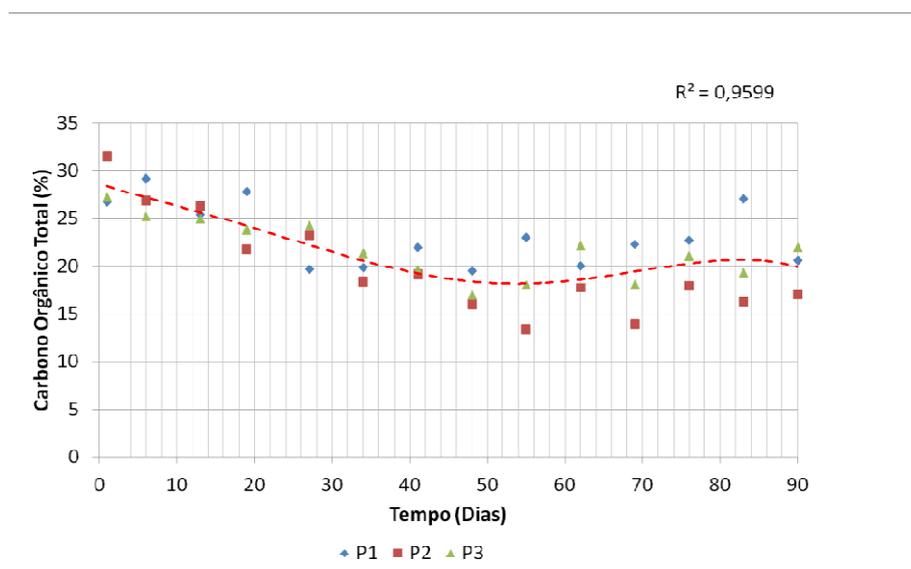


Figura 17: Variação do teor de Carbono em função do tempo para pilhas não trituradas

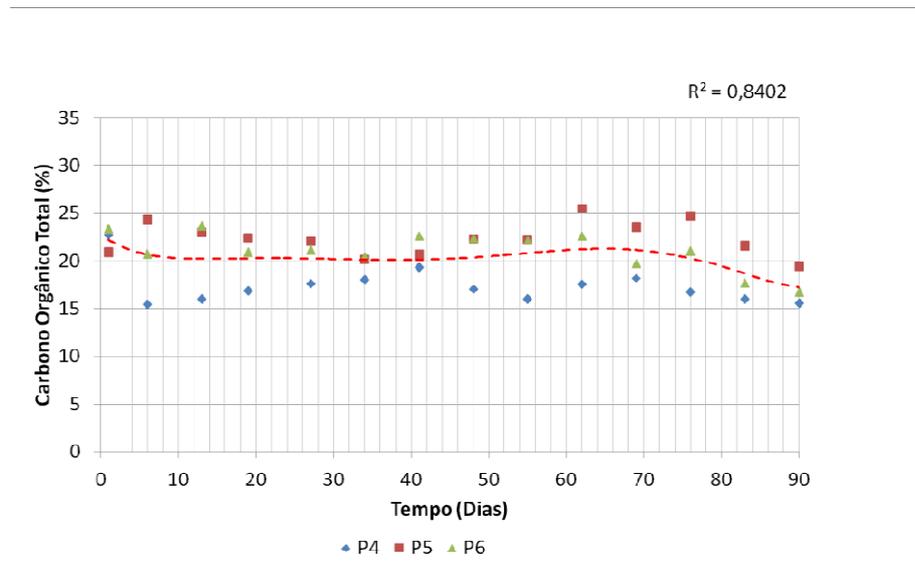


Figura 18: Variação do teor de Carbono em função do tempo para pilhas trituradas

O comportamento das pilhas em ambos os tratamentos (resíduo triturado e resíduos não triturado) diferiu no sentido de que para as pilhas não trituradas o decréscimo percentual de carbono foi constante até o final do processo chegando aos 90 dias de compostagem com uma redução média entre as pilhas de aproximadamente 31%. Para as pilhas com resíduos triturados, os percentuais de carbono mostraram tendência de se manter estabilizados até em torno do 62º dia quando começaram a decrescer, chegando a 90 dias de compostagem com uma redução média de 23%.

Uma explicação plausível refere-se à granulometria dos substratos que para as pilhas não trituradas pode ter causado uma menor compactação do material, criando condições mais favoráveis, do ponto de vista da porosidade e distribuição de ar suprindo assim a necessidade de O_2 para que os microrganismos aeróbios oxidem a matéria orgânica de forma mais eficiente. Reis (2005) corrobora com a afirmação ao afirmar que materiais de consistência firme e de granulometria grosseira, estruturalmente resistentes, garantem melhor aeração, pelo fato de não compactarem-se pela pressão exercida pelas camadas superiores enquanto que materiais tenros, amorfos e de granulometria fina, geram poucos espaços vazios, sendo difícil manter boa aeração na pilha ou leira.

Outro fator que pode ter influenciado é que, no início do processo, relação C:N das pilhas trituradas era maior do que a das pilhas não trituradas. A deficiência inicial de Nitrogênio pode ter limitado o desenvolvimento dos microrganismos, após o intenso consumo

de carbono da fase termofílica, tendo como consequência um processo de compostagem mais lento.

Em relação à evolução do nitrogênio total em função dos dias de compostagem, as pilhas com resíduos triturados e as pilhas com resíduos não triturados mostraram comportamentos semelhantes, havendo no final do processo, um acréscimo relativo do teor desse parâmetro em relação ao início do processo.

Em média, para ambos os casos notou-se um incremento gradual no teor de nitrogênio até o 19º dia. Após esse período esses teores sofreram um pequeno decréscimo que se seguiu até o 55º dia para pilhas com resíduos não triturados e até o 41º dia para as pilhas com resíduos triturados, quando os níveis de nitrogênio voltaram a apresentar tendência a aumentar. Tendência essa que se seguiu até o final do período de 90 dias.

O comportamento do nitrogênio total durante a compostagem é apresentado na Figura 19 e na Figura 20.

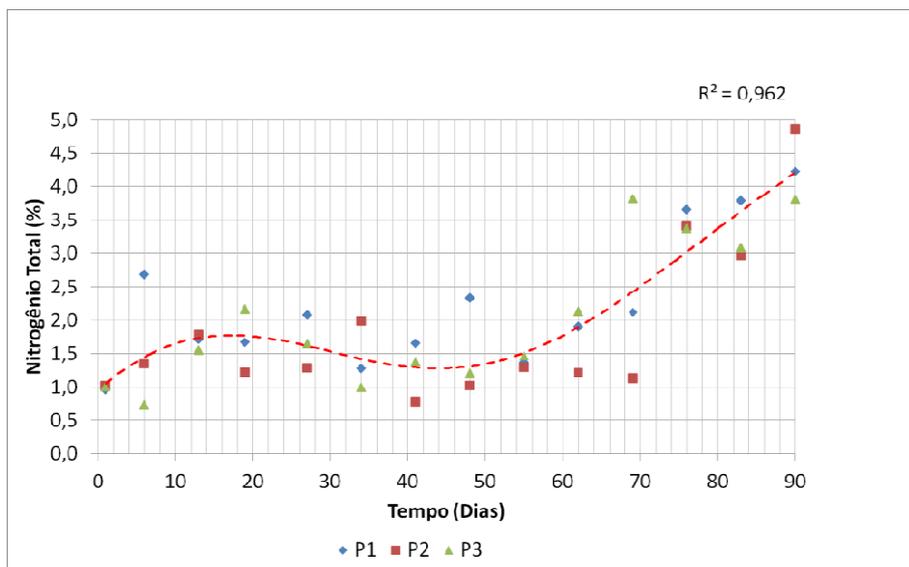


Figura 19: Variação do teor de Nitrogênio em função do tempo para pilhas não trituradas

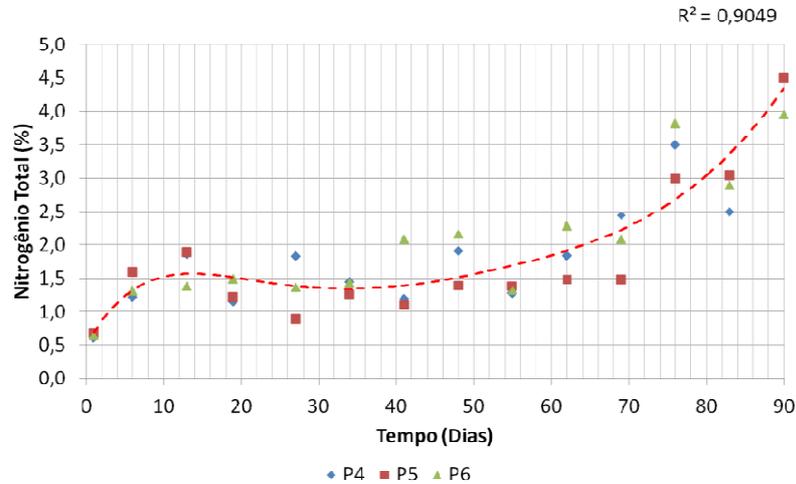


Figura 20: Variação do teor de Nitrogênio em função do tempo para pilhas trituradas

O aumento relativo no teor de Nitrogênio Total na fase inicial do processo já era esperado uma vez que esse mesmo comportamento é percebido pela maioria dos estudos já realizados em compostagem. É consenso entre os autores que esse acréscimo percentual inicial se dá devido ao decréscimo da matéria orgânica, já que a perda desse material através de sua oxidação a CO_2 é maior que a perda de nitrogênio relacionada ao seu consumo pelos microrganismos.

O ligeiro decréscimo ocorrido conheceu com o final da fase termofílica e, conseqüentemente, com a fase em que há uma estabilização no consumo de carbono já que a população termófila se restringe e a atividade biológica global se reduz. Também foi nesse período que a umidade começou a apresentar tendência a diminuir, de forma que, vale lembrar que segundo Kiehl (1985), é justamente a presença de umidade que ajuda na retenção da amônia.

Outro fator que pode explicar o percentual menor de nitrogênio nessa fase é que nesse período houve o aumento de pH que apesar de ser induzido pela própria produção de amônia durante a amonificação do nitrogênio orgânico pode ter facilitado a volatilização da amônia. Richart et al. (2014) realizaram um estudo cujo o objetivo foi avaliar as perdas de nitrogênio por volatilização de amônia em diferentes condições de pH. Os autores observaram que volatilização de amônia é mais suscetível quanto mais elevado for o pH e explicaram o

resultado esclarecendo que em condições de pH mais elevado, ocorre maior predominância de N na forma NH_3 , a qual é volátil e em condições de pH menor, prevalece a forma NH_4^+ .

Após esse período as pilhas não trituradas tiveram acréscimo gradativo de nitrogênio em função do tempo de compostagem, chegando a um percentual médio de 4,30% ao fim dos 90 dias. Nas pilhas trituradas o acréscimo de nitrogênio se deu de forma discreta e somente nas semanas compreendidas entre o 62º e o 76º dia é que começou a ser mais expressiva, passando de 1,87% para 3,44%, completando seu ciclo de 90 dias com uma média 4,48% de nitrogênio total.

Ao final do processo os percentuais de nitrogênio obtidos mostraram-se em faixas superiores aos da maioria dos autores, dentre eles Buttenbender e Miller (2005) e Brito (2008). Um fator que pode ter contribuído para essa condição é o fato desse estudo ter sido realizado em uma área coberta evitando que houvesse precipitação direta sobre as pilhas e, conseqüentemente a lixiviação não só do nitrogênio como de outros nutrientes.

Outra hipótese consiste no método analítico empregado nesse estudo que contrasta com o método mais utilizado por outros autores para determinação de nitrogênio que é o método Kjeldahl. Esse método possui a limitação de não medir os teores de nitrito e nitrato. Devido a essa restrição do método, Brito (2008) esclareceu que em sua pesquisa após o término da fase termofílica e até o final do processo notou-se queda dos teores de nitrogênio associada justamente ao crescimento de microrganismos nitrificantes que transformaram o nitrogênio amoniacal em nitrito e nitrato os quais não foram medidos em seu estudo.

Brito (2008) baseia sua afirmação em Pereira Neto (1996), outro autor que ressalta que o acréscimo de nitrogênio nas pilhas é diretamente influenciado pela degradação na matéria orgânica que resulta na liberação de nitrogênio, o qual deixa a forma imobilizada, passando à forma mineralizada, e em Bernal et al. (1998) o qual cita que geralmente ocorre uma diminuição do nitrogênio amoniacal e aumento de nitrato após a fase termofílica, devido ao processo de nitrificação. Esse processo dificilmente ocorre durante a fase termofílica pelo fato dos microrganismos nitrificadores serem inibidos por temperaturas maiores que 40°C.

A partir dos resultados obtidos dos teores de carbono e nitrogênio é possível então determinar a relação C:N. Esse parâmetro é tido como um dos principais índices indicativos do grau de maturação de compostos orgânicos e, como grande parte do carbono é continuamente liberada enquanto a maior parte do nitrogênio é reciclado, o comportamento padrão é de que a relação C:N diminua durante a compostagem.

Nesse estudo todas as pilhas tiveram o comportamento padrão, apresentando decréscimo da relação C:N ao final dos 90 dias de compostagem. Essas tendências podem ser observadas na Figura 21 e na Figura 22.

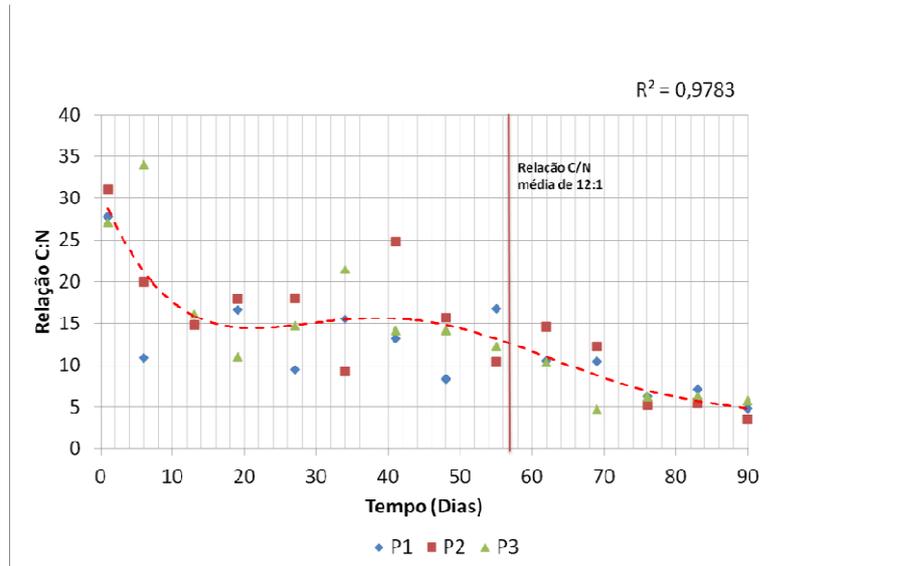


Figura 21: Evolução da relação C:N em função do tempo para pilhas não trituradas

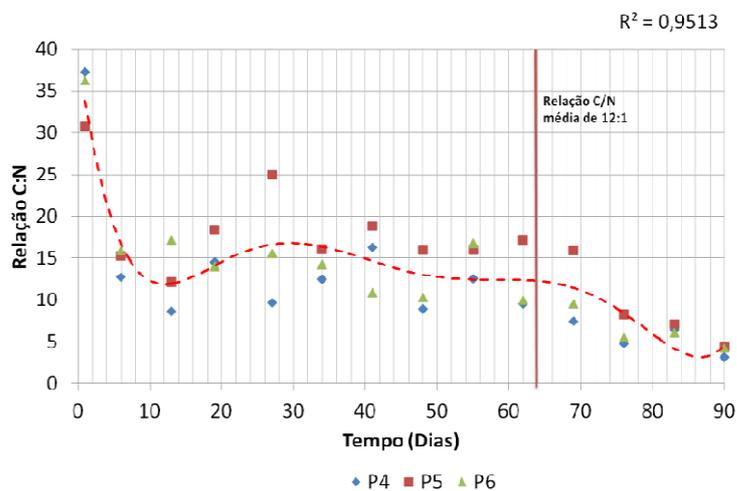


Figura 22: Evolução da relação C:N em função do tempo para pilhas trituradas

Tanto as pilhas trituradas como aquelas não trituradas apresentaram comportamento padrão no início do processo, com queda linear desse parâmetro até o final da fase termofílica e aumento dessa relação após essa fase, motivadas pelo decréscimo no teor de

nitrogênio, conforme já explanado anteriormente. Após esse aumento as pilhas não trituradas voltaram a apresentar comportamento linear, com a relação C:N decrescendo em função do tempo até o final do processo. Para as pilhas trituradas os resultados sugerem uma mudança de comportamento a partir desse estágio, já que tanto os níveis de carbono como os níveis de nitrogênio variaram de forma discreta. Somente a partir do 62º dia é que a relação C:N decresceu de forma mais acentuada, já que foi a partir daí que as pilhas tiveram maiores perdas nos níveis de carbono e também os maiores incrementos dos níveis de nitrogênio.

Apesar do comportamento diferenciado entre os tratamentos, ambos atingiram a relação C:N desejada em períodos semelhantes, sendo que nas pilhas não trituradas isso ocorreu na semana compreendida entre o 55º e 62º dia e nas pilhas trituradas no intervalo entre o 62º e o 69º dia. A exceção foi a pilha P-5, que teve sua maturação verificada apenas na análise realizada após coleta do 76º de compostagem. Apesar da aparente maturação dos compostos, confirmadas pela relação C:N desejada, optou-se por seguir o processo até aos 90 dias de compostagem, conforme planejado no início do experimento.

Brito (2008) ao trabalhar com 70% de resíduos orgânicos e 30% de resíduos de poda, mesmas proporções dessa pesquisa, e também com pilhas de pequenos volumes, atingiu a maturidade do seu composto em 75 dias. Ao variar a granulometria, reduzindo o diâmetro de suas partículas, a maturação dos seus compostos se deu no 86º dia. Vale ressaltar que nesse último caso o autor variou também as proporções dos resíduos, trabalhando com 60% de resíduos orgânicos e 40% de resíduos de poda.

Com relação ao diâmetro de partícula, o autor concluiu que as pilhas com partículas de maior diâmetro apresentaram melhor distribuição de O₂ e conseqüentemente maior atividade microbiana. O autor também completou assegurando que de maneira geral, o tempo de compostagem para o processo em pequena escala não apresentou divergência em relação ao processo em escala convencional. Para confirmar essa afirmativa, o mesmo comparou seus resultados com Kiehl (1983), Haug (1993), Marin (2005) e Brito (2006).

4.3.4 Variação de massa e volume

Houve redução tanto de massa quanto de volume em todas as pilhas ao final do processo de compostagem, resultado esse, que confirma a compostagem como uma importante ferramenta de minimização de RSU. Essas reduções foram influenciadas provavelmente pela redução da umidade e pelo consumo de matéria orgânica. Vale lembrar

que as medidas de volume foram realizadas sempre anteriormente ao acréscimo de água no sistema para controle de umidade.

Figura 23 mostra uma visão geral das pilhas de compostagem no início do processo (T0) e após 90 dias de compostagem, onde é possível visualizar a variação de volume das pilhas.



Figura 23: Visão geral do pátio de compostagem em momentos distintos.

O volume das pilhas apresentou variação conforme Quadro 13 e a massa apresentou variação conforme o Quadro 14. As medições foram realizadas em base úmida.

Quadro 13: Variação de volume ao longo do processo de compostagem

Identificação da Pilha		Volume inicial (m ³)	Volume (30 dias) (m ³)	Variação de volume (em 30 dias) (%)	Variação de volume Média (%)	Variação de volume DP (%)	Variação de volume CV (%)
RSU não triturado	P-1	0,88	0,56	-36%	-33,0	0,03	-9,2%
	P-2	0,76	0,53	-30%			
	P-3	0,64	0,43	-33%			
RSU triturado	P-4	0,44	0,28	-36%	-33,0	0,04	-11,1%
	P-5	0,55	0,39	-29%			
	P-6	0,55	0,37	-33%			
Identificação da Pilha		Volume inicial (m3)	Volume (60 dias) (m3)	Variação de volume (em 30 dias) (%)	Variação de volume Média (%)	Variação de volume DP (%)	Variação de volume CV (%)
RSU não triturado	P-1	0,88	0,40	-55%	-46,0	0,08	-16,5%
	P-2	0,76	0,45	-41%			
	P-3	0,64	0,37	-42%			
RSU triturado	P-4	0,44	0,27	-39%	-36,0	0,03	-8,3%
	P-5	0,55	0,37	-33%			
	P-6	0,55	0,35	-36%			
Identificação da Pilha		Volume inicial (m3)	Volume (90 dias) (m3)	Variação de volume (em 30 dias) (%)	Variação de volume Média (%)	Variação de volume DP (%)	Variação de volume CV (%)
RSU não triturado	P-1	0,88	0,39	-56%	-50,0	0,05	-9,9%
	P-2	0,76	0,40	-47%			
	P-3	0,64	0,34	-47%			
RSU triturado	P-4	0,44	0,26	-41%	-39,0	0,02	-6,2%
	P-5	0,55	0,35	-36%			
	P-6	0,55	0,33	-40%			

Legenda: DP: Desvio Padrão CV: Coeficiente de Variação

Quadro 14: Variação de massa ao longo do processo de compostagem

Identificação da Pilha		Massa inicial (kg)	Massa Final (kg)	Variação de massa (%)	Variação de massa Média (%)	Variação de massa DP (%)	Variação de massa CV (%)
RSU não triturado	P-1	229,32	82,96	-64%	-58%	0,05	-9,0%
	P-2	222,92	100,23	-55%			
	P-3	204,80	92,98	-55%			
RSU triturado	P-4	158,22	61,19	-61%	-64%	0,04	-6,9%
	P-5	165,89	63,97	-61%			
	P-6	163,51	50,64	-69%			

Legenda: DP: Desvio Padrão CV: Coeficiente de Variação

Em todas as pilhas a redução do volume foi maior nos primeiros 30 dias, resultado esse já esperado, já que é nesse período que há maior atividade dos micro-organismos e, conseqüentemente, maior consumo de carbono. Esses resultados corroboram com os de GORGATI (2001), quando submeteu resíduos urbanos à compostagem e obteve maior redução do volume no início do processo, aproximadamente, 47%.

Nas pilhas trituradas, quando comparada a medição realizada aos 30 dias e aos 90 dias de processo o volume destas teve um variação percentual de redução de apenas 6%. Já as pilhas montadas com os resíduos que não sofreram trituração prévia tiveram uma redução de volume de 17% entre a medida realizada aos 30 dias e aos 90 dias de processo. Essa redução superior para as pilhas não trituradas está relacionada ao consumo percentual de carbono orgânico total que foi maior para estas pilhas. Augusto, Lucas Jr. e Miranda (2009), em um de seus tratamentos reduziram 52% e Leal et al.(2013) chegaram a uma redução de 65%, ambos trabalhando com 90 dias em processo de compostagem.

A redução de massa foi significativa para ambos os casos e superior aos resultados obtidos por Pereira (2013) que alcançou uma redução de massa de aproximadamente 52% em pilhas com dimensões semelhantes as dessa pesquisa e de Leal et al. (2013) que testaram a compostagem em pilhas de pequeno volume, também por 90 dias, e obtiveram o resultado de 50% de redução de massa.

A redução de massa superior para as pilhas trituradas está correlacionada a densidade dos compostos. A densidade média inicial para as pilhas não trituradas foi de 290,6 kg/m³ e a densidade média final para essas pilhas foi de 246,7 kg/m³. A densidade média inicial para as pilhas trituradas foi de 320,3 kg/m³ e a densidade média final para essas pilhas

foi de 192,2 kg/m³. A densidade final mais elevada das pilhas não trituradas pode estar relacionada com o seu percentual final de umidade ligeiramente superior.

4.4 CARACTERIZAÇÃO DO PRODUTO FINAL (T_{final}):

A caracterização obtida em T_{final} é referente as análises realizadas a partir dos compostos gerados após peneiramento das pilhas e, portanto, denominados “Produto final”. Com base na Instrução Normativa nº 25 do MAPA, demonstrada no Quadro 4, que classifica fertilizantes orgânicos de acordo com sua especificação granulométrica foi definido como Produto final a parcela igual ou inferior a 4,8 mm.

Acredita-se que os ensaios efetuados nesse estágio são os que retratam de forma mais fiel a real condição da massa em compostagem já que, caso o processo fosse realizado com fins comerciais essa seria a parcela comercializada.

Em T_{final} os compostos gerados a partir de cada pilha foram caracterizadas em parâmetros físicos, químicos e microbiológicos.

4.4.1 Caracterização Física

A matéria orgânica estabilizada apresenta características físicas próprias, sendo as mais relevantes odor, cor, umidade e granulometria.

O ensaio final de granulometria foi realizado usando as mesmas massas do ensaio realizado para granulometria inicial e também utilizando uma amostra composta da mistura das três pilhas não trituradas e outra da mistura das três pilhas trituradas. Fazendo um comparativo, as porcentagens de material retido nas peneiras de malhas maiores diminuíram ao longo do tempo em ambos os tratamentos. Isso demonstra a eficiência de decomposição em relação ao início do processo de compostagem. A Figura 24 representa a distribuição granulométrica para o final do processo.

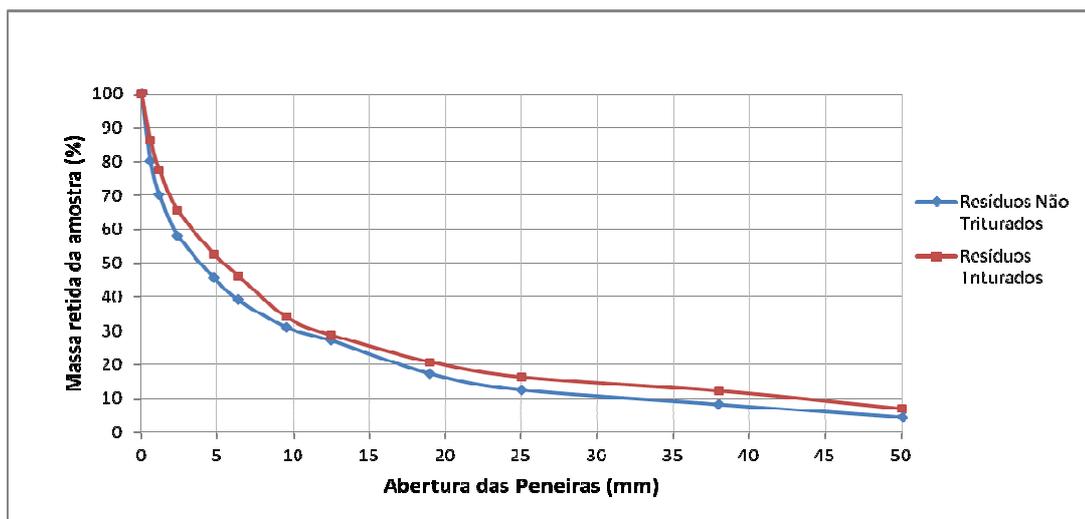


Figura 24: Distribuição granulométrica em Tfinal

No início do processo, nas pilhas não trituradas 32,3% dos resíduos possuíam granulometria igual ou inferior a 4,8 mm, enquanto que no final do processo esse percentual cresceu para 54,5%, sendo essa a rentabilidade obtida para as pilhas não trituradas. Para as pilhas trituradas esses percentuais variaram de 40,7% no início do processo para 47,4% em Tfinal, sendo essa a rentabilidade obtida para as pilhas trituradas. É consenso entre os pesquisadores que o rendimento médio da compostagem é em torno de 50%, tendo então esse experimento obtido resultados semelhantes.

Percebe-se que houve uma inversão percentual entre os tratamentos. Esse comportamento pode ser explicado pelo fato de que, visualmente, as pilhas trituradas ainda possuíam resíduos de poda não degradados ou degradados parcialmente. Como esses materiais são ricos em celulose e lignina é possível inferir que o tempo de compostagem nessas pilhas não tenha sido suficiente para a ação dos fungos e dos actinomicetos, que são os responsáveis pela degradação desses compostos.

Nesse caso, apesar da relação C:N demonstrar a estabilidade do material, a fração correspondente aos resíduos de poda não foi totalmente degradada. Isso explica não só a rentabilidade inferior das pilhas não trituradas, mas também o comportamento dessas pilhas em relação as reduções de volume e massa.

Ao final do processo todos os compostos apresentaram odor característico de “terra molhada”, que sugere boa estabilização da matéria orgânica.

Quanto a umidade, todos os produtos finais ficaram dentro dos limites fixados pela Instrução Normativa nº23 do MAPA, conforme já anteriormente demonstrado no Quadro 3. A umidade em Tfinal pode ser verificada no Quadro 15.

Quadro 15: Resultados de Umidade em Tfinal

PILHA	UMIDADE (%)	MÉDIA	DP	CV(%)
P-1	20,9	22,4	1,3	6%
P-2	23,0			
P-3	23,3			
P-4	16,4	16,5	0,3	2%
P-5	16,9			
P-6	16,3			

Legenda: DP: Desvio Padrão CV: Coeficiente de Variação

Pode-se observar que os produtos resultantes das pilhas não trituradas possuem uma umidade superior. Novamente, a granulometria dos resíduos pode ter facilitado a difusão de O₂ de maneira mais homogênea nas pilhas não trituradas. Quando comparado com a umidade medida diretamente nas pilhas, aos 90 dias de compostagem, percebe-se que a umidade do produto final foi inferior para todas as pilhas.

Visualmente, todos os compostos apresentaram coloração semelhante a de terra preta, sendo que o produto resultante das pilhas P5 e P-6 (não trituradas) apresentaram uma coloração ligeiramente mais escura e, portanto, aparentemente mais rica em partículas coloidais. A cor desses compostos sugerem um grau de maturação superior para o produto dessas pilhas, como pode ser observado na Figura 25 e na Figura 26.



Figura 25: Amostra dos compostos gerados pelo processo de compostagem nas pilhas com resíduos não triturados

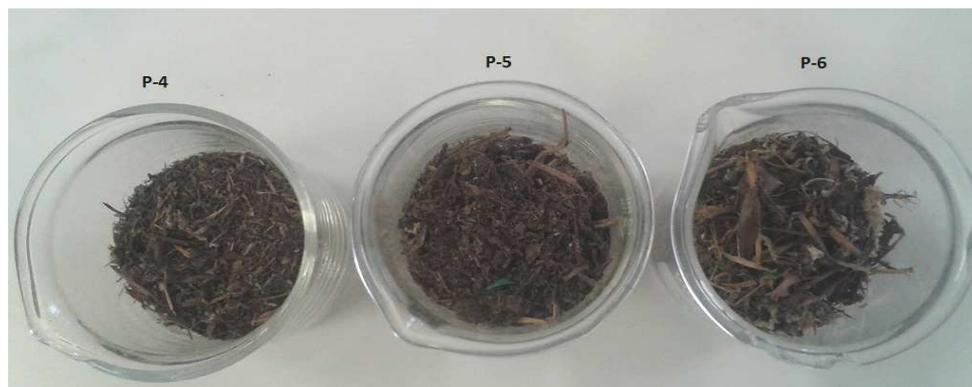


Figura 26: Amostra dos compostos gerados pelo processo de compostagem nas pilhas com resíduos triturados

4.4.2 Caracterização química

A caracterização química do produto final está demonstrada no Quadro 16. As análises foram realizadas em triplicata.

Quadro 16: Caracterização Química do produto final

PILHA	CARBONO ORGÂNICO TOTAL (%)	MÉDIA	DP	CV(%)	NITROGÊNIO TOTAL (%)	MÉDIA	DP	CV (%)
P-1	19,7	19,3	0,6	3%	3,4	3,5	0,5	15%
P-2	18,7				3,1			
P-3	19,6				4,1			
P-4	15,7	17,4	1,7	10%	4,6	3,8	0,8	20%
P-5	19,0				3,1			
P-6	17,6				3,6			
PILHA	RELAÇÃO C:N	MÉDIA	DP	CV (%)	pH	MÉDIA	DP	CV(%)
P-1	6:1	5,7	0,6	10%	7,3	7,5	0,3	3%
P-2	6:1				7,8			
P-3	5:1				7,5			
P-4	3:1	4,7	1,5	33%	8,0	8,4	0,5	5%
P-5	6:1				8,3			
P-6	5:1				8,9			
PILHA	FÓSFORO TOTAL (%)	MÉDIA	DP	CV(%)	POTÁSSIO TOTAL (%)	MÉDIA	DP	CV (%)
P-1	0,2	0,3	0,1	22%	0,5	0,5	0,1	12%
P-2	0,3				0,4			
P-3	0,3				0,5			
P-4	0,2	0,3	0,1	33%	0,4	0,4	0,1	13%
P-5	0,4				0,5			
P-6	0,3				0,4			
PILHA	CTC (cmol/kg)	MÉDIA	DP	CV (%)	RELAÇÃO CTC/C	MÉDIA	DP	CV(%)
P-1	23,5	32,2	8,2	25%	1,2	1,7	0,5	27%
P-2	39,7				2,1			
P-3	33,3				1,7			
P-4	28,3	27,1	1,2	4%	1,8	1,6	0,2	13%
P-5	27,0				1,4			
P-6	26,0				1,5			

Legenda: DP: Desvio Padrão CV: Coeficiente de Variação

As médias de pH e Carbono orgânico total não apresentaram variação quando comparado o resultado obtido na amostragem realizada nas pilhas aos 90 dias de compostagem e as obtidas no produto final. Pequenas variações podem ser creditadas à amostragem ou a condução do processo analítico. Massukado (2008) e Ayed et al (2007) são

exemplos de autores que obtiveram resultados semelhantes trabalhando com compostagem de RSD.

As médias de nitrogênio total apresentaram-se em T_{final} superiores aos 90 dias de compostagem e, conseqüentemente, a relação C:N diminuiu. É razoável admitir que tal incremento esteja ligado a redução do substrato a ser analisado, que nesse caso é referente a amostra do produto final e não a amostragem das pilhas como um todo, dessa forma, o nitrogênio passa a ser percentualmente mais representativo. Veras e Povinelli (2004) usaram esse mesmo argumento para justificar o incremento de alguns nutrientes que ocorreu em sua pesquisa. A literatura em geral, em pesquisas semelhantes, apresenta valores inferiores de nitrogênio, conforme já fora amplamente discutido no item 4.3.3. e, conseqüentemente, relações C:N mais altas. A pesquisa de Pereira (2013) é um exemplo de um experimento que obteve relações C:N na ordem de 6:1 e 3,5:1, trabalhando com RSD em dois tratamentos diferentes. Porém essa relação C:N baixa foi atribuída a perda significativa de carbono em seus experimentos e não aos teores altos de nitrogênio como nessa pesquisa.

Ao comparar os teores de fósforo e potássio de T_0 com T_{final} não foi notada variação nos mesmos, sugerindo que não houve perda desses nutrientes ao longo do processo. Também não foi percebido variação significativa entre os tratamentos. Basicamente, o fato das pilhas terem sido montadas em área coberta fez com que estas não sofressem ação da chuva, o que evitou a lixiviação desses elementos. Além disso, caso tenham ocorrido perdas, estas podem ter sido compensadas pela redução da amostra que, nesse caso, é referente ao produto final e não a amostragem das pilhas como um todo. Como houve uma redução da amostra, os elementos passam a ser percentualmente mais representativos. Pequenas variações podem ser creditadas à amostragem ou a condução do processo analítico. Os teores de fósforo e potássio foram condizentes aos obtidos por Veras e Povinelli (2004), trabalhando com RSU e Brito (2008) com compostagem de RSU em pequena escala.

Nessa pesquisa, os valores de CTC ficaram abaixo do recomendado pela literatura para todas as pilhas, e semelhantes aos resultados de Massukado (2008). Apesar disso, a CTC/C média obteve resultados satisfatórios de 1,7 para pilhas não trituradas, sendo que P-1 apresentou CTC/C inferior ao recomendado. Para as pilhas trituradas a CTC/C média de 1,6 ficou próxima a desejada. Esses resultados explicam a coloração levemente mais escura dos produtos gerados por P-2 e P-3.

A CTC inferior àquela tida como recomendável não inviabiliza o uso do composto, já que, segundo Paiva (2008 apud Matos 2004) em países de clima tropical, como

o Brasil, os valores de CTC comumente encontrados em solos estão na faixa de 3 a 15 cmolc/kg e, portanto, inferior a CTC dos compostos gerados por todas as pilhas. Considerando que a CTC está diretamente ligada a fertilidade de um solo, a adição desse composto orgânico, melhora as características de fertilidade nos solos.

Em todas as pilhas, para pH, carbono orgânico total, nitrogênio total e relação C:N os resultados estiveram dentro das faixas estabelecidas pela Instrução Normativa nº23 do MAPA. Os parâmetros fósforo, potássio, CTC e CTC/C não possuem limites fixados nessa normativa. Os padrões estabelecidos por essa normativa podem ser verificados no Quadro 3.

4.4.3 Caracterização microbiológica

Reis (2005) destaca que a conjugação da temperatura e tempo de exposição são os fatores importantes para a eliminação dos organismos patogênicos na compostagem. Citando Kiehl (1998), a autora completa dizendo que altas temperaturas por curto espaço de tempo ou baixas temperaturas por longos períodos, são igualmente eficientes na eliminação dos patogênicos dos resíduos sólidos domiciliares, sendo que temperaturas entre 55°C e 60°C por um dia ou dois dias são letais para bactérias e ovos de helmintos.

Sabe-se que a fase termofílica é que proporciona a redução de populações de microrganismos oriundas de resíduos sólidos domésticos. Nessa pesquisa, os ensaios para detecção de microrganismos foram realizados somente T_{final} e, portanto, não demonstram a redução das populações ao longo do processo de compostagem e sim a contagem microbiana no produto final. Os resultados obtidos podem ser verificados no Quadro 17.

Quadro 17: Ensaios microbiológicos em Tfinal

PILHA	COLIFORMES TERMOTOLERANTES (NMP/g)	VALOR MÉDIO (NMP/g)	DP	CV(%)	OVOS DE HELMINTOS (Unidade/4g)
P-1	9,58E+04	1,11E+05	2,16E+04	19%	<1,00
P-2	1,36E+05				<1,00
P-3	1,02E+05				<1,00
P-4	7,98E+04	9,23E+04	1,50E+04	16%	<1,00
P-5	8,81E+04				<1,00
P-6	1,09E+05				<1,00

Legenda: DP: Desvio Padrão CV: Coeficiente de Variação

Analisando os resultados percebe-se que o processo foi eficiente em relação a sanitização do composto para o parâmetro ovos de helmintos, já para o parâmetro coliformes termotolerantes os resultados em todas as pilhas ficaram acima dos limites estabelecidos pela Instrução Normativa nº27 do MAPA.

Apesar da temperatura ter atingido os valores preconizados na literatura, não foi suficiente para eliminação desse patogênicos. É interessante considerar que os altos valores de temperatura podem não ter sido atingidos em toda a dimensão das pilhas levando a uma distribuição desigual de temperatura que não teria promovido a eliminação das bactérias em alguns pontos. Heck et al. (2012) e Reis (2005) também usaram esse argumento para justificar resultados semelhantes em suas pesquisas.

Na pesquisa de Heck et al. (2012), que também trabalhou com compostagem a partir de RSD, os índices de coliformes termotolerantes sofreram uma redução durante a fase termofílica, porém foi percebido o ressurgimento destes ao final do processo, sugerindo recontaminação. Esses autores ressaltam outras pesquisas que obtiveram resultados que demonstraram um aumento no número de coliformes ao final do processo de compostagem, tais como os estudos de Kim et al., (2009), Sobratee et al., 2009 e Khalil et al., (2011).

Heck et al. (2012), destacam que em sua pesquisa a recontaminação pode ter sido resultante do equipamento utilizado para revolvimento, ou pela exposição do material em decomposição a céu aberto, à mercê de animais presentes no local. Nessa pesquisa, as pilhas também ficaram dispostas em área que não restringia o acesso de animais, tendo, inclusive sido percebida a presença de cães e aves em diversas ocasiões. Outro ponto a considerar é que não houve nenhum procedimento diferenciado para desmonte das pilhas, pesagem, peneiramento ou estoque do material, já que nenhuma dessas etapas foi realizada utilizando

materiais esterilizados. De qualquer forma, vale ressaltar que Reis (2005) ao avaliar a pesquisa de Escosteguy et al. (1993) percebeu que nesse estudo os organismos coliformes termotolerantes observados no composto foram reduzidos, aproximadamente, em duzentas vezes após a aplicação desse material ao solo.

4.5 TESTE DA POTENCIALIDADE DO USO DO COMPOSTO ORGÂNICO E RESÍDUO DE MARMORARIA COMO CORRETIVO DE ACIDEZ DE SOLO

Os testes realizados com o intuito de viabilizar o uso dos compostos orgânicos como corretivos de acidez de solo, puros ou em percentuais diferenciados de misturas com resíduos oriundos do corte de mármore e rochas ornamentais, apresentaram comportamento padrão, decaindo o seu PRNT conforme as doses percentuais de resíduos de marmoraria diminuía. Os resultados obtidos podem ser visualizados no Quadro 18.

Quadro 18: Resultados de PRNT

TRATAMENTO	AMOSTRA	PRNT MÉDIO (%)
1	Marmoraria 100%	86,1
2	Marmoraria 70% Fertilizante NT 30%	73,2
3	Marmoraria 70% Fertilizante Tr 30%	74,1
4	Marmoraria 50% Fertilizante NT 50%	53,2
5	Marmoraria 50% Fertilizante Tr 50%	64,1
6	Marmoraria 30% Fertilizante NT 70%	40,5
7	Marmoraria 30% Fertilizante Tr 70%	43,5
8	Fertilizante NT 100%	38,7
9	Fertilizante Tr 100%	39,9

O poder relativo de neutralização total (PRNT) de 38,7% e 39,9% obtidas para a análise dos fertilizantes NT e Tr respectivamente puros inviabiliza o seu uso, já que esses índices ficaram abaixo de 45% que é limite mínimo estabelecido pela Instrução Normativa nº 35 do MAPA.

Destaca-se aqui o PRNT superior para fertilizante Tr, que nesse caso, é devido ao seu poder de neutralização (PN) também superior. Como essa variável é dependente direta do pH do material em questão e o fertilizante Tr possui um pH mais alcalino do que o fertilizante NT sua eficiência relativa (ER) e, conseqüentemente, PRNT também foram superiores. Conforme foi sendo adicionado percentuais crescentes de resíduos de marmoraria o PRNT também foi aumentando. Cabe ressaltar que manteve-se a tendência das misturas acompanhadas por resíduos Tr apresentarem PRNT mais elevada. Novamente esclarecendo, devido ao fato desse composto ter apresentado pH mais elevado.

As misturas compostas por 70% de fertilizante NT ou Tr e 30% de resíduo de marmorarias também obtiveram PRNT abaixo do fixado pela legislação específica. As misturas com 50% de fertilizante NT ou Tr e 50% de resíduo de marmorarias e as misturas com 30% de fertilizante NT ou Tr e 70% de resíduo de marmorarias já apresentaram PRNT que sugere sua viabilidade no uso agrônômico como corretivo de acidez.

O teste de PRNT com 100% de resíduos oriundos do corte de mármore e rochas ornamentais resultou em 86,1%, sendo assim perfeitamente enquadrado aos critérios estabelecidos pelo Ministério da Agricultura para especificar corretivos de acidez do solo. Baldotto et al. (2007), encontrou PRNT de 88,0% e Machado, Ribeiro e Andrade (2008), PRNT de 84,9% quando testaram esse mesmo tipo de resíduo.

O uso de fertilizante obtido após processo de compostagem de RSD, seja ele puro ou consorciado com outro material, como corretivo de acidez de solo carece de estudos. Já o uso de pó de mármore e rochas ornamentais teve sua eficiência comprovada por Baldotto et al. (2007), Mesquita, Cardoso F⁰ e Andrade (2009) e Machado, Ribeiro e Andrade (2008).

4.6 TESTES DE GERMINAÇÃO

O teste de germinação foi avaliado em dois momentos distintos. Em um primeiro momento foi avaliada a germinação de sementes em relação aos compostos orgânicos gerados a partir da compostagem das seis pilhas.

No segundo momento a avaliação se deu sobre a germinação de sementes em contato com resíduos de marmoraria puro e em diferentes proporções de misturas com os compostos orgânicos. Os resultados para PG e IVG do primeiro caso podem ser vistos no Quadro 19 e para o segundo caso no Quadro 20.

Quadro 19: PG e IVG para pilhas de compostagem

PILHA	PG (%)	IVG (MÁX 100)
P-1	85	72,5
P-2	82	74,4
P-3	78	70,9
P-4	84	72,1
P-5	83	79,9
P-6	82	74,8
Branco	83	69,1

Quadro 20: PG e IVG para resíduos de marmoraria

TRATAMENTO	AMOSTRA	PG (%)	IVG (MÁX 100)
1	Marmoraria 100%	82	74,9
2	Marmoraria 70% Fertilizante NT 30%	87	84,0
3	Marmoraria 70% Fertilizante Tr 30%	78	77,0
4	Marmoraria 50% Fertilizante NT 50%	84	77,7
5	Marmoraria 50% Fertilizante Tr 50%	83	76,8
6	Marmoraria 30% Fertilizante NT 70%	84	83,5
7	Marmoraria 30% Fertilizante Tr 70%	81	76,8
Branco	-	73	69,8

Tanto para PG como para IVG, índices acima dos 90 % em relação ao controle (branco), são considerados mínimo para que um composto seja considerado maduro e livre de fitotoxinas (CCME, 1996 apud SILVA E VILLAS BÔAS, 2007). Em ambos os experimentos esses índices foram, em sua maioria, superiores quando comparados com a amostra controle.

Apenas no primeiro teste, em P2 e P3, a PG foi ligeiramente inferior a da amostra controle, porém ainda assim, superior a 90%.

Silva e Villas Bôas (2007) ao final do processo de compostagem, atingiram índices entre 89% e 93% para PG em relação ao controle. Quadros et al. (2012) que avaliou a influência de composto orgânico sobre sementes de alface obteve índices de PG entre 84% e 93%.

Simplificadamente, foi possível inferir que os tratamentos avaliados melhoraram as condições de germinação, nas plantas testadas. Outro resultado que pode ser notado de forma visual é que, aparentemente, as folhas das plantas submetidas aos tratamentos foram maiores que as submetidas ao branco. Os exemplos dessa afirmação podem ser verificados na Figura 27, na Figura 28 e na Figura 29. As demais fotos do acompanhamento realizado para todos os tratamentos estão no Apêndice A.



Figura 27: Teste de germinação (contagem do 7º dia) – Amostra controle (Branco)



Figura 28: Teste de germinação (contagem do 7º dia) – Amostra Marmoraria 50% Fertilizante NT 50%

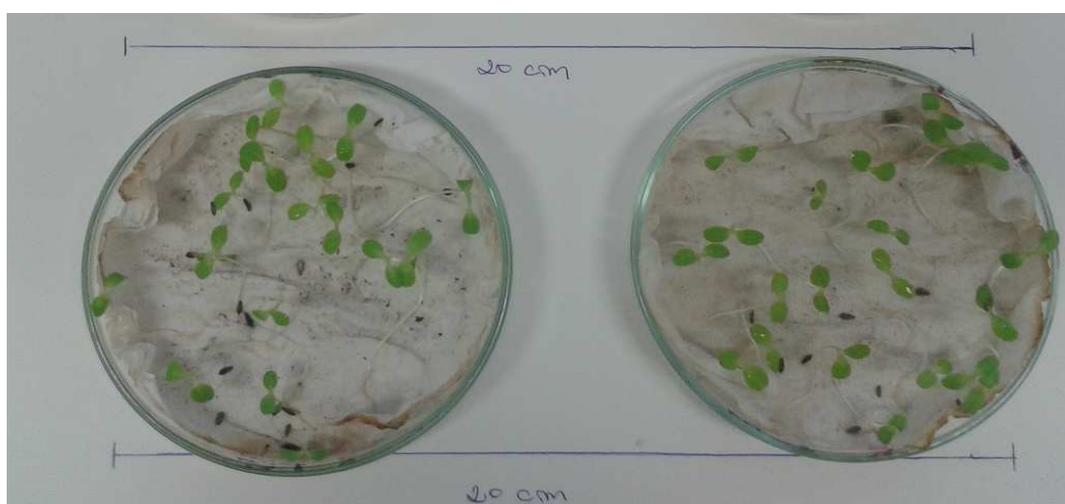


Figura 29: Teste de germinação (contagem realizada no 7º dia) – Amostra Pilha P-1

5 CONCLUSÕES

As variações de massa e de volume obtiveram percentuais que contribuem para a confirmação da compostagem como um dos métodos mais eficientes no tratamento de RSD. Para o parâmetro variação de volume as pilhas montadas com resíduos não triturados mostraram-se mais eficientes, já que obtiveram uma redução média de 50,0% de seu volume contra a redução média de 39,0% das pilhas trituradas. Já para variações de massa as pilhas trituradas tiveram uma redução de 64,0% e as não trituradas reduziram 58% de sua massa.

As pilhas não trituradas apresentaram também melhor desempenho em rentabilidade do processo que foi de 54,5% frente a rentabilidade de 47,4% das pilhas trituradas e em tempo de maturação do composto que ocorreu na semana compreendida entre o os dias 55 e 62 após montagem das pilhas aproximadamente uma semana depois nas pilhas trituradas;

Em todas as pilhas, ao final do processo a matéria orgânica mostrou-se com características físicas de estabilizada, odor semelhante ao de terra, cor escura, umidade e granulometria adequadas;

Quimicamente, todas as pilhas geraram produtos em conformidade com a Normativa nº23 do MAPA, o que viabilizaria sua utilização agrônômica. Em todos os casos o pH ficou levemente alcalino, houve consumo de Carbono e incremento de Nitrogênio, o que sugere boa biodegradação dos substratos.

Os resultados referentes a quantificação de coliformes termotolerantes ficaram acima do limite estabelecido pela legislação. Desta forma, a qualidade do composto maturado resultante do processo em estudo, não se enquadraria nas normas somente por este padrão de quantificação, dentre os estabelecidos, tornando o material de compostagem passível de um processo adicional para a sanitização.

O potencial de uso dos fertilizantes como corretivos de acidez de solo é viável a partir da mistura destes com pelo menos 50% de resíduos oriundos do corte de mármore e de rochas ornamentais.

Os testes de germinação realizados confirmaram a boa maturação e a ausência da fitotoxicidade dos produtos avaliados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADHIKARI, Bijaya K. et al. Characterization of food waste and bulking agents for composting. **Waste Management**, New York, v. 26, n. 1, p. 795-804, 2007.
- ADHIKARI, Bijaya K. et al. Effectiveness of three bulking agents for food waste composting. **Waste Management**, New York, v. 29, n. 1, p. 197-203, 2008.
- ALCARDE, José Carlos. **Corretivos da acidez dos solos: características e interpretações técnicas**. São Paulo: ANDA, 2005
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA: **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 19th edition. Washington, DC, 1995.
- ANDREOLI, Cleverson Vitório (Coord.). **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Rio de Janeiro: RiMa, ABES, 2001.
- ASSIS, Cássia Silveira de. **Modelo de gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos: uma contribuição ao planejamento urbano**. 2002. 120 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) -- Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - ABRELPE: **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil - 2010**. São Paulo, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - ABRELPE: **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil - 2011**. São Paulo, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7181: Solo Análise Granulométrica – método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 10004: Resíduos Sólidos - classificação**. Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 10007: Amostragem de Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro, 2004.
- AUGUSTO, Karolina; LUCAS JR, J; MIRANDA, Adelia. Redução de volume e peso durante a compostagem de dejetos de galinhas poedeiras. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DE ANIMAIS E TRATAMENTO DE DEJETOS DE ANIMAIS, I. 2009, Florianópolis, Brasil. **Anais eletrônicos ...** Disponível em: < http://www.avisite.com.br/cet/img/20091117_dejetos.pdf>. Acesso em: 05 nov. 2014.
- AYED, Layla Ben. et al. Microbial C and N dynamics during composting process of urban solid waste. **Waste Management**, New York, v. 25, n. 1, p. 24-29, 2007.

BALDOTTO, Marihus Altoé, et al. Potencialidade agrônômica do resíduo de rochas ornamentais. **Revista Capixaba de Ciência e Tecnologia**, Vitória, v. 2, n. 3, p. 1-8, 2007.

BARATTA JÚNIOR, Almir Punaro. **Utilização do composto de resíduos da poda da arborização urbana em substratos para produção de mudas**. 2007. 53 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) -- Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2007.

BARREIRA, Luciana Pranzetti; PHILIPPI JUNIOR, Arlindo; RODRIGUES, Mario Sergio. Usinas de Compostagem do Estado de São Paulo: Qualidade dos compostos e processos de produção. **Revista Engenharia Sanitária Ambiental**, São Paulo, v. 2, n. 4, p. 385-393, 2006.

BELO, Sara Rodrigues Santos. **Avaliação de fitotoxicidade através de *Lepidium sativum* no âmbito de processos de compostagem**. 2011. 79 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) -- Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Ambiente, Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal, 2011.

BEZERRA, Antonio Marcos et al. Germinação e desenvolvimento de plântulas de melão-de-são-caetano em diferentes ambientes e substratos. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 33, n. 1, p. 39-44, 2002.

BEZERRA, Antonio Marcos; MOMENTÉ, Valéria; MEDEIROS FILHO, Sebastião. Germinação de sementes e desenvolvimento de plântulas de moringa (*Moringa oleifera Lam.*) em função do peso da semente e do tipo de substrato. **Revista Engenharia Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 2, p. 295-299, 2004.

BIDONE, Francico Ricardo Andrade (Coord.). **Resíduos sólidos provenientes de coletas especiais: eliminação e valorização**. Rio de Janeiro: RiMa, ABES, 2001.

BIDONE, Francisco Ricardo Andrade; POVINELLI, Jurandy. **Conceitos básicos de resíduos sólidos**. São Carlos : EESC, 1999.

BLUNDI, Carlos Eduardo; CAMPOS, André Luís de Oliva. Monitoramento de leira de compostagem de Resíduos Sólidos através de parâmetros específicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20., 1999, Rio de Janeiro, RJ. **Anais eletrônicos ...** Disponível em: < <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/brasil20/iii-076.pdf>>. Acesso em: 12 jan. 2013.

BORELLA, Junior; PASTORINI, Lindamir Hernandez. Influência alelopática de *Phytolacca dioica* L. na germinação e crescimento inicial de tomate e picão-preto. **Revista Biotemas**, Florianópolis, SC, v. 22, n. 3, set. 2009. Disponível em: <<http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/biotemas/article/view/2175-7925.2009v22n3p67>>. Acesso em: 19 mar. 2013.

BRASIL. **Lei nº 6.138, de 8 de novembro de 1974**. Dispõe sobre a inspeção e fiscalização do comércio de fertilizantes, corretivos e inoculantes destinados à agricultura, e dá outras providências. Brasília, DF, 11 de novembro de 1974. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=consultarLegislacaoFederal>>. Acesso em: 02 mai. 2013.

BRASIL. **Decreto nº 75.583, de 9 de abril de 1975.** Regulamenta a Lei nº 6.138, de 8 de novembro de 1974 que dispõe sobre a inspeção e fiscalização do comércio de fertilizantes, corretivos e inoculantes destinados à agricultura. Brasília, DF, 10 de abril de 1975. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=consultarLegislacaoFederal>>. Acesso em: 02 mai. 2013.

BRASIL. **Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980.** Dispõe sobre a Inspeção e Fiscalização da Produção e do Comércio de Fertilizantes, Corretivos, Inoculantes, Estimulantes ou Biofertilizantes, Destinados à Agricultura, e dá outras Providências. Brasília, DF, 17 de dezembro de 1980. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=consultarLegislacaoFederal>>. Acesso em: 02 mai. 2013.

BRASIL. **Decreto nº 86.955, de 18 de fevereiro de 1982.** Regulamenta a Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, alterada pela Lei nº 6.934, de 13 de julho de 1981, que dispõe sobre a inspeção e a fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e pelo Decreto-lei nº 1.899, de 1981, que institui taxas relativas às atividades do Ministério da Agricultura. Brasília, DF, 18 de fevereiro de 1982a. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=consultarLegislacaoFederal>>. Acesso em: 02 mai. 2013.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. Portaria nº 31, de 08 de junho de 1982. Aprova os métodos analíticos, em anexo, que passam a constituir métodos padrões, oficiais, para análise de corretivos, fertilizantes e inoculantes sujeitos a inspeção e fiscalização previstas na legislação acima referida. **Diário Oficial da União**, Brasília, 14 jun. 1982b. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=consultarLegislacaoFederal>>. Acesso em: 02 mai. 2013.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Fiscalização Agropecuária. Portaria nº 1, de 04 de março de 1983. Aprova as normas, em anexo, sobre especificações, garantias, tolerâncias e procedimentos para coleta de amostras de produtos, e os modelos oficiais a serem utilizados pela inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, destinados à agricultura. **Diário Oficial da União**, Brasília, 04 mar. 1983. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=consultarLegislacaoFederal>>. Acesso em: 02 mai. 2013.

BRASIL. **Lei nº 10.711, de 05 de agosto de 2003.** Dispõe sobre o Sistema Nacional de Sementes e Mudas e dá outras providências. Brasília, DF, 06 de agosto de 2003. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=consultarLegislacaoFederal>>. Acesso em: 04 mai. 2013.

BRASIL. **Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004.** Aprova o Regulamento da Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e dá outras providências. Brasília, DF, 15 de janeiro de 2004a. Disponível

em:<<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=consultarLegislacaoFederal>>. Acesso em: 02 mai. 2013.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Apoio Rural e Cooperativismo. Instrução normativa n° 10, de maio de 2004. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Judiciário, Brasília, DF, 12 mai. 2004b.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Apoio Rural e Cooperativismo. Instrução normativa n° 15, de dezembro de 2004. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Judiciário, Brasília, DF, 24 dez. 2004c.

BRASIL. **Decreto nº 5.153, de 23 de julho de 2004**. Aprova o Regulamento da Lei nº 10.711, de 5 de agosto de 2003, que dispõe sobre o Sistema Nacional de Sementes e Mudanças - SNSM, e dá outras providências. Brasília, DF, 26 de julho de 2004. Disponível em:<<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=consultarLegislacaoFederal>>. Acesso em: 05 mai. 2013.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Instrução normativa n° 23, de agosto de 2005. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Judiciário, Brasília, DF, 08 set. 2005.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Apoio Rural e Cooperativismo. Instrução normativa n° 27, de junho de 2006. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Judiciário, Brasília, DF, 09 jun. 2006.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Instrução normativa n° 35, de julho de 2006. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Judiciário, Brasília, DF, 12 jul. 2006.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Instrução normativa n° 28, de julho de 2007. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Judiciário, Brasília, DF, 27 jul. 2007.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Resíduos sólidos e a saúde da comunidade**. 2009a. Disponível em: < http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/cart_res_sol.pdf >. Acesso em: 14 fev. 2013.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Compostagem familiar**. 2009b. Disponível em: <<http://www.administracao.mp.pr.gov.br/arquivos/File/ManualFUNASA.pdf>>. Acesso em: 14 fev. 2013.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Instrução normativa n° 25, de julho de 2009. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Judiciário, Brasília, DF, 23 jul. 2009c.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. 2009d. Disponível em: < <http://www.agricultura.gov.br/>>. Acesso em: 18 mai. 2013.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.

Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso em: 21 mar. 2013.

BRITO, Luis Miguel et al. Transformação da matéria orgânica e do nitrogênio durante a compostagem da fração sólida do chorume bovino. **Revista Brasileira de ciências do solo**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 1958-1968, 2008.

BÜTTENBENDER, Sandro Edésio; MILLER, Paul Richard Momsen. Avaliação da compostagem da fração orgânica dos Resíduos Sólidos Urbanos provenientes da coleta seletiva realizada no município de Angelina/SC. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., 2005, Campo Grande, MS. **Anais eletrônicos ...** Disponível em: < <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes23/III-004.pdf>>. Acesso em: 12 jan. 2013.

CASTILHOS JUNIOR, Armando Borges de (Coord.). **Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte**. Rio de Janeiro: RiMa, ABES, 2003.

CATUNDA, Paulo Henrique Aragão et al. Influência do teor de água, da embalagem e das condições de armazenamento na qualidade de sementes de maracujá amarelo. **Revista Brasileira de sementes**, Londrina, v. 25, n. 1, p. 65-71, 2003.

CHRONI, CHRISTINA et al. Microbial characterization during composting of biowaste. **Waste Management**, New York, v. 29, n. 1, p. 1520-1525, 2009.

COELHO, Wilma Maria; CARVALHO, Eraldo Henriques de; ARAÚJO, José Luis de Barros. Avaliação de metodologias para detecção de ovos de helmintos no lodo e determinação do percentual de recuperação. In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, XXVIII., 2002, Cancún, México. **Anais eletrônicos ...** Disponível em: < <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes23/II-317.pdf>>. Acesso em: 04 abr. 2013.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - CQFSRS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10.ed. Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Núcleo Regional Sul, 2004.

CONTADOR, Cláudio R. **Projetos Sociais: Avaliação e Prática**. 4ª edição. São Paulo: Atlas, 2000.

D'ALMEIDA, Maria Luiza Otero; VILHENA, André. **Lixo Municipal: Manual de gerenciamento integrado**. 2 ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000.

FADIGAS, Francisco de Souza, et al. Concentrações naturais de metais pesados em algumas classes de solos brasileiros. **Bragantia**, Campinas, v. 61, n. 2, p. 151-159, 2002.

FERNANDES, Fernando et al. Tratamento biológico de lixiviados de resíduos sólidos urbanos. In: CASTILHOS JUNIOR, Armando Borges (coord). **Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos com ênfase na proteção de corpos d'água: prevenção, geração e tratamento de lixiviados de aterros sanitários**. Rio de Janeiro: RiMa, ABES, 2006, p. 224-229.

FERNANDES, Fernando; SILVA, Sandra Márcia Cesário Pereira da. **Manual prático para a compostagem de biossólidos**. Rio de Janeiro: RiMa, ABES, 1999.

FERNANDES, Fernando; SILVA, Sandra Márcia Cesário Pereira da; TRENNEPOHL, Felipe Gustavo. Duração da fase termófila na compostagem do lodo de esgoto e resíduos vegetais em função de três diferentes tecnologias. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales**, Argentina, v. 2, n. 1, p. 76-83, 2009.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaoadevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf>. Acesso em: 16 jan. 2013.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Dados básicos do Município de São Leopoldo**. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 16 jan. 2013.

FURTINI NETO, Antônio Eduardo, et al. **Fertilidade do solo**. Lavras: UFLA, 2001.

GABIATTI, Naiana Cristine. et al. Diagnóstico dos Sistemas de Tratamento Final de Resíduos Sólidos Urbanos no Rio Grande Do Sul, Impacto na Emissão de Gases de Efeito Estufa e Alternativas de Mitigação. In: REUNIÃO ANUAL DA SBPC, 58., 2006, Florianópolis, SC. **Anais eletrônicos ...** Disponível em: <<http://www.sbpcnet.org.br/livro/58ra>>. Acesso em: 30 jan. 2013.

GORGATI, C.Q. **Resíduos sólidos urbanos em área de proteção aos mananciais – município de São Lourenço da Serra – SP: compostagem e impacto ambiental**. 2001. 74f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) -- Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP, 2001.

HECK, Karina et al. Temperatura de degradação de resíduos em processo de compostagem e qualidade microbiológica do composto final. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 1, p. 54-59, 2012.

HABER, Lenita Lima et al. **Alelopatia do extrato aquoso de *Ascophyllum nodosum* na germinação de cenoura e tomate**. Associação Brasileira de Horticultura, Vitória da Conquista, BA, 2006. Disponível em: <http://www.abhorticultura.com.br/biblioteca/arquivos/Download/Biblioteca/46_0609.pdf>. Acesso em: 21 mai. 2013.

HIGARASHI, Martha Mayumi; SARDÁ, Luana Goulart; OLIVEIRA, Paulo Armando Victoria de. The influence of bulking agents on ammonia emission from swine manure co-composting. In: INTERNATIONAL RAMIRAN CONFERENCE, 14., 2010, Lisboa. Proceedings of the 14th Ramiran International Conference. Lisboa, Portugal. **Anais eletrônicos ...** Disponível em: <http://www.ramiran.net/ramiran2010/docs/Ramiran2010_0181_final.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2013.

HUANG, G.F et al., Effect of C:N on composting of pig manure with sawdust. **Waste Management**, New York, v. 24, n. 1, p. 805-813, 2004.

JAHNEL, Marcelo Cabral; MELLONI, Rogerio; CARDOSO, Elke J. B. N.. Maturidade de composto de lixo urbano. **Sci. agric.**, Piracicaba, v. 56, n. 2, 1999. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90161999000200007&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em 22 maio 2013.

KIEHL, Edmar José. **Fertilizantes orgânicos**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1985.

KOMILIS, Dimitris. A kinetic analysis of solid waste composting at optimal conditions. **Waste Management**, New York, v. 26, n. 1, p. 82-91, 2006.

KUNZ, Airton; BORTOLI, Marcelo; HIGARASHI, Martha Mayumi. Avaliação do manejo de diferentes substratos para a compostagem de dejetos líquidos de suínos. **Revista Acta Ambiental Catarinense**, Chapecó, v. 5, n. 1, p. 07-19, 2008.

LEAL, Marco et al. Compostagem de misturas de capim-elefante e torta de mamona com diferentes relações C:N. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 11, p. 1195-1200, 2013.

LIMA, C. R. C.; LIMA, J. S.; AGUIAR, A. C. Estudo Comparativo entre Adubação Orgânica e Inorgânica através de Indicadores de Sustentabilidade. In: *23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, p. 1-7, Campo Grande, Set. 2005.

LOUREIRO et al.. Compostagem e vermicompostagem de resíduos domiciliares com esterco bovino para a produção de insumo orgânico. **Revista Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 42, n. 7, p. 1043-1048, 2007.

MACHADO, Cibele Ferreira et al. Metodologia para condução do teste de germinação em sementes de Ipê-Amarelo. **Revista Cerne**, Lavras, MG, v. 8, n. 2, p. 17-25, 2002.

MACHADO, Ramires Ventura; RIBEIRO, Roberto Carlos da Conceição; ANDRADE, Felipe Vaz. Utilização de rejeitos oriundos do corte de rocha ornamentais na correção de acidez e adubação de solos tropicais. In: XVI JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA - CETEM, 2008, Rio de Janeiro, RJ. **Anais eletrônicos ...** Disponível em: < http://www.cetem.gov.br/28-publicacoes/305-serie-anais-da-xvi-jornada-de-iniciacao-cientifica >. Acesso em: 11 mar. 2014.

MALUTTA, César. **Método de apoio à tomada de decisão sobre a adequação de aterros sanitários utilizando a Lógica Fuzzy**. 2004. 221 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) -- Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. UFSC, Florianópolis, SC, 2004.

MARQUES, M.; HOGGLAND, W. **Processo descentralizado de compostagem em pequena escala para resíduos sólidos domiciliares em áreas urbanas**. XVIII Interamerican Congress of Sanitary and Environmental Engineering, Anais...Cancun, Mexico, 2002.

MARTINS, Gabriela Neves et al.. Superação de Dormência em Sementes de *Chenopodium ambrosioides* L. In: SIMPÓSIO DE PLANTAS MEDICINAIS DO BRASIL, XVIII., 2004,

Manaus, Brasil. **Anais eletrônicos ...** Disponível em: <<http://www.ufrb.edu.br/magistra/2000-atual/volume-22-ano-2010/numero-3-e-4-jul-a-dez/452-superacao-de-dormencia-em-sementes-de-chenopodium-ambrosioides-l/download.>>. Acesso em: 28 abr. 2013.

MASSUKADO, Luciana Miyoko. **Desenvolvimento do processo de compostagem em unidade descentralizada e proposta de software livre para o gerenciamento municipal dos resíduos sólidos domiciliares**. 2008. 182 f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) -- Programa de Pós-Graduação Ciências da Engenharia Ambiental. Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, SP, 2008.

MESQUITA, Luiz Felipe; CARDOSO FILHO, Joel; ANDRADE, Felipe Vaz. Calcário marinho e resíduo de marmoraria como corretivos alternativos da acidez em Latossolos. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, XIII E ENCONTRO LATINO AMERICANO DE PÓS-GRADUAÇÃO – UNIVERSIDADE DO VALE DO PARAÍBA, IX., 2009, São José dos Campos, SP. **Anais eletrônicos ...** Disponível em: <http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2009/anais/arquivos/RE_1136_1450_02.pdf>. Acesso em: 11 mar. 2014.

MONTEIRO, José Henrique Penido; ZVEIBIL, Victor Zular (Coord.). **Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

NUNES, Maria Urbana Corrêa. **Compostagem de resíduos para produção de adubo orgânico na pequena propriedade**. Aracajú: Embrapa Tabuleiros Costeiros, dez. 2009. 7 p. (Circular Técnica, 59). Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/877834>>. Acesso em: 21 jan. 2013.

OLIVEIRA, Anna Christina Sanazário Oliveira et al. Testes de vigor em sementes baseados no desempenho de plântulas. **Revista Inter Science Place**, v. 2, n. 4, 2009.

PAIVA, Ed Carlo Rosa. **Avaliação da compostagem de carcaças de frango pelos métodos da composteira e leiras estáticas aeradas**. 2008. 163 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) -- Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2008.

PEREIRA, Rafaela Alves. **Compostagem em pequena escala e uso do composto como substrato na germinação de sementes de tomate (*Lycopersicon esculentum*)**. 2013. 56 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas Agroindustriais) -- Programa de Pós-Graduação em Sistemas Agroindustriais, Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, PB, 2013.

PESSIN, Neide et al. Monitoramento do processo de digestão anaeróbia dos resíduos sólidos dispostos em duas células-piloto de aterramento. In: CASTILHOS JUNIOR, Armando Borges (coord). **Alternativas de disposição de resíduos sólidos urbanos para pequenas comunidades**. Rio de Janeiro: RiMa, ABES, 2002. p. 47-54.

QUADROS, Bárbara Rodrigues de et al. Influência de composto orgânico e fósforo sobre sementes de alface. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 3, n. 1, p. 2511-2518, 2012.

REIS, Mariza Fernanda Power; BIDONE, Francisco Ricardo Andrade; GEHLING, Gino Roberto. Efeitos escala e clima no processo de compostagem em região subtropical. In:

CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, XXVII., 2000, Porto Alegre, Brasil. **Anais eletrônicos ...** Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/resisoli/iii-071.pdf>>. Acesso em: 05 nov. 2014.

REIS, Mariza Fernanda Power. **Avaliação do Processo de Compostagem de Resíduos Sólidos Urbanos**. 2005. 239f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) -- Programa de Pós Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. UFRGS, Porto Alegre, RS, 2005.

REIS, Mariza Fernanda Power; ELLWANGER, Rosa Maria; HOFFMANN, Maecelo da Silva. A produção de composto orgânico com qualidade em uma unidade de triagem e compostagem. **Revista brasileira de agroecologia**, Cruz Alta, RS, v. 1, n. 1, p. 1057-1060, 2006.

REIS, João Paulo Alves dos; FERREIRA, Osmar Mendes Ferreira. **Aspectos Sanitários Relacionados à Apresentação do Lixo Urbano para Coleta Pública**. Universidade Católica de Goiás – Departamento de Engenharia – Engenharia Ambiental, Goiania, 2008. Disponível em: <[http://www.pucgoias.edu.br/ucg/prope/cpgss/ArquivosUpload/36/file/Aspectos Sanitários Relacionados à Apresentação do Lixo Urbano para Coleta Pública.pdf](http://www.pucgoias.edu.br/ucg/prope/cpgss/ArquivosUpload/36/file/Aspectos%20Sanitarios%20Relacionados%20a%20Apresentacao%20do%20Lixo%20Urbano%20para%20Coleta%20Publica.pdf)>. Acesso em: 2 mai. 2013.

RICHART, Alfredo et al. Perdas de amônia por volatilização em função do manejo da cama de frango em latossolo vermelho . In: R E UNIÃO PARANAENSE DE CIÊNCIA DO SOLO, III, 2014, Londrina, PR. **Anais eletrônicos ...** Disponível em: <<http://revistas.utfpr.edu.br/pb/index.php/SysScy/article/view/1647>>. Acesso em: 06 nov. 2014.

ROMANI, Gustavo et al. Efeito da temperatura na germinação de Sementes *Merremia spp.* In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, XXVII, 2010, Ribeirão Preto, SP. **Anais eletrônicos ...** Disponível em: <http://www.sbcpd.org/portal/anais/XXVII_CBCPD/PDFs/172.pdf>. Acesso em: 12 mai. 2013.

RUSSO, Mário Augusto Tavares. **Tratamento de Resíduos Sólidos**. Coimbra: Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade de Coimbra, 2003. Disponível em: <<http://www2.ufp.pt/~madinis/RSol/Web/TARS.pdf>>. Acesso em: 17 de mai. 2013.

SANTANA, Denise Garcia de; RANAL, And Marli. Análise Estatística na Germinação. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v. 12, (Edição Especial) p. 205-237, 2000

SANTOS, Rodrigo Couto et al.. Usinas de Compostagem de Lixo como alternativa viável à problemática dos lixões no meio urbano. **Revista Enciclopédia Biosfera**, Goiania, GO, v. 2, n. 2/2006, 2006. Não paginado.

SÃO LEOPOLDO. Secretaria Municipal do Meio Ambiente. **2º Relatório de Geração de Resíduos Sólidos: Avaliação crítica – Quantidades e tendências**. São Leopoldo, 2009a.

SÃO LEOPOLDO. Secretaria Municipal do Meio Ambiente. **Avaliação da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos de São Leopoldo de 2009:** Comparativo ao estudo de 2006. São Leopoldo, 2009b.

SÃO LEOPOLDO. **Dados da cidade de São Leopoldo.** Disponível em: <<http://www.saoleopoldo.rs.gov.br/home>>. Acesso em: 2 mai. 2013.

SCHALCH, Valdir et al. **Gestão e Gerenciamento de Resíduos Sólidos.** Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos – Departamento de Hidráulica e Saneamento. São Carlos, SP, 2008. Disponível em: <http://www.deecc.ufc.br/Download/Gestao_de_Residuos_Solidos_PGTGA/Apostila_Gestao_e_Gerenciamento_de_RS_Schalch_et_al.pdf>. Acesso em: 2 mai. 2013.

SCHNEIDER, Diego Fernando. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos de São Leopoldo-RS.** 2012. 74 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Ambiental) -- Curso de Engenharia Ambiental. Universidade Luterana do Brasil, Canoas, RS, 2012.

SILVA, Sandra Márcia Cesário Pereira da; FERNANDES, Fernando. Co-Compostagem de biosólidos, lodo de tratamento de água e resíduos de podas de árvores. In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, XXVI., 1998, Lima, Perú. **Anais eletrônicos ...** Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/resisoli/peru/brares187.pdf>>. Acesso em: 04 abr. 2013.

SILVA, Francisca Alcivania de Melo; VILLAS BÔAS, Roberto Lyra. Teste de germinação como indicador de maturação em composto orgânico. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 22, n. 3, p. 63-73, 2007.

SILVA, Lucimar Novaes da. **Processo de compostagem com diferentes porcentagens de resíduos sólidos agroindustriais.** 2007. 59 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) -- Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, PR, 2007.

SOARES, América Maria Eleuthério et al.. Perfil longitudinal de *Escherichia Coli* e ovos de helmintos em um sistema reator UASB/lagoa de polimento com chicanas. In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, XXVII., 2000, Porto Alegre, Brasil. **Anais eletrônicos ...** Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/aresidua/i-106.pdf>>. Acesso em: 04 abr. 2013.

SOUZA, Antunes, et al. Avaliação de doses e produtos corretores da acidez em variáveis biométricas na produção de mudas de maracujazeiro. **Acta Scientiarum. Agronomy [em linha]** Maringá, PR, v. 3, n. 4, out - dez. 2009. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=303026589009>> Acesso em: 11 mar. 2014.

TORTORA, G.J.; FUNKE, B.R.; CASE, C.L. **Microbiologia** . 6. Ed. Porto Alegre: Artmed, 2000.

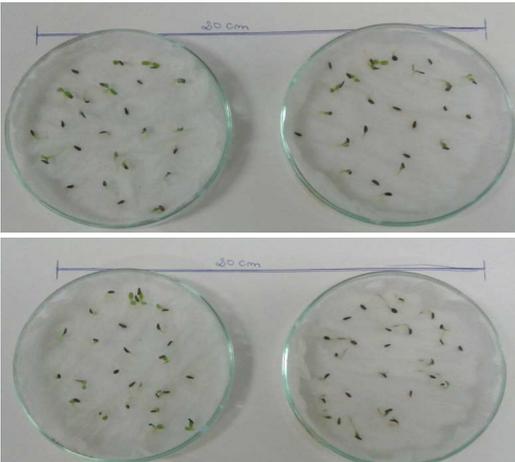
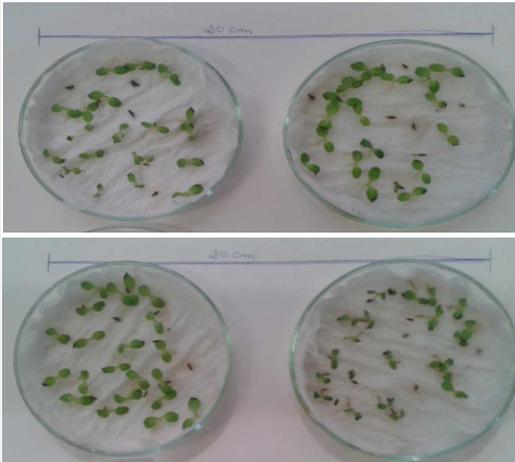
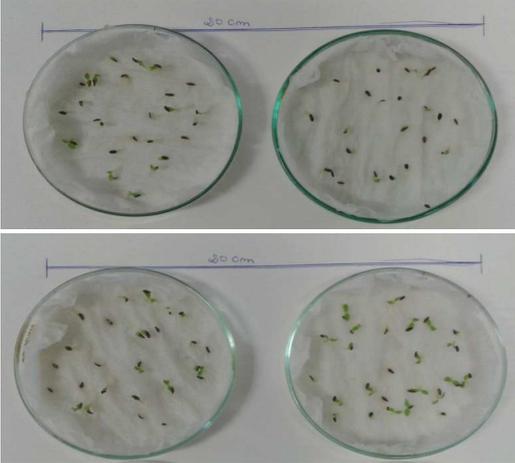
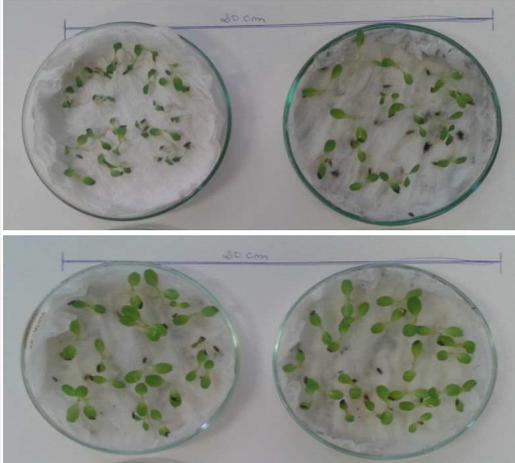
VERAS, Luciana Rodrigues Valadares; POVINELLI, Jurandyr. A vermicompostagem do lodo de lagoas de tratamento de efluentes industriais consorciada com composto de lixo urbano. **Revista Engenharia Sanitária Ambiental**, São Paulo, v. 9, n. 3, p. 218-224, 2004.

LU, Yanjun, WU, Xingwu, GUO, Jifeng, Characteristics of municipal solid waste and sewage sludge co- composting. **Waste Management**, New York, v. 29, n. 1, p. 1152-1557, 2009.

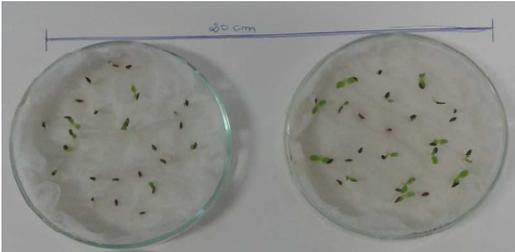
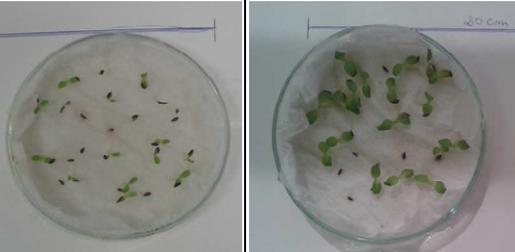
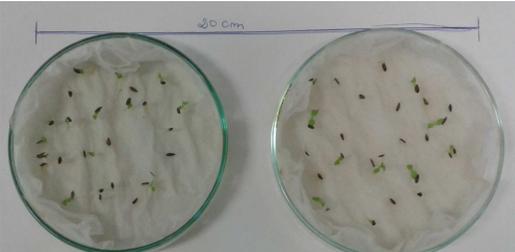
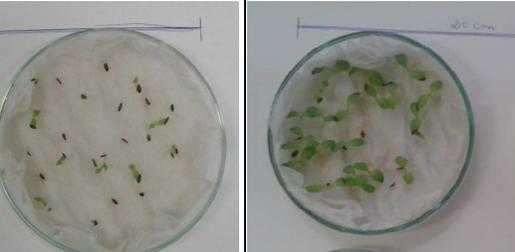
ZERBINI, Adriana Molina; CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos; VIANA, Evelin Márcia. Estudo da remoção de ovos de helmintos e indicadores bacterianos em um sistema de tratamento de esgotos domésticos por reator anaeróbio e aplicação superficial no solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20., 1999, Rio de Janeiro, RJ. **Anais eletrônicos ...** Disponível em: < <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsaidis/brasil20/i-159.pdf> >. Acesso em: 12 jan. 2013.

APÊNDICE A

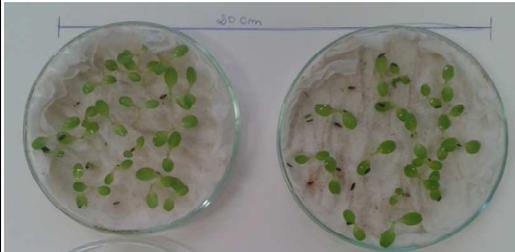
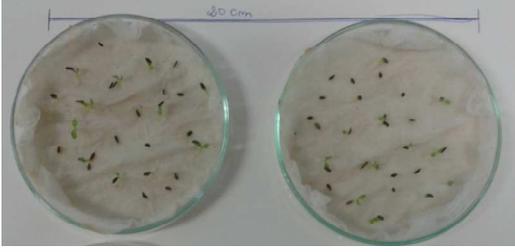
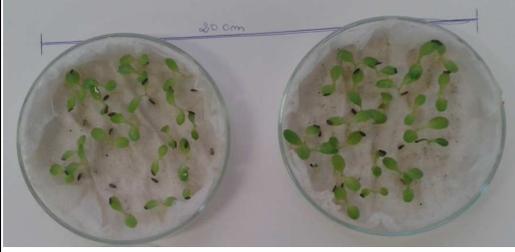
Germinação de sementes em contato com resíduos de marmoraria puro e em diferentes proporções de misturas com compostos orgânicos

Tratamento	Amostra	1ª contagem (4º dia)	5º dia	6º dia	última contagem (7º dia)	PGV (%)	IVG (máx 100)	Registro Fotografico (1ª contagem)	Registro Fotografico (última contagem)
1	Marmoraria 100%	69	79	81	82	82	74,9		
2	Marmoraria 70% Fertilizante NT 30%	81	87	87	87	87	84,0		

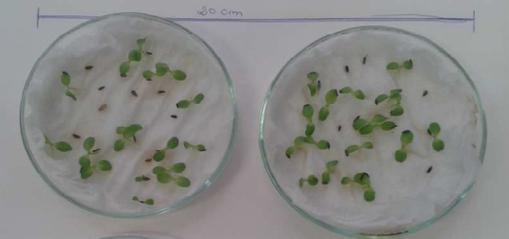
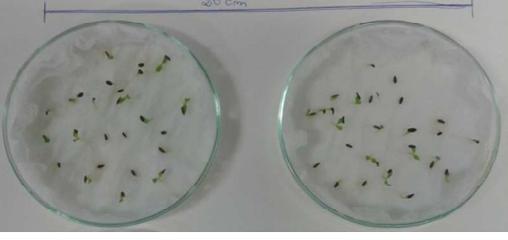
Germinação de sementes em contato com resíduos de marmoraria puro e em diferentes proporções de misturas com compostos orgânicos

Tratamento	Amostra	1ª contagem (4º dia)	5º dia	6º dia	última contagem (7º dia)	PGV (%)	IVG (máx 100)	Registro Fotografico (1ª contagem)	Registro Fotografico (última contagem)
3	Marmoraria 70% Fertilizante Tr 30%	76	78	78	78	78	77,0		
									
4	Marmoraria 50% Fertilizante NT 50%	72	82	84	84	84	77,7		
									

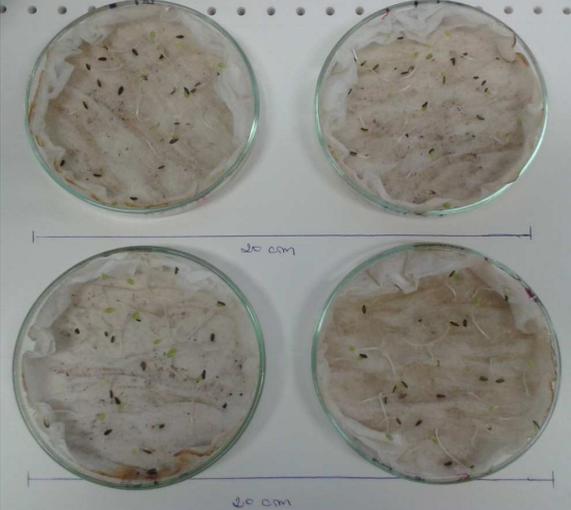
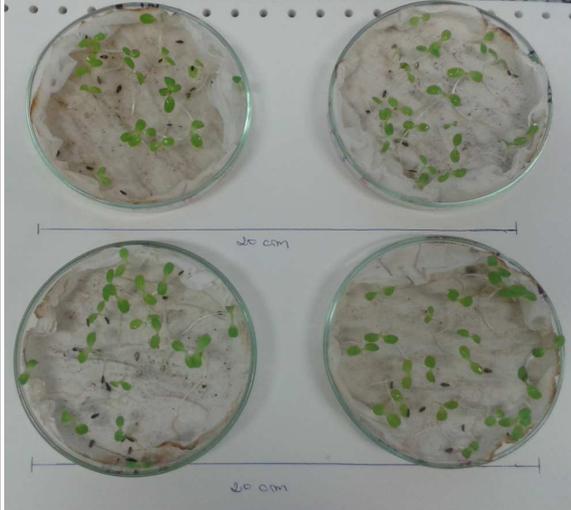
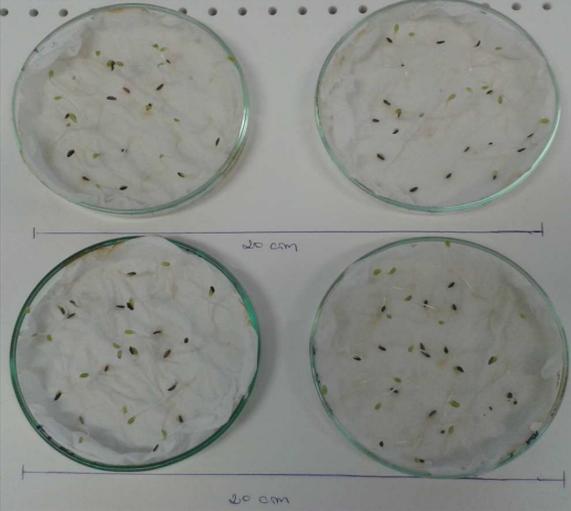
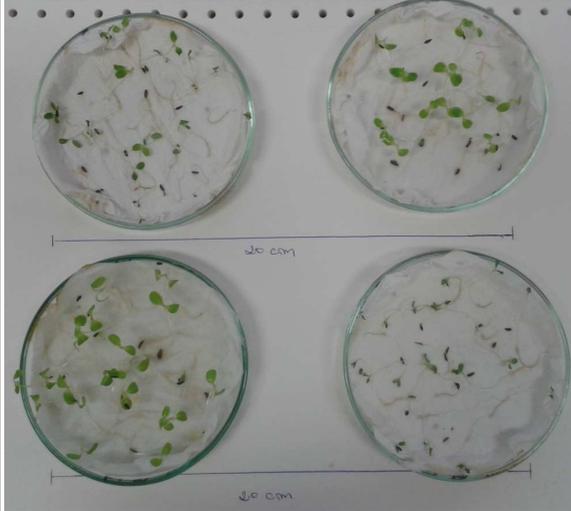
Germinação de sementes em contato com resíduos de marmoraria puro e em diferentes proporções de misturas com compostos orgânicos

Tratamento	Amostra	1ª contagem (4º dia)	5º dia	6º dia	última contagem (7º dia)	PGV (%)	IVG (máx 100)	Registro Fotografico (1ª contagem)	Registro Fotografico (última contagem)
5	Marmoraria 50% Fertilizante Tr 50%	71	82	83	83	83	76,8		
6	Marmoraria 30% Fertilizante NT 70%	83	84	84	84	84	83,5		
									

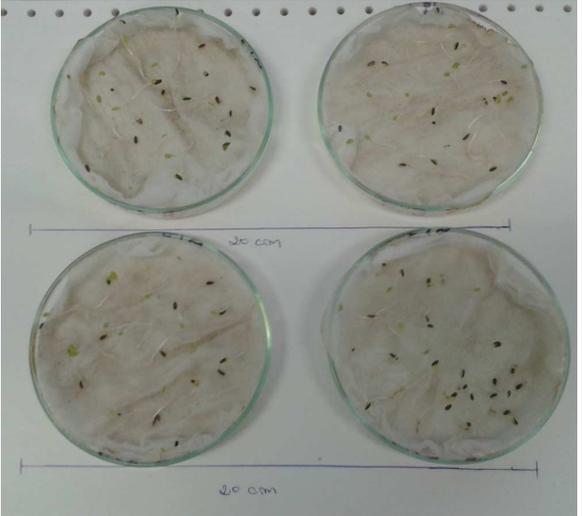
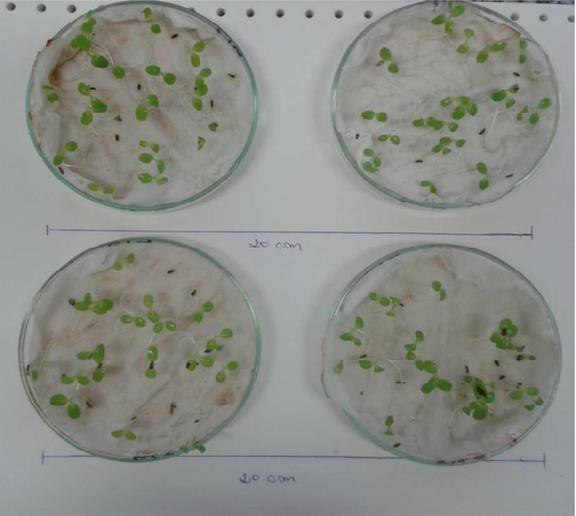
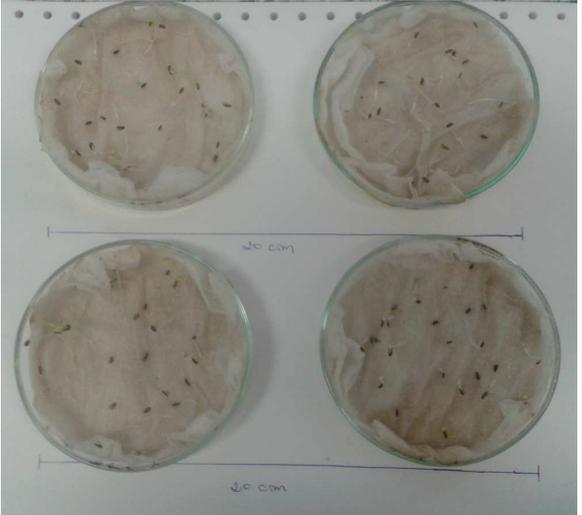
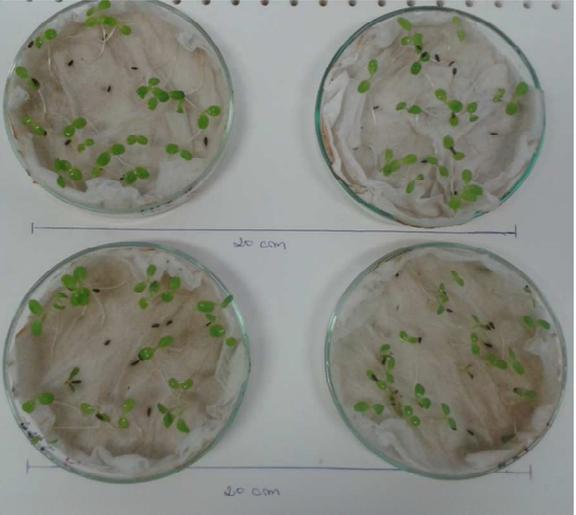
Germinação de sementes em contato com resíduos de marmoraria puro e em diferentes proporções de misturas com compostos orgânicos

Tratamento	Amostra	1ª contagem (4º dia)	5º dia	6º dia	última contagem (7º dia)	PGV (%)	IVG (máx 100)	Registro Fotografico (1ª contagem)	Registro Fotografico (última contagem)
7	Marmoraria 30% Fertilizante Tr 70%	73	80	81	81	81	76,8		
Branco	-	67	72	73	73	73	69,8		
									

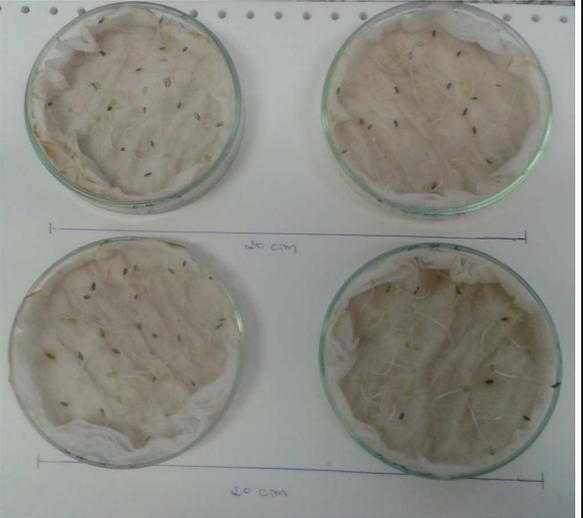
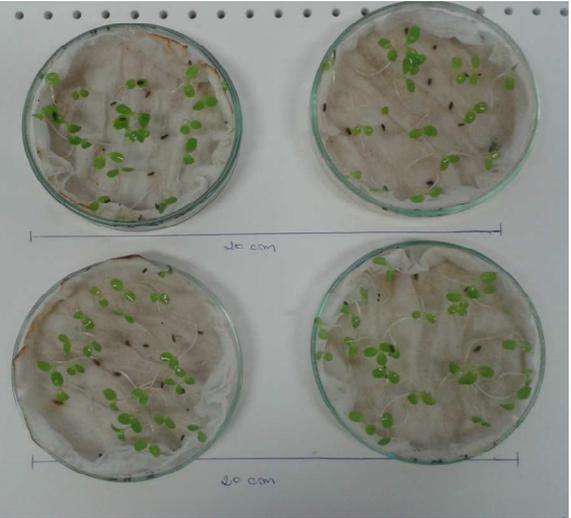
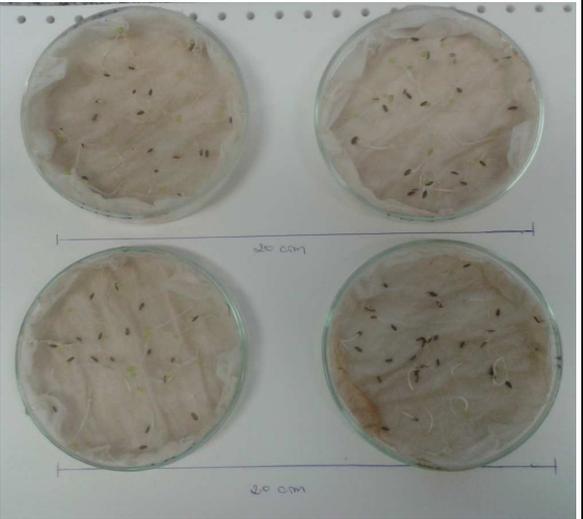
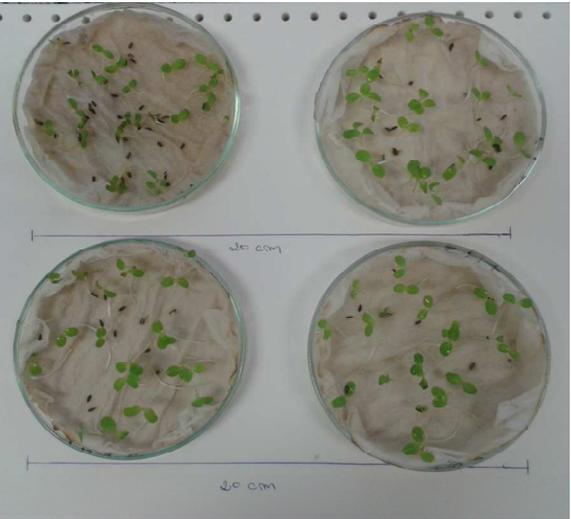
Germinação de sementes em relação aos compostos orgânicos gerados pelas pilhas de compostagem

Amostra	1ª contagem (4º dia)	5º dia	6º dia	última contagem (7º dia)	PGV (%)	IVG (máx 100)	Registro Fotografico (1ª contagem)	Registro Fotografico (última contagem)
P1	63	77	83	85	85	72,5		
P2	68	79	81	82	82	74,4		

Germinação de sementes em relação aos compostos orgânicos gerados pelas pilhas de compostagem

Amostra	1ª contagem (4º dia)	5º dia	6º dia	última contagem (7º dia)	PGV (%)	IVG (máx 100)	Registro Fotografico (1ª contagem)	Registro Fotografico (última contagem)
P3	65	75	77	78	78	70,9		
P4	66	70	77	84	84	72,1		

Germinação de sementes em relação aos compostos orgânicos gerados pelas pilhas de compostagem

Amostra	1ª contagem (4º dia)	5º dia	6º dia	última contagem (7º dia)	PGV (%)	IVG (máx 100)	Registro Fotografico (1ª contagem)	Registro Fotografico (última contagem)
P5	78	80	82	83	83	79,9		
P6	68	81	82	82	82	74,8		

Germinação de sementes em relação aos compostos orgânicos gerados pelas pilhas de compostagem

Amostra	1ª contagem (4º dia)	5º dia	6º dia	última contagem (7º dia)	PGV (%)	IVG (máx 100)	Registro Fotografico (1ª contagem)	Registro Fotografico (última contagem)
Branco	58	76	80	83	83	69,1	