



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR-CCTA
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL UACTA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

LUARA LOURENÇO ISMAEL

**DESEMPENHO DE PROCESSOS DE COMPOSTAGEM EM PEQUENA
ESCALA: um estudo comparativo no semiárido Paraibano**

POMBAL – PB

2014

LUARA LOURENÇO ISMAEL

**DESEMPENHO DE PROCESSOS DE COMPOSTAGEM EM PEQUENA
ESCALA: um estudo comparativo no semiárido Paraibano**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Camilo Allyson Simões de Farias.

POMBAL– PB

2014

LUARA LOURENÇO ISMAEL

**DESEMPENHO DE PROCESSOS DE COMPOSTAGEM EM PEQUENA
ESCALA: um estudo comparativo no semiárido Paraibano**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Camilo Allyson Simões de Farias.

Aprovado em 13 de março de 2014.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Camilo Allyson Simões de Farias (CCTA/UFCG)
Orientador

Prof. Dr. Walker Gomes de Albuquerque (CCTA/UFCG)
Examinador Interno

Dr.^a Aline Costa Ferreira (CEDAC)
Examinadora Externa

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me proporcionado o dom da vida estando presente em todos os momentos me dando força, sabedoria e paciência para alcançar meus objetivos.

Aos meus pais Valderi e Lucinilda, e minha irmã Laura Lavinny por serem o alicerce da minha existência, sempre me apoiando nos momentos bons e nas dificuldades enfrentadas para a realização dessa conquista.

A todos os meus familiares pelo carinho e apoio que tem me proporcionado.

Ao meu namorado pela paciência e compreensão nos dias de estudo.

À Universidade Federal de Campina Grande-UFCG, em especial ao Curso de Engenharia Ambiental, pela oportunidade e pelos ensinamentos.

A todos os professores, que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste sonho, em especial Camilo Farias, Manoel Moisés, Juliana Moreira, Ricardo Schmidt, Valmir Marques, José Cleidimário, Helber Rangel, Érica Cristine, Roberto Cleiton, José Roberto, Djane Leite, Gustavo Sales, dentre outros.

Aos meus amigos de turma em especial minhas amigas Kátia Barbosa, Thâmara Martins, Fernanda Carolina, Raissa Borges e Halana Oliveira pelo companheirismo e ajuda nos momentos de dificuldade da carreira acadêmica.

Aos amigos Rafaela Alves e Emanuel Farias, pelo auxílio durante a realização das atividades desenvolvidas no laboratório de Resíduos Sólidos - LABRES.

Ao meu orientador Camilo Allyson Simões de Farias, pela confiança depositada, paciência, orientando-me com dedicação e compromisso, sempre em busca de novos conhecimentos para a realização dos meus objetivos.

Ao Prof. Walker Gomes e Prof.^a Aline Costa por contribuírem com suas experiências profissionais participando da defesa deste trabalho.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para realização deste trabalho e da minha formação durante esses cinco anos.

RESUMO

Estima-se que cerca da metade dos resíduos sólidos gerados no Brasil é composto por resíduos orgânicos (IBGE, 2010). Uma vez que estes resíduos possuem a característica de biodegradabilidade, o uso de processos de compostagem para o seu tratamento torna-se bastante atrativo. Este estudo verificou a aplicabilidade de três tipos de composteiras e de uma pilha de compostagem para reciclagem de resíduos sólidos orgânicos em pequena escala, dando uma alternativa útil para a problemática dos resíduos sólidos orgânicos e devolvendo ao meio ambiente um produto final na forma de fertilizante orgânico. A metodologia consistiu em avaliar e monitorar os processos de compostagem para os diferentes tipos de composteiras e para a pilha de compostagem durante 81 dias. O monitoramento fundamentou-se na correção da relação C/N, umidade e oxigenação, e na observação dos parâmetros: temperatura, sólidos voláteis, pH, redução de massa seca, umidade e condutividade elétrica. Comparando-se o desempenho do processo de compostagem desenvolvido na pilha com aqueles conduzidos nas minicomposteiras, observou-se que a pilha mostrou-se mais eficiente na maior parte dos parâmetros monitorados, alcançando temperaturas termofílicas, uma redução no percentual de sólidos voláteis de 43,71% e condutividade elétrica final de 4,17 ds m⁻¹. Os resultados também sugerem que, dentre os três tipos de composteiras avaliadas, as construídas com garrações de água foram as que mais se destacaram, principalmente por atingir as maiores reduções nos parâmetros sólidos voláteis e massa seca. Os compostos produzidos atenderam praticamente todos os requisitos mínimos para fins comerciais, conforme IN 25/2009 do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Dessa forma, os processos de compostagem em pequena escala desenvolvidos nesta pesquisa mostraram-se eficazes para tratamento dos resíduos sólidos orgânicos e viáveis para aplicação em condições semiáridas.

Palavras-Chaves: Resíduos sólidos orgânicos, composteiras, Política Nacional de Resíduos Sólidos.

ABSTRACT

It is estimated that around half of the solid wastes generated in Brazil is composed of organic wastes (IBGE, 2010). Since these wastes have the characteristic of biodegradability, the use of composting processes for its treatment becomes very attractive. This study examined the applicability of three types of composting bins and a compost pile for recycling organic solid wastes on a small scale so that to provide a useful alternative to tackle the problem of organic solid wastes and return to the environment a final product in the form of organic fertilizer. The methodology consisted of assessing and monitoring the composting processes for the different types of composters. The monitoring of the mixture of organic wastes was based on the correction of C/N ratio, moisture and oxygenation, and observation of the parameters: temperature, volatile solids, pH, dry matter reduction and electrical conductivity. Comparing the performance of the composting process developed in the pile with those conducted in composting bins, it was observed that the pile proved to be more efficient in most of the monitored parameters. The results also suggest that among the three types of composting bins evaluated, the ones constructed with water bottles stood out, especially for achieving the largest reductions in the parameters volatile solids and dry matter. The produced compounds attended almost all the minimum requirements for commercial purposes, as stated by the Instruction nº 25/2009 of the Ministry of Agriculture, Livestock and Supply, Brazil. Thus, the small-scale composting processes developed in this study were shown to be effective for the treatment of organic wastes and viable for semiarid conditions.

Key-words: Organic solid wastes, composting bins, Solid Waste National Policy.

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – Curva padrão de variação de temperatura durante o processo de compostagem	21
GRÁFICO 2 – Temperaturas médias ao longo dos processos de compostagem..	47
GRÁFICO 3 – Valores médios de sólidos voláteis em função dos dias de compostagem.....	49
GRÁFICO 4 – Variação do comportamento do pH em função dos dias de compostagem.....	50
GRÁFICO 5 – Reposição de Água Acumulada.....	52

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Pátio de Compostagem	31
FIGURA 2 – Fluxograma representativo do processo de compostagem realizado nesta pesquisa	32
FIGURA 3 – (a) Garrações de água de 20L e (b) minicomposteiras confeccionadas	33
FIGURA 4 – Minicomposteira de PVC mostrando (a) abertura no centro e (b) encaixada no suporte metálico.....	34
FIGURA 5 – (a) Caixotes plásticos e (b) minicomposteiras confeccionadas.....	34
FIGURA 6 – Resíduos utilizados no processo de compostagem: (a) cascas de frutas e verduras trituradas, (b) cascas de banana, (c) esterco bovino, (d) folhas de mangueira triturada, restos de gramas trituradas (e) e (f) os resíduos distribuídos no pátio de compostagem.....	36
FIGURA 7 – (a) Trituração das cascas de banana e (b) trituração das cascas de frutas e verduras.....	38
FIGURA 8 – (a) Mistura dos resíduos e (b) massa de resíduos a ser compostada.....	38
FIGURA 9 – (a) Minicomposteiras com resíduos e (b) pilha de compostagem de pequena escala.....	40
FIGURA 10 – (a) Termômetro utilizado para medir a temperatura, (b) medição da temperatura no tubo de PVC e (c) medição de temperatura na pilha de compostagem.....	42
FIGURA 11 – (a) Revolvimento da pilha de compostagem, (b) revolvimento dos resíduos nos caixotes plásticos e (c) nos tubos de PVC.....	42
FIGURA 12 – (a) Balança determinadora de umidade, (b) correção da umidade na pilha e (c) correção de umidade nos caixotes plásticos.....	43
FIGURA 13 – (a) Medidor de pH de bancada e (b) determinação de pH em uma amostra.....	44
FIGURA 14 – (a) Mufla determinadora de sólidos voláteis e (b) combustão da amostra.....	44

FIGURA 15 – (a) Composto finalizado e (b) processo de peneiramento do 54
composto.....

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Garantias mínimas exigidas para que os fertilizantes orgânicos mistos e compostos de Classe “A” possam ser comercializados de acordo com a IN n.º 25 de 23 de julho de 2009.....	28
TABELA 2 – Caracterização físico-química dos resíduos orgânicos no início do processo.....	37
TABELA 3 – Massa úmida de resíduos utilizados no processo de compostagem.	39
TABELA 4 – Caracterização da Mistura de resíduos orgânicos.....	39
TABELA 5 – Massa úmida de resíduos distribuída para os tipos de minicomposteiras e para pilha.....	40
TABELA 6 – Redução de massa seca da pilha e das minicomposteiras.....	51
TABELA 7 – Condutividade Elétrica da Pilha e das Minicomposteiras.....	53
TABELA 8 – Caracterização físico-química do composto final.....	55
TABELA 9 – Características físico-químicas dos compostos finais e valores de referência para os parâmetros analisados especificados pela IN n.º 25 de 23/07/2009.....	57

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS.....	15
1.1.1 Objetivo Geral	15
1.1.2 Objetivos Específicos	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 VISÃO GERAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS.....	16
2.2 COMPOSTAGEM.....	18
2.2.1 Breve Histórico	19
2.2.2 Fases da Compostagem	19
2.2.3 Fatores Intervenientes no Processo	20
2.2.3.1 <i>Temperatura</i>	20
2.2.3.2 <i>Relação C/N</i>	21
2.2.3.3 <i>Umidade</i>	23
2.2.3.4 <i>Aeração</i>	23
2.2.3.5 <i>pH</i>	25
2.2.3.6 <i>Granulometria</i>	25
2.2.4 O Papel dos Microorganismos	26
2.3 QUALIDADE DO COMPOSTO ORGÂNICO FINAL.....	27
2.4 COMPOSTAGEM EM PEQUENA ESCALA.....	29
3 MATERIAIS E MÉTODOS	31
3.1 LOCAL E PERÍODO DE REALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO.....	31
3.2 CONFECÇÃO DAS MINICOMPOSTEIRAS.....	33
3.2.1 Minicomposteiras de garraões de água de 20L	33
3.2.2 Minicomposteiras de PVC	33
3.2.3 Minicomposteiras de caixotes plásticos	34
3.3 COLETA E CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS ORGÂNICOS.	35

3.3.1 Caracterização físico-química dos resíduos utilizados.....	37
3.4 TRITURAÇÃO E MISTURA DOS RESÍDUOS.....	38
3.5 MONITORAMENTO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS....	41
3.5.1 Temperatura.....	41
3.5.2 Aeração.....	42
3.5.3 Umidade.....	43
3.5.4 pH.....	43
3.5.5 Sólidos Voláteis.....	44
3.5.6 Redução de Massa Seca.....	45
3.5.7 Condutividade Elétrica.....	45
3.5.8 Relação C/N.....	45
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	46
4.1. MONITORAMENTO DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM.....	46
4.1.1 Temperatura.....	46
4.1.2 Sólidos Voláteis.....	48
4.1.3 pH.....	50
4.1.4 Redução de Massa Seca.....	51
4.1.5 Umidade.....	52
4.1.6 Condutividade Elétrica.....	53
4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS COMPOSTOS FINAIS.....	54
4.3 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DOS COMPOSTOS FINAIS.....	54
5 CONCLUSÕES.....	59
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61

1 INTRODUÇÃO

O aumento da população e do incentivo ao consumo, juntamente com os processos de urbanização e industrialização, vêm proporcionando uma exploração constante dos recursos naturais, acarretando em uma crescente e diversificada geração de resíduos sólidos e na conseqüente necessidade de destinação final adequada para estes (BRASIL, 2010; JUNKES, 2002).

Considerando a quantidade de resíduos produzida e a precariedade da sua disposição final na maior parte dos municípios brasileiros, que normalmente depositam os seus resíduos em lixões ou aterros controlados, faz-se necessário a aplicação de um correto gerenciamento destes, uma vez que o manejo inadequado de resíduos sólidos de qualquer origem constitui uma ameaça à saúde pública e contribui para formações de situações de vulnerabilidade ambiental, social e econômica, comprometendo a qualidade de vida das populações, sobretudo nos centros urbanos de médio e grande porte (IBGE, 2010; TREVISAN, 2011).

Quando se fala em resíduos sólidos, os orgânicos provenientes de atividades domiciliares, restos de agricultura e de estabelecimentos comerciais e industriais contribuem significativamente para o volume depositado de forma incorreta e não sustentável. Os resíduos orgânicos, principalmente os domiciliares, são mais pesados para o transporte, possuem um odor desagradável, e quando dispostos em lixões ou em outros locais, contaminam os recicláveis secos, dificultando o processo de reciclagem, e, além disso, geram um líquido escuro altamente poluente denominado de chorume. O chorume pode conter metais pesados, microorganismos patogênicos e possuir alta concentração de matéria orgânica, podendo contaminar não só o solo, mas também os recursos hídricos (MONTEIRO et al., 2001; TREVISAN, 2011).

Outra problemática evidenciada por meio do descarte de resíduos sólidos orgânicos em locais inadequados refere-se à proliferação de vetores, tais como insetos, ratos e outros animais infectados, que podem ocasionar sérios problemas de saúde aos seres humanos. Além disso, durante o processo de decomposição dos resíduos há liberação de gases de efeito estufa, principalmente o metano e o gás carbônico. Os depósitos inadequados de resíduos propiciam também condições

impróprias de higiene para os catadores que ali trabalham e obtém o seu sustento (MARAGNO, 2005).

Segundo Spader (2005), a reciclagem de materiais orgânicos se apresenta como uma importante alternativa para a retirada da elevada quantidade destes resíduos do lixo. Esses orgânicos podem ser tratados de diversas formas, sendo a compostagem um método largamente utilizado, principalmente pelo fato de grande parte dos resíduos serem de fácil biodegradabilidade, ou seja, de fácil decomposição.

Para Bidone (2001), a compostagem é um processo biológico aeróbio e controlado, no qual ocorre a transformação de resíduos orgânicos em resíduos estabilizados, com propriedades e características completamente diferentes do material que lhe deu origem.

A compostagem, além de ser uma das soluções para o problema dos resíduos sólidos orgânicos, reduzindo o volume final dos rejeitos, produz um material formado por nutrientes minerais e húmus, que representa o produto mais estável da degradação das substâncias orgânicas, podendo ser utilizado como substituto de produtos químicos usados na adubação e na recuperação de solos (PEREIRA NETO, 2007).

Brito (2008) afirma que o processo de compostagem diferencia-se da decomposição natural que ocorre na natureza por ser um processo controlado, ou seja, com interferências humanas, que busca a obtenção de um produto de melhor qualidade, dentro dos padrões exigidos pela legislação e em um curto espaço de tempo.

Como um processo biológico, a compostagem é influenciada por todos os fatores que comumente afetam a atividade microbológica, dentre esses os principais são: umidade, oxigenação, temperatura, tamanho das partículas, concentração de nutrientes e pH (PEREIRA NETO, 2007).

Apesar do processo de compostagem ser uma prática bastante antiga no meio rural, o maior desafio é realizá-la em ambientes menores, já que uma grande parcela da população urbana desconhece a técnica. A consolidação e disseminação da prática da compostagem são principalmente dificultadas pela falta de um sistema apropriado, de fácil manejo, e que possa ser realizado com pequenas quantidades de resíduos. Uma das soluções para estas dificuldades, por exemplo, é o uso de minicomposteiras (MARAGNO, 2005). Assim, uma alternativa bastante viável é a

utilização do processo de compostagem nas próprias residências, onde o composto produzido poderá ser utilizado em jardins e hortas (SPADER, 2005).

O uso de minicomposteiras feitas de materiais que sejam de fácil aquisição e de simples manejo apresenta-se como uma alternativa interessante na aplicação do processo de compostagem em pequena escala, pois além de reduzir a quantidade de resíduos, proporciona uma série de benefícios que envolvem a aplicação do produto final.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar e comparar três diferentes tipos de minicomposteiras e uma pilha de compostagem para reciclagem de resíduos sólidos orgânicos em pequena escala no semiárido paraibano.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Confeccionar as minicomposteiras investigadas nesta pesquisa;
- Caracterizar os resíduos a serem utilizados no processo de compostagem;
- Monitorar os parâmetros físicos e químicos dos diferentes processos de compostagem;
- Caracterizar e comparar os produtos finais obtidos, avaliando a eficiência dos compostos produzidos nas composteiras e na pilha de compostagem;
- Avaliar se os compostos finais se encontram em conformidade com os padrões estabelecidos pela IN n.º 25 de 23/07/2009 do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 VISÃO GERAL SOBRE OS RESÍDUOS SÓLIDOS

A ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – (ABNT), por meio da Norma Brasileira Regulamentadora (NBR) 10.004 de 2004, define resíduos sólidos como:

Resíduos nos estados sólidos e semissólidos, que resultam de atividades da comunidade de origem: industrial, domiciliar, 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. (ABNT, 2004, p.1).

Nos últimos anos uma das grandes problemáticas ambientais que vem sendo discutidas diz respeito à geração desenfreada dos resíduos sólidos e sua disposição final. Segundo Bernado (2008), são produzidos diariamente no Brasil 241 mil toneladas de lixo, percentual este que vem intensificando-se em decorrência do alto padrão de consumo, característica marcante do atual sistema econômico, que ao induzir ao consumo excessivo de produtos acaba por agravar mais ainda a problemática que envolve a destinação correta dos resíduos.

Dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - PNSB (2008) realizada pelo INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE (2010), revelam que 50,8% dos municípios brasileiros depositam seus resíduos em lixões a céu aberto, 22,5% em aterros controlados e apenas 27,7% em aterros sanitários. Situação esta que se enquadra em um cenário alarmante de disposição final inadequada, onde infelizmente os lixões e os aterros controlados ainda são as alternativas mais utilizadas, devido principalmente à redução de gastos na aplicação de soluções estruturais para o setor.

No ano de 2010, a Lei Federal nº 12.305/2010 instituiu no Brasil a Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS. Essa lei determina as responsabilidades dos geradores, do poder público e os instrumentos econômicos aplicáveis sobre a gestão integrada e o gerenciamento de resíduos sólidos. Além disso, exige que no ano de 2014 todos os lixões do Brasil sejam desativados.

De acordo com a NBR 10.004 (ABNT, 2004), os resíduos podem ser enquadrados quanto aos riscos potenciais de contaminação do meio ambiente nas seguintes classes:

- a) **Resíduos classe I** - perigosos: são aqueles que apresentam inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade. Esses resíduos apresentam risco à saúde pública, provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices ou riscos ao meio-ambiente quando gerenciados de forma inadequada.

- b) **Resíduos classe II** – não perigosos: subdividem-se em classe II A – não inertes e classe II B – inertes.
 - **Resíduos classe II A** - não perigosos e não inertes: apresentam propriedades como combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água, podendo acarretar riscos a saúde ou ao meio ambiente.
 - **Resíduos classe II B** - não perigosos e inertes: são os resíduos que quando submetidos a um contato dinâmico ou estático com água destilada ou ionizada, à temperatura ambiente, não tenham nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, excetuando-se, aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor. Têm-se como exemplo, restos de construção, entulhos de demolição, pedras e areias retiradas de escavações e outros. Esses resíduos não oferecem riscos à saúde humana e ao meio ambiente.

Os resíduos de natureza orgânica são enquadrados na Classe II – Não Inertes, devido a sua característica de biodegradabilidade.

No Brasil, estima-se que de 50% a 60% dos resíduos gerados são compostos por resíduos sólidos orgânicos. É nesse embasamento que Brito (2008) defende a necessidade da adoção de técnicas de tratamento de resíduos, indicando a compostagem como um processo de alta viabilidade de uso no país. Na Lei Federal nº 12.305/2010 em seu Caput II, art. 3.º, inciso VII, o processo de compostagem é considerado uma forma de destinação final ambientalmente adequada.

2.2 COMPOSTAGEM

Segundo Kiehl (1998), o termo compostagem vem do vocábulo *compost*, da língua inglesa e indica o fertilizante orgânico preparado a partir de restos vegetais e animais. De acordo com Pereira Neto (2007 p.17), “entende-se por composto orgânico o produto final da compostagem, ou seja, degradação, mineralização e humificação de resíduos orgânicos, obtido através de processo aeróbio controlado”.

A biodegradação controlada dos resíduos orgânicos é uma medida fundamental para viabilizar o potencial de fertilização da matéria orgânica, buscando evitar que fatores adversos existentes no meio e advindos de problemas ambientais sanitários, econômicos, dentre outros, interfiram no processo (PEREIRA NETO, 2007).

A compostagem também pode ser definida como um processo de reciclagem de matéria orgânica realizada por microrganismos sob condições adequadas, de forma a se obter um composto orgânico rico em sais minerais, contendo nutrientes para as raízes das plantas, e húmus, como condicionador e melhorador das propriedades físico-químicas e biológicas do solo.

Segundo Loureiro et al., (2007), a adequação da reciclagem dos resíduos domiciliares resolve a questão ambiental e, em contrapartida, promove a geração de insumos orgânicos para a agricultura, o que é um dos aspectos mais importantes envolvidos nesse sistema de produção.

Dentre as principais vantagens atribuídas a compostagem destaca-se: redução da metade do problema dos resíduos sólidos urbanos dando um destino útil aos resíduos orgânicos, evita a acumulação dos resíduos em aterro, processo simples e de baixo custo, economia na coleta e transporte dos resíduos sólidos, economia no tratamento de efluentes, aproveitamento agrícola da matéria orgânica, reciclagem de nutrientes para o solo e para as plantas, redução no uso de fertilizantes ao solo, processo ambientalmente seguro, dentre outras.

A compostagem compreende uma medida que atende a objetivos sanitários (eliminação de doenças, vetores), ambientais (controle da poluição), econômicos (geração de divisas para a economia da região), sociais (absorção de mão-de-obra, participação comunitária e eliminação de catadores) e agrícolas (desenvolvimento de práticas agrícolas de baixo custo) (PEREIRA NETO, 2007).

2.2.1 Breve Histórico da Compostagem

Desde a antiguidade, já existiam relatos do uso da compostagem. Segundo Cordeiro (2010), desde sempre ocorreu na natureza a degradação biológica da matéria orgânica, mais conhecido como “compostagem natural” envolvendo vegetação morta (folhas caídas das árvores, plantas secas, restos de árvores, etc.), assim como dejetos de animais.

Um dos primeiros registros da aplicação desta técnica no âmbito da agricultura é marcado no período do Império de Akkad, na Mesopotâmia, há cerca de 4500 anos atrás, sendo que desde então diversas civilizações, incluindo chineses, egípcios, gregos e romanos, amontoavam em pilhas a matéria vegetal, estrume, restos de comida e outros tipos de resíduos orgânicos deixando-os a decompor e a estabilizar até estarem prontos para serem devolvidos ao solo colaborando para sua fertilidade e produtividade (SANTOS, 2007).

De acordo com Bender (2009), o agrônomo inglês Albert Howard realizou na Índia, em 1920, estudos demonstrando as qualidades da compostagem, desenvolvendo o processo Indore e maximizando a ciclagem de nutrientes provenientes de resíduos domiciliares, lixo e lodo de esgoto.

No Brasil, Dafert, diretor do Instituto Agrônomo de Campinas, foi quem apresentou entre os anos de 1888 e 1893 os primeiros relatórios explicando como preparar e incentivando o uso de composto orgânico (PIRES, 2011). Nos anos seguintes, muitos trabalhos científicos lançaram as bases para o desenvolvimento desta técnica, que hoje é amplamente difundida sendo ser utilizada em pequena e grande escala.

2.2.2 Fases da Compostagem

A compostagem de modo geral divide-se em quatro fases conforme cita Pereira Neto (2007), sejam elas: uma fase de aquecimento (primeiras 24 horas), uma fase de degradação ativa, uma de resfriamento e posteriormente uma fase de maturação.

Inicialmente com o empilhamento dos resíduos o processo degradativo é marcado pela predominância da flora microbiana mesofílica ativos à temperaturas de

(30-45°C), a energia liberada na forma de calor fica retida na massa de compostagem ocasionando o aumento da temperatura. Com condições favoráveis (umidade, aeração, nutrientes etc.), os microrganismos mesofílicos multiplicam-se aumentando a atividade de degradação e, conseqüentemente, a temperatura atinge rapidamente a faixa termofílica (45-60 °C), de forma a permitir a oxidação intensa da matéria orgânica e a eliminação da maioria dos microrganismos patogênicos. Em seguida, inicia-se a fase de resfriamento e maturação, onde ocorrem reações predominantemente de ordem química, com predominância de processos de humificação e mineralização, que resultam em um composto orgânico rico em nutrientes e com propriedades físicas adequadas para agricultura. A temperatura aqui se encontra próxima à temperatura ambiente e a atividade microbiológica é restringida (PEREIRA NETO, 2007).

2.2.3 Fatores Intervenientes no Processo de Compostagem

A compostagem por se tratar de um processo essencialmente biológico, esta condicionada a todos os parâmetros que intervêm a atividade microbiana, tais como: temperatura, relação carbono/nitrogênio (C/N), umidade, aeração, pH e granulometria (PEREIRA NETO, 2007).

2.2.3.1 Temperatura

A temperatura é um fator determinante no processo, sendo por meio desta uma forma de se determinar se a operação de compostagem se processa como desejável, pois funciona como indicativo do equilíbrio biológico.

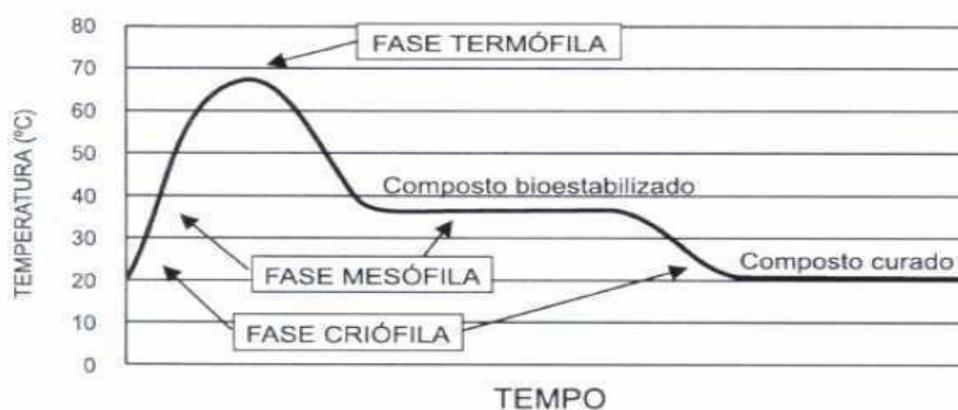
De acordo com Silva (2009), as faixas de temperatura que determinam a predominância de determinados grupos de organismos podem ser classificadas em: criófilas (temperatura ambiente), mesófilas (até 45°C) e termófilas (acima de 45°C).

A seqüência dos “estágios” da temperatura no processo de compostagem, parte inicialmente de um material na temperatura ambiente que entra na fase mesófila, passa para a termófila, volta para a mesófila e no final da degradação da matéria orgânica, quando a temperatura se iguala com a do ambiente, a fase é de humificação (FRITSCH, 2006).

Embora a elevação da temperatura seja necessária para a eliminação de microrganismos patogênicos, observa-se que a ação dos microrganismos sobre a matéria orgânica aumenta com a elevação da temperatura até 65°C e que acima deste valor o calor elimina as populações capazes a realizar a degradação dos resíduos orgânicos, havendo um decréscimo da atividade biológica. (KIEHL,1998; PEREIRA NETO, 2007; BRITO, 2008).

A curva padrão de variação de temperatura durante o processo de compostagem é indicada no (GRAF. 1).

Gráfico 1 – Curva padrão de variação de temperatura durante o processo de compostagem



Fonte: KIEHL (2001)¹ apud BRITO (2008).

2.2.3.2 Relação C/N

A relação C/N de um material orgânico é a razão entre os seus teores de carbono e de nitrogênio totais. Dos muitos elementos necessários à decomposição microbiológica o Carbono e o Nitrogênio são os mais importantes. O balanço adequado entre esses nutrientes determinará entre outras coisas a velocidade da decomposição, a elevação da temperatura no processo e a perda de nitrogênio por volatilização (PAIVA, 2008).

O carbono fornece energia e constitui cerca de 50% da massa celular dos microrganismos. Uma alta relação C/N irá causar diminuição da atividade

¹ KIEHL, E. J. Produção de composto e vermicomposto. Informe Agropecuário. v. 22, n. 212, 2001, p. 40-52.

microbiana, refletida através de valores baixos de temperatura e por um período mais longo de compostagem (PAIVA, 2008). De acordo Carli (2010), quando o carbono apresenta-se em maiores quantidades ele propicia condições ácidas na massa de compostagem, visto que o CO₂ liberado é altamente solúvel.

O nitrogênio é um componente essencial nas proteínas, ácidos nucléicos, aminoácidos, enzimas e coenzimas necessárias ao crescimento e funcionamento celular. A falta de nitrogênio inibe a reprodução celular dos microrganismos e consequentemente a degradação dos compostos torna-se mais demorada, enquanto seu excesso acelera o processo de decomposição, mas faz com que o oxigênio seja gasto muito rapidamente, podendo levar à criação de zonas anaeróbias no sistema (FRITSCH, 2006).

O excesso de nitrogênio leva à sua volatilização em forma de amônia, que, além dos odores desagradáveis, provoca a redução do teor desse elemento no produto acabado, gerando um composto mais pobre em nutrientes (TREVISAN, 2011).

A relação carbono/nitrogênio satisfatória deve-se situar em torno de 30:1 para obtenção de uma alta eficiência nos processos de tratamentos de resíduos sólidos orgânicos (PEREIRA NETO, 1996; FRITSCH, 2006; REIS, 2005). Essa relação é indicada tendo em vista que esses microrganismos absorvem o carbono e o nitrogênio numa proporção de 30 partes do primeiro para uma parte do segundo. Na prática, considera-se os valores entre 25/1 e 35/1 como os iniciais mais favoráveis para uma mais rápida e eficiente degradação dos resíduos pelos microrganismos (PEREIRA NETO, 1996; KIEHL, 2004; TRONBIN et al., 2005).

Ao iniciar o processo de degradação com uma relação C/N dentro da faixa ideal, o nitrogênio não se perderá se a compostagem for bem conduzida. Se ocorrer só perda de carbono, a relação C/N vai diminuindo, até alcançar 18/1, onde o composto é considerado bioestabilizado, já podendo ser utilizado como fertilizante orgânico sem risco de causar danos às plantas (FRITSCH, 2006). Prosseguindo o processo de compostagem, a relação pode terminar entre 8/1 e 12/1, considerado ponto final, onde a matéria orgânica está humificada, curada e maturada (KIEHL, 2008).

Dessa forma, para o alcance de eficiência no processo a relação C/N deve ser balanceada no início e durante o período de degradação (PEREIRA NETO, 2007).

2.2.3.3 Umidade

A presença de água é fundamental para o bom desenvolvimento da compostagem, uma vez que trata-se de um processo biológico de decomposição da matéria orgânica, onde a água é imprescindível para as necessidades dos microrganismos.

Teoricamente o teor de umidade ideal para propiciar a degradação dos resíduos orgânicos deve ser de 100%. Contudo, devido a necessidade de se obter forma geométrica definida e manter porosidade adequada a passagem livre do ar para a oxigenação do material, a umidade fica restrita a um valor máximo situado em torno de 60% (PEREIRA NETO, 2007). Dessa forma a umidade está diretamente relacionada com o tamanho das partículas, ou seja, quanto menores e mais finas forem as partículas, maior será a capacidade de retenção da umidade.

Para Rodrigues et al., (2006) e Brito (2008), a umidade deve situar-se entre 50 e 60%. Se a umidade do material a ser compostado estiver acima de 60%, o material se mostrará molhado ou encharcado e, nesse caso, a água passa a ocupar os espaços vazios do ar e a decomposição será em parte anaeróbia, com riscos de produção de maus odores, geração de chorume e atração de vetores. Por outro lado, se a umidade do substrato for abaixo de 50%, a decomposição será lenta por não possuir água suficiente para propiciar o desenvolvimento e reprodução dos microrganismos.

Como os resíduos orgânicos apresentam um alto teor de umidade, na faixa de 80%, a utilização destes em processos de compostagem ou minicompostagem só é possível mediante o uso de resíduos palhosos que propiciam o equilíbrio da umidade (TROMBIN et al., 2005). Caso a matéria prima possua um baixo teor de umidade, é necessário adicionar água ou outro resíduo orgânico com elevado teor de umidade até alcançar o balanço final do teor de umidade desejada, entre 55% e 60% (PEREIRA NETO, 2007).

2.2.3.4 Aeração

Sendo a compostagem um processo aeróbio, o fornecimento de ar é vital à atividade microbiana, pois os microrganismos aeróbios têm necessidade de oxigênio

para oxidar a matéria orgânica que lhe serve de alimento, sendo assim a circulação de ar na massa do composto é primordial para a compostagem rápida e eficiente (SILVA, 2010).

A aeração é, na prática da compostagem, um dos fatores mais importante a ser considerado no processo de decomposição da matéria orgânica, pois tem por finalidade suprir a demanda de oxigênio requerida pela atividade microbiológica e atuar como agente de controle da temperatura, além disso, evita a formação de maus odores e presença de insetos.

De acordo com Pereira Neto (2007), em processos simplificados de compostagem, a aeração é feita de acordo com as características da matéria-prima, através de ciclos de reviramento que pode ser natural ou mecânico, com o auxílio de ferramentas manuais como, por exemplo, uma pá, ou se o processo for de grande escala a aeração é realizada por ferramentas mecânicas utilizando-se tratores específicos.

Para garantir a aeração adequada, é necessário efetuar revolvimentos frequentes, estes que irão depender das condições físicas dos resíduos, do volume e formato em que estão distribuídos, da atividade dos microrganismos e das condições atmosféricas. Em média o ciclo de reviramento deve acontecer duas vezes por semana, espaço de tempo que é suficiente para controlar a temperatura.

O revolvimento do composto, além de introduzir ar novo, rico em oxigênio, libera o ar contido na leira, saturado de gás carbônico gerado pela respiração dos microrganismos. Essa renovação é essencial, pois, o teor de gás carbônico existente no interior da leira pode chegar a concentrações cem vezes maiores que seu conteúdo normal no ar atmosférico (MARAGNO, 2005).

Segundo Kiehl (1985), o fluxo de ar nas pilhas de compostagem se dá das laterais para a superfície e a velocidade deste fluxo depende da porosidade do material a ser compostado e do tamanho da pilha.

No início da atividade dos microrganismos, a concentração de oxigênio nos poros é aproximadamente de 15 a 20 % (semelhante à composição do ar), se as concentrações de oxigênio forem inferiores a 5% dão origem a zonas anaeróbicas. Para que o processo se mantenha aeróbico o ideal é um mínimo de 10% de oxigênio, caso contrário, se o teor de oxigênio não for o suficiente a comunidade anaeróbia irá dominar o processo (FRITSCH, 2006).

2.2.3.5 pH

O pH também é um parâmetro importante para o desenvolvimento de uma comunidade biológica, pois, pode ser indicativo do estado de decomposição dos materiais. Níveis de pH muito baixos ou muito altos reduzem ou até inibem a atividade microbiana.

Para Rodrigues et al., (2006), a faixa ideal de pH para o material pode variar entre 5,5 e 8,5, já conforme Pereira Neto (2007) em experiências realizadas pelo laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental – LESA, da Universidade Federal de Viçosa (UFV), indicam que a compostagem pode ser desenvolvida com uma faixa mais ampla de pH, entre 4,5 a 9,5, sendo que os valores são automaticamente regulados pelos microrganismos através da degradação de compostos que irão produzir subprodutos ácidos ou básicos em função da necessidade do meio.

Quando o pH do composto apresenta-se próximo de 5,0 ou ligeiramente inferior, há uma diminuição drástica da atividade microbiológica e o composto pode não passar para a fase termófila. Valores baixos de pH são indicativos de falta de maturação devido à curta duração do processo ou à ocorrência de processos anaeróbios no interior da pilha em compostagem (KIEHL, 2004).

Para Reis (2005), no início do processo o material produzido pode torna-se mais ácido (pH = 5 à 6) devido à formação de ácidos minerais e gás carbônico. Estes logo desaparecem dando lugar aos ácidos orgânicos, que reagem com as bases liberadas da matéria orgânica, neutralizando e transformando o meio em alcalino, chegando a valores de pH da ordem de 8 a 8,5, devido a decomposição das proteínas bem como pela eliminação do gás carbônico.

2.2.3.6 Granulometria

O tamanho das partículas ou a granulometria da matéria-prima tem grande importância no processo de compostagem, governando o movimento de líquidos e gases na leira. A granulometria pode ser definida como a proporção relativa dos diversos grupos de tamanhos das partículas existentes e separáveis por peneiramento (BERNADO, 2008).

A decomposição da matéria orgânica é um fenômeno microbiológico cuja intensidade está relacionada à superfície específica do material a ser compostado. De maneira geral, quanto menor a partícula, maior é a superfície de contato com o microrganismo, o que promove o aumento das reações bioquímicas, visto que aumenta a área superficial em contato com o oxigênio, estimulando uma rápida decomposição da matéria orgânica (SILVA, 2010; BERNADO, 2008; PIRES, 2011; KIEHL, 1998).

Constata-se que partículas mais finas seriam as mais adequadas ao processo de compostagem, mas na prática, uma granulometria muito fina gera poucos espaços porosos dificultando a passagem do oxigênio e favorecendo riscos de compactação e encharcamento da massa a ser compostada. Por outro lado, resíduos grandes retardam a decomposição por reterem pouca umidade e apresentarem menor superfície de contato com os microrganismos.

Pereira Neto (2007) afirma que, antes da montagem de leiras ou pilhas de compostagem, os resíduos devem ser submetidos a uma correção do tamanho das partículas o que irá favorecer nos seguintes fatores: homogeneização da massa de compostagem, melhoria da porosidade, menor compactação, maior capacidade de aeração, aumento da área superficial para degradação e menor tempo de compostagem.

Para Reis (2005), partículas menores que 2 mm são muito finas e a aeração é mais difícil, enquanto que acima de 16 mm facilita o arejamento natural, sem revolvimentos constantes. Já segundo Pereira Neto (2007) o ideal é que as partículas da massa em compostagem fiquem entre 10 e 50 mm, para facilitar o processo de degradação.

2.2.4 O Papel dos Microrganismos

Diferentes comunidades microbianas estão envolvidas no processo de compostagem aeróbia, entre estes os principais são, bactérias, fungos e actinomicetos, sendo que, sua intensidade e variedade, dependem da fase em que se encontra o processo. Participam também dessa degradação, outros organismos como algas, protozoários, nematóides, vermes, insetos e suas larvas, além de agentes bioquímicos tais como enzimas, hormônios e vírus (MARAGNO, 2005).

Para Brito (2008), inúmeros são os fatores que determinam a predominância de microorganismos na massa de compostagem, dentre estes, o autor cita a presença de substâncias químicas, matéria prima que está sendo digerida, teor de umidade, disponibilidade de oxigênio, temperatura, relação C/N e o pH, além disso, as combinações desses fatores proporcionam o crescimento mais rápido de determinados microorganismos, fazendo com que esses predominem no durante determinadas fases do processo. Bender (2009) afirma que a elevação natural da temperatura na massa de compostagem é o principal fator para a seleção da flora microbiana presente no processo.

As bactérias são os microorganismos encontrados em maior quantidade durante o processo, estando presente em grande número tanto na fase mesófila como termófila, são responsáveis por cerca de 90% do processo de degradação (BENDER, 2009). São importantes para decompor os compostos orgânicos de fácil digestão como os açúcares, os amidos e as proteínas presentes nos resíduos sólidos orgânicos.

Os actinomicetos são bactérias gram-positivas que desempenham um importante papel no processo de degradação de substancias normalmente não decompostas por outras bactérias e fungos como por exemplo, fenóis, quitina, parafinas, celulose e proteínas com pequena imobilização de nitrogênio (CARLI, 2010). Suas colônias são visíveis a olho nú em razão da cor esbranquiçada observadas nas camadas superficiais da leira situadas a 15 cm de profundidade. (PEREIRA NETO, 2007).

2.3 QUALIDADE DO COMPOSTO ORGÂNICO FINAL

De acordo com a IN (Instrução Normativa) nº 25, de 23 de julho de 2009, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA, que revoga a de n.º 23 de 31/ 07/ 2005, tendo em vista o disposto no Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004, que regulamentou a Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, os fertilizantes orgânicos mistos e compostos que são classificados de acordo com as matérias-primas utilizadas na sua produção devem ter as garantias mostradas na TAB. 1 para serem comercializados no Brasil.

O anexo I da IN nº 25, em seu Inciso II, Art. 2º, trata da classificação dos fertilizantes orgânicos, sendo os de Classe “A” aqueles que:

I – Classe “A”: fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza matéria-prima de origem vegetal, animal ou de processamentos da agroindústria, onde não sejam utilizados, no processo, metais pesados tóxicos, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos, resultando em produto de utilização segura na agricultura. (IN nº 25, Art. 2º, BRASIL, 2009).

Tabela 1 – Garantias mínimas exigidas para que os fertilizantes orgânicos mistos e compostos de Classe “A” possam ser comercializados de acordo com a IN n.º 25 de 23 de julho de 2009

PARÂMETROS AVALIADOS	VALORES MÍNIMOS	VALORES MÁXIMOS
Umidade (%)	-	50
Nitrogênio Total (%)	0,5	-
Carbono Orgânico (%)	15	-
Relação C/N	-	20:1
pH	6	-

Fonte: Anexo III da IN n.º 25; BRASIL, 23 de jul de 2009.

A utilização adequada dos fertilizantes orgânicos na agricultura é de fundamental importância para elevar o nível de produtividade dos solos, geralmente os que são pobres em nutrientes essenciais às plantas. No Brasil, os compostos orgânicos dificilmente terão problemas de mercado, pois, são várias as opções de uso para este produto.

Segundo Junkes (2002), os principais usos para o composto orgânico, apontando impactos positivos são em hortas, hortos e viveiros, agricultura em geral, fruticultura, floricultura, programas de paisagismo, parques, jardins, programas de reflorestamento, controle de erosão, recuperação de áreas degradadas, recuperação vegetal dos solos exauridos, controle de doenças e pragas agrícolas, cobertura e vegetação de aterros e produção de fertilizantes.

A utilização do composto orgânico na agricultura altera as propriedades biológicas do solo, aumenta a população de microrganismos por oferecer um substrato carbônico, uma maior disponibilidade de água e também intensifica as atividades enzimáticas envolvidas nos ciclos de alguns nutrientes.

2.4 COMPOSTAGEM EM PEQUENA ESCALA

O processo de compostagem realizado em pequena escala e descentralizado abre uma variedade de oportunidades para sua aplicação. Além de poderem ser aplicados em vários ambientes, como por exemplo, em casas, condomínios, em pequenas propriedades agrícolas e até mesmo em escolas e universidades, esta prática favorece a economia de energia nos custos de transporte e redução da disposição inadequada de resíduos no meio ambiente, uma vez que este recebe destinação apropriada no local onde é gerado. Ademais, a prática de compostagem representa um instrumento de educação ambiental para toda a sociedade, sendo uma forma ambientalmente sustentável de tratar os resíduos sólidos domiciliares (BRITO, 2008; LASHERMES et al., 2012).

A realização da compostagem em grande escala por meio de usinas de triagem e compostagem, muitas vezes deixa de ser exercida devido à falta de informação, de recursos financeiros para sua implantação e/ou interesse dos governantes, além disso, sua prática é limitada em ambientes urbanos pela falta de espaço, já em pequenas propriedades agrícolas e na agricultura familiar, esse processo torna-se de difícil aplicabilidade devido não disporem de uma quantidade de resíduos suficiente para montagens das leiras (BRITO, 2008).

Quando o resíduo é separado na fonte geradora, através da coleta seletiva, existe uma tendência desse composto ter uma melhor qualidade, uma vez que o mesmo não foi misturado a outros resíduos que possam contaminar os mesmos, diferente de quando se trata do processo em grande escala, por meio de usinas de triagem, onde os resíduos são separados após passar por um processo de coleta convencional, para posteriormente serem compostados, podendo ocasionar, por exemplo, a incorporação de metais pesados ao produto final a ser utilizado como adubo orgânico (BRITO, 2008).

Embora a compostagem em pequena escala possua suas vantagens, existem certas dificuldades na aplicação desse método, principalmente quando se trata do monitoramento dos parâmetros físicos, químicos e biológicos, que influenciam diretamente ao bom desenvolvimento do processo, além disso, muitas pessoas possuem uma tendência cultural de querer sempre afastar o lixo das casas. Entretanto, quando bem executado, o processo de compostagem não apresenta tais inconvenientes.

Alguns estudos recentes têm demonstrado a aplicabilidade e reprodutibilidade da compostagem em pequena escala como suporte no gerenciamento de resíduos sólidos urbanos (ANDERSEN et al., 2012; LASHERMES et al., 2012; MARAGNO, 2005; SPADER, 2005; MARQUES; HOGGLAND, 2002). Portanto, a demonstração de que a compostagem em pequena escala também atende aos requisitos necessários para obtenção de um composto de boa qualidade é um importante passo para descentralização do processo e para o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos.

O uso de minicomposteiras de materiais como: pvc, garrafas pet, tubos cilíndricos, caixotes de madeira e de plástico torna o processo de compostagem em pequena escala bastante atrativo, uma vez que pode ser utilizado dentro das próprias residências, facilitando o monitoramento e trazendo benefícios que acima de tudo preservam o meio ambiente.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 LOCAL E PERÍODO DE REALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi realizado no pátio de compostagem do Laboratório de Resíduos Sólidos (LABRES), que pertence à Unidade Acadêmica de Ciências e Tecnologia Ambiental (UACTA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Câmpus de Pombal. O processo de compostagem ocorreu de 15 de maio a 05 de agosto de 2013, compreendendo um período total de 81 dias.

Conforme a classificação de Köppen, o clima predominante ao longo de toda a extensão é do tipo Bsh semiárido quente com chuvas de verão, com precipitação média anual de aproximadamente 800 mm, temperatura média girando em torno de 24°C e taxas de evaporação potencial bastante elevadas em toda a bacia, em torno de 2000 mm anuais (PROGRAMA DE AÇÃO ESTADUAL DE COMBATE À DESERTIFICAÇÃO E MITIGAÇÃO DOS EFEITOS DA SECA – PAE , 2011).

Na FIG. 1 identifica-se o local de realização do experimento e na FIG. 2 está contemplado o fluxograma representativo do processo de compostagem realizado nesta pesquisa, contendo de forma resumida a sequencia das principais etapas práticas realizadas até a obtenção do composto final.

Figura 1 – Pátio de Compostagem



Fonte: Arquivo pessoal (2013).

Figura 2 – Fluxograma representativo do processo de compostagem realizado nesta pesquisa



Fonte: Autoria própria.

3.2 CONFECÇÃO DAS MINICOMPOSTEIRAS

Nesta pesquisa foram utilizadas como teste três tipos de minicomposteiras sendo estas confeccionadas a partir de: seis garrafões de água de 20L, três de tubos de PVC e três de caixotes plásticos. Além das minicomposteiras, também foi utilizado como teste uma pilha de compostagem de pequeno porte para fins de comparação. As três repetições para cada um dos três tipos de minicomposteiras foram propostas com a finalidade de oferecer uma maior confiabilidade nos resultados. As minicomposteiras foram concebidas e montadas, conforme pode ser visto a seguir:

3.2.1 Minicomposteiras de garrafões de água de 20L

Para a confecção desse tipo de minicomposteira, foram necessários seis garrafões de água de 20L. Os garrafões foram doados, pois já estavam inadequados para o uso. Na FIG. 3 estão ilustrados os garrafões de água de 20L (FIG. 3a) e as minicomposteiras confeccionadas (FIG. 3b).

Figura 3 - (a) Garrafões de água de 20L e (b) minicomposteiras confeccionadas



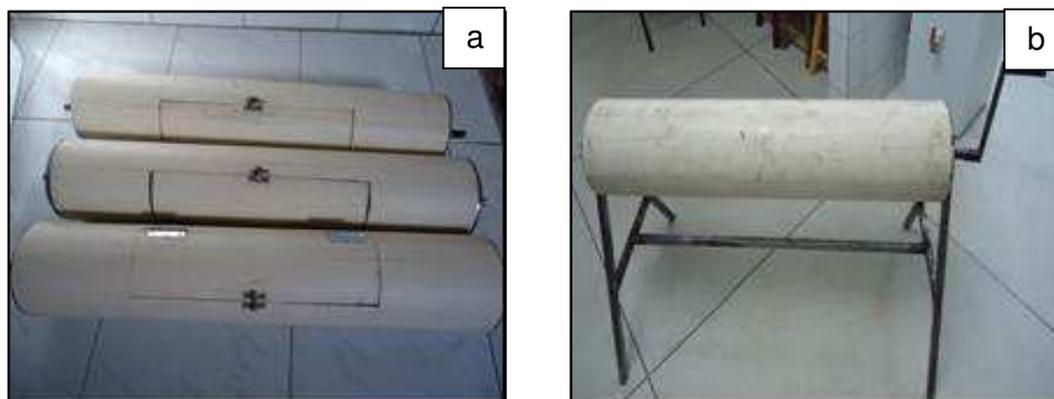
Fonte: Arquivo pessoal (2013).

3.2.2 Minicomposteiras de PVC

Na confecção das três composteiras de PVC, foram utilizados três canos com 200mm de diâmetro e com 1 metro de comprimento cada. Com o objetivo de facilitar a oxigenação e o manuseio dos resíduos durante o processo, foi feita uma abertura em cada minicomposteira. Além disso, foi construído um suporte metálico que tem

como função facilitar o reviramento do composto. A FIG. 4 mostra os tubos de PVC com abertura no centro (FIG. 4a) e um modelo encaixado no suporte metálico (FIG.4b), respectivamente.

Figura 4 - Minicomposteira de PVC mostrando (a) abertura no centro e (b) encaixada no suporte metálico



Fonte: Arquivo pessoal (2013).

3.2.3 Minicomposteiras de caixotes plásticos

Para confecção desse tipo de minicomposteira, foram utilizados três caixotes plásticos, estes que foram doados por um supermercado da cidade de Pombal - PB, uma vez que não atendiam mais às exigências necessárias para aquele empreendimento. Por outro lado, se mostraram atrativos para realização de compostagem em pequena escala. Para evitar a queda dos resíduos, foram colocadas telas recobrimdo todas as caixas. Na FIG. 5 estão ilustrados os caixotes plásticos (FIG. 5a) e as minicomposteiras confeccionadas (FIG. 5b).

Figura 5 - (a) Caixotes plásticos e (b) minicomposteiras confeccionadas



Fonte: Arquivo pessoal (2013).

3.3 COLETA E CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS ORGÂNICOS

Os resíduos sólidos utilizados nesta pesquisa foram: restos de cascas de frutas e legumes, oriundos do restaurante universitário da UFCG, Câmpus de Pombal - PB; cascas de banana provenientes da Indústria de Doce Diana, localizada em Pombal - PB, esterco bovino e folhas de mangueira, adquiridos em sítios da região; e restos de capinação obtidos dentro do Campus Universitário da UFCG em Pombal - PB.

Os resíduos foram cedidos voluntariamente e escolhidos em função de sua disponibilidade, de sua disposição final (que na maioria das vezes é inadequada), por apresentar propriedades físicas e químicas ideais ao desenvolvimento do processo, e principalmente pelo fato de Pombal - PB se tratar de um município que concentra grande parte de sua renda em produtos agropecuários, onde a geração de resíduos orgânicos é bastante relevante.

Um exemplo é a geração de resíduos da agroindústria de Doce Diana, que produz em média uma tonelada de cascas de banana por dia. Normalmente, estes resíduos são doados apenas para fins de alimentação animal, o que justifica a necessidade de novas alternativas de destinação. Outro exemplo é a produção de resíduos do restaurante universitário que atualmente atende a uma demanda de 130 pessoas, com resíduos destinados para fins de alimentação animal. Quanto aos resíduos oriundos da capinação, estes são gerados diariamente no Câmpus da UFCG em Pombal.

Segundo Dias (2003), o cenário de desperdício de alimentos no Brasil é alarmante. Do total de desperdiçado, 10% ocorrem durante a colheita, 50% no manuseio e transporte dos alimentos, 30% nas centrais de abastecimento e os últimos 10% ficam diluídos entre supermercados e consumidores, não havendo estudos conclusivos que determinem o desperdício nas casas e nos restaurantes. Estima-se, entretanto, que a perda no setor de refeições coletivas chegue a 15% e, nas nossas cozinhas, a 20% (DIAS, 2003).

Na FIG. 6 são apresentados os resíduos utilizados no processo de compostagem, sendo: cascas de frutas e verduras (FIG. 6a), cascas de banana (FIG. 6b), esterco bovino (FIG. 6c), folhas de mangueira (FIG. 6d), restos de capinação (FIG. 6e). Na (FIG. 6f) pode-se visualizar os resíduos distribuídos no pátio de compostagem.

Figura 6 – Resíduos utilizados no processo de compostagem: (a) cascas de frutas e verduras trituradas, (b) cascas de banana, (c) esterco bovino, (d) folhas de mangueira triturada, (e) restos de gramas trituradas e (f) os resíduos distribuídos no pátio de compostagem.



Fonte: Arquivo pessoal (2013).

3.3.1 Caracterização físico-química dos resíduos utilizados

Após a coleta dos resíduos, estes foram submetidos a análises físico-químicas realizadas no Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas - LSNP e no LABRES, ambos pertencentes à UFCG, Campus de Pombal – PB, com a finalidade de se avaliar os seguintes parâmetros: Nitrogênio Total, Carbono Orgânico, Fósforo, Potássio, Relação C/N, Matéria Orgânica, Umidade, Massa Úmida e Massa Seca, cujos resultados estão detalhados na TAB. 2. As análises mostradas na TAB. 2 foram feitas uma vez que havia a necessidade de obter informações detalhadas dos resíduos utilizados no processo, sempre considerando a massa seca das amostras. As metodologias utilizadas para realização das mesmas foram as seguintes: para a determinação do Nitrogênio Total foi com base no descrito por Raij et al., (2001), Carbono Orgânico baseado no Manual da EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPACUÁRIA - EMBRAPA (1997) e para determinação de Fósforo e Potássio a metodologia foi de acordo com o Manual da UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA- UFV (1997). Já o percentual de Matéria Orgânica foi obtido com base na multiplicação do valor do Carbono Total por 1,724, seguindo as indicações do Manual da (EMBRAPA, 2009).

Tabela 2 – Caracterização físico-química dos resíduos orgânicos no início do processo

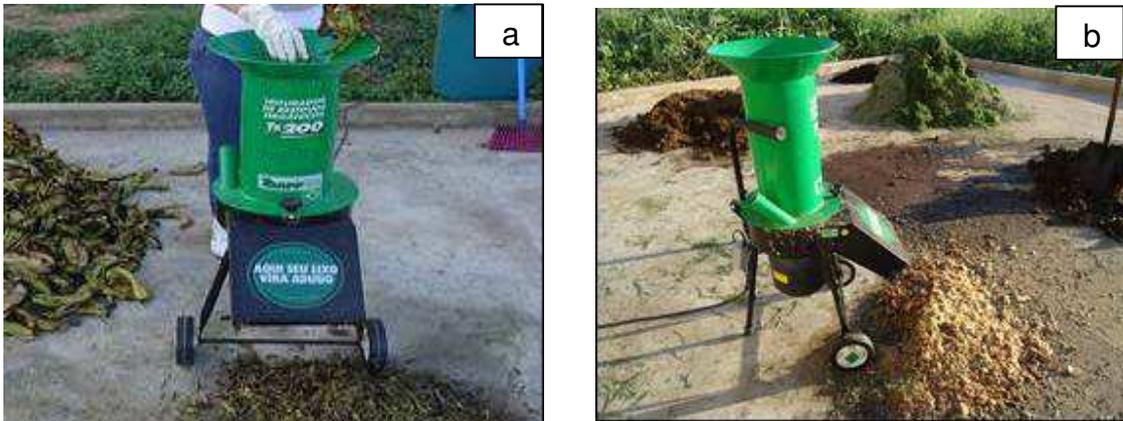
PARÂMETROS	CASCA DE FRUTAS E VERDURAS	CASCAS DE BANANA	ESTERCO BOVINO	FOLHA MANGUEIRA	GRAMA
Nitrogênio Total (%)	0,67	0,52	0,70	0,71	1,14
Carbono Orgânico (%)	29,00	25,48	25,00	28,00	28,00
Fósforo (%)	0,24	0,15	0,59	0,16	0,23
Potássio (%)	2,72	2,32	1,06	0,9	1,86
Relação C/N*	43,48:1	49,00:1	35,82:1	39,22:1	24,58:1
Umidade (%)	90,3	87,0	49,2	34,30	63,00
Matéria Orgânica (%)	50,0	43,93	43,1	48,27	48,27
Massa Úmida (kg)	14,00	40,00	80,00	4,00	44,00
Massa Seca (kg)	1,36	5,20	40,63	2,14	16,28

Fonte: Autoria própria.

3.4 TRITURAÇÃO E MISTURA DOS RESÍDUOS

Antes da mistura dos resíduos, estes passaram por um pré-tratamento que incluiu a triagem e trituração. Segundo Pereira Neto (2007), as partículas da massa em compostagem devem situar-se entre 10 e 50 mm. Assim sendo, para adequar o diâmetro das partículas foi utilizado um Triturador de Resíduos Orgânicos. Na FIG. 7 observa-se o processo de trituração da casca de banana (FIG.7a) e das cascas de frutas e verduras (FIG. 7b) respectivamente.

Figura 7 – (a) Trituração das cascas de banana e (b) trituração das cascas de frutas e verduras



Fonte: Arquivo pessoal (2013).

Após a trituração, iniciou-se a mistura dos resíduos até formar a massa final a ser compostada. Na FIG. 8 está representado o início da mistura dos resíduos orgânicos utilizados no processo de compostagem (FIG. 8a) e a massa pronta de resíduos a ser compostada (FIG. 8b).

Figura 8 – (a) Mistura dos resíduos e (b) massa de resíduos a ser compostada



Fonte: Arquivo pessoal (2013).

A proporção das massas úmidas utilizadas para cada tipo de resíduo indicado na TAB. 3 foi estabelecida de modo que fosse possível obter uma relação C/N da mistura com balanço de nutrientes adequado ao desenvolvimento do processo. Na TAB. 3 está descrito a massa úmida de resíduos utilizados no processo de compostagem.

Tabela 3 – Massa úmida de resíduos utilizados no processo de compostagem

CASCA DE FRUTAS E VERDURAS	CASCAS DE BANANA	ESTERCO BOVINO	FOLHA MANGUEIRA	GRAMA
14,00 kg	40,00 kg	80,00 kg	4,00 kg	44,00 kg

Fonte: Autoria própria.

Após a mistura dos resíduos, foi realizada a caracterização destes quanto ao percentual de carbono orgânico, nitrogênio total, relação C/N, umidade, massa úmida, massa seca, fósforo e potássio, conforme descrito na TAB. 4.

Tabela 4 – Caracterização da mistura de resíduos orgânicos

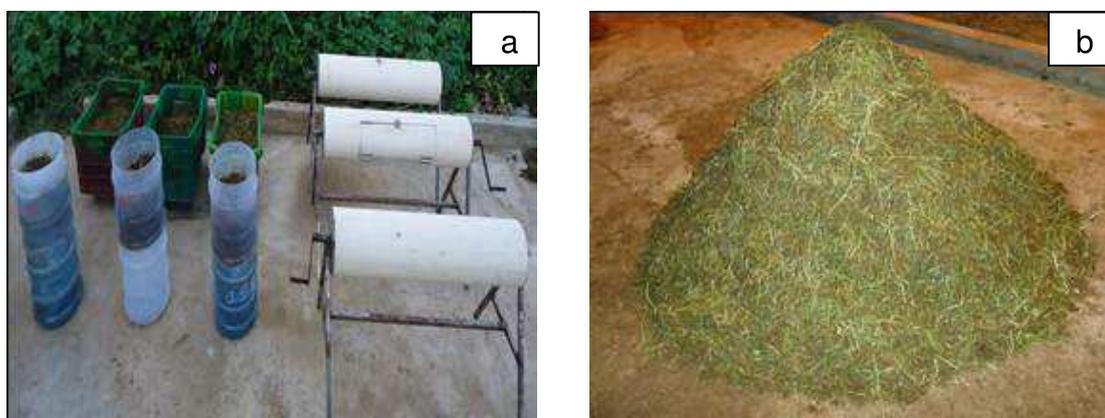
PARÂMETROS	MISTURA DE RESÍDUOS
Carbono Orgânico (%)	25,96
Nitrogênio Total (%)	0,79
Relação de C/N	32,73
Umidade (%)	64,00
Massa Úmida (kg)	182,00
Massa Seca (kg)	65,61
Fósforo (%)	0,44
Potássio (%)	1,39

Fonte: Autoria própria.

A relação C/N após a mistura dos resíduos foi de 32,73:1, valor este que se encontra dentro da faixa (25:1 a 35:1) dos valores recomendados na literatura por (PEREIRA NETO, 2007).

Após a caracterização da mistura, iniciou-se o processo de pesagem da massa a ser compostada por meio de uma balança digital e inserção destas nas minicomposteiras. Posteriormente deu-se início a montagem da pilha de compostagem de pequeno porte. Na FIG. 9 estão ilustradas as minicomposteiras com resíduos (FIG. 9a) e a pilha de compostagem de pequena escala (FIG. 9b).

Figura 9 – (a) Minicomposteiras com resíduos e (b) pilha de compostagem de pequena escala



Fonte: Arquivo pessoal (2013).

A distribuição, em termos de massa úmida dos resíduos em cada minicomposteira e na pilha, está descrita na TAB. 5.

Tabela 5 – Massa úmida de resíduos distribuída para os tipos de minicomposteiras e para pilha

MINICOMPOSTEIRAS DE PVC	MINICOMPOSTEIRAS DE CAIXOTES PLÁSTICOS	MINICOMPOSTEIRAS DE GARRAFÕES DE ÁGUA	PILHA DE COMPOSTAGEM
18 kg (3 repetições)	24 kg (3 repetições)	12 kg (3 repetições)	128 kg

Fonte: Autoria própria.

As massas úmidas de resíduos listadas na TAB. 5 compreendem a massa total reservada para os tipos de minicomposteiras, sendo posteriormente esta quantidade dividida para as respectivas três repetições. A pilha foi montada com as seguintes dimensões: altura (65 cm) e diâmetro (135 cm), o que caracteriza o processo de compostagem como de pequena escala (PEREIRA NETO, 2007).

3.5 MONITORAMENTO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

Para obter sucesso na compostagem, é necessário conhecer e fornecer condições favoráveis para que o processo se desenvolva adequadamente. Os parâmetros monitorados e observados durante o processo foram: temperatura, pH, sólidos voláteis, aeração, umidade, relação C/N, redução de massa seca e condutividade elétrica.

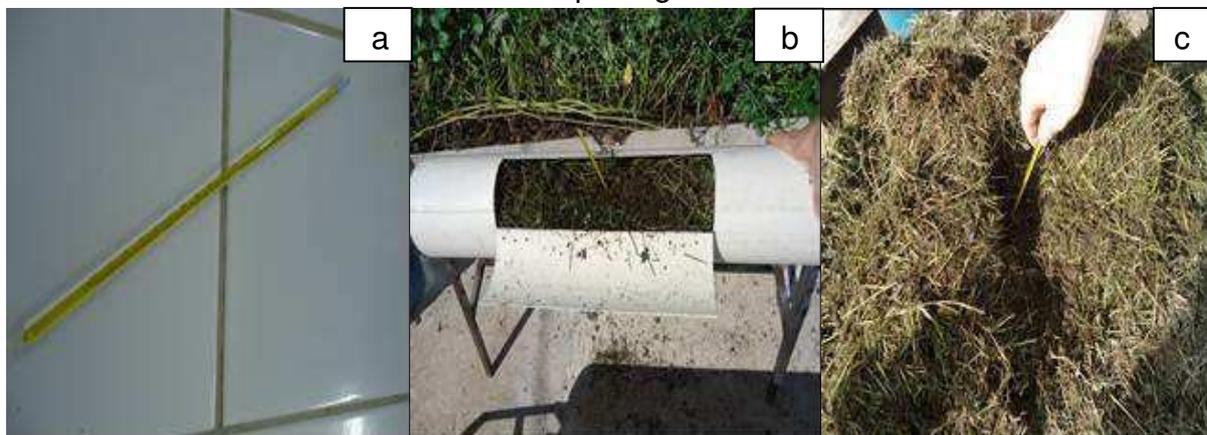
Foram realizadas medições e correções de alguns parâmetros *in loco* (temperatura, aeração e umidade) e também foram coletadas amostras sempre nos dias de revolvimento para serem encaminhadas ao laboratório com objetivo de se determinar os demais parâmetros (pH, sólidos voláteis, relação C/N, redução de massa seca). A condutividade elétrica foi investigada no final do processo de compostagem.

3.5.1 Temperatura

O monitoramento da temperatura foi realizado diariamente durante todo o processo de degradação, que durou 81 dias. A medição era feita com o auxílio de um termômetro de mercúrio graduado de -10°C a 150°C e com comprimento de 26 cm. Nas minicomposteiras e na pilha, as medições de temperatura foram realizadas em três pontos distintos, sendo que na pilha essas medições eram feitas no topo, centro e na base. Também foi monitorada nesta pesquisa a temperatura ambiente, para fins de comparação com as demais. Esses dados eram sempre coletados entre 07h00min e 08h00min da manhã.

Na FIG. 10 encontra-se ilustrado o termômetro utilizado nas medições de temperatura (FIG. 10a), bem como uma medição da temperatura no tubo de PVC (FIG. 10b) e na pilha de compostagem (FIG. 10c).

Figura 10 – (a) Termômetro utilizado para medir a temperatura, (b) medição da temperatura no tubo de PVC e (c) medição de temperatura na pilha de compostagem



Fonte: Arquivo pessoal (2013).

3.5.2 Aeração

Neste experimento, o processo de aeração da massa de resíduos das minicomposteiras e da pilha foi realizado a cada três dias, por meio de revolvimento manual. Ao fim do revolvimento, eram coletadas amostras do resíduo em recipientes apropriados, utilizando o método do quarteamento, e encaminhadas ao LABRES para determinação da umidade. A FIG. 11 ilustra o revolvimento da pilha (FIG. 11a), revolvimento dos resíduos nos caixotes plásticos (FIG 11b) e nos tubos de PVC (FIG. 11c).

Figura 11 – (a) Revolvimento da pilha de compostagem, (b) revolvimento dos resíduos nos caixotes plásticos e (c) nos tubos de PVC



Fonte: Arquivo pessoal (2013).

3.5.3 Umidade

A obtenção dos valores da umidade foi alcançada por meio de uma balança determinadora de umidade de modelo MARTE/ID50, esta que mostra em percentagem o teor de água presente na amostra analisada. Os valores estimados para a correção da umidade foram feitos com base em cálculos matemáticos fixando-se uma umidade desejada de 60%, valor este descrito na literatura por Pereira Neto (2007) como ideal para degradação dos resíduos orgânicos. A água, quando necessária, era adicionada com o auxílio de um regador. Quando os teores de umidade apresentavam-se acima da faixa desejada, a massa de resíduos era espalhada no pátio para facilitar a secagem por evaporação.

Na FIG.12 pode-se visualizar a balança determinadora de umidade (FIG. 12a), correção da umidade na pilha (FIG. 12b) e nos caixotes plásticos (FIG. 12c).

Figura 12 – (a) Balança determinadora de umidade, (b) correção da umidade na pilha e (c) correção de umidade nos caixotes plásticos

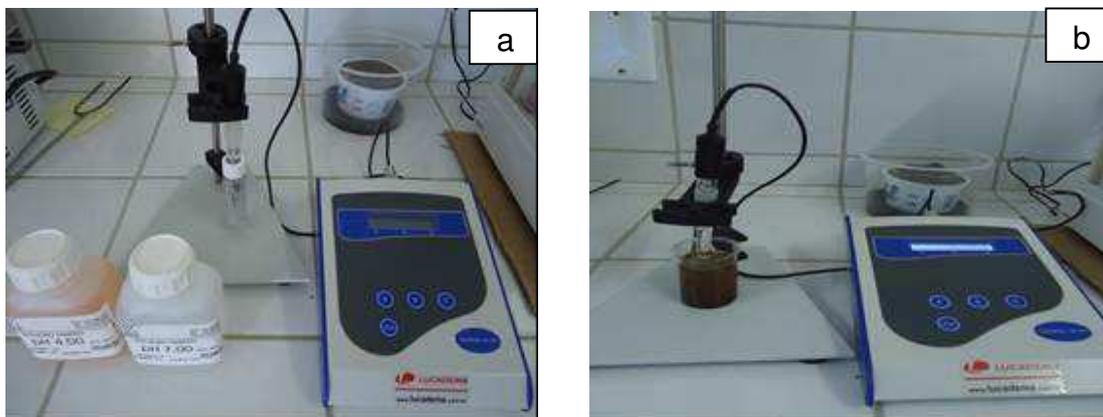


Fonte: Arquivo pessoal (2013).

3.5.4 pH

O pH foi determinado a cada sete dias, sempre nos dias de revolvimento. Para a sua determinação utilizou-se a metodologia descrita no Manual da EMBRAPA (2009). As amostras eram coletadas e direcionadas ao LABRES para uma posterior leitura que era feita por meio um medidor de pH de bancada de modelo LUCADEMA/MPA-210. A FIG. 13 indica o medidor de pH (FIG. 13a) e a determinação de pH em uma das amostras (FIG. 13b).

Figura 13 – (a) Medidor de pH de bancada e (b) determinação de pH em uma amostra

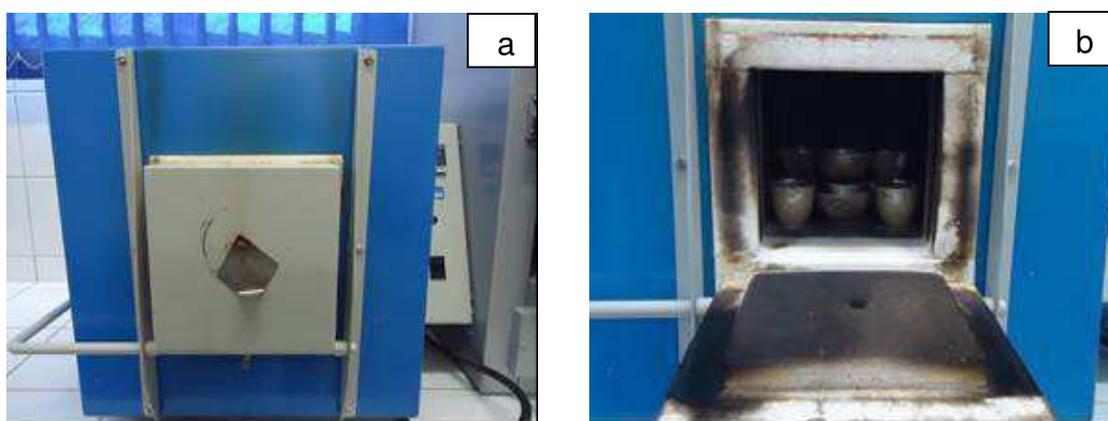


Fonte: Arquivo pessoal (2013).

3.5.5 Sólidos Voláteis

Os sólidos voláteis representam um parâmetro utilizado para a avaliação da degradação da matéria orgânica, que tende a diminuir à medida que os materiais orgânicos são decompostos. As análises de sólidos voláteis foram realizadas a cada sete dias, durante todo o processo de degradação, e foram feitas em triplicata no intuito de oferecer uma maior confiabilidade nos resultados. A metodologia seguida para a determinação do percentual de sólidos voláteis foi com base na descrição do Manual da EMBRAPA (2009). Na FIG.14 ilustra-se a mufla utilizada para determinação de sólidos voláteis (FIG. 14a) e a combustão da amostra (FIG. 14b).

Figura 14 – (a) Mufla determinadora de sólidos voláteis e (b) combustão da amostra



Fonte: Arquivo pessoal (2013).

3.5.6 Redução de Massa Seca

A redução da massa seca representa no processo de compostagem um indicativo de degradação dos materiais inicialmente incorporados nas minicomposteiras e na pilha de compostagem. Essa redução foi verificada a cada três dias com base na pesagem das massas de resíduos ao longo do processo de degradação e por meio da estimativa do teor de umidade.

3.5.7 Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica foi somente avaliada no final do processo de compostagem, sendo realizada em triplicata. Para determinação pesou-se 5 g de cada material e adicionou-se 50 ml de água deionizada. As amostras foram agitadas por 30 segundos em agitador de movimento circular horizontal a 220 rpm. Após a agitação, estas foram postas em repouso por 30 minutos. Esse procedimento foi repetido por 5 vezes, em seguida foram feitas as medições. (CAMARGO et al., 1986² apud EMBRAPA, 2009).

3.5.8 Relação C/N

Para a análise da relação C/N foram coletadas amostras e encaminhadas ao Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas - LSNP da UFCG. Este processo foi realizado no 1º e 81º dia de compostagem, de modo que, por meio da obtenção e análise destes dados, fosse possível observar o comportamento da relação C/N inicial da mistura e final de cada tipo de composteira bem como da pilha de compostagem.

² CAMARGO, et al. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1986. 94 p.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 MONITORAMENTO DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM

Os resultados referem-se ao acompanhamento dos parâmetros temperatura, sólidos voláteis, pH, redução de massa seca, relação C/N, umidade e condutividade elétrica como indicativos da eficiência do processo e da maturidade do composto pronto. Para efeitos de simplificação no entendimento dos dados, foram utilizados os valores médios dos resultados obtidos.

Com a diminuição significativa da massa seca, observou-se que era possível juntar os materiais das repetições das minicomposteiras em um único exemplar. Assim, no 13^o dia de compostagem houve a mistura dos materiais das três repetições de minicomposteiras, optando-se por trabalhar com apenas uma minicomposteira de garrafão de água, uma de cano PVC, uma de caixa de plástico e com a pilha de compostagem a partir deste dia.

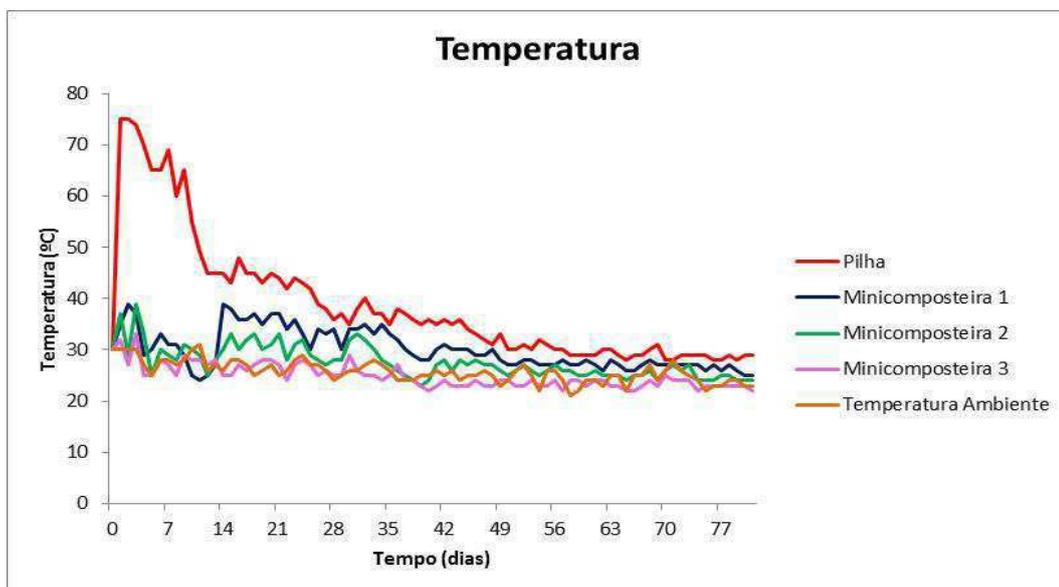
Para avaliação do processo de compostagem foram analisados e discutidos os valores de cada parâmetro comparando-se a pilha de compostagem com os resultados da minicomposteira #1 (caixote de plástico); minicomposteira #2 (garrafão de água) e minicomposteira #3 (tubo de PVC).

4.1.1 Temperatura

A temperatura representa um fator determinante no processo de compostagem, uma vez que diferentes temperaturas promovem o desenvolvimento de diferentes comunidades microbianas, sendo estas termofílicas (microrganismos ativos a temperaturas de 45°C a 65°C) e mesofílicas (ativos a uma temperatura entre 20°C a 45°C).

As evoluções das temperaturas médias registradas na pilha, nas minicomposteiras #1, #2, e #3, e no ambiente, durante os 81 dias de compostagem, estão apresentadas no GRAF. 2.

Gráfico 2 – Temperaturas médias ao longo dos processos de compostagem



Fonte: Autoria própria.

De acordo com o GRAF. 2, é possível observar que até o quarto dia as temperaturas médias da pilha de resíduos ultrapassaram a fase termofílica, atingindo nas primeiras 24 horas um pico máximo de 75°C. Após o quarto dia, as temperaturas mantiveram-se na fase termofílica até o vigésimo dia, apresentando durante todo o restante do processo temperaturas mesofílicas, com valor final de 29°C.

Maragno (2005) comenta que é essencial manter controladas as temperaturas termofílicas na fase de degradação ativa (primeira fase do processo) para se conseguir o aumento na eficiência do processo, ou seja, aumento na velocidade de degradação e eliminação de microorganismos patogênicos, bem como de larvas de helmintos, sementes de ervas daninhas, dentre outros.

As temperaturas dos processos conduzidos nas minicomposteiras não variaram significativamente entre estas. Entretanto, há destaque para a minicomposteira #1 (caixotes plásticos), que atingiu durante todo o processo as maiores temperaturas dentre as composteiras observadas, mantendo-se em temperaturas mais favoráveis a degradação.

Nenhuma das minicomposteiras atingiu temperaturas termofílicas. Acredita-se que isso ocorreu devido a pouca quantidade de material, que não permitia o aquecimento inicial da massa de compostagem. Isto é evidenciado ao observar os gráficos de temperatura no 13º dia de compostagem, onde é possível notar um

crescimento significativo das temperaturas em virtude da mistura dos materiais das três repetições de minicomposteiras para uma única só.

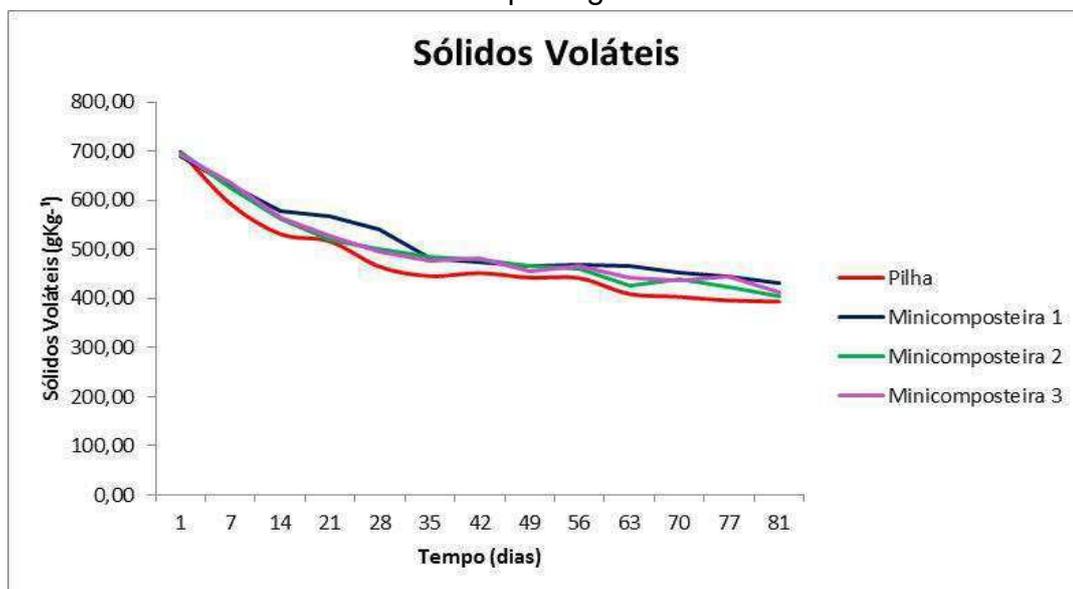
A oscilação da temperatura dos materiais das minicomposteiras acompanhou a variação da temperatura ambiente. Embora esta não tenha variado significativamente, foi possível observar, de acordo com o GRAF. 2, que a temperatura na minicomposteira #3 (tubo de PVC) na maior parte dos dias monitorados manteve-se igual ou um pouco abaixo da temperatura ambiente registrada. Já para as demais composteiras, as temperaturas dos materiais mantiveram-se acima da temperatura ambiente.

Ao comparar o comportamento da temperatura na pilha de compostagem com as minicomposteiras, tem-se que a pilha enquadrou-se melhor com relação aos estudos já realizados descritos na literatura, sendo possível observar uma variação de temperatura mais adequada de acordo com as fases do processo.

4.1.2 Sólidos voláteis

Os valores médios iniciais da concentração de sólidos voláteis na pilha de compostagem e nas minicomposteiras #1, #2 e #3 foram de 699,14 g/kg; 690,85 g/kg; 697,98 g/kg e 691,46 g/kg, respectivamente. Com o decorrer dos dias de compostagem essas concentrações reduziram até alcançar valores médios finais de: 393,47g/kg na pilha de compostagem, representando uma redução de 43,71%; e de 430,9 g/kg, 404,47 g/kg e 412,11 g/kg nas minicomposteiras #1, #2 e #3, representando reduções de 37,62%, 42,05% e 40,69%, respectivamente. O comportamento desse parâmetro ao longo do processo de compostagem pode ser visualizado no GRAF. 3.

Gráfico 3 – Valores médios de sólidos voláteis em função dos dias de compostagem



Fonte: Autoria própria.

Ao comparar a redução nos teores de sólidos voláteis da pilha com as minicomposteiras, percebe-se que a pilha apresentou uma melhor eficiência no processo de degradação da matéria orgânica. Esses resultados provavelmente justificam-se pelo alcance das temperaturas termofílicas. Já os teores de sólidos voláteis entre as composteiras #1, #2 e #3 não variaram significativamente.

Segundo Pereira Neto (2007), para que um processo de compostagem seja caracterizado como eficiente, ele deve apresentar uma redução média do teor inicial de sólidos voláteis de cerca de 40%. Dessa forma, com relação à pilha, pode-se dizer que o processo mostrou-se eficaz, apresentando redução dos teores de sólidos voláteis iniciais superiores ao valor indicado na literatura por Pereira Neto (2007). Com relação às minicomposteiras, constata-se que todos os resíduos das mesmas apresentaram uma redução média no teor de sólidos voláteis superiores ou próxima ao valor citado na literatura.

Em seu experimento, Souza, Pereira Neto e Ceballos (2002), avaliando processos de compostagem em três pilhas com iguais proporções de resíduos orgânicos, sendo duas dispostas sobre pátio pavimentado (uma com manutenção de temperaturas termofílicas chamada de PT e a outra mesofílica-PM), e uma disposta sobre o solo a temperaturas mesofílicas-PMS, observou-se que a redução dos teores de sólidos voláteis (SV) foram de 49% para PT, 39% para PM e 37% a PMS,

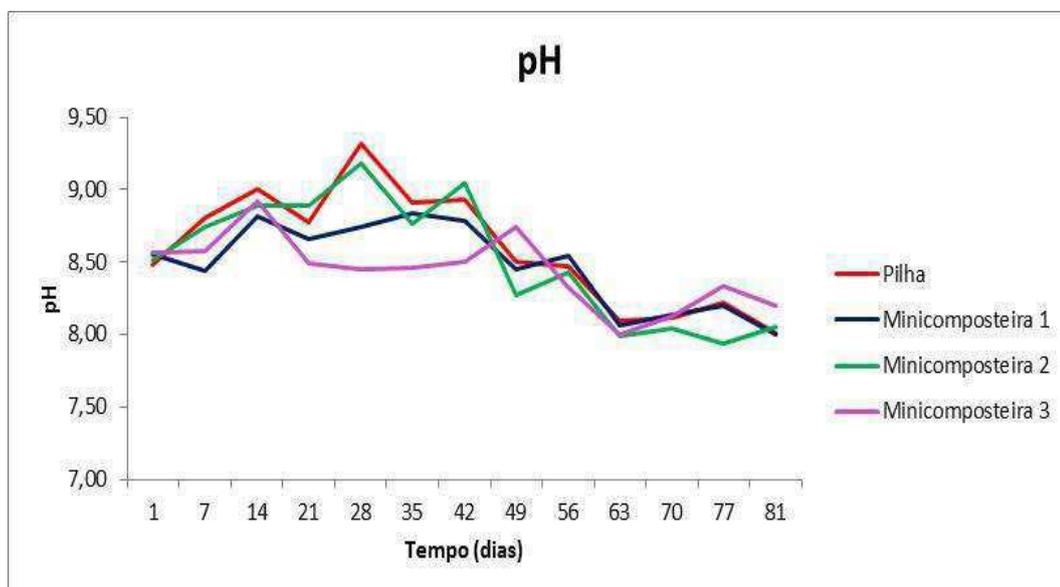
valores estes bem próximos aos encontrados nesta pesquisa. Esses autores concluíram que o alcance das temperaturas termofílicas influenciaram no processo de degradação dos resíduos orgânicos, o que pode ser observado quando comparou-se a pilha com as minicomposteiras nesta pesquisa.

4.1.3 pH

O pH é um dos parâmetros que exerce grande influência no processo de compostagem. De acordo com Fernández (2008), os valores de pH durante o processo estão diretamente ligados a atividade biológica. No início, devido a liberação de ácidos orgânicos, o pH torna-se ácido, durante a fase termófila, com a produção de amoníaco, o ambiente se neutraliza e o pH pode chegar a 8,5 e quando o composto encontra-se curado, o pH estabiliza-se entre 7,0 e 8,0.

A variação do pH em relação ao tempo de compostagem para pilha e os resíduos das minicomposteiras #1, #2 e #3 está apresentada no (GRAF. 4).

Gráfico 4 – Variação do comportamento do pH em função dos dias de compostagem



Fonte: Autoria própria.

De acordo com o GRAF. 4, observa-se que durante todo o processo de compostagem os valores de pH tanto da pilha como dos materiais das minicomposteiras mantiveram-se alcalinos, onde inicialmente para a pilha esse valor foi 8,48 e para as minicomposteiras #1, #2 e #3 foram de 8,55; 8,51 e 8,57,

respectivamente. Os compostos prontos estabilizaram-se em 8,01 na pilha e 8,00; 8,05 e 8,20 nas minicomposteiras #1, #2 e #3, respectivamente. Percebe-se que, quando comparados com os valores do comportamento de pH descritos na literatura, os valores obtidos nesta pesquisa diferenciaram-se do padrão observado no início do processo, mas mantiveram-se na faixa considerada ideal durante grande parte dos dias, inclusive no final do processo.

Em sua pesquisa, Bernado (2008), avaliando um processo de compostagem de pequena escala utilizando resíduos orgânicos de uma cantina misturado com serragem de madeira e acondicionados em tubos de PVC, evidenciou um comportamento dos índices de pH inicial de 7,33 e no final de 8,97, valores estes bem próximos dos registrados neste estudo.

De maneira geral, a compostagem conduz a formação de um composto levemente alcalino, que pode ser utilizado para correção de solos ácidos.

4.1.4 Redução de massa seca

Os dados de redução de massa seca durante o processo de compostagem podem ser observados na TAB. 6.

Tabela 6 – Redução de massa seca da pilha e das minicomposteiras

TRATAMENTOS	MASSA SECA INICIAL (KG)	MASSA SECA FINAL (KG)	MASSA SECA PERDIDA (KG)	REDUÇÃO (%)
Pilha	31,93	17,27	14,66	45,91
Caixote plástico	7,75	3,79	3,96	51,09
Garrafão de água	3,41	1,66	1,75	51,32
Tubo de PVC	5,95	3,36	2,59	43,53

Fonte: Autoria própria.

De acordo com a TAB. 6 foi possível observar que ocorreu uma redução significativa da massa seca inicialmente posta para ser compostada durante o

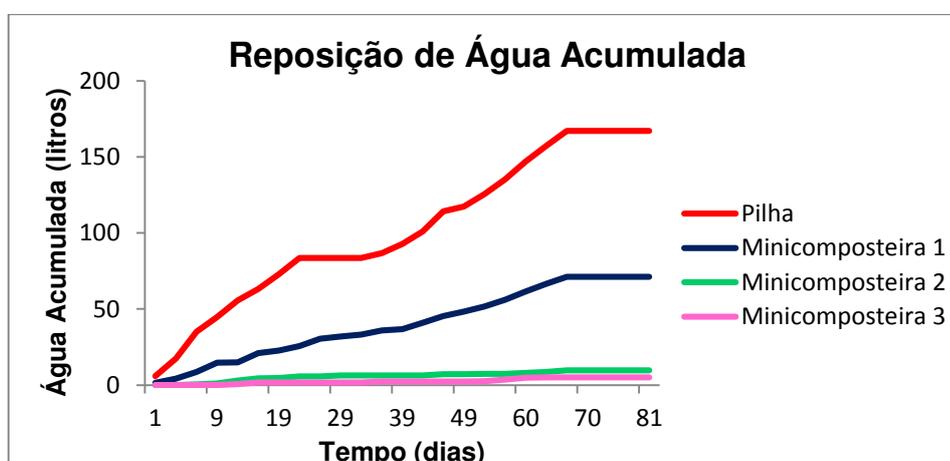
processo. Comparando-se o desempenho entre as minicomposteiras, ocorreu uma maior redução do material processado nos garrafões de água e no caixote plástico com um percentual de 51,32% e 51,09% respectivamente. Na pilha de compostagem essa redução foi de 45,91%.

Houve também uma considerável redução do volume de material. A pilha, por exemplo, foi montada inicialmente com altura de 65 cm e diâmetro de 1,35 m e no final do processo encontrou-se com uma altura de 32 cm e um diâmetro de 80 cm.

4.1.5 Umidade

No GRAF. 5 é possível observar que a reposição de água entre os testes realizados foi superior na pilha e na minicomposteira #1 (Caixote Plástico), apresentando um total de água acumulada de 167,04 litros e 71,24 litros respectivamente. Nas minicomposteiras #2 e #3 foram adicionados durante o monitoramento um total de 9,81 e 5,12 litros respectivamente. A maior demanda por água na pilha e na minicomposteira #1 certamente ocorreu pelo fato destas se encontrarem mais expostas aos ventos, o que facilitava a rápida perda da umidade assim como favorecia a oxigenação da massa. Ainda é possível observar, de acordo com o GRAF. 5, que após os 70 dias de monitoramento não foi mais adicionado água em nenhum dos tratamentos analisados, uma vez que os compostos já se encontravam no final da fase de maturação.

Gráfico 5 – Reposição de Água Acumulada



Fonte: Arquivo pessoal (2013).

4.1.6 Condutividade elétrica

A TAB. 7 mostra os valores de condutividade elétrica (CE) da pilha e das minicomposteiras #1, #2 e #3, respectivamente.

Tabela 7 – Condutividade Elétrica da Pilha e das Minicomposteiras

CONDUTIVIDADE ELÉTRICA (ds m ⁻¹)	PILHA	CAIXOTE PLÁSTICO	GARRAFÃO DE ÁGUA	TUBOS DE PVC
	4,17	6,13	8,59	9,29

Fonte: Autoria própria.

De acordo com Craul e Switzenbaun (1996), a salinidade de um composto orgânico não deve exceder 4,0 ds/m⁻¹.

Os valores descritos na TAB. 7 diferenciaram-se dos limites estipulados na literatura, onde a massa de resíduos da pilha foi a que mais se aproximou da faixa tolerada de 4,0 ds m⁻¹, apresentando valores médios de 4,17 ds m⁻¹.

Brito (2008) ao avaliar o comportamento da CE em sete leiras obteve resultados variando entre 4,11 ds m⁻¹ e 5,54 ds m⁻¹, valores estes que também ultrapassaram a faixa tolerada de 4,0 ds m⁻¹.

Com relação aos valores apresentados nas minicomposteiras, estes excederam o limite citado na literatura. Provavelmente esses altos valores de condutividade elétrica se deram em função das massas de compostagem não atingirem as temperaturas termofílicas ideais a um bom desempenho da degradação. Com isso, verifica-se que, de acordo com este parâmetro, a massa de resíduos da pilha apresentou-se em um nível de maturação mais adequado.

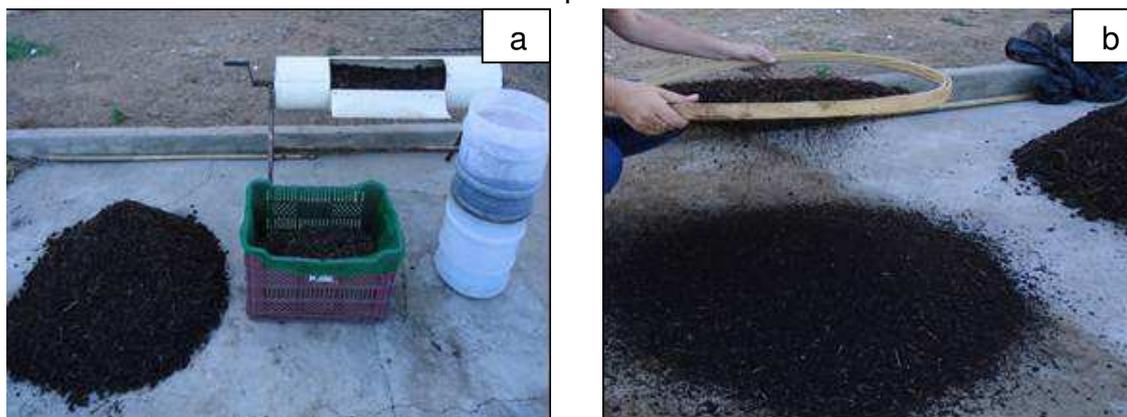
4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS COMPOSTOS FINAIS

Com o fim do processo de compostagem, foram feitas a pesagem e o peneiramento das massas de compostagem da pilha e das minicomposteiras. O peneiramento foi executado com o auxílio de peneira com malha de 4,8 mm, com o

objetivo de retirar componentes indesejáveis, bem como de homogeneizar a massa de compostagem.

Na FIG. 15 ilustra-se o composto finalizado da pilha e nas minicomposteiras (FIG. 15 a) e o processo de peneiramento do composto final (FIG. 15b).

Figura 15 – (a) Composto finalizado e (b) processo de peneiramento do composto



Fonte: Arquivo pessoal (2013).

4.3 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DOS COMPOSTOS FINAIS

Para avaliação dos compostos finais foram coletadas amostras e encaminhadas ao Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas da UFCG para determinação dos parâmetros descritos na TAB. 8

Tabela 8 – Caracterização físico-química do composto final

PARÂMETROS	CAIXOTE PLÁSTICO	GARRAFÃO DE ÁGUA 20L	TUBO DE PVC	PILHA DE COMPOSTAGEM
Nitrogênio Total (%)	1,84	1,8	1,64	1,68
Carbono Orgânico (%)	11,79	12,37	10,44	10,25
Fósforo (%)	0,69	0,66	0,69	0,68
Potássio (%)	2,77	2,81	3,20	1,93
Relação C/N*	6,41:1	6,87:1	6,37:1	6,10:1
Umidade (%)	18,31	38,5	34,78	26,02
Matéria Orgânica (%)	20,33	21,33	18,0	17,66
Massa Úmida (kg)	4,64	2,70	3,46	23,34
Massa Seca (kg)	3,79	1,66	2,26	17,27

Fonte: Autoria própria.

Com relação ao parâmetro Nitrogênio Total e Carbono Orgânico, os valores obtidos tanto nas minicomposteiras como na pilha de compostagem não diferenciaram significativamente. Observou-se que as percentagens de Nitrogênio Total aumentaram do início para o fim do processo em virtude de maiores reduções nos teores de Carbono Orgânico e demais elementos analisados.

Em sua pesquisa, Brito (2008) também observou um acréscimo dos teores de N Total em relação ao início do processo, onde o autor justifica esse aumento devido ao decréscimo da matéria orgânica nas leiras, uma vez que a perda desse material através de sua oxidação a CO₂ é bem maior que a perda de nitrogênio relacionada ao seu consumo pelos microrganismos.

Os percentuais de fósforo obtidos também não diferenciaram significativamente entre os testes realizados, já os de potássio foram superiores nas minicomposteiras #1, #2 e #3.

Em sua pesquisa, Souza, Pereira Neto e Ceballos (2002), ao monitorar processos de compostagem em três pilhas utilizando como matéria prima a fração orgânica de resíduos sólidos domiciliares, obtiveram valores médios no final do

processo de: nitrogênio (1,33%), fósforo (0,4%) e potássio (1,13%), percentuais estes próximos aos encontrados nesta pesquisa.

Gubert et al., (2009), ao avaliar e monitorar uma pilha de compostagem durante 120 dias, utilizando resíduos fibrosos constituídos de podas, aparas de grama e folhas, resíduos agroindustriais, gerados no abate de aves e resíduos orgânicos, constituídos de restos de alimentos vegetais orgânicos provindos de restaurantes, obtiveram após o composto maturado percentuais de carbono de 14,70%, nitrogênio de 1,13 %, fósforo de 0,25 % e potássio de 1,45%. Estes resultados também se encontram próximos aos obtidos neste estudo.

Com relação à umidade, o total de água adicionada foi superior na pilha e na minicomposteira #1, isso se justifica pelo fato das mesmas estarem mais expostas aos ventos e, portanto, mais sujeitas a perdas de água por evaporação.

Para efeito da IN n.º 25/2009 do MAPA, que aprova as normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura, os fertilizantes orgânicos mistos e compostos para serem comercializados no Brasil devem atender as exigências descritas na TAB. 9, em que, além dos valores de referência, também encontram-se listadas as características físico-químicas dos compostos finais das minicomposteiras e da pilha de compostagem deste estudo.

De acordo com os padrões estabelecidos pela IN n.º 25/2009, o percentual de Nitrogênio Total para que os fertilizantes orgânicos mistos e compostos possam ser comercializados deve ser de no mínimo de 0,5%. Dessa forma, os valores obtidos tanto das minicomposteiras como da pilha encontram-se de acordo com o limite mínimo estipulado.

Wangen e Freitas (2010), avaliando um processo de compostagem processado em uma composteira confeccionada a partir de um tambor plástico, com capacidade para 200 L, utilizando restos de alimentos, cascas de ovos, borra de café, aparas de árvores, arbustos e grama, dentre outros, gerados e coletados seletivamente em residências localizadas no município de Uberlândia-MG, obteve na caracterização final do composto um percentual de nitrogênio total de 1,9 %, valor este bem próximo aos teores de N encontrados nos testes realizados nesta pesquisa.

Tabela 9 – Características físico-químicas dos compostos finais e valores de referência para os parâmetros analisados especificados pela IN n.º 25 de 23/07/2009

PARÂMETROS					VALORES DE REFERÊNCIA (IN N.º 25 DE 23/07/2009 MAPA)
	CAIXOTE PLÁSTICO	GARRAFÃO DE ÁGUA 20L	TUBO DE PVC	PILHA DE COMPOSTAGEM	
Nitrogênio Total	1,84%	1,8%	1,64%	1,68%	Mínimo de 0,5%
Carbono Orgânico	11,79%	12,37%	10,44%	10,25%	Mínimo de 15%
Umidade	18,31%	38,5%	34,78%	26,02%	Máximo de 50%
Relação C/N	6,41:1	6,87:1	6,37:1	6,10:1	Máximo de 20:1
Ph	8,00	8,05	8,26	8,01	Mínimo de 6

Fonte: Autoria própria.

O percentual de Carbono Orgânico obtido nos testes realizados não alcançaram o limite mínimo estipulado de 15%, onde a minicomposteira de garrafão de água foi a que melhor se enquadrou, apresentado valores de 12,37%.

As relações C/N obtidas na caracterização dos compostos finais, tanto da pilha como das minicomposteiras #1, #2 e #3, estão de acordo com o padrão estipulado pela IN 25/2009 do MAPA, que é de no máximo 20:1.

Os percentuais de umidade obtidos também estão em concordância com o limite máximo estipulado pela normativa, que é de 50 %.

O valor do pH no final do processo segundo a IN 25/2009 do MAPA deve ser de no mínimo 6. Os testes realizados quanto a este parâmetro estão de acordo com o estipulado para que o composto possa ser comercializado como fertilizante orgânico.

Em sua pesquisa, Pereira et al., (2013), ao monitorar duas pilhas de compostagem de pequena escala em condições semiáridas, testando a superfície onde estas foram montadas (uma no solo e outra em pátio) com iguais proporções de resíduos agroindustriais (cascas de banana, esterco ovino, podas de marmeleiro

e jurema preta), observaram que o pH tanto no início do processo como no final manteve-se alcalino, onde justificaram estes valores devido as matérias primas utilizadas que inicialmente já apresentavam um pH com valores aproximados de 9,1. Além do pH, as relações C/N evidenciadas pelos autores também apresentaram-se bem próximas dos valores encontrados nesta pesquisa, com percentuais de 6,01:1 e 3,55:1 para o solo e pátio, respectivamente.

5 CONCLUSÕES

- Dentre as minicomposteiras avaliadas nesta pesquisa, as confeccionadas de garrações de água de 20 L e as de caixotes plásticos foram as que mais se destacaram em termos de facilidade de aquisição, aplicação de reduzidos recursos financeiros para a confecção, e por serem de fácil manejo principalmente se o processo de compostagem for conduzido nas próprias residências.
- A caracterização prévia dos resíduos utilizados no processo de compostagem foi de suma importância na avaliação dos principais parâmetros físico-químicos intervenientes no processo.
- Quanto ao monitoramento e controle dos parâmetros físico-químicos, estes foram essenciais ao bom desempenho dos processos de compostagem. A temperatura da massa de compostagem da pilha foi a que alcançou as faixas mais favoráveis à degradação dos resíduos orgânicos. Dentre as minicomposteiras, a construída com caixote plástico atingiu as maiores temperaturas durante o processo. Com relação ao monitoramento dos sólidos voláteis, observou-se que a pilha também apresentou os melhores resultados de redução quanto a esse parâmetro, apesar disso, os materiais das minicomposteiras também apresentaram reduções significativas. Os valores de pH, tanto na pilha como nas minicomposteiras, mantiveram-se na faixa alcalina durante todo o processo. A redução de massa seca foi satisfatória para todos os tratamentos estudados, com destaque para as minicomposteiras confeccionadas com garrafão de água e a de caixote plástico. Ao avaliar a maturação dos compostos por meio da condutividade elétrica, observou-se que a massa de compostagem da pilha foi a que mais se destacou, sendo seguida pela minicomposteira construída com o caixote de plástico. Com relação ao monitoramento da umidade, as maiores reposições de água ocorreram na pilha e na minicomposteira #1 (caixote plástico).
- Ao avaliar os percentuais de nitrogênio, carbono orgânico, umidade, relação C/N e pH de acordo com a IN n.º 25/2009 do MAPA, percebe-se que dentre esses parâmetros, apenas os valores de carbono orgânico não atenderam as exigências estabelecidas.
- O processo de compostagem com o uso da pilha de dimensões reduzidas mostrou-se mais eficiente que as minicomposteiras para maior parte dos parâmetros

estudados. Dentre os três diferentes tipos de minicomposteiras avaliadas, as minicomposteiras feitas com o caixote plástico e o garrafão de água se destacaram mais do que a minicomposteira confeccionada com PVC.

Em uma visão geral, apesar de não ter sido alcançado completamente os parâmetros exigidos para fins comerciais, todos os processos estudados foram eficazes na reciclagem de materiais orgânicos em condições semiáridas, oferecendo inúmeras aplicações para o composto final e principalmente apresentando-se como uma alternativa para mitigação dos impactos ambientais negativos associados à disposição inadequada de resíduos sólidos orgânicos.

Sugere-se para novos estudos a aplicação de processos de compostagem em pequena escala utilizando-se outras proporções de resíduos sólidos orgânicos e buscando-se adequar a pesquisa para obtenção de um melhor desempenho desses processos, em especial nas próprias residências.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSEN, J. K. et al. **Home composting as an alternative treatment option for organic household waste in Denmark: an environmental assessment using life cycle assessment-modelling.** *Waste Management*, 32, 2012, p. 31–40.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10004: 2004** Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004, 71 p.

BENDER, E. P. **Utilização da Energia Biotérmica da Compostagem Para o Aquecimento de Água e Ar.** 2009. 61 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia), Universidade Federal de Santa Catarina-UFSC, Florianópolis, 2009.

BERNADO, A. A. **O uso de Radiações não Ionizantes na Compostagem em Pequena Escala.** 2008. 75 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade do Extremo Sul Catarinense- UNESC, Criciúma, 2008.

BIDONE, F. R. A. **Resíduos sólidos provenientes de coletas especiais: eliminação e valorização.** Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES. Rio de Janeiro. Brasil, 2001.

BRASIL. **Instrução Normativa nº 25, de 23 de julho de 2009.** Aprova as Normas sobre as Especificações e as Garantias, as Tolerâncias, o Registro, a Embalagem e a Rotulagem dos Fertilizantes Orgânicos Simples, Mistos, Compostos, Organominerais e Biofertilizantes Destinados à Agricultura. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento-MAPA, Diário Oficial da União, Brasília, Seção 1, p. 20, 28 de Jul. de 2009.

BRASIL. **Instrução Normativa nº 23, de 31 de agosto de 2005.** Aprova as Normas sobre as Especificações e as Garantias, as Tolerâncias, o Registro, a Embalagem e a Rotulagem dos Fertilizantes Orgânicos Simples, Mistos, Compostos, Organominerais e Biofertilizantes Destinados à Agricultura. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento-MAPA, Diário Oficial da União, Brasília, Seção 1, p. 12, 08 de Setembro, 2005.

BRASIL. **Decreto-Lei 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. Diário Oficial da União, Brasília, 15 de jan. 2004.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 02 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. Diário Oficial da União, Brasília, 03 de ago. 2010.

BRASIL. **Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980.** Dispõe sobre a inspeção e a fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 17 de dez, 1980.

BRITO, M. J. C. **Processo de Compostagem de Resíduos Urbanos em Pequena Escala e Potencial de Utilização do Composto como Substrato.** 2008. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos), Universidade Tiradentes - UNIT, Aracajú, 2008.

CARLI, S. T. **Uso de Degradadores Biológicos na Aceleração do Processo de Compostagem dos Resíduos Orgânicos Vegetais e Palhas de Embalagem – Estudo de Caso na Ceasa-Curitiba.** 2010. 159 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) Universidade Tuiuti do Paraná- UTP, Curitiba, 2010.

CORDEIRO, N. M. **Compostagem de Resíduos Verdes e Avaliação da Qualidade dos Compostos Obtidos - Caso de Estudo da Algar S.S.** 2010. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente- Tecnologias Ambientais) - Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2010.

CRAUL, P. J.; SWITZABAUM, M. S. Developing biosolids compost specifications. **Biocycle**, v.37, p.44-47, 1996.

DIAS, M. C. **Comida jogada fora.** Jornal Correio Brasiliense. Brasília 31 de agosto 2003. Disponível em: <<http://www.conciencianet/comida>>. Acesso: 19 de fev. de 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes** / editor técnico, Fábio Cesar da Silva. – 2. Ed. Ver. Ampl. – Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009, 627 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo.** 2 ed. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Rio de Janeiro, 1997, 212 p.

FERNÁNDEZ, H. T. M. Producción de biofertilizantes por degradación microbológica de residuos orgânicos In: FIGUEREDO, B. V. M. et al. Microorganismos e

Agrobiodiversidade: O novo desafio para a agricultura, Editora Agro livros, 2008, 353 – 373p.

FRITSCH, P. R. C. **“A temperatura Como Parâmetro Acessível e Possível de Ser Utilizado no Controle do Processo de Compostagem em Municípios de Pequeno e Médio Porte”**. 2006. 146 f. Dissertação (Mestrado em Ciências), Escola Nacional de Saúde Pública, Rio de Janeiro, 2006.

GUBERT, C. **Avaliação da Qualidade do Composto Orgânico Produzido no Município de Quilombo – SC**. Revista Brasileira de Agroecologia. v. 4, n.2, p. 1544 - 1547, nov. 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. Rio de Janeiro, 2010.

JUNKES, M. B. **Procedimentos para aproveitamento de resíduos sólidos urbanos em municípios de pequeno porte**. 2002. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, 2002.

KIEHL E. J. **Adubação Orgânica – 500 perguntas e respostas**, Piracicaba: 2008, 227 p.

KIEHL E. J. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**, Piracicaba: 4ª ed. 2004, 173 p.

KIEHL, E. J. **Manual de Compostagem: maturação e qualidade do composto**. Piracicaba, 1998. 171 p.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. Editora Agronômica Ceres Ltda. Piracicaba. 1985, 492 p.

LASHERMES, G. E. et al. **Composting in small laboratory pilots: performance and reproducibility**. Waste Management, 32, 2012, p. 271–277.

LOUREIRO, D. C. et al. **Compostagem e vermicompostagem de resíduos domiciliares com esterco bovino para a produção de insumo orgânico**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.42, n.7, p.1043-1048, jul. 2007.

MARAGNO, E. S. **O Uso da Serragem em Sistema de Minicompostagem**. 2005. 88 f. Dissertação (Mestrado em Gestão de Recursos Naturais) - Universidade do Extremo Sul Catarinense- UNESC, Criciúma, 2005.

MARQUES, M.; HOGLAND, W. Processo descentralizado de compostagem em pequena escala para resíduos sólidos domiciliares em áreas urbanas. In: **XVIII Interamerican Congress of Sanitary and Environmental Engineering**, October 27-31, Cancun, Mexico, 2002.

MONTEIRO, F. H. P. et al. **Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos**. ZVEIBIL, V. Z. (coordenação técnica), Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

PAIVA, E. C. R. **Avaliação da Compostagem de Carcaças de Frango Pelos Métodos da Composteira e Leiras Estáticas Aeradas**. 2008. 164 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa -UFV, Viçosa, 2008.

PROGRAMA DE AÇÃO ESTADUAL DE COMBATE À DESERTIFICAÇÃO E MITIGAÇÃO DOS EFEITOS DA SECA - PAE. João Pessoa: Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos, do Meio Ambiente e da Ciência e Tecnologia. Superintendência de Administração do Meio Ambiente, 2011, 159p.

PEREIRA, R. A. et al. **A Compostagem como Alternativa para a problemática dos Resíduos Agroindustriais no Sertão Paraibano**. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável. Mossoró-RN, v. 8, n.1, p. 269 - 273, jan/mar, 2013.

PEREIRA NETO, J. T. **Manual de compostagem: processo de baixo custo**. Belo Horizonte: UNICEF, 1996, 56 p.

PEREIRA NETO, J. T. **Manual de compostagem: processo de baixo custo**. Viçosa-MG. Ed. UFRV. 2007, 81 p.

PIRES, A. B. **Análise de Viabilidade Econômica de um Sistema de Compostagem Acelerada para Resíduos Sólidos Urbanos**. 2011. 65 f. Trabalho de conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental), Universidade de Passo Fundo - UPF, Passo Fundo, 2011.

RAIJ, B. et al. **Análise química para avaliação para fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo. 2001, 284 p.

REIS, M. F. P. **Avaliação do processo de compostagem de resíduos sólidos urbanos**. 2005. 239 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental), Universidade Federal do Rio Grande de Sul- UFRS, Porto Alegre, 2005.

RODRIGUES, M. S et al. **Compostagem: Reciclagem de Resíduos Sólidos Orgânicos**. In: Spadotto, C.A.; Ribeiro, W. Gestão de resíduos na agricultura e agroindústria. FEPAF. Botucatu. 2006. p. 63-94.

SANTOS, J. L. D. **Caracterização Físico-Química e Biológica em Diferentes Laboratórios de Produtos Obtidos a Partir da Compostagem de Resíduos Orgânicos Biodegradáveis**. 2007. 144 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) – Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Porto, 2007.

SOUZA, F. C.; PEREIRA NETO, J. T.; CEBALLOS, B. S. de O. Avaliação da Compostagem Mesofílica e Termofílica. In: **Anais do VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, set. 2002, Vitória-ES, p. 1-10.

SPADER, S. **O Uso da Casca de Arroz em Processos de Minicompostagem**. 2005. 46 f. Dissertação (Mestrado em Gestão de Recursos Naturais) - Universidade do Extremo Sul Catarinense- UNESC, Criciúma, 2005.

SILVA, L. M. S. **Compostagem de resíduos sólidos urbanos em locais contemplados com coleta seletiva: Influência da triagem e da frequência de revolvimento**. 2009. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Universidade Estadual de Londrina – UEL, Londrina, 2009.

SILVA, A. L. F. **Atributos Químicos e Biológicos no Solo do Uso da Compostagem da Casca de Mandioca**. 2010. 99 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal do Acre - UFAC, Rio Branco, 2010.

TREVISAN, I. C. **Compostagem de Resíduos Sólidos Domiciliares Sob Diferentes Condições Ambientais e de Revolvimento**. 2011. 68 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de Passo Fundo - UPF, Passo Fundo, 2011.

TROMBIN, D. F. et al. A relação C/N dos resíduos sólidos orgânicos do bairro universitário da cidade de Criciúma – SC. In: **Anais do XXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, 2005, Porto Alegre. p. 1-5.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA – UFV. **Metodologia de Análise Foliar**. Centro de Ciências Agrárias. Departamento de Fitotecnia. Viçosa-MG, 1997, 32 p.

WANGEN, D. R. B.; FREITAS, I. C. V. **Compostagem Doméstica: Alternativa de Aproveitamento de Resíduos Sólidos Orgânicos**. Revista Brasileira de Agroecologia. v. 5, n.2, p. 81- 88, abr. 2010.