

Avaliação de composteiras para reciclagem de resíduos orgânicos em pequena escala

Evaluation of composting bins for small-scale recycling of organic wastes

Luara Lourenço Ismael^{1}; Rafaela Alves Pereira²; Camilo Allyson Simões de Farias³; Emanuel Tarcísio do Rêgo Farias.⁴*

Resumo: Estima-se que cerca da metade dos resíduos sólidos gerados no Brasil é composto por resíduos orgânicos (PNSB, 2008). 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. 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 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. 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.

Palavras-chave: resíduos sólidos orgânicos, compostagem em pequena escala, composteiras.

Abstract: It is estimated that around half of the solid wastes generated in Brazil is composed of organic wastes (PNSB, 2008). 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.

Key words: organic solid wastes, small-scale composting, composting bins.

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 consequente necessidade de disposição final adequada para estes.

Considerando o excesso de resíduos que produzimos 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 conduzir 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.

A gestão de resíduos sólidos tem sido alvo de debates no governo e na sociedade. A geração de resíduos intensifica-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. Estima-se que de 50% a 60% dos resíduos gerados no Brasil são compostos por

*autor para correspondência

Recebido para publicação em 28/01/2013; aprovado em 30/03/2013

¹ Graduanda em Engenharia Ambiental, Unidade Acadêmica de Ciências e Tecnologia Ambiental, UFCG. E-mail: luara_ismael@hotmail.com

² Mestre do Programa de Pós-Graduação em Sistemas Agroindustriais (PPGSA), UFCG, E-mail: faela.alves@hotmail.com

³ Professor Adjunto II, Unidade Acadêmica de Ciências e Tecnologia Ambiental, UFCG, Pombal - PB, E-mail: camilo@ccta.ufcg.edu.br

⁴ Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Sistemas Agroindustriais (PPGSA), UFCG. E-mail: emanueltarcisio@ccta.ufcg.edu.br

resíduos sólidos orgânicos. Dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - PNSB (2008) revelam que 50,8% dos municípios do Brasil depositam seus resíduos em lixões a céu aberto e apenas 27,7% em aterros sanitários. Os primeiros programas de coleta seletiva e reciclagem dos resíduos sólidos começaram a partir de meados da década de 1980, como alternativas inovadoras para o problema dos resíduos sólidos domésticos e estímulo à reciclagem (PNSB, 2008).

No ano de 2010, a Lei Federal nº 12.305/2010 instituiu no Brasil a Política Nacional de Resíduos Sólidos. 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.

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 gerando 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.

Outra problemática evidenciada por meio do descarte de resíduos sólidos orgânicos em locais inadequados refere-se à proliferação de vetores, como insetos, ratos e outros animais infectados, que podem ocasionar sérios problemas de saúde aos seres humanos. Os depósitos inadequados de resíduos propiciam também condições impróprias de higiene para os catadores que ali trabalham e obtêm 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 a serem tratados serem de fácil degradabilidade.

De acordo com Brito (2008), as características socioeconômicas predominantes na maioria dos municípios brasileiros, a aptidão agrícola do país, a alta percentagem de resíduos orgânicos do lixo, a grande quantidade de lixões e a necessidade da adoção de técnicas de tratamento de resíduos fazem da compostagem um processo de alta viabilidade de uso no Brasil.

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), “*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”.

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 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 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 representam 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.

Brito (2008) afirma que o processo de compostagem diferencia-se da decomposição natural 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 microbiológica. Dentre esses, os principais são: umidade, oxigenação, temperatura, tamanho das partículas, concentração de nutrientes e pH (PEREIRA NETO, 1996).

Apesar dos processos de compostagem serem 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 poderia 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. Dentro dessa perspectiva, o principal objetivo deste estudo foi avaliar e comparar três diferentes tipos de minicomposteiras e uma pilha de compostagem para reciclagem de resíduos sólidos orgânicos em pequena escala, bem como monitorar os parâmetros físicos e

químicos da mistura de resíduos durante o processo, caracterizando e comparando os diferentes produtos finais obtidos.

MATERIAL E MÉTODOS

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. A Figura 1 mostra o local de realização do experimento.

Figura 1: Pátio de compostagem.

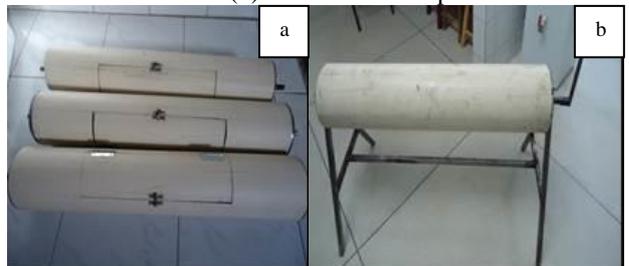


oxigenação e o manuseio dos resíduos durante o processo, foi feita uma abertura em cada minicomposteira. Além disso, foi construído um suporte metálico que tem como função facilitar o reviramento do composto. Nas Figuras 3a e 3b estão mostradas imagens dos tubos de PVC com abertura no centro e de um modelo encaixado no suporte metálico, respectivamente.

Figura 2: (a) Garrafões de água de 20L e (b) minicomposteiras confeccionadas



Figura 3: Minicomposteira de PVC mostrando a (a) abertura no centro e (b) encaixada no suporte metálico.



Minicomposteiras e pilha de compostagem

Esta etapa consistiu na confecção de nove minicomposteiras, sendo três repetições para três tipos diferentes, e, além destas, uma pilha de compostagem de pequeno porte para fins de comparação.

As minicomposteiras são: três de garrafões de água de 20L, três de PVC e três de caixotes plásticos. As três repetições para cada um dos três tipos de minicomposteiras foram propostas com a finalidade de oferecer uma maior confiabilidade nos resultados.

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 Figura 2 estão ilustrados os garrafões de água de 20L (Figura 2a) e as minicomposteiras confeccionadas (Figura 2b).

Minicomposteiras de PVC:

Para confecção das três composteiras de PVC foram utilizados três canos com 200 mm de diâmetro e com 1 m de comprimento cada. Com o objetivo de facilitar a

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 bastante atrativas para realização de compostagem em pequena escala. Para evitar a queda dos resíduos foram colocadas telas recobrendo todas as caixas. Na Figura 4 estão ilustrados os caixotes plásticos (Figura 4a) e as minicomposteiras confeccionadas (Figura 4b).

Figura 4: (a) Caixotes plásticos e (b) minicomposteiras confeccionadas.



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 Câmpus Universitário da UFCG em Pombal - PB.

Na Figura 5 são apresentados os resíduos utilizados no processo de compostagem, sendo: cascas de frutas e verduras (Figura 5a), cascas de banana (Figura 5b), esterco bovino (Figura 5c), folhas de mangueira triturada (Figura 5d), e restos de capinação (Figura 5e).

Figura 5: 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 (e) restos de gramas trituradas.



Quanto aos resíduos utilizados na pesquisa, estes foram cedidos voluntariamente e escolhidos em função de sua disponibilidade. Por Pombal - PB se tratar de um município que concentra grande parte de sua renda com base em produtos agropecuários, a geração destes é bastante relevante. A seleção destes resíduos é também em função de sua disposição final, que na maioria das vezes é inadequada.

Caracterização físico-química dos resíduos utilizados

Após a coleta dos resíduos, estes foram direcionados a análises físico-químicas tais como: Nitrogênio Total,

Carbono Total, Fósforo, Potássio, Relação C/N, Matéria Orgânica, Umidade, Massa Úmida e Massa Seca, cujos resultados estão detalhados na Tabela 1. As análises físico-químicas mostradas na Tabela 1 foram realizadas no Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas e no LABRES, ambos pertencentes à UFCG, Câmpus de Pombal - PB. As metodologias utilizadas na realização das análises físico e químicas foram as seguintes: a determinação do Nitrogênio Total foi com base no descrito por Raij et al. (2001), Carbono Total baseado em Embrapa (1997) e para determinação de Fósforo e Potássio foi a descrição de UFV (1997). Já o percentual de Matéria Orgânica foi obtido com base na multiplicação do valor do Carbono Total por 1,724 de acordo com o Manual da Embrapa (2009).

Tabela 1: Caracterização físico-química dos resíduos orgânicos.

Parâmetros	Casca de Frutas e Verduras	Cascas de Banana	Esterco Bovino	Folhas de Mangueira	Grama
Nitrogênio Total (%)	0,67	0,52	0,70	0,71	1,14
Carbono Total (%)	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

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. A Figura 6 representa o processo de trituração da casca de banana (Figura 6a) e das cascas de frutas e verduras (Figura 6b) respectivamente.

Após a trituração, iniciou-se a mistura dos resíduos até formar a massa final a ser compostada. Na Figura 7 estão ilustrados o início da mistura dos resíduos orgânicos utilizados no processo de compostagem (Figura 7a) e a massa pronta de resíduos a ser compostada (Figura 7b).

Figura 6: (a) Trituração das cascas de banana e (b) trituração das cascas de frutas e verduras.



Figura 7: (a) Início da mistura dos resíduos e (b) massa de resíduos a ser compostada.



A proporção das massas úmidas utilizadas para cada tipo de resíduo indicado na Tabela 3 foi estabelecida de modo que fosse possível obter uma relação C/N da mistura com balanço de nutrientes adequado ao desenvolvimento do processo, e também no produto final, para efeito de qualidade do composto.

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

Após a mistura dos resíduos, foi realizada a caracterização destes quanto à relação C/N, umidade, massa úmida e massa seca, conforme descrito na Tabela 2.

Tabela 2: Caracterização da mistura de resíduos orgânicos.

Parâmetros	Mistura de resíduos
Relação de C/N	32,73
Umidade (%)	64,00
Massa Úmida (kg)	182,00
Massa Seca (kg)	65,61

A relação C/N após a mistura dos resíduos foi de 33:1, 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 desta nas minicomposteiras e para montagem da pilha de compostagem de pequeno porte. Na Figura 8 estão ilustradas as minicomposteiras com resíduos (Figura 8a) e a pilha de compostagem de pequena escala (Figura 8b).

Figura 8: (a) Minicomposteiras com resíduos e (b) pilha de compostagem de pequena escala.



A distribuição, em termos de massa úmida dos resíduos, em cada minicomposteira e na pilha está mostrada na Tabela 4.

Tabela 4. Massa úmida de resíduos distribuída para os tipos de minicomposteiras e para pilha.

Composteira #1	Composteira #2	Composteira #3	Pilha Compostagem
24 kg (3 repetições)	12 kg (3 repetições)	18 kg (3 repetições)	128 kg

Composteira #1 (Caixote Plástico), Composteira #2 (Garrafão de água de 20L), Composteira #3 (Tubo de PVC) e Pilha de Compostagem.

A massa úmida de resíduos descritos na Tabela 4 compreende 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).

Correção e 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 determinar os demais parâmetros (pH, sólidos voláteis, relação C/N e redução de massa seca). A condutividade elétrica foi investigada no final do processo de compostagem.

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 essa medição era feita no topo, centro e na base respectivamente. Também foi monitorada nesta pesquisa a temperatura ambiente, para fins de comparação com as demais, e a coleta dos dados era sempre obtida entre 07h00min e 08h00min da manhã.

A Figura 9 ilustra o termômetro utilizado nas medições de temperatura (Figura 9a), bem como a medição da temperatura no tubo de PVC (Figura 9b).

Figura 9: (a) Termômetro utilizado para medir a temperatura e (b) medição da temperatura no tubo de PVC.



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.

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), onde as amostras eram coletadas e direcionadas ao LABRES. A leitura do pH era feita por meio um medidor de pH de bancada de modelo LUCADAMA/MPA-210. A

A Figura 10 ilustra o revolvimento da pilha de compostagem (Figura 10a) e o revolvimento dos resíduos nos caixotes plásticos (Figura 10b).

Figura 10: (a) Revolvimento da pilha de compostagem e (b) revolvimento dos resíduos nos caixotes plásticos.



Umidade

A obtenção dos valores da umidade foi alcançada por meio de uma balança determinadora de umidade de modelo MARTE/ ID50. 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.

A Figura 11 ilustra a balança determinadora de umidade (Figura 11a) e correção da umidade na pilha (Figura 11b).

Figura 11: (a) Balança determinadora de umidade e (b) correção da umidade na pilha.



A Figura 12 ilustra o medidor de pH (Figura 12a) e a determinação de pH em uma das amostras (Figura 12b).

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). A Figura 13 ilustra a mufla utilizada para determinação de sólidos voláteis (Figura 13a) e a combustão da amostra (Figura 13b).

Figura 12: (a) Medidor de pH de bancada e (b) determinação de pH em uma amostra.

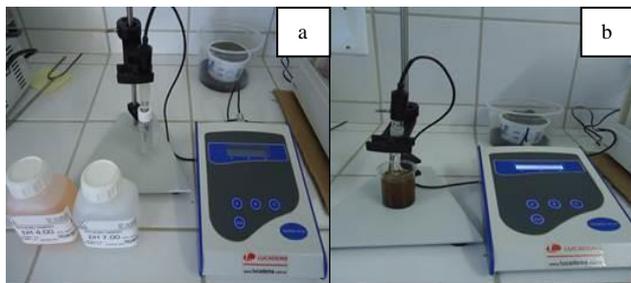


Figura 13: (a) Mufla determinadora de sólidos voláteis e (b) combustão da amostra.



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 calculado no momento da pesagem.

Condutividade elétrica

Para caracterização do composto final, foram analisados os resultados de pH, sólidos voláteis, perda de massa seca e a condutividade elétrica.

De acordo com Craul & Switzenbaun (1996) a salinidade de um composto orgânico não deve exceder $4,0 \text{ ds/m}^{-1}$. Para avaliação da condutividade elétrica utilizouse a metodologia descrita em Embrapa (2009).

Relação C/N

A relação C/N 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). Na prática, consideram-se os valores entre 26/1 e 35/1 como os iniciais mais favoráveis para uma compostagem rápida e eficaz (KIEHL, 2004).

As análises de Carbono e Nitrogênio do processo de compostagem investigado foram realizadas no início do processo e no final após todo o período de degradação dos resíduos orgânicos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados referem-se ao acompanhamento dos parâmetros temperatura, sólidos voláteis, pH, redução de massa seca e condutividade elétrica como indicativo de 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 13º dia de compostagem houve a mistura dos materiais das três repetições de minicomposteiras trabalhando-se com apenas uma minicomposteira de garrafão de água, uma de cano PVC, uma de caixa de plástico e com a pilha de compostagem.

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).

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 na Figura 14.

De acordo com a Figura 14, 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 , logo após o quarto dia mantiveram-se na fase termofílica até o vigésimo dia, apresentando durante todo o restante do processo temperaturas mesofílicas, com médias finais de 29°C .

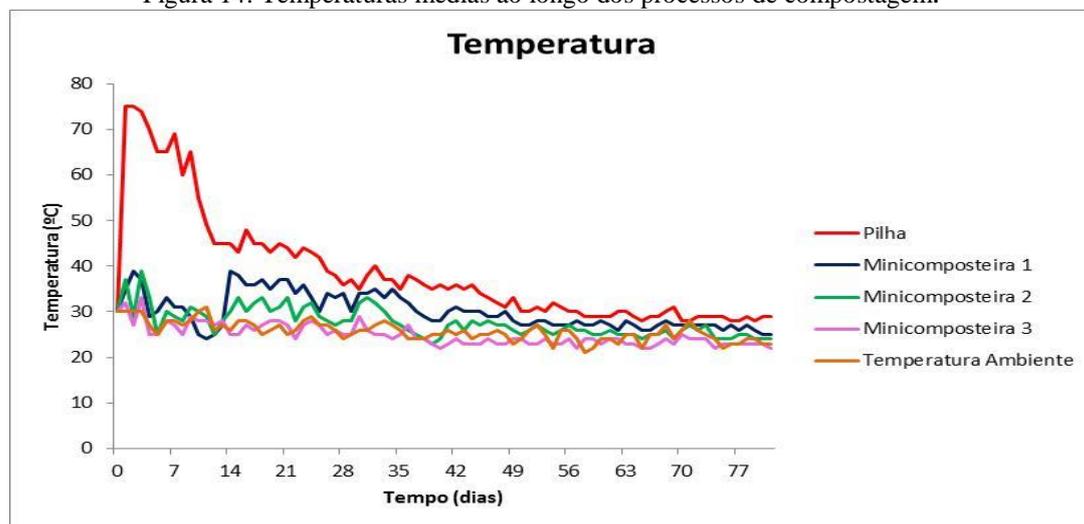
Costa et al. (2005) e Maragno (2005) comentam que é essencial manter controladas as temperaturas termofílicas na fase de degradação ativa (primeira fase do processo) para se conseguir o aumento na eficiência do processo, ou

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.

Figura 14: Temperaturas médias ao longo dos processos de compostagem.



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 a Figura 14, 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 enquadrava-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.

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%; 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 na Figura 15.

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 a 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 minicomposteiras apresentaram uma redução média no teor de sólidos voláteis superiores ou próxima ao valor citado na literatura.

Figura 15: Valores médios de sólidos voláteis em função dos dias de compostagem

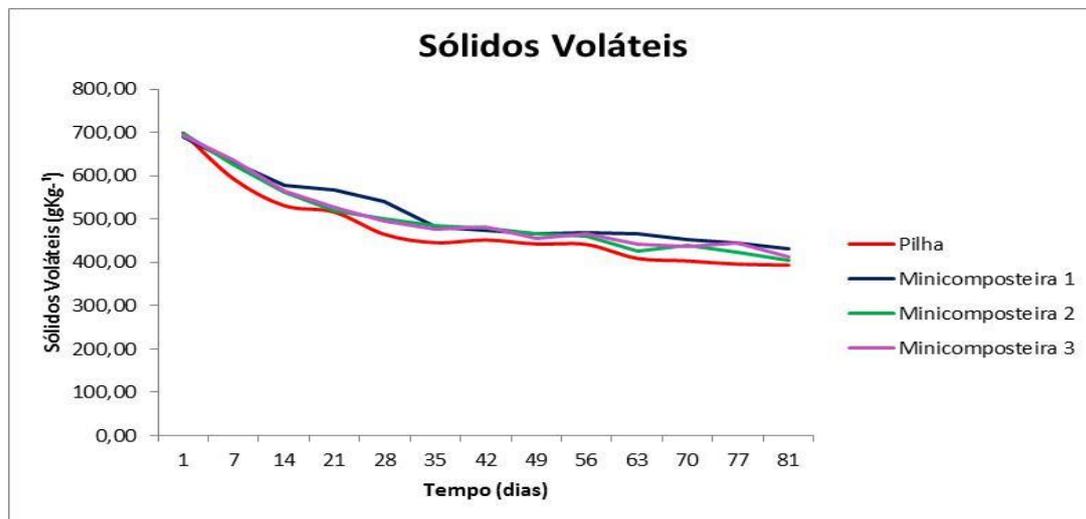
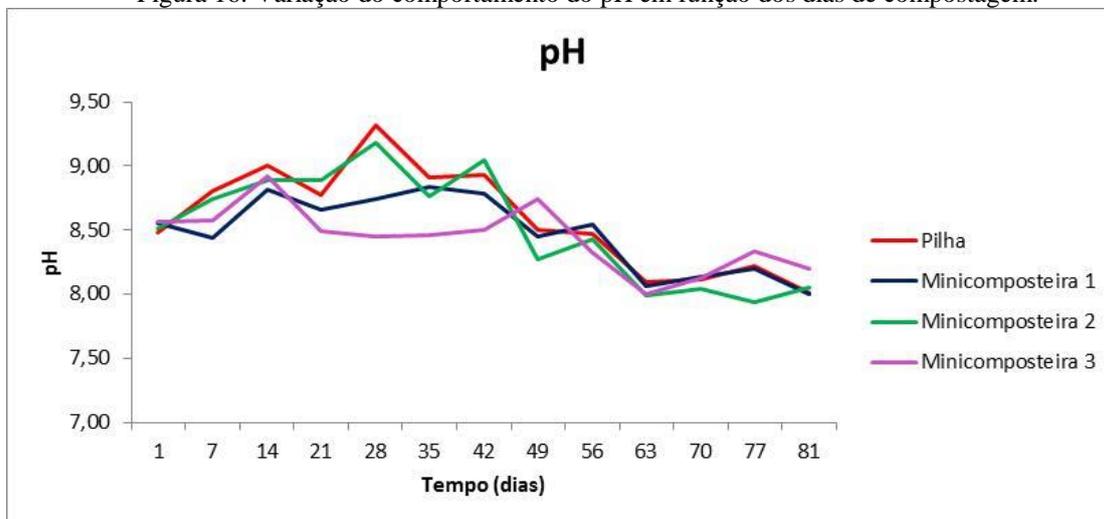


Figura 16: Variação do comportamento do pH em função dos dias de compostagem.



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.

Para Reis (2005), no início do processo o material produzido pode torna-se mais ácido (5 a 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.

A variação do pH em relação ao tempo de compostagem para pilha e resíduos das minicomposteiras está apresentada na Figura 16.

De acordo com a Figura 16, 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 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 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, independente do uso de corretivos, a compostagem conduz a formação de um composto levemente alcalino, que pode ser utilizado para correção de solos ácidos.

Redução de massa seca

Os dados de redução de massa seca durante o processo de compostagem podem ser observados na Tabela 5.

Tabela 5: Redução da massa seca da pilha e das composteiras.

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

De acordo com a Tabela 5 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, com um percentual de 51,32%. 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.

Condutividade elétrica

A Tabela 6 mostra os valores de condutividade elétrica da pilha e das minicomposteiras #1, #2 e #3, respectivamente.

Tabela 6: Condutividade elétrica da pilha e das composteiras.

	Pilha	Caixote plástico	Garrafão de água	Tubos de PVC
Condutividade Elétrica (ds m ⁻¹)	4,17	6,13	8,59	9,29

Os valores descritos na Tabela 6 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. 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 esteve em um nível de maturação mais adequado.

Obtenção do composto final

No final do processo de compostagem, foram feitas a pesagem das massas de compostagem da pilha e das minicomposteiras. Em seguida os compostos foram peneirados, procedimento este executado com o auxílio de peneira com malha de 4,8 mm, com os objetivos de retirar componentes indesejáveis que possam ter sido incorporados ao processo durante a fase inicial de coleta dos resíduos, bem como de homogeneizar a massa de compostagem.

A Figura 17 ilustra o composto finalizado da pilha e nas minicomposteiras (Figura 17a) e o processo de peneiramento do composto final (Figura 17b).

Figura 17: (a) Composto finalizado e (b) processo de peneiramento do composto.



CONCLUSÃO

Esta pesquisa, ao conduzir processos de compostagem em pequena escala, monitorou e observou o comportamento dos parâmetros físico-químicos de uma

pilha de compostagem e de três diferentes tipos de minicomposteiras.

Comparando o desempenho da temperatura, a massa de compostagem da pilha foi a que melhor alcançou as temperaturas desejadas. Dentre as minicomposteiras estudadas, a construída com caixote plástico atingiu as maiores temperaturas durante o processo, mantendo-se em temperaturas mais favoráveis a degradação. Com relação ao monitoramento dos sólidos voláteis, observou-se que a pilha também apresentou o melhor resultado, com uma redução neste teor de 43,71%. Apesar disso, os materiais das minicomposteiras também tiveram reduções nos teores de sólidos voláteis bem próximas do valor de redução de 40% descrito na literatura por Pereira Neto (2007). Os valores de pH, tanto na pilha como nas minicomposteiras, mantiveram-se na faixa alcalina, com valores finais variando de 8,00 a 8,20, o que está em conformidade com grande parte dos estudos descritos na literatura quando da avaliação de compostos finais. A redução de massa seca foi satisfatória para todos os tratamentos estudados, com destaque para a minicomposteira feita com garrafão de água.

Ao avaliar a maturação do composto por meio da condutividade elétrica, observou-se que nenhum dos tratamentos ficou abaixo do limite máximo sugerido na literatura. Ao comparar as opções investigadas, a média dos resultados (4,17 ds/m) encontrados para a massa de compostagem da pilha foi a que mais se destacou, sendo seguida pela minicomposteira construída com o caixote de plástico.

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 construída com PVC.

Em uma visão geral, apesar de não terem alcançados completamente os resultados esperados, todos os processos estudados foram eficazes na reciclagem de materiais orgânicos, 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.

REFERÊNCIAS

BERNADO, A. A. **O uso de Radiações não ionizantes na compostagem em pequena Escala**. Ed. do Autor. Criciúma-SC, Dissertação Mestrado - UESC, 2008, 75p.

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. **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.

BRITO, M. J. C. **Processo de compostagem de resíduos urbanos em pequena escala e potencial de utilização do composto como substrato**. Aracajú - SE, Dissertação submetida ao programa de Pós-graduação em Engenharia de Processos, UT, 2008, 124p.

COSTA, M. S. S de M., COSTA, L. de M., et al. **Efeito da aeração no primeiro estágio da compostagem de carcaças de aves**. Jaboticabal. Eng. Agrícola. V. 25, n.2, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo>. Acesso em: 15 Janeiro de 2013.

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

EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Rio de Janeiro, p. 212. 1997.

EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **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.

FERNÁNDEZ, H. T. M. Producción de biofertilizantes por degradación microbiológica de resíduos 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”**. Rio de Janeiro, Dissertação apresentada com vistas à obtenção do título de Mestre em Ciências na área de Saúde Pública, FOC, 2006, 146 p.

KIEHL E. J. **Manual de compostagem – Maturação e qualidade do composto**, Piracicaba: 4ª ed. 2004.

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

MARAGNO, E. S. **O uso da serragem em sistema de minicompostagem**. Criciúma. Monografia apresentada à Diretoria de Pós-graduação da Universidade do Extremo Sul Catarinense- UNESC. 2005, 88 p.

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.** Ed. ver. UFV. Viçosa-MG, 2007, 81 p.

PNSB – **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB).** Destino final dos resíduos sólidos. 2008. 219 p.

RAIJ, B. VAN.; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; ANDRADE, J.C. **Análise química para avaliação para fertilidade de solos tropicais.** Campinas: Instituto Agronômico. 2001, 284p.

REIS, M. F. P. **Avaliação do processo de compostagem de resíduos sólidos urbanos.** Porto Alegre. Tese submetida ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, UFRS, 2005, 239 p.

SPADER, S. **O uso da casca de arroz em processos de minicompostagem.** Criciúma-SC, Monografia apresentada à Diretoria de Pós-graduação da UESC-UNESC, 2005, 46 p.

UFV. **Metodologia de Análise Foliar.** Centro de Ciências Agrárias. Departamento de Fitotecnia. Viçosa-MG, 1997, 32p.