

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS DE FOLHAS DE ÁRVORES E JARDINS EM UMA INSTITUIÇÃO PÚBLICA DE BELO HORIZONTE (BRASIL)

*Priscila da Costa¹
Arthur Couto Neves²
Sara Araujo Valladão¹
Marcos Paulo Gomes Mol²

EVALUATION OF THE COMPOSTING PROCESS REUSING LEAVES AND YARD WASTE IN A PUBLIC INSTITUTION OF BELO HORIZONTE, BRAZIL

Recibido el 12 de julio de 2017; Aceptado el 11 de diciembre de 2017

Abstract

Considering a context of sustainable development and circular economy recyclable, organic and yard waste are considered resources and as potential new products. Yard waste, in general, show a slower decomposition, when it isn't used in a composting process. This study aims to evaluate a composting process in a public institution of Belo Horizonte, Brazil, through the reuse of leaves and yard waste. The following indicators were measured: temperature (monitored daily), pH and moisture (monitored weekly). The final product showed characteristics of maturation after about 60 days. It was obtained a variation of temperature between 32 and 58°C and an average moisture of 54.9% ($\pm 5.4\%$) during the whole process. Analytical assays for pH were done using the solutions of Potassium chloride, Calcium chloride and type I Water, identifying the average values 7.38 (± 0.20), 7.45 (± 0.28) and 8.35 (± 0.45), respectively. Obtained results indicated that the factors affecting decomposition, used in the present study (pH, temperature, moisture) maintain within a range that allowed adequate degradation of the compost during the monitored period. Furthermore, due the simple maintenance of the process and reduce of materials that would be send to landfills, it was concluded that the composting of leaves and yard waste is viable and recommended as an improvement in waste management in enterprises that has the challenge to manage this kind of waste.

Keywords: biodegradation, composting, leaf waste, waste management.

¹ Diretoria do Instituto Octávio Magalhães. Fundação Ezequiel Dias. Belo Horizonte, Brasil.

² Diretoria de Pesquisa e Desenvolvimento. Fundação Ezequiel Dias. Belo Horizonte, Brasil.

*Autor correspondente: Laboratório de Química Bromatológica – Serviço de Química, Diretoria do Instituto Octávio Magalhães. Fundação Ezequiel Dias – FUNED. Rua Conde Pereira Carneiro, 80. Bairro Gameleira. Cidade Belo Horizonte. Estado Minas Gerais. CEP 30510-010. Brasil. Email: priscila.costa91@hotmail.com

Resumo

Considerando-se um contexto de desenvolvimento sustentável e economia circular, resíduos recicláveis, orgânicos e de jardins são considerados recursos e têm potencial para serem transformados em novos produtos. Resíduos de jardins, em geral, apresentam decomposição mais lenta quando não incorporados a um processo de compostagem. O objetivo do presente estudo foi avaliar o processo de compostagem dos resíduos de folhas de árvores e jardins em escala piloto de uma instituição pública de Belo Horizonte, Brasil. Foram medidos os seguintes indicadores: temperatura, pH e umidade, sendo o monitoramento diário para a temperatura e semanal para os demais parâmetros. O produto final apresentou aspectos de maturação em cerca de 60 dias. Obteve-se uma variação de temperatura entre 32 e 58°C e umidade média de 54.9% ($\pm 5.4\%$) durante todo o processo. No ensaio analítico de pH foram utilizadas soluções de Cloreto de Potássio, Cloreto de Cálcio e Água tipo I e verificaram-se valores médios de 7.38 (± 0.20), 7.45 (± 0.28) e 8.35 (± 0.45), respectivamente. Os resultados obtidos indicaram que os fatores interferentes à decomposição, utilizados no presente estudo (pH, temperatura e umidade), mantiveram-se em faixas que proporcionaram adequada degradação do composto no período monitorado. Além disso, devido à facilidade operacional do processo e à redução de materiais que seriam destinados a aterros sanitários, concluiu-se que a compostagem de resíduos de folhas de árvores e jardins é viável e recomendada como melhoria do processo de gestão dos resíduos em empreendimentos que apresentam o desafio de gerenciar estes resíduos.

Palavras chave: biodegradação, compostagem, gerenciamento de resíduos, resíduos de folhas.

Introdução

Folhas de árvores e jardins passam por um lento processo de degradação ao atingirem o solo, devido à atividade de microrganismos presentes no mesmo. Após atingirem avançado estado de decomposição, os nutrientes presentes nas folhas são absorvidos pelo solo onde estarão disponíveis para as plantas e árvores do local. Entretanto, em grandes áreas urbanas, resíduos orgânicos, como folhas, representam um problema em relação ao gerenciamento de resíduos sólidos, devido à grande geração durante o ano, principalmente no outono para o caso do Brasil (Strom e Finstein, 2000; Monteiro, 2001).

Uma solução para o tratamento destes resíduos, em maior quantidade, é a compostagem que pode ser definida como processo aeróbio controlado de decomposição acelerada e estabilização de resíduos orgânicos sob condições favoráveis ao desenvolvimento de temperaturas termofílicas, em torno de 40 a 70°C, e desenvolvido por uma população diversificada de microrganismos. Ao fim do processo, obtém-se um produto final estável, livre de patógenos, com presença de nutrientes e ausência de sementes de plantas, de modo que sua aplicação ao solo pode ser benéfica (Strom e Finstein, 2000; Haug, 2004; Pereira Neto, 2007).

Vários aspectos da compostagem são inexatos e o processo envolve uma grande variação de condições e materiais, sendo que sua duração e a qualidade final do substrato são relacionadas à mistura de materiais utilizados no início do processo (Pereira Neto, 2007). Ainda assim, segundo Vergnoux *et al.* (2009), os processos de compostagem geralmente apresentam características similares, tanto em seus aspectos operacionais quanto em relação ao monitoramento do processo, mesmo quando há variação na composição dos resíduos utilizados.

Além disso, no intuito de assegurar o controle adequado do processo de compostagem, há diversos parâmetros que podem ser monitorados tais como densidade, redução do volume, balanço de massa seca, concentração de oxigênio, porosidade, teor de nutrientes e relação carbono/nitrogênio. Em especial, a temperatura, o pH e o teor de umidade são considerados os mais usuais para o monitoramento do processo (Wong *et al.*, 2001; Ch'ng *et al.*, 2013; Abu *et al.*, 2014; Getahun *et al.*, 2012; Michel Junior *et al.*, 1996).

Destaca-se, ainda, que a aeração é imprescindível uma vez que influencia aspectos como a temperatura e o teor de umidade, favorecendo a disponibilidade de oxigênio e intensificando a atividade microbológica, estimulando conseqüentemente a decomposição da parcela orgânica dos resíduos (Pereira Neto, 2007). A aeração pode ser realizada por meio de processos naturais, manuais ou mecânicos, sendo que o revolvimento do material é o processo de aeração mais utilizado e consiste em movimentar as camadas do composto de modo que o mesmo seja totalmente homogeneizado (Paula e Cezar, 2011).

Diante do exposto, o objetivo do presente estudo foi avaliar o processo de compostagem em escala piloto de uma instituição pública de Belo Horizonte, Brasil, realizado através do reaproveitamento dos resíduos de folhas de árvores e jardins do local.

Método

As etapas metodológicas desta pesquisa contemplaram a criação de uma pilha formada por resíduos de folhas de árvores e jardins e o monitoramento de parâmetros através de ensaios analíticos.

Montagem e monitoramento da pilha

O processo de compostagem iniciou-se a partir da montagem de uma pilha cujas medidas correspondentes ao comprimento, largura e altura foram, respectivamente, 3.20 x 1.60 x 1.50, em metros (Figura 1-a).



Figura 1. Imagens da pilha registradas no dia de sua montagem (a) e no 56° dia (b).

Foram utilizados resíduos não triturados de folhas de árvores e jardins da instituição, que ficaram armazenados durante três meses em área aberta, expostos a chuvas e ao sol, antes do início do processo. No intuito de promover a oxigenação e a distribuição uniforme de microrganismos presentes na pilha, a mesma foi submetida, semanalmente, ao processo de reviramento e umidificação. Além disso, durante todo o experimento, foram monitorados os parâmetros temperatura, umidade e pH. A temperatura foi monitorada, de segunda a sexta-feira, através da inserção superficial de um termômetro calibrado de medição externa da marca Incoterm. Tais medições foram realizadas em pontos a cerca de 15 cm de profundidade do meio da pilha.

Etapa analítica

A partir da segunda semana de experimento, coletaram-se amostras semanais em três pontos distintos da pilha (lado direito, esquerdo e meio) que foram submetidas a análises de pH e umidade. Assim que coletadas, as amostras foram acondicionadas em dois sacos plásticos a fim de evitar alteração no teor de umidade e encaminhadas imediatamente ao laboratório. O monitoramento destes parâmetros foi realizado entre os dias 14º e 59º de experimento e os dados brutos obtidos por meio dos ensaios analíticos foram tabulados em planilhas do *Excel*.

Em função da carência de métodos específicos na literatura acerca dos ensaios analíticos de pH e umidade para a compostagem, foram adaptadas as metodologias indicadas no Manual de Métodos de Análise de Solo da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1997) e Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes Minerais, Orgânicos, Organominerais e Corretivos do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2014). Os ensaios analíticos foram baseados, ainda, nos padrões de qualidade estabelecidos pela Norma ABNT ISO/IEC 17025: 2005 (ABNT, 2005).

O ensaio de umidade foi realizado em duplicata para cada ponto de amostragem da pilha, totalizando seis amostras. Inicialmente, as amostras *in natura* foram colocadas em cápsulas de porcelana numeradas e de peso conhecido e, em seguida, foram pesadas em balança semi-analítica. Pesou-se, aproximadamente, 30 gramas de cada amostra e as cápsulas foram, então, encaminhadas à estufa à 103°C, mantendo-se nesta condição por cerca de 20 horas, tempo em que se identificou peso constante (Adaptado de EMBRAPA, 1997; MAPA, 2014).

As informações acerca de peso das cápsulas e da amostra úmida foram devidamente registradas e, após o tempo recomendado, as cápsulas com as amostras secas foram retiradas da estufa e inseridas em dessecadores para retornar à temperatura ambiente, permanecendo por cerca de 30 minutos. Em seguida, as cápsulas foram novamente pesadas em balança semi-analítica, obtendo-se assim o peso da amostra seca (Equação 1).

$$U (\%) = 100 \times \frac{Pu (g) - Ps (g)}{Pu (g)}$$

Equação (1)

Onde

U: Umidade gravimétrica

Pu: Peso da amostra úmida (em gramas)

Ps: Peso da amostra seca (em gramas)

Foram utilizados três métodos distintos de extração para análise de pH: água tipo I (H₂O), soluções de Cloreto de Potássio (KCl 1 mol/L) e Cloreto de Cálcio (CaCl₂ 0.01 mol/L) (EMBRAPA, 1997; MAPA, 2014). Realizaram-se ensaios em replicata para cada ponto de amostragem da pilha, totalizando nove amostras. Utilizou-se, na medição do pH, pHmetro digital (Digimed DM-20, precisão ± 0.01) verificado com soluções padrões de valores de pH iguais a 4.00 (4.01 à 25°C) e 7.00 (6.98 à 25°C).

Para a análise de pH, foram triturados cerca de 30 gramas de composto correspondente a cada ponto de amostragem em multiprocessador doméstico de uso exclusivo. No intuito de testar as três soluções para cada ponto de amostragem, os 30 gramas de composto referente a cada ponto de amostragem foram distribuídos, igualmente, em 3 béqueres de 100 mL. Adicionou-se uma solução de extração a cada respectivo béquer. Em seguida, as amostras foram homogeneizadas com bastão de vidro individual e permaneceram em repouso durante uma hora. As amostras, então, foram filtradas em funil de vidro e suporte de madeira com algodão e obteve-se o pH das soluções resultantes através do pHmetro (Adaptado de EMBRAPA, 1997; MAPA, 2014).

Análise estatística

Para os testes estatísticos de comparação de médias de pH, foram utilizados os testes normalidade de *Shapiro-Wilk* e, posteriormente, os testes de *Student-Newman-Keuls* (SNK) para os dados paramétricos e *Kruskal-Wallis* para os dados não paramétricos. As análises foram realizadas usando os *softwares Excel* e R (versão 3.4.0).

Resultados

Durante o experimento, observou-se que a temperatura da pilha variou de 32 a 58°C, aproximadamente, indicando considerável degradabilidade. Foram constatados, ainda, picos de aumento da temperatura alguns dias após cada reviramento, provavelmente em função do consequente aumento da atividade microbiológica. A queda de temperatura próxima aos registros de reviramento indica perda térmica decorrente da movimentação do composto. Pode-se considerar também que a temperatura da pilha sofreu alguma interferência da temperatura ambiente durante o período analisado (Figura 2).

Os resultados referentes ao ensaio analítico de pH indicaram baixa variação entre os dados obtidos que mantiveram-se, em geral, em torno de 7.72 (± 0.54), caracterizando uma amostra com pH próximo à condição de neutralidade em todo o experimento. Constatou-se, porém, um

ligeiro aumento do pH entre o início e fim do experimento com variações entre 6.74 a 7.70 (método KCl), 7.96 a 8.81 (método H₂O) e 6.84 a 7.64 (método CaCl₂). Notou-se, ainda, um comportamento similar entre os valores obtidos para as soluções de KCl e CaCl₂, divergindo-se do que se observou na solução de H₂O, sendo os respectivos valores médios obtidos para cada solução iguais a 7.38 (\pm 0.20), 7.45 (\pm 0.28) e 8.35 (\pm 0.45). Em relação ao ensaio de umidade, notou-se que os valores não ultrapassaram um percentual de 64% de umidade, mantendo-se em torno de 54.9% (\pm 5.4%) (Tabela 1).

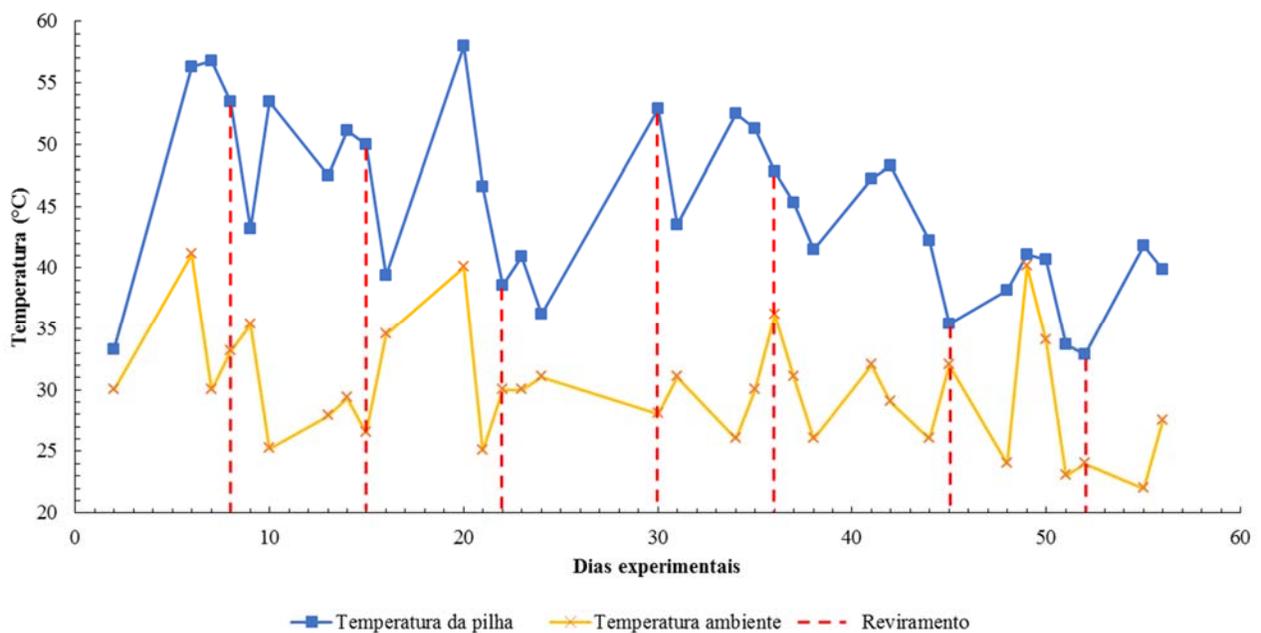


Figura 2. Gráfico das temperaturas da pilha e ambiente em relação ao número de dias desde o início do experimento.

O teste *Shapiro-Wilk* indicou que os dados de pH da Tabela 1 referentes aos dias 24^o ao 59^o foram não paramétricos (valores de p inferiores a 0.05) e, para o 14^o dia, os dados foram paramétricos (valor de p superior a 0.05). Desta forma, a comparação das médias dos diferentes métodos foi realizada através dos testes de SNK (paramétricos) e *Kruskal-Wallis* (não paramétricos). Diferenças significativas foram encontradas para os resultados obtidos no 24^o e 31^o dias. O pH também foi avaliado ao longo do tempo em função da solução de extração, indicando diferença significativa com o passar dos dias em todos os testes: KCl (*Kruskal-Wallis*, p= 0.0218); CaCl₂ (*Kruskal-Wallis*, p= 0.0226); H₂O (*Kruskal-Wallis*, p=0.0350).

Tabela 1. Valores de pH considerando-se as três soluções de extração (KCl, CaCl₂ e H₂O) e umidade da pilha, obtidos nos ensaios analíticos para cada ponto de amostragem.

		Dias experimentais	14 ^o	24 ^o	31 ^o	38 ^o	45 ^o	52 ^o	59 ^o
Pontos de amostragem	pH (KCl)	Direita	7.13 ¹	7.30 ²	7.42 ³	7.30 ⁴	7.56 ⁵	7.44 ⁶	NR
		Meio	7.23 ¹	7.35 ²	7.44 ³	7.48 ⁴	7.42 ⁵	7.59 ⁶	7.42 ⁸
		Esquerda	6.74 ¹	7.35 ²	7.52 ³	7.40 ⁴	7.44 ⁵	7.70 ⁶	NR
	pH (CaCl ₂)	Direita	6.84 ¹	7.42 ²	7.57 ³	7.69 ⁴	7.52 ⁵	7.42 ⁶	NR
		Meio	7.01 ¹	7.37 ²	7.54 ³	NA	7.55 ⁵	7.60 ⁶	7.79 ⁸
		Esquerda	6.84 ¹	7.37 ²	7.68 ³	7.66 ⁴	7.60 ⁵	7.64 ⁶	NR
	pH (H ₂ O)	Direita	7.96 ¹	8.13 ²	8.64 ³	8.71 ⁴	NA	8.81 ⁶	NR
		Meio	7.80 ¹	8.10 ²	8.48 ³	8.64 ⁴	8.65 ⁵	8.72 ⁶	8.77 ⁸
		Esquerda	7.30 ¹	8.15 ²	8.38 ³	7.65 ⁴	8.68 ⁵	8.70 ⁶	NR
Umidade (%)	Direita	55.7 ⁷	46.8 ⁷	58.2 ⁷	56.0 ⁷	49.4 ⁷	52.2 ⁷	NR	
	Meio	54.7 ⁷	46.0 ⁷	63.5 ⁷	56.2 ⁷	46.9 ⁷	48.9 ⁷	59.0 ⁸	
	Esquerda	51.9 ⁷	52.7 ⁷	62.6 ⁷	63.9 ⁷	52.7 ⁷	57.2 ⁷	NR	

Legenda: NA = Não se aplica (resultado descartado devido à medição incorreta); NR = Análise não realizada devido a alguma impossibilidade; ¹ SNK (resultados dos testes inferiores ao valor crítico = 1,2269); ² Kruskal-Wallis ($p=0.0257$); ³ Kruskal-Wallis ($p=0.0273$); ⁴ Kruskal-Wallis ($p=0.0766$); ⁵ Kruskal-Wallis ($p=0.0956$); ⁶ Kruskal-Wallis ($p=0.0665$); ⁷ Kruskal-Wallis avaliando a variação da mediana ao longo do tempo ($p=0.0328$); ⁸ Não foi realizado teste devido ao pequeno número amostral.

Discussão

Durante o período de estudo, foram obtidas temperaturas superiores a 50°C nos primeiros dias de experimentos, conforme apresentado na Figura 2, sugerindo maior atividade microbológica que favoreceu a degradação do composto (Pereira Neto, 2007; Cerri, *et al.*, 2008). A cada reviramento da pilha houve uma queda mais brusca de temperatura, possivelmente causada pela movimentação e umedecimento do composto, bem como pelo aumento de espaço entre as partículas. Observou-se também a necessidade de cerca de um dia para que a temperatura aumentasse novamente (Paixão *et al.*, 2012).

Dados da literatura sugerem que a fase termofílica pode ter duração entre 60 e 90 dias, no entanto, obteve-se um período reduzido para esta fase uma vez que após o 38^o dia a temperatura apresentou valores inferiores a 45°C (FEAM, 2005; Pereira Neto, 2007; Cerri, *et al.*, 2008). Assim, a queda de temperatura indicada na Figura 2 sugere o fim desta fase e o início da fase de maturação, caracterizada pela estabilização do composto, que pode se estender por um período de 30 dias, quando há outra queda de temperatura para a ambiente (CETEC, 2003; Epstein, 2011). Além disso, o composto final obtido no presente estudo apresentou aspecto terroso escuro, granulometria similar à da terra e presença de folhas de árvores em processo avançado de degradação (Figura 1-b). Verificou-se que as mesmas características do produto final também foram encontradas por Paixão *et al.* (2012).

Um dos fatores que pode ter acelerado o processo de compostagem foi a forma de estocagem do material utilizado que, possivelmente, provocou o início da decomposição natural das folhas e resíduos de jardim, uma vez que observou-se crescimento de fungos e leve diminuição da granulometria. Segundo a FEAM (2005) e Cerri *et al.* (2008), a redução da granulometria pode permitir uma melhora da capacidade de aeração, da distribuição de temperatura, além de ser esperada menor perda de calor do material. A presença dos fungos também é outro fator que pode ter contribuído para a redução do tempo de compostagem, pois permitem a quebra de cadeias orgânicas complexas como a celulose, permitindo a decomposição das estruturas resultantes pelas bactérias presentes no meio (Richard *et al.*, 2002).

Também foram encontrados na literatura outros estudos acerca da compostagem usando folhas, podas de árvore e aparas de grama, cuja temperatura demorou poucos dias para atingir 45°C, dando início a fase termofílica. No estudo de Michel Junior *et al.* (1996) a temperatura atingiu valores similares logo no primeiro dia do experimento e se manteve na faixa de 55 a 62°C do 6º ao 60º dia. Após o 110º dia, as temperaturas das leiras se mantiveram em cerca de 40°C. Paula e Cezar (2011) reportaram que a temperatura termofílica somente foi atingida no 8º dia de compostagem, chegando a 55°C e se mantendo nessa fase até o 43º dia, quando houve uma queda na temperatura, porém manteve-se acima da temperatura ambiente até o 90º dia, quando foi encerrado o estudo.

Estudos que utilizaram a adição de materiais orgânicos nos processos de compostagem reportaram temperaturas com comportamento similar durante todo o processo, como Ch'ng *et al.* (2013) que adicionaram esterco de frango a folhas de abacaxi, e Getahun *et al.* (2012) que usaram folhas, serragem, vegetais de fruta e aparas de grama. A primeira fase, cujas temperaturas são elevadas, durou cerca de sete dias, similar aos trabalhos descritos anteriormente e a segunda fase durou entre os dias 15º e 20º de experimento, quando houve uma queda de temperatura, mantendo-se abaixo de 45°C até o final dos estudos.

Sobre a interferência do pH no processo de compostagem, a faixa recomendada para o desenvolvimento dos organismos decompositores é entre 5.5 e 8.5 (Paula e Cezar, 2011; Rodrigues *et al.*, 2006). Considerou-se que a variação do pH obtida no estudo em questão foi adequada para o desenvolvimento de tais microrganismos por ter se mantido, em grande parte do tempo, entre a faixa recomendada. Segundo Paixão (2012) e Strom e Finstein (2000), em processos de compostagem de resíduos de jardins, o pH tende a aumentar gradualmente conforme a intensificação do processo de degradação e, próximo à estabilização do produto, o pH do composto pode atingir valores entre 7.0 e 8.0.

Em trabalho similar utilizando grama e folha de árvores como matéria-prima para a compostagem, Michel Junior *et al.* (1993) encontraram as seguintes faixas de pH: 6.0 a 7.5 para uma leira constituída somente por folhas; 7.5 a 8.0 para uma proporção de um terço de grama

para dois terços de folhas; 7.5 a 8.0 para um terço de folhas em relação a dois terços de grama, sendo todos os experimentos monitorados até o 52º dia, desde o início da montagem das leiras.

Outros estudos cujos processos de compostagem adicionaram galhos triturados às leiras contendo resíduos de grama e folhas de árvores foram monitorados até o 120º dia. Observou-se que o pH variou conforme as proporções dos materiais constituintes: na relação de 4:1:1(v/v) de folhas, aparas de grama e galhos triturados o pH ficou entre 7.23 ± 0.21 a 8.70 ± 0.10 ; na relação 4:2:1 a variação ficou entre 6.76 ± 0.27 e 8.40 ± 0.10 ; e na relação 4:3:1 o pH variou de 6.96 ± 0.25 a 8.50 ± 0.10 (Michel Junior *et al.*, 1996). Paula e Cezar (2011), também em experimento envolvendo compostagem de folhas, grama e galhos triturados, encontraram valores de pH similares, variando entre 6.0 e 8.5 até o 90º dia de compostagem.

O processo de compostagem com uso exclusivo de folhas de árvores e restos de gramas é menos investigado que aqueles cuja inserção envolve também os resíduos orgânicos e restos de alimentos. Pesquisas utilizando materiais distintos na composição das pilhas, tais como: esterco de animais, resíduos da produção de soja e outros resíduos sólidos orgânicos encontraram valores de pH da ordem de 5.0 a 10.0 (Gomes *et al.*, 2008; Wong *et al.*, 2001; Ch'ng *et al.*, 2013; Mayur *et al.*, 2015; Abu *et al.*, 2014; Getahun *et al.*, 2012.).

Em relação à umidade do processo de compostagem, os percentuais obtidos no presente estudo apresentaram variações entre 46 e 64% e foram considerados próximos ao adequado para o desempenho do processo, uma vez que são indicados teores de umidade ideais para a compostagem de resíduos de jardins próximos à faixa entre 50 a 60% (Epstein, 2011). Os percentuais entre 46 e 60% foram observados somente no início e fim do experimento e, conforme Paixão (2012), percentuais próximos aos valores de 35 a 40% são, em geral, correspondentes a uma atividade microbiológica reduzida, mas não cessada, informação equivalente ao que foi observado no estudo.

Experimento realizado em escala laboratorial, segundo Michel Junior *et al.* (1993), manteve a umidade controlada em torno de 60% durante todo o processo. Conforme Michel Junior *et al.* (1996), quando o processo de compostagem foi monitorado em escala real, com adição de galhos triturados nas pilhas contendo resíduos de grama e folhas de árvores, obteve-se umidade entre 42.7 a 67.5%. No experimento de Paula e Cezar (2011), a umidade média das quatro leiras monitoradas foi de 48.2%, sendo corrigidas por meio de irrigação quando os valores ficaram abaixo do recomendado. Além disso, a correção da umidade levou ao aumento de temperatura, atingindo em poucos dias valores por volta de 50°C. A faixa de umidade entre 50 e 70% foi reportada em outros trabalhos cujo composto foi formado por misturas de folhas de árvores com diferentes resíduos orgânicos, como resto de frutas e vegetais (Wong *et al.*, 2001; Ch'ng *et al.*, 2013; Abu *et al.*, 2014; Getahun *et al.*, 2012).

Comparando os métodos de extração de pH adotados neste artigo, constatou-se que as soluções de KCl e CaCl₂ apresentaram resultados similares, enquanto os resultados pelo método da H₂O apresentaram valores superiores que influenciaram as diferenças significativas apontadas nos testes estatísticos. Melo *et al.* (2008) também utilizaram as soluções de H₂O e CaCl₂ 0.01 mol/L para a extração da solução de medição do pH e, ao comparar as medições realizadas, os valores de pH em CaCl₂ foram cerca de 0.1 a 1.1 unidade inferiores aos medidos em H₂O, obtendo-se variações similares às observados no presente estudo.

Em relação aos recursos disponíveis, a falta de equipamentos apropriados foi um fator dificultador, em função disto a medição da temperatura foi realizada somente superficialmente, cerca de 15 cm de profundidade no ponto do meio da pilha, enquanto a literatura sugere o uso do centro da pilha para avaliação da temperatura devido às grandes variações de temperatura em seu interior. No entanto, a técnica adotada não comprometeu a presente pesquisa uma vez que as medições obtidas foram adequadas para identificar as fases do processo de compostagem, mesmo estando distantes do centro da pilha. Caso houvesse o monitoramento no centro, provavelmente os valores da temperatura seriam maiores do que os registrados. Também não foram realizados estudos acerca da relação carbono e nitrogênio, fator capaz de acelerar o processo de compostagem quando realizado para alcançar uma relação ideal. Este parâmetro poderia ser usado também como indicador da qualidade final do produto (Valente *et al.*, 2009; Costa *et al.*, 2005).

Assim, recomenda-se que pesquisas similares sejam realizadas adotando-se termômetro capaz de medir adequadamente a temperatura do centro da pilha ou leira. Também é recomendado implementar parâmetros de avaliação da relação carbono nitrogênio e demais parâmetros especificados pelo Anexo III da Instrução Normativa Nº 25, de 23 de julho de 2009 para a caracterização de fertilizantes orgânicos mistos e compostos (MAPA, 2009), proporcionando novas discussões acerca do processo de compostagem.

O reaproveitamento de resíduos orgânicos, de modo geral, é uma prática sustentável uma vez que permite a redução do volume de rejeitos destinados a aterros sanitários, além de possibilitar um novo uso ao material que seria descartado. Assim, verificou-se que o processo da compostagem é ambientalmente viável e possibilita o uso do substrato obtido em jardins da própria instituição favorecendo o desenvolvimento e a manutenção de áreas verdes.

Conclusões

Conclui-se que a compostagem de folhas e demais resíduos orgânicos deve ser incentivada em empreendimentos que tenham o desafio de atuar com este tipo de resíduo, desde que seja possível o adequado monitoramento. Assim, para o processo ser satisfatório sugere-se, principalmente, o controle de parâmetros como umidade, pH e temperatura, bem como a

realização de revolvimentos periódicos que possibilitem uma aeração apropriada aos microrganismos responsáveis pela decomposição da matéria orgânica.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais - FAPEMIG pelo apoio financeiro; à Fundação Ezequiel Dias - FUNED pelo apoio na realização da pesquisa, em especial à Diretoria de Pesquisa e Desenvolvimento (DPD), à Unidade de Gestão Ambiental (UGA) e ao Laboratório de Química Bromatológica (LQB). Em especial, ao Sílvio pelo apoio operacional durante todo o experimento.

Referências bibliográficas

- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (2005) *NBR ISO/IEC 17.025, de 31 de outubro de 2005 - Dispõe sobre os requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração*, Rio de Janeiro, 37pp.
- Abu, K.M.B.C., Michail, K.M., Christos, S.A., Athanasia, G.T., Stavros, P., Dimitrios, V.V. (2014). Composting of three phase olive mill solid waste using different bulking agents, *International Biodeterioration & Biodegradation*, **2014**(91), 66-73.
- Cerri, C.E.P., Oliveira, E.M.A., Sartori, R.H., Garcez, T.B. (2008) *Compostagem*, USP, Piracicaba, 19 pp.
- CETEC, Centro Tecnológico de Minas Gerais (2003) *Curso De Compostagem De Resíduos Orgânicos*, Belo Horizonte, 19 pp.
- Ch'ng, H., Ahmed, O.H., Kassim, S., Majid, N.M.A. (2013) Co-composting of pineapple leaves and chicken manure slurry, *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, **2**(1).
- Costa, M.S.S. de M. (2005). *Caracterização dos dejetos de novilhos superprecoces: reciclagem energética e de nutrientes*. Tese (Doutorado em Agronomia). Faculdade de Ciências Agrônomicas. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Botucatu, 123 pp.
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1997) *Manual de métodos de análise de solo*, 2a ed, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro, 212 pp.
- Epstein, E. (2011) *Industrial composting: environmental engineering and facilities management*, FL: CRC Press, Boca Raton, 338 pp.
- FEAM, Fundação Estadual do Meio Ambiente (2005) *Orientações Técnicas Para a Operação de Usina de Triagem e Compostagem do Lixo*. Belo Horizonte, 52 pp.
- Getahun, T., Nigusia, A., Entelea, T., Van Gervenb, T., Van der Bruggenb, B. (2012). Effect of turning frequencies on composting biodegradable municipal solid waste quality, *Resources, Conservation and Recycling*, **2012**(65), 79-84.
- Gomes, J.J.A., Teixeira, A.P.R., Dias, V.S., Costa, C.V.A. (2008) Composição química de composto orgânico preparado com esterco de equino e leucena (*Leucaena leucocephala* Lam de Wit). *Revista Brasileira De Agroecologia*, **3**(1) 71-77.
- Haug, R.T. (2004) *The practical handbook of compost engineering*. Lewis, Routledge.
- MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento Secretaria de Defesa Agropecuária (2009) *Instrução Normativa Nº 25, de 23 de julho de 2009*, Publicação Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 28 de julho de 2009, Brasília – DF, 18 pp. Acesso em 15 de junho de 2017, disponível em: <http://www.laborsolo.com.br/arquivos/normativas/INM25.pdf>
- MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2014) *Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos*, MAPA/SDA/CGAL, Brasília, 220 pp.

- Mayur, C.S., Jaldip, C.K., Prateek, G.S. (2015) Composting of Calotropis gigantea Leaves In Presence of Sheep Dung, *Current World Environment*, **10**(1), 281-284.
- Melo, L.C.A., Silva, C.A., Dias, B.O. (2008) Caracterização da matriz orgânica de resíduos de origens diversificadas, *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, **32**(1), 101-110.
- Michel Junior, F.C. (1993) Yard Waste Composting: Studies Using Different Mixes of Leaves and Grass in a Laboratory Scale System, *Compost Science & Utilization*, **1**(3), 85-96.
- Michel Junior, F.C. (1996) Effects of Turning Frequency, Leaves to Grass Mix Ratio and Windrow vs. Pile Configuration on the Composting of Yard Trimmings, *Compost Science & Utilization*, **4**(1), 26-43.
- Monteiro, J.H.P., Figueiredo, C.E.M., Magalhães, A.F., Melo, M.A.F., Brito, J.C.X., Almeida, T.P.F., Mansur, G.L. (2001) *Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos*, IBAM, Rio de Janeiro, 204 pp.
- Paixão, R.M., Silva, L.H.B.R., Teixeira, T.M. (2012) Análise da Viabilidade da Compostagem de Poda de Árvore no Campus do Centro Universitário de Maringá, *VI Mostra Interna de Trabalhos de Iniciação Científica*, Paraná.
- Paula, L.G.A., Cezar, V.R.S. (2011) Compostagem de resíduos orgânicos da área verde do campus Marechal Deodoro-IFAL em função do número de revolvimentos, *Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal*, **8** (4), 155-163.
- Pereira Neto, J.T. (2007) *Manual de Compostagem: Processo de Baixo Custo*, UFV, Viçosa, 81 pp.
- Richard, T.N., Trautmann, M., Krasny, S., Fredenburg, C. Stuart (2002) *The science and engineering of composting. The Cornell composting website*, Cornell University. Acesso em 15 de maio de 2017, disponível em: www.cfe.cornell.edu/compost/calc/lignin.html
- Rodrigues, M.S., da Silva, F.C., Barreira, L.P., Kovacs, A. (2006) Compostagem: reciclagem de resíduos sólidos orgânicos. In Spadotto C.A., Ribeiro, W., *Gestão de Resíduos na agricultura e agroindústria*, FEPAF, Botucatu, 63-94.
- Strom, P.F., Finstein, M.S. (2000) Leaf Composting. In Kuser, J.E., *Handbook of Urban and Community Forestry in The Northeast*, Springer US, 311-335.
- Valente, B.S., Xavier, E.G., Morselli, T.B.G.A., Jahnke, D.S., de S. Brum Jr, B., Cabrera, B.R., Moraes, P.D.O., Lopes, D.C.N. (2009) Fatores Que Afetam O Desenvolvimento Da Compostagem De Resíduos Orgânicos *Archivos de Zootecnia*, **58**(R), 59-85.
- Vergnoux, A., Guiliano, M., Le Dréau, Y., Kister, J., Dupuy, N., Doumenq, P. (2009) Monitoring of the evolution of an industrial compost and prediction of some compost properties by NIR spectroscopy, *Science Of The Total Environment*, **407**(7), 2390-2403.