

REVISTA AIDIS

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

REAPROVEITAMENTO E VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE PODAS URBANAS – AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL

* Miriam de Fátima Carvalho ¹

Juan Carlos Rossi Alva ²

Maria Carolina de Paiva Costa ³

Felipe Guimarães Souza ²

Márcio José Pinheiro Ramos da Silva ⁴

Tamara Ribeiro Castro ²

RECOVERY AND VALORIZATION OF URBAN PRUNING WASTE – EXPERIMENTAL EVALUATION

Recibido el 10 de junio de 2019; Aceptado el 14 de septiembre de 2020

Abstract

This article presents and discusses monitoring data from composting process of urban organic waste mixtures (pruning: P, fruit and vegetables: FV and animal bedding: CM), aiming to recycle it and use the compost in parks and garden areas as an alternative for the sustainable management of this specific waste. Small open-air piles (between 210 and 730 kg) of organic waste mixtures in three different proportions were monitored two times of the year (November to April and May to September). The rainfall index, the piles temperature and the environment were monitored daily for 150 days, while the turning occurred twice a week during the period, with adjustments of the moisture content. Physical, chemical and bacteriological analyses (as pH, inert, organic matter, carbon, nitrogen, C:N ratio, metal concentration and the presence of pathogens) were carried out on the mixtures on the first and last monitoring days. Both monitoring periods presented similar environmental conditions, which allows us to presume that the lower temperatures achieved in the piles studied from May to September (between 30° to 50°C) and the higher C:N ratios obtained from the compost at the end of the process (between 16:1 to 12:1) were related to the smaller pile volumes, which causes heat loss to the environment, making decomposition harder. The organic compost from the different studied mixtures attend partially with the specifications of Class C compost specified by the Brazilian Ministry MAPA, because presented same bacteria that compromise its use in agriculture, however can be used in urban green areas and in recovery degraded land.

Keywords: composting, waste management, organic waste.

¹ Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Brasil.

² Instituto de Biologia, Universidade Católica do Salvador, Brasil.

³ Agência de Soluções Ambientais e Sociais, Brasil.

⁴ Secretária da Cidade Sustentável e Inovação, Prefeitura Municipal do Salvador, Brasil.

* Autor Correspondente: DCTM, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia. Rua Prof. Aristides Novis, 2, Federação, Salvador, Ba, CEP: 40210-630. Brasil. Fone: Email: miriam.machado@ufba.br

Resumo

Este artigo apresenta e discute dados de monitoramento do processo de compostagem de misturas de resíduos orgânicos urbanos (podas: P, frutas e verduras: FV e cama de animal: CM) visando a reciclagem e o uso do composto em áreas de parques e jardins como alternativa de gestão sustentável destes resíduos. Pequenas pilhas a céu aberto (entre 210 a 730 kg) de misturas desses resíduos orgânicos, em três proporções foram monitoradas em duas épocas do ano (novembro a abril e maio a setembro). Foram monitorados diariamente o índice de chuva, a temperatura das pilhas e a do ambiente por 150 dias, enquanto o revolvimento ocorreu duas vezes por semana durante o período, com ajustes de umidade. Análises físico-químicas e bacteriológicas (pH, inertes, matéria orgânica, carbono, nitrogênio, relação C:N, concentração de metais e presença de patógenos) foram realizadas nas misturas no primeiro e no último dia de monitoramento. Os dois períodos monitorados apresentaram condições ambientais próximas, o que permite supor que a obtenção de menores temperaturas nas pilhas no período de maio a setembro (entre 30 a 50°C) e as maiores relações C:N obtidas para os compostos no final do processo (entre 16:1 a 12:1) estão relacionados com os menores volumes das pilhas, ocasionando perda de calor para o ambiente, dificultando a decomposição. Os compostos orgânicos provenientes das diferentes misturas estudadas atenderam parcialmente às especificações brasileiras do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) para composto Classe C, pois apresentaram algumas bactérias que comprometem sua utilização na agricultura, contudo podem ser utilizados em áreas verdes urbanas e na recuperação de áreas degradadas.

Palavras chave: compostagem, gerenciamento de resíduos, resíduos orgânicos.

Introdução

O aumento na produção de resíduos sólidos urbanos (RSU), a redução de áreas adequadas para sua disposição e maiores restrições ambientais para licenciamento de novas áreas de deposição tem motivado o emprego de tecnologias voltadas para reciclagem e valorização de resíduos urbanos em todo o mundo. No Brasil, embora a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS (Lei nº 12.305/10) estabeleça como prioridade no gerenciamento, a não geração, a redução, a reutilização e reciclagem e a destinação ambientalmente adequada dos rejeitos, essa prática ainda é incipiente no país. Cerca de 97% dos RSU coletados ainda são aterrados e 50% deste constitui-se de material degradável (IPEA, 2012 e IBGE, 2010).

Apesar disto, prática de compostagem para o RSU ainda é pouco usada, possivelmente isso seja resultado de uma coleta única praticada pela maioria dos municípios, que contribui com a contaminação da matéria orgânica e acaba gerando um composto de baixa qualidade e de pouca aceitação no mercado (Massukado, 2008; Siqueira e Assad, 2015).

Compostagem é um processo biológico, aeróbio de decomposição microbiana da matéria orgânica, no estado sólido e úmido, que precisa de condições físicas e químicas adequadas para levar à formação de um produto de boa qualidade (Kiehl, 2004; Ch'ng *et al.*, 2013). É uma técnica antiga de processamento de resíduos, utilizada rusticamente já nas primeiras sociedades

agrícolas (Silva, 2007). Trata-se de um eficiente processo de baixo custo, grande simplicidade e flexibilidade operacional para tratar quantidades diversificadas de resíduos orgânicos (Silva, 2007, Chiarello *et al.*, 2018).

O processo se dá segundo duas fases: fase ativa de degradação e fase de maturação e humificação, ocorrendo em períodos distintos e sequenciais, onde o resíduo orgânico *in natura* se transforma, sob ação de micro-organismos, em composto que é um corretivo orgânico, o qual não supre as demandas de minerais para as plantas (Durán e Henríquez, 2010), mas pode, contudo, melhorar as características físicas e químicas do solo e sua de retenção de umidade. O processo é influenciado pelo tamanho das partículas (granulometria), umidade, aeração, relação carbono/ nitrogênio, temperatura e pH (Haug, 1993; Carneiro *et al.*, 2013).

A qualidade do composto está diretamente ligada ao tipo de matéria-prima utilizada e à condução do processo de compostagem (Pan *et al* 2012). No Brasil, compostos orgânicos fabricados de resíduos limpos são classificados segundo a Instrução Normativa N.º 25, de 23 de julho de 2009 (MAPA, 2009) como Classe A e os oriundos de coleta domiciliar como Classe C. Esta normativa também apresenta, para cada classe, especificações de parâmetros físico-químicos e de granulometria, enquanto a Instrução Normativa N.º 7/2016 (MAPA, 2016) especifica limites máximos de contaminantes no produto final.

Compostos orgânicos de boa qualidade, atendendo a Instrução Normativa nº 25/2009, do MAPA tem sido produzidos em todo país a partir da mistura de resíduos de podas urbanas e resíduos orgânicos coletados de forma seletiva de grandes geradores e de feiras livres (Zaparoli e Barros, 2016; Brito, 2008). Todavia, quando a fração orgânica provém de coleta convencional, existe um grande desafio na obtenção de compostos de qualidade adequada. Na maioria das vezes, eles contém impurezas como pedras, pequenos plásticos, papéis, cacos de vidros, dentre outros, além da possível presença de metais pesados e de organismos patogênicos (salmonellas e estreptococos). Dessa forma, para se ter uma valorização e gestão adequada da fração orgânica do RSU deve-se atentar para separação do resíduo na fonte geradora e uso de coleta diferenciada (Fernandes e Silva,1999).

No contexto da economia circular, a valorização de resíduos orgânicos urbanos provenientes de podas, de centro de abastecimento e de feiras tem um grande apelo ambiental e de sustentabilidade. O emprego do composto na manutenção de áreas verdes da cidade e na sua vizinhança potencializa a recuperação ambiental, o aproveitamento da matéria orgânica e reduz a contaminação de áreas com disposição em aterros. Assim, este artigo visa estudar o processo de compostagem de misturas de resíduos urbanos em pequenas pilhas a céu aberto e em condições climáticas diferentes, objetivando a reciclagem de resíduos orgânicos e o uso do composto para manutenção de áreas verdes da cidade como alternativa de gestão mais sustentável de podas urbanas.

Metodologia

Monitoramento do processo de compostagem em campo

Pilhas de pequenas massas foram montadas na cidade de Salvador no Estado da Bahia, Brasil, utilizando misturas de diferentes materiais (Tabela 1): cama de animal (CM) proveniente de feiras agropecuárias que acontecem na cidade, frutas e verduras (FV) provenientes do Centro de Abastecimento da Bahia (CEASA) e resíduos verdes ou podas (P) provenientes da poda de árvores das vias públicas da cidade. As pilhas foram montadas em dois períodos climáticos distintos: período seco (PS) e período chuvoso (PC) e em triplicata, totalizando nove pilhas em cada período. Observa-se na Tabela 1 que as pilhas do período chuvoso têm menos da metade da massa das pilhas do período seco, isso ocorreu devido à mudança na logística de recebimento das podas e problema com triturador de galho utilizado. Para montagens das pilhas no período chuvoso em tempo hábil, empregou-se material mais ressecado e triturado há algum tempo, o que afetou a relação C:N dessas pilhas, com resultados levemente abaixo da faixa indicada como ideal, entre 30:1 a 40:1 (Awasthi *et al.*, 2014; Onwosi *et al.*, 2017). A mistura 03, no período seco, também apresentou relação C:N levemente abaixo da ideal (27.5:1). A mistura 01 (70% P e 30% CM) é uma proporção largamente empregada na fabricação de composto e serviu de base comparativa para as outras duas misturas estudadas.

Os resíduos de podas foram picotados com o auxílio de triturador de galhos (Honda 40HP, diâmetro máximo de alimentação 8”) e os troncos mais grossos foram descartados. A trituração aumenta a superfície específica do material, o que facilita a atuação dos micro-organismos durante o processo de decomposição. Os restos de frutas e verduras foram picotados manualmente com facas e facões. A cama de animal contém esterco de gado e serragem em quantidade variável.

As pilhas foram construídas sobre bases quadradas de 3 m de lado, confeccionadas em alvenaria, revestidas externamente com reboco e impermeabilizadas internamente com manta de PVC de 1.0 mm de espessura, protegida por um geotêxtil (Figura 1), expostas ao tempo visando simular as condições reais de pequenas comunidades.

Tabela 1. Proporções e dimensões médias para as pilhas usadas em cada experimento.

Mistura	Pilhas	Proporção de Material		PS (novembro - abril)			PC (maio a setembro)				
		Carbonado	Nitrogenado	Massa (kg)	C:N	H (m)	L (m)	Massa (kg)	C:N	H (m)	L (m)
01	7, 8 e 9	P :70%	CM: 30%	726	40.2:1	0.96	2.53	212	29.4:1	0.80	1.40
02	4, 5 e 6	P: 70%	CM: 10%, F+V:20%	736	44.2:1	0.92	2.52	320	29.3:1	0.90	1.60
03	1, 2 e 3	P: 60%	F+V: 40%	713	27.5:1	0.76	2.48	553	23.9:1	0.93	2.50

P – Resíduos verdes ou Poda; CM – Cama de animal, F+V: frutas e verduras, C:N -Relação carbono nitrogênio, PS – Período seco, PC – Período chuvoso, H: altura, L: comprimento.

As bases apresentam um caimento de cerca de 2% para uma de suas extremidades, onde foi instalado um dreno e um recipiente para a coleta do percolato gerado durante o processo de compostagem, que foi reinserido na pilha. As pilhas foram construídas dispondo na base os resíduos de poda, no meio os resíduos de cama de animal e/ou frutas e verduras e no topo outra camada de poda (Figura 1). As camadas foram umedecidas com água, utilizando regadores manuais, pois os resíduos de cama de animal e as podas estavam com baixo teor de umidade. As pilhas foram monitoradas por cerca de 150 dias, sendo aferida diariamente a temperatura ambiente e das pilhas e o índice pluviométrico, ocorrendo interrupções nos fins de semana e feriados. Também foi aferido o teor de umidade das pilhas duas vezes por semana.

A aferição da temperatura foi realizada por termômetro digital com haste de metal de 70 cm de comprimento, inserido em três posições na pilha (base, meio e topo) e em três pontos aleatórios destas posições. O índice pluviométrico foi medido por um pluviômetro existente na área (Modelo Ville de Paris). A umidade de cada pilha foi determinada através de amostras representativas coletadas em seis a nove pontos aleatórios na pilha e secadas em estufa à 60°C por 24 horas, em duplicata. O teor de umidade em base úmida ($w = M_w/M_t$, onde M_t = massa da amostra úmida e M_w = massa de água) menor ou igual a 55% foi tido como valor limite para indicar se o revolvimento deveria ser associado com o umedecimento, ou seja, a irrigação das pilhas. Duas vezes por semana as pilhas foram revolvidas e umedecidas de acordo com a necessidade, de forma manual usando ferramentas do tipo mão de onça, onde as camadas foram reviradas, de baixo para cima com objetivo de fornecer oxigênio e controlar a temperatura e umidade da massa.



Figura 1. Detalhe de construção das bases com impermeabilização e montagem das pilhas.

Análises Laboratoriais

Compreenderam as determinações das características físico-químicas das misturas usadas nas montagens das diferentes pilhas (1º dia) e dos compostos no final do processo (150º dia). Amostra representativa de cada matéria-prima foi mesclada na proporção equivalente de cada mistura, formando assim a amostra inicial, ensaiada em triplicada. No final do processo de compostagem, amostra representativa de cada composto foi obtida por meio de amostragem do material, com amostrador de PVC, em diferentes pontos da pilha. As análises físico-químicas realizadas seguiram sequências analíticas propostas por Kiehl (1985), com algumas adaptações no que se referem a moagem e digestão das amostras usando ácido nítrico em bloco digestor. O teor de Nitrogênio Total de Kjeldahl (NTK) foi determinado após a digestão ácida de 1,5 g de amostra com 40 mL de ácido sulfúrico concentrado, seguido por uma destilação Kjeldahl para a obtenção do nitrogênio amoniacal que foi titulado com uma solução 0,1N de NaOH conforme descrito por Malavolta *et al.* (1997). Para obtenção de um maior nível de confiabilidade dos resultados obtidos as análises foram realizadas em triplicatas.

Foram realizadas análises microbiológicas do composto para verificar a presença de organismos patogênicos (bactérias e coliformes). A quantificação de coliformes totais e termotolerantes foi realizada através da técnica de tubos múltiplos seguindo a metodologia descrita no *SMEWW Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (Eaton *et al.*, 2005). Esta metodologia é amplamente preconizada pela Vigilância Sanitária e demais órgãos regulamentadores do Brasil. Para verificar as bactérias (*Salmonella spp.*, *Shigella spp.*, *Pseudomonas spp.* e *Staphylococcus spp.*) foram empregados os meios de cultura Agar MacConkey, Ágar SS e Ágar EMB incubados a 36°C por 24 horas e observadas as características macroscópicas e morfo tintoriais (coloração de Gram) das colônias.

Resultados e análises

Monitoramento do processo de compostagem em campo

As Figuras 2 e 3 apresentam dados de pluviosidade e de temperatura média ao longo do tempo de monitoramento, obtido em três pontos (topo, meio e base) das pilhas de compostagem, nos períodos seco e chuvoso, respectivamente. Destas figuras podem-se observar que as temperaturas médias das pilhas acompanharam as variações da temperatura ambiente e as variações do índice de chuva, com o centro da pilha apresentando maiores temperaturas médias.

Observa-se das Figuras 2 e 3 que as temperaturas iniciais obtidas para a mistura 01 são menores que as obtidas para as misturas 2 e 3, que continham resíduos de feira, normalmente, já em estado de apodrecimento na montagem das pilhas, facilitando a instalação do processo. Contudo, na Figura 2 observa-se que a mistura 01 (70% P e 30% CM), tida como padrão, apresentou em geral, maiores valores de temperatura média ao longo de todo o processo (acima de 45°C), mostrando uma leve redução da temperatura após 130 dias do início.

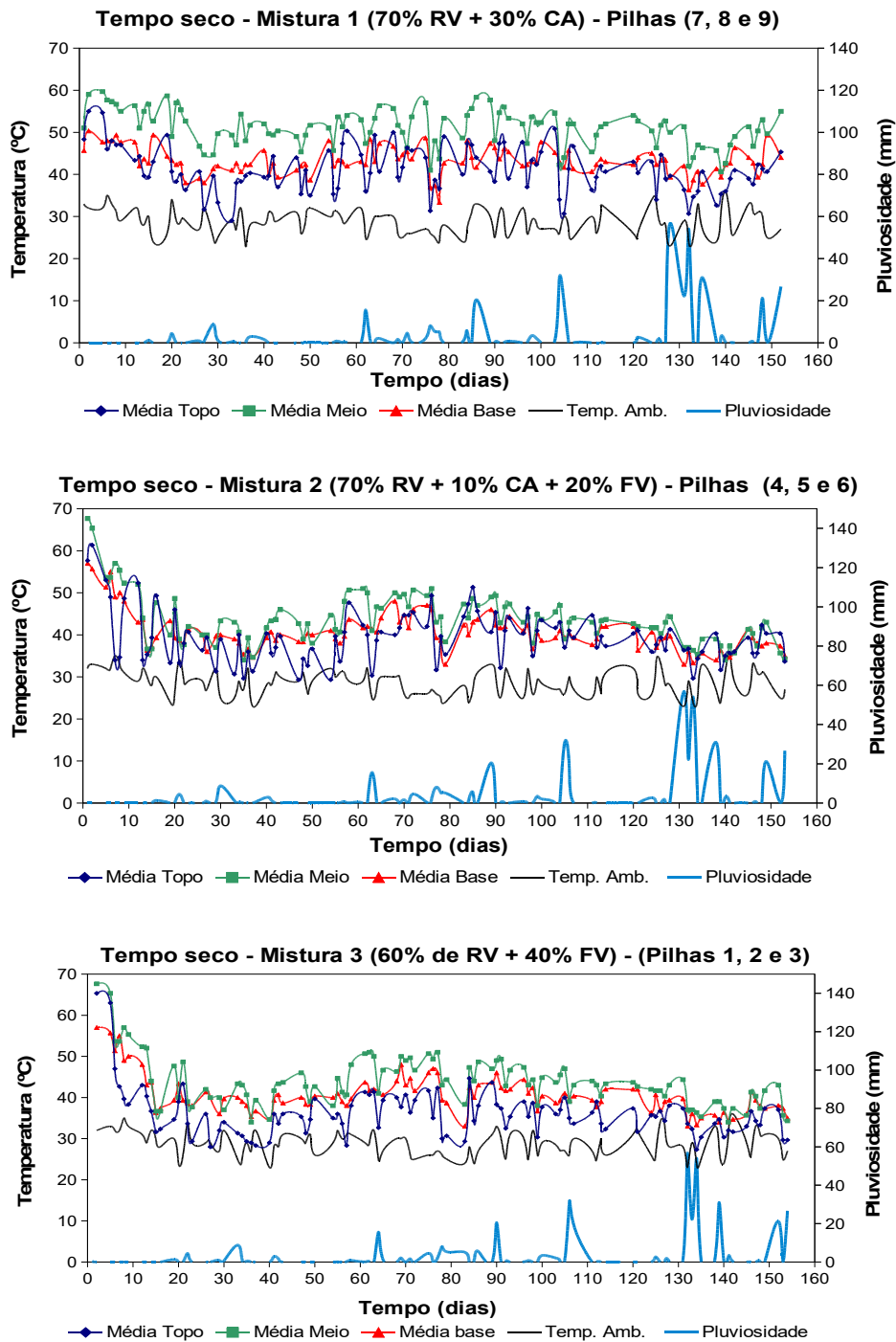


Figura 2. Monitoramento de pilhas de compostagem com diferentes misturas no tempo seco.

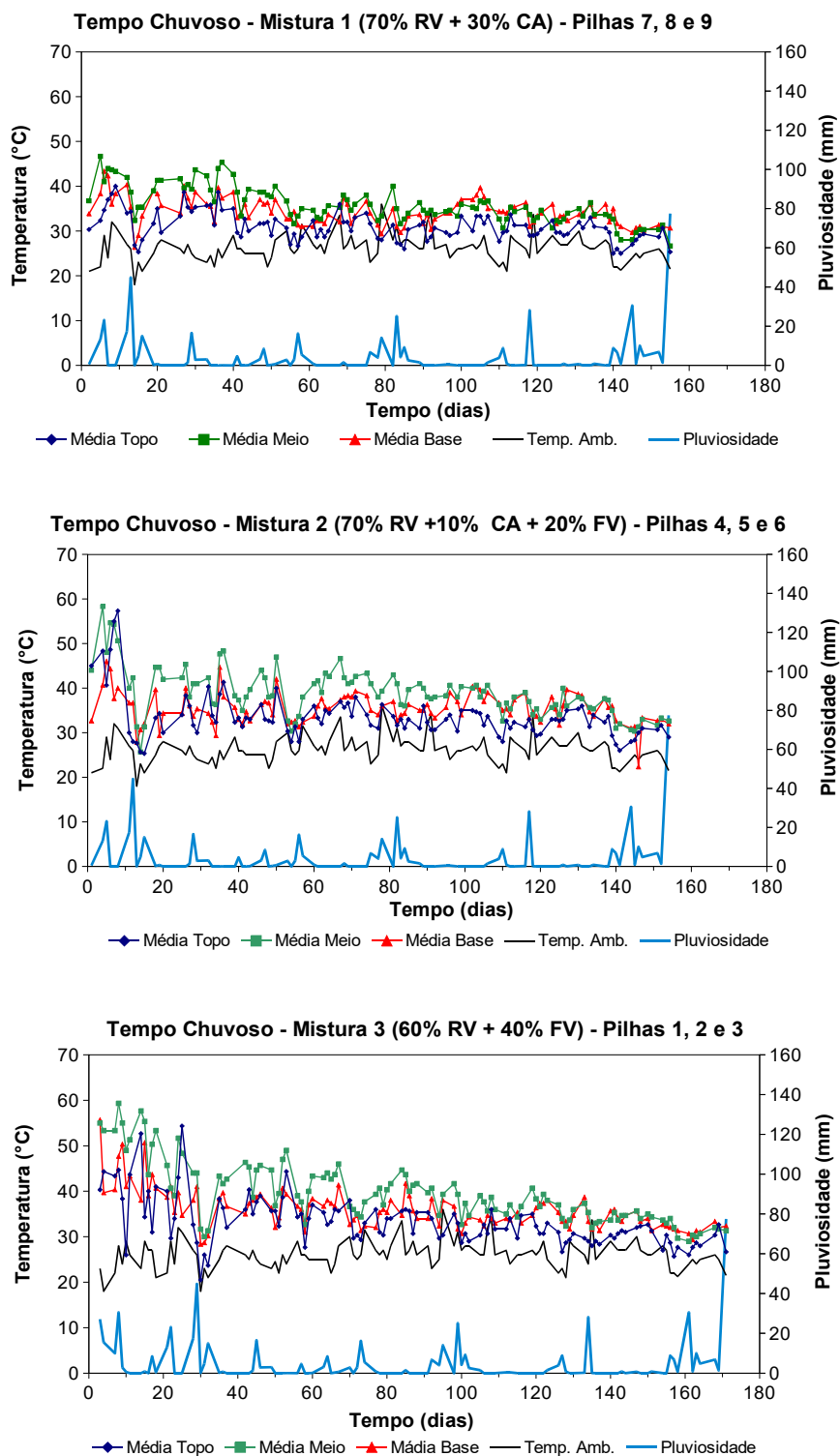


Figura 3. Monitoramento de pilhas de compostagem com diferentes misturas no tempo chuvoso.

No período seco (Figura 2), as misturas 02 (70% P + 10% CM +20% FV) e 03 (60% P + 40% FV) apresentaram comportamento similar, com valores acima de 65°C no início do processo (colaborando com a eliminação dos organismos patogênicos), que foram reduzindo gradativamente até ficar em torno de 40°C após cerca de 25 dias do início. Valores de temperatura acima 50°C são importantes para eliminar sementes de ervas daninhas e larvas de insetos e helmintos (Pereira Neto, 1996; Fialho *et al*, 2005; Inácio e Miller, 2009; Santos *et al* 2014). As temperaturas apresentaram oscilações, mas mantiveram-se acima dos 40°C, até que no final do processo, a partir de 130 dias, reduziram para cerca de 35°C, aproximando-se da temperatura ambiente.

No período chuvoso (Figura 3), a mistura 01 apresentou durante todo o processo valores de temperatura menores quando comparados com o período seco, iniciando-se com temperaturas levemente acima de 40°C, sendo que a maior parte do processo de compostagem desenvolveu-se com temperaturas em torno de 35°C, abaixando para cerca de 30°C, no final do processo. No período chuvoso a temperatura ambiente média foi de 26°C e o índice pluviométrico foi de 460 mm, enquanto no período seco a temperatura ambiente média foi de 28°C e o índice pluviométrico de 375 mm.

É possível observar que estes valores são relativamente próximos nos dois períodos avaliados, pois na cidade de Salvador tem-se uma pequena faixa de variação de temperatura e chuvas bem distribuídas durante o ano, o que facilita a manutenção do processo de compostagem. Contudo, o comportamento de menores temperaturas no período chuvoso pode ter sido influenciado pela menor quantidade de matéria-prima utilizada na montagem das pilhas, fazendo com que estas perdessem mais facilmente o calor para o ambiente (Tabela 1). Segundo Haug (1993), leiras de menor dimensão têm uma superfície exposta proporcionalmente maior em relação às leiras maiores e um volume gerador de calor menor, aquecendo-se com menor intensidade.

Durante o processo de compostagem as pilhas foram irrigadas durante o revolvimento quando se obtinha teor de umidade (BW) menor que a umidade de referência (55%). O volume de água usado foi definido empiricamente, sendo que no período chuvoso era colocado cerca de 60 litros de água em cada pilha que apresentava $w < 55\%$ e no período seco cerca de 120 litros, conforme ilustra a Figura 4, com dados típicos obtidos nos dois períodos estudados.

Segundo Reis (2005), a água é fundamental para que haja atividade microbológica (reações bioquímicas, captação de nutrientes, reprodução, entre outros), contudo, seu excesso provoca anaerobiose levando a produção de chorume e atração de vetores. Durante a compostagem, a umidade dentro da pilha muda com a evaporação, precipitação e com a formação de água resultante da atividade metabólica dos micro-organismos.

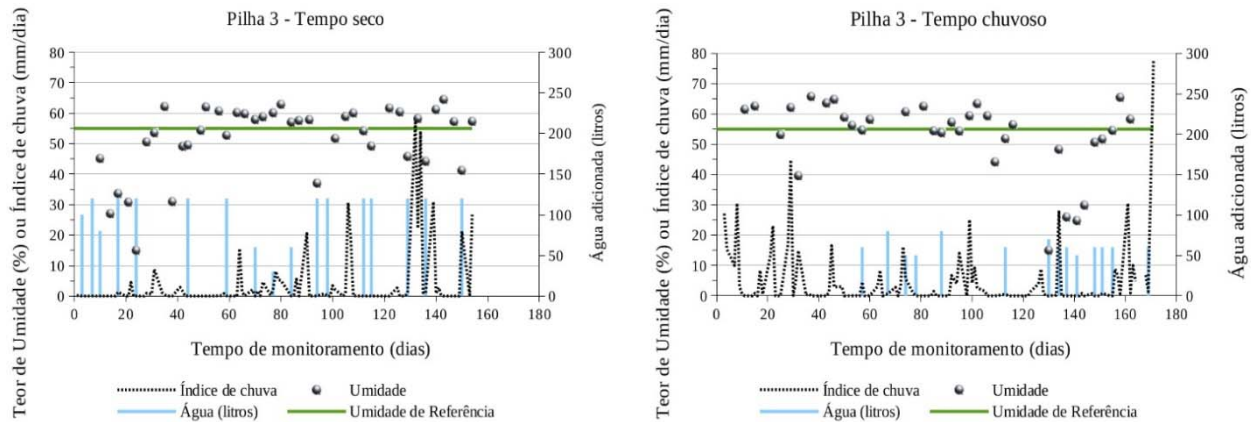


Figura 4. Resultados típicos de umidade e irrigação da pilha ao longo da compostagem nos períodos estudados.

Análise do composto

Na Tabela 2 apresenta-se as médias aritméticas dos resultados obtidos através das análises físico-químicas realizadas com amostras representativas do material no início e no final da compostagem. Em todas as misturas estudadas, independente do período, as especificações da Instrução Normativa nº 25, (MAPA, 2009), para composto orgânico Classe C foram atendidas, referente à concentração de carbono total (mínimo de 15%), nitrogênio total (mínimo de 0.5%), relação C:N (máximo 20:1), pH (mínimo de 6.5%), concentrações limites para o cádmio (3 mg/kg) e chumbo (150 mg/kg).

De uma forma geral, no início, as misturas apresentaram valores de pH ligeiramente ácidos, aumentando ao longo processo, como esperado (Kiehl, 2004; Silva, 2007; Heidemann *et al*, 2007; Valente *et al.*, 2009, Pandey *et al.* 2016, Costa *et al* 2018), atingindo valores de pH entre 8 a 9 no final do processo. O teor de umidade foi ajustado durante todo o tempo de compostagem a fim permanecer na faixa adequada. No período chuvoso, obteve-se no fim do processo (150º dia) teores de umidade acima de 60% nas três misturas, sendo superior ao valor máximo de 50% especificado para o composto segundo a Instrução Normativa Nº 25 (MAPA, 2009). Contudo, o teor aferido é compatível com as condições de precipitação ocorridas no fim do período, que mostram ocorrência de cerca de 80 mm em um dia (ver figura 3).

Todas as misturas testadas apresentaram um aumento da porcentagem de inertes no produto final. Provavelmente, isso se deve ao manejo das pilhas durante os revolvimentos, onde parte do material caía para fora da base, entrando em contato com agregado que acabava sendo incorporado a pilha. Excetuando a mistura 1 do período chuvoso, nas outras misturas houve também um aumento nos teores de resíduo mineral total (cinza total), que segundo Kiehl (2004) ocorre durante o processo de decomposição devido a mineralização da matéria orgânica,

podendo ser desdobrado em resíduo mineral insolúvel (principalmente sílica) e resíduo mineral solúvel (contendo macro e micronutrientes). Teores maiores da fração solúvel contribuem para o crescimento das plantas, sendo portanto, mais convenientes para as suas funções.

Tabela 2. Resultados analíticos das amostras iniciais (1º dia) e média dos resultados analíticos do produto final (150º dias) referentes a cada mistura.

COMPONENTE ANALISADO	TEMPO SECO					
	1º Dia			150º dias		
	Mistura 1	Mistura 2	Mistura 3	Mistura 1	Mistura 2	Mistura 3
pH	6.3	6.40	6.56	9.13	8.06	8.95
Umidade 60 - 65°C (%)	25.14	28.20	32.50	28.13	38.76	49.98
Inertes (%)	0.01	0.00	0.07	1.89	0.67	1.96
*Mat. Org. Total(combustão) (%)	91.05	87.26	85.97	86.16	82.68	68.99
Resíduo Mineral total (%)	6.62	9.14	9.46	9.95	9.95	15.51
Resíduo Mineral Insolúvel (%)	0.93	3.49	2.96	4.54	4.35	8.68
Resíduo Mineral Solúvel (%)	5.69	5.65	6.50	5.41	5.60	6.84
*Carbono org total (%)	35.45	35.08	33.29	19.58	19.68	18.13
Nitrogênio total (%)	0.66	0.57	0.82	1.05	1.08	0.85
Relação C/N (C org total e N total) (%)	40.20	44.19	27.49	13.35	11.30	10.70
Fósforo (P2O5) (%)	0.07	0.09	0.10	0.12	0.22	0.23
Potássio (K2O) (%)	0.74	0.94	0.48	0.72	1.15	0.85
Chumbo (mg/kg)	10.40	78.94	59.51	4.85	11.65	11.60
Cádmio (mg/kg)	3.27	3.61	2.74	<0.49	<0.49	<0.49
N:P:K	6.6:0.7:7.4	5.7:0.9:9.4	8.2:1:4.8	10.5:1:17.2	10.8:2:11.5	8.5:2.3:8.5
TEMPO CHUVOSO						
pH	7.49	6.01	4.79	8.36	8.77	8.90
Umidade 60 - 65°C (%)	52.76	53.18	57.77	65.08	62.18	62.12
Inertes (%)	0.82	0.04	0.06	1.35	0.53	1.08
*Mat. Org. Total(combustão) (%)	67.42	81.82	83.80	64.16	66.34	49.61
Resíduo Mineral total (%)	15.39	8.51	6.84	12.30	11.61	19.24
Resíduo Mineral Insolúvel (%)	4.64	6.44	3.44	7.71	8.37	13.89
Resíduo Mineral Solúvel (%)	10.75	2.07	3.40	4.59	3.24	5.35
*Carbono org total (%)	25.00	30.16	29.32	24.70	21.89	18.94
Nitrogênio total (%)	0.40	0.48	0.52	0.59	0.57	0.59
Relação C/N (C org total e N total) (%)	29.36	29.33	23.93	15.75	14.84	11.86
Fósforo (P2O5) (%)	1.27	0.60	0.59	0.53	0.38	0.78
Potássio (K2O) (%)	-	-	-	0.31	0.64	1.18
Chumbo (mg/kg)	-	-	-	7.40	17.10	9.55
Cádmio (mg/kg)	-	-	-	<0.49	<0.49	<0.49
N:P:K	-	-	-	5.9:5.3:31	5.7:3.8:6.4	5.9:7.8:11.8

*(valores expressos em base seca, umidade determinada a 65°C); - ensaio não executados.

Os compostos finais obtidos no período seco (verão) atingiram maior porcentagem de matéria orgânica (MO>69% em base seca), de nitrogênio (N>0.85%), de carbono (C>18%) e menor teor de fósforo (P>0.12%) quando comparadas com as do período chuvoso (inverno). Por se tratar de um processo de compostagem de pequena escala a céu aberto, as chuvas ocorridas e as regas constantes para o controle da umidade podem ter provocado a lixiviação de parte desses nutrientes, uma vez que ocorrem na forma mineralizada. Não foi observado variações significativas na qualidade final dos compostos provenientes das diferentes misturas, sendo que a mistura 3 (60% P e 40% V+F) sinaliza um menor teor de matéria orgânica e maiores teores de fósforo e potássio no produto final. Embora estes macronutrientes sejam de grande importância para o desenvolvimento e floração das plantas, não há indicação de limite mínimo na Instrução Normativa nº25 (MAPA, 2009) para eles.

No que se refere à análise granulométrica (Figura 5), observa-se uma redução do tamanho das partículas durante o processo de compostagem.

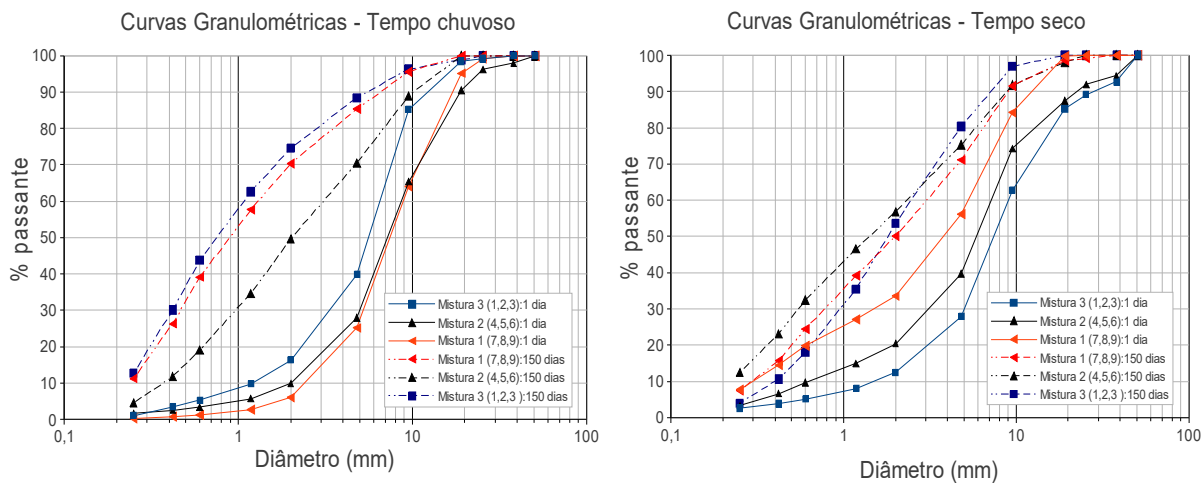


Figura 5. Curvas granulométricas das misturas no início e final da compostagem, para o período seco e chuvoso.

Contudo essa redução foi variável tanto em relação à composição das misturas quanto em relação ao período avaliado. No período seco, as amostras iniciais já se apresentavam mais finas, com material menor que 2 mm variando entre 12 a 33%, enquanto no período chuvoso a variação foi entre 7 a 18%. No final do processo, as misturas do período chuvoso apresentaram maior redução do tamanho das partículas, o que contrasta com a relação C:N final, que foi levemente maior que as obtidas para o período seco. Este padrão aponta uma maior dificuldade de decomposição, que é comprovada pelas menores temperaturas médias atingidas ao longo do tempo chuvoso (Figura 3).

Acredita-se que a dificuldade de decomposição é, em grande parte, consequência da perda de calor para o ambiente devido ao menor volume de material usado para montagem das pilhas no período chuvoso e a da maior ocorrência de lignina e celulose, que são substâncias de difícil decomposição.

Comparando os resultados apresentados na Figura 5 com os especificados para composto orgânico (MAPA, 2009), observa-se que o composto obtido não pode ser enquadrado em nenhuma categoria da IN Nº 25. Apesar de se aproximar da classe farelado grosso, ainda contém cerca de 10% de partículas mais grossas, acima do exigido pela normativa. Cabe ressaltar que as curvas apresentadas na Figura 5 são do composto *in natura*, isto é, como ficou ao final da compostagem, sem sofrer peneiramento ou beneficiamento, que geralmente são feitos após a finalização do processo.

As análises microbiológicas indicaram a presença de coliformes totais e termotolerantes em todos os compostos produzidos no tempo seco, com destaque para a mistura 03 que apresentou valor de 1100 NMP/g (fato que pode ser atribuído a reinjeção do chorume na pilha durante este período).

Os compostos das outras misturas para o tempo seco atendem a Instrução Normativa Nº 7 (MAPA, 2016) quanto à presença de coliformes totais e termotolerantes. Também foi encontrado para este período presença de bactérias dos gêneros *Salmonella*, *Enterobacter*, *Proteus* e *Escherichia* em todas as misturas.

No período chuvoso, onde não foi empregado a reinjeção de chorume nas pilhas, a análise do composto apontou a presença somente de coliformes totais e em concentrações muito menores que no tempo seco, chegando a valores de 26 a 240 NMP/g dentro dos limites de contaminantes admitidos para compostos orgânicos da Instrução Normativa Nº 7, (MAPA, 2016). Bactérias dos gêneros *Enterobacter* e *Proteus* foram encontradas nos compostos de todas as misturas do período chuvoso e, para a mistura 3, além destas se encontrou também *Shigella sp.* De acordo com os resultados encontrados nos testes microbiológicos, os compostos produzidos que apresentaram micro-organismos podem ser utilizados para correção de solo de áreas verdes urbanas com fins paisagísticos.

Os resultados obtidos apontam que para se produzir composto de boa qualidade é necessário ter uma matéria-prima limpa, livre de contaminantes e impurezas e um processo bem controlado de decomposição, monitorando a temperatura, a umidade e a aeração. Pilhas a céu aberto sofrem grande influência das condições ambientais (precipitação e insolação), apesar de, neste trabalho, as variações nos dois períodos avaliados não mostraram significativas.

Conclusões

Com base na caracterização realizada é possível concluir que as diferentes misturas estudadas produziram compostos que atenderam parcialmente as especificações de instruções normativas brasileiras para composto Classe C, pois apresentaram alguns micro-organismos patogênicos que limitam e prejudicam o seu uso para produção agrícola, contudo podem ser usados em áreas verdes com fins paisagísticos.

As três misturas estudadas se mostraram eficientes no processo de compostagem, atingindo uma relação C:N e porcentagem de matéria orgânica no produto final dentro dos limites estabelecidos pelo MAPA. Os resultados do período chuvoso podem ter sido afetados pelo menor volume das pilhas, ocasionando perda de calor para o ambiente dificultando a decomposição, processo evidenciado pelos menores valores de temperatura (em torno de 40°C) e pelas maiores relação C:N obtidas no produto final (valores acima de 12:1).

Agradecimentos

Agradecemos à FAPESB pelo apoio financeiro a esta pesquisa e à Limpurb pela logística.

Referencias bibliográficas

- Awasthi, M. K., Pandey, A. K., Khan, J., Bundela, P. S., Wong, J. W. C., Selvam, A. (2014). Evaluation of thermophilic fungal consortium for organic municipal solid waste composting, *Bioresource Technology*, **168**, 214-221. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.01.048>
- Brasil (2010) *Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos. 2010.* Acesso em 04 de Dezembro de 2017 às 23:15. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm
- Brito, M. J. C. (2008). *Processo de Compostagem de Resíduos Urbanos em Pequena Escala e Potencial de Utilização do Composto como Substrato*, Mestrado, Programa de Pós-Graduação da Engenharia Processos, UNIT, Aracajú, 124 pp.
- Carneiro, L. J., Costa, M. S. S. M., Costa, L. A. M., Martins, M. F. L., Rozatti, M. A. T. (2013) Nutrient loss in composting of agroindustrial residues, *Engenharia Agrícola*, **33**(4), 796-807. doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162013000400019>
- 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), 1-8.
- Chiarelto, M., Bottin, W. C., Spicker, C. E., Duarte, S. S., Chiarelto, M., Bortoli, M. M. (2018). Composting of household organic waste: effect on control parameters and final compound quality, *Revista Agro@ambiente On-line*, **12**(4), 272-287. doi: <https://doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v12i4.5126>
- Costa, P., Neves, A. C., Valladão, S. A., Mol, M. P. G. (2018). Avaliação do processo de compostagem de resíduos de folhas de árvores e jardins em uma instituição pública de Belo Horizonte (BRASIL). *AIDIS*, **11**(3), 389-400.
- Durán, L., Henríquez, C. (2010). El vermicompost : su efecto en algunas propiedades del suelo y la respuesta en planta. *Agronomía Mesoamericana*, **21**(1), 85-93.
- Eaton, A. D., Clesceri, L. S., Rice, E. W., Greenberg, A. E. (2005). *Standart methods for the examination of water & Waste - SMEWW*, 21ª Edition, American Public Health Association, USA, 1274 pp.

- Fernandes, F., Silva P.C.M.S. (1999) Manual prático para a compostagem de Biossólidos; UEL-Universidade Estadual De Londrina, Edição PROSAB/FINEP, Rio de Janeiro, 84 pp.
- Fialho, L. L., Silva, W. T. L. da., Milori, D. M. P., Simões, M. L., Martin Neto, L. (2005) *Monitoramento químico e físico do processo de compostagem de diferentes resíduos orgânico*. CIRCULAR TÉCNICA 29, EMBRAPA, São Carlos, 1-6. Acesso em 02 de janeiro 2019, disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/24760/1/CIT292005.pdf>
- Haug, R. T. (1993). *The Practical handbook of compost engineering*, 2nd ed., Lewis Publishers, 717 pp.
- Heidemann, B. R., Silva, E. R, Soares, M., Barbosa, V. M. (2007) Compostagem acelerada: análise microbiológica do composto, *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, **8**, 42-46.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010) Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008. Acesso em 03 de abril de 2019, disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv45351.pdf>
- Inácio, C. T., Miller, P. R. M. (2009) *Compostagem: ciência e prática aplicadas a gestão de resíduos*. 1ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 156 pp.
- IPEA, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (2012) Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos – Relatório de pesquisa. Acesso em 03 de abril de 2019, disponível em: http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa121009_relatorio_residuos_solidos_urbanos.pdf
- Kiehl, E. J. (1985) *Fertilizantes rgânicos*. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 492 pp.
- Kiehl, E. J. (2004) *Manual de Compostagem: maturação e qualidade do composto*. 4ª edição, E. J. Kiehl, Piracicaba, 173 pp.
- Malavolta, E., Vitti, G. C., Oliveira, S. A. (1997) *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. 2ª edição Piracicaba : Potafos, 319 pp.
- MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2009) *Instrução Normativa nº25 do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, 28 de julho de 2009*. Secretaria de Defesa Agropecuária. Diário oficial da União, Brasília, DF, n.173, 28 julho. 2009. Seção 01, Acesso em 02 de abril de 2019, disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-25-de-23-7-2009-fertilizantes-organicos.pdf/view>
- MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2016) *Instrução Normativa nº 7 do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, 12 de abril de 2016*. Secretaria de Defesa Agropecuária. Diário oficial da União, Brasília, DF, nº 82, Seção 1, pág. 9. Acesso em 02 de abril de 2019, disponível em: https://www.lex.com.br/legis_27129277_INSTRUCAO_NORMATIVA_N_7_DE_12_DE_ABRIL_DE_2016.aspx
- Massukado, L. M. (2008) *Desenvolvimento do processo de compostagem em unidade descentralizada e proposta de software livre para o gerenciamento municipal dos resíduos sólidos domiciliares*, Tese (Doutorado Ciência da Engenharia Ambiental), Programa de Pós-Graduação da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 204 pp.
- Onwosi, C.O., Igbokwe, V.C., Odimba, J.N., Eke, I.E., Nwankwoala, M.O., Iroh, I.N., Ezeogu, L.I. (2017). Composting technology in waste stabilization: On the methods, challenges and future prospects, *Journal of Environmental Management*, **190**, 140-157. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.12.051>
- Pan, I., Dam, B., Sen, S.K. (2012). Composting of common organic wastes using microbial inoculants. *3 Biotech*, **2**(2), 127–134. doi: <https://doi.10.1007/s13205-011-0033-5>
- Pandey, P. K., Cao, W., Wang, Y., Vaddella, V., Castilho, A. R., Souza, A., Del Rio, N. S. (2016) Simulating the effects of mesophilic anaerobic and aerobic digestions, lagoon system, and composting on pathogen inactivation, *Ecological Engineering*, **97**, 633- 641. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.10.047>
- Pereira Neto, J. T. (1996) *Manual de compostagem: processo de baixo custo*. 1 ed. Belo Horizonte: Fundo das Nações Unidas para a Infância, 56 pp.

- Reis, M. F. P. (2005) *Avaliação do processo de compostagem de resíduos sólidos urbanos*, Tese (Doutorado em Engenharia), Programa de Pós-graduação do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 239 pp.
- Santos, A. T. L., Henrique, N. S., Shhlindwein, J. A., Ferreira, E., Stachiw, R. (2014). Aproveitamento da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos para produção de composto orgânico, *Revista Brasileira de Ciências da Amazônia*, **3**(1), 15-28.
- Silva, E. T. da (2007) Tratamento de lixo domiciliar e sua aplicação na recuperação de áreas degradadas, *Revista Acadêmica*, **5**(2), 197-209. doi: <http://dx.doi.org/10.7213/cienciaanimal.v5i2.9768>
- Siqueira, T. M. O, Assad, M. L. R. C. L. (2015). Composting of municipal solid wastw in the state of São Paulo, *Ambiente & Sociedade*, **18**(4), 235-258..
- Valente, B. S., Xavier, E. G., Morselli, T. B. G. A., Jahnke, D. S., Jahnke, B. S., Brum Jr, B. R., Cabrera, B. R., Moraes, P. O., Lopes, D. C. N. (2009). Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. *Arch. Zootec*, **58**(R), 59-85.
- Zaparoli, M. R., Barros, T. V (2016). Viabilidade do uso de resíduos orgânicos na agricultura como composto para melhoria de sua gestão mediante agregação de valor. *VII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Campina Grande, Brasil*. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2016/III-040.pdf>