

### **III-104 - AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DOS PROCESSOS DE COMPOSTAGEM POR REVIRAMENTO E AERAÇÃO FORÇADA NO TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS**

**Mônica de Abreu Azevedo<sup>(1)</sup>**

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Viçosa. Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Doutora em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo (USP). Professora na Universidade Federal de Viçosa.

**Nathane Manuelle Silva Vilela**

Engenheira Civil pelo Centro Universitário de Formiga (UNIFOR – MG). Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Viçosa (UFV).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Avenida Peter Henry Rolfs, s/n - Viçosa - MG - CEP: 36570-900 - Brasil - Tel: (31) 3899-2747 - e-mail: monica.azevedo@ufv.br

#### **RESUMO**

A compostagem é considerada uma técnica economicamente viável e ambientalmente sustentável para o tratamento da fração orgânica de resíduos sólidos. Trata-se de um processo biológico, aeróbio e controlado de degradação da matéria orgânica que necessita que parâmetros como temperatura, umidade e aeração sejam controlados para que o processo ocorra de forma eficiente. No Brasil, a fração orgânica dos resíduos sólidos municipais representa mais de 50% do resíduo gerado, e existe um grande potencial para o seu tratamento biológico. Dessa forma, o objetivo desse estudo foi avaliar a eficiência de compostagem por reviramento e por aeração forçada no tratamento de resíduos sólidos orgânicos. Para isso, foram montados dois experimentos: uma leira estática aerada e uma leira por reviramento. Os processos foram comparados por meio do comportamento e distribuição de temperatura, da variação de umidade, do pH e da redução de carbono orgânico total (COT).

**PALAVRAS-CHAVE:** Compostagem, resíduos orgânicos, leiras estáticas aeradas, compostagem por reviramento.

#### **INTRODUÇÃO**

A geração de resíduos sólidos e a deficiência em sua gestão têm acarretado problemas urbanos e ambientais em grande parte do planeta. Os resíduos gerados possuem relação com indicadores de urbanização, como quantidade de domicílios, de empresas, de automóveis. Da mesma forma, o volume de resíduos alimentares possui estreita relação com a industrialização (CHEN, 2018). O fator socioeconômico influencia o volume e a composição do material gerado: com o desenvolvimento econômico há um aumento na geração de resíduos, assim como aumenta o consumo de alimentos pré-fabricados, acrescentando um aumento na proporção de resíduos plásticos (OGWUELEKA, 2013; KATHIRVALE et al., 2003).

No Brasil, segundo o Panorama dos Resíduos Sólidos (ABRELPE, 2016) a geração de resíduos sólidos foi de 78,3 milhões de toneladas, sendo 50% destes, aproximadamente, representados por resíduos orgânicos (BRASIL, 2017). Devido à degradabilidade da fração orgânica dos resíduos sólidos, os processos de compostagem constituem uma alternativa economicamente viável para destinação desta fração. A compostagem pode ser realizada por diferentes métodos como por aeração forçada ou leiras estáticas aeradas e por reviramento ou processo *Windrow*, com diferentes eficiências.

Os sistemas de leiras estáticas aeradas – aeração forçada – fazem parte dos processos de compostagem com custos intermediários, com boa eficiência na degradabilidade da matéria orgânica e eliminação de patógenos, quando comparados aos processos por reviramento e aos processos mecanizados como os biorreatores ou biodigestores (AZEVEDO, 1993).

Dessa forma, o presente estudo teve como objetivo comparar a eficiência de compostagem da fração orgânica de resíduos sólidos urbanos por meio do processo de aeração forçada e por reviramento, analisando o tempo de compostagem, assim como os parâmetros: temperatura, umidade, pH e carbono orgânico total (COT).

## MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos foram montados com resíduos orgânicos provenientes de duas Unidades de Triagem e Compostagem – UTC, localizadas na Zona da Mata Mineira. A leira estática de aeração forçada (LEA) foi montada sobre um tubo de PVC de 100 mm de diâmetro e 5 m de comprimento, perfurado na face superior com furos de 5 mm espaçados ao longo do comprimento. A tubulação foi conectada a uma bomba centrífuga de 1/2 CV de potência, com funcionamento intermitente, em ciclos de aeração prefixados de 2 minutos a cada 70 minutos. Sobre o cano foi colocada uma cama de capim, de forma a evitar o entupimento dos furos, distribuir melhor o ar e reter qualquer excesso de líquido que se formasse. Foi utilizado aproximadamente 1,1 tonelada de material no experimento. A leira formada foi coberta com uma camada de composto maturado, de cerca de 15 cm de espessura, com intuito de funcionar como isolante térmico, filtro de gases e evitar a atração de vetores. A leira teve uma configuração prismática, com seção reta triangular, apresentando as seguintes dimensões: comprimento 4,1 m, largura de 0,9 m e altura de 2,25 m (Figura 1). As temperaturas da LEA foram medidas diariamente, durante o período de compostagem. Após o fim a fase ativa com aeração, a leira foi desmontada e o material foi para a fase de maturação, com reviramentos periódicos a fim de se controlar a temperatura, aeração e umidade do material.



**Figura 1 – Leira Estática aerada sobre tubo de aeração, coberta com camada de composto maturado e com a disposição das sondas de temperatura.**

**Fonte: Elaborado pelas autoras.**

O resultados da LEA foram comparados com os dados de um trabalho prévio, em que foi analisado o processo de compostagem por reviramento, por meio do processo *Windrow* (AZEVEDO; VILELA; TEIXEIRA, 2018). Para a montagem da leira de reviramento (PW), foi utilizado aproximadamente 0,5 tonelada de resíduo, que foi incorporado com capim na própria UTC a fim de se reduzir a umidade e estruturar o material (Figura 2). Os reviramentos foram realizados a cada 3 dias, aproximadamente, durante os 30 primeiros dias do processo e, após esse período, semanalmente. As temperaturas da PW foram medidas, em média, duas vezes por semana.



**Figura 2 – Leira de reviramento da fração orgânica proveniente de UTC.**  
**Fonte: Elaborado pelas autoras.**

Além do monitoramento das temperaturas, foram realizadas análises laboratoriais de pH, teor de umidade e teor de sólidos, realizadas em triplicata, com frequência semanal. O carbono orgânico total (COT) foi determinado a partir de uma relação com o teor de sólidos voláteis (SV), conforme a Equação 1 (GOLUEKE, 1977 *apud* AZEVEDO, 1993):

$$\text{COT} = \text{SV}/1,8$$

equação (1)

O pH foi medido a partir substrato das amostras numa razão de 1:25 (m/v), agitado por 3 minutos e repouso de 10 minutos, segundo a metodologia proposta por Carnes e Lossin (1970) (AZEVEDO, 1993). As leituras foram realizadas utilizando um eletrodo de pH.

A umidade foi obtida pela secagem do material, em estufa a  $70 \pm 2^\circ\text{C}$ , por 24 horas. É calculada a porcentagem de redução da massa do material (SOLYON, 1977 *apud* AZEVEDO, 1993).

A análise do teor de sólidos foi realizada com amostras secas em estufa, trituradas e peneiradas, submetidas, logo após, à calcinação em mufla a  $550 \pm 2^\circ\text{C}$ , por 2 horas (APHA, 1985).

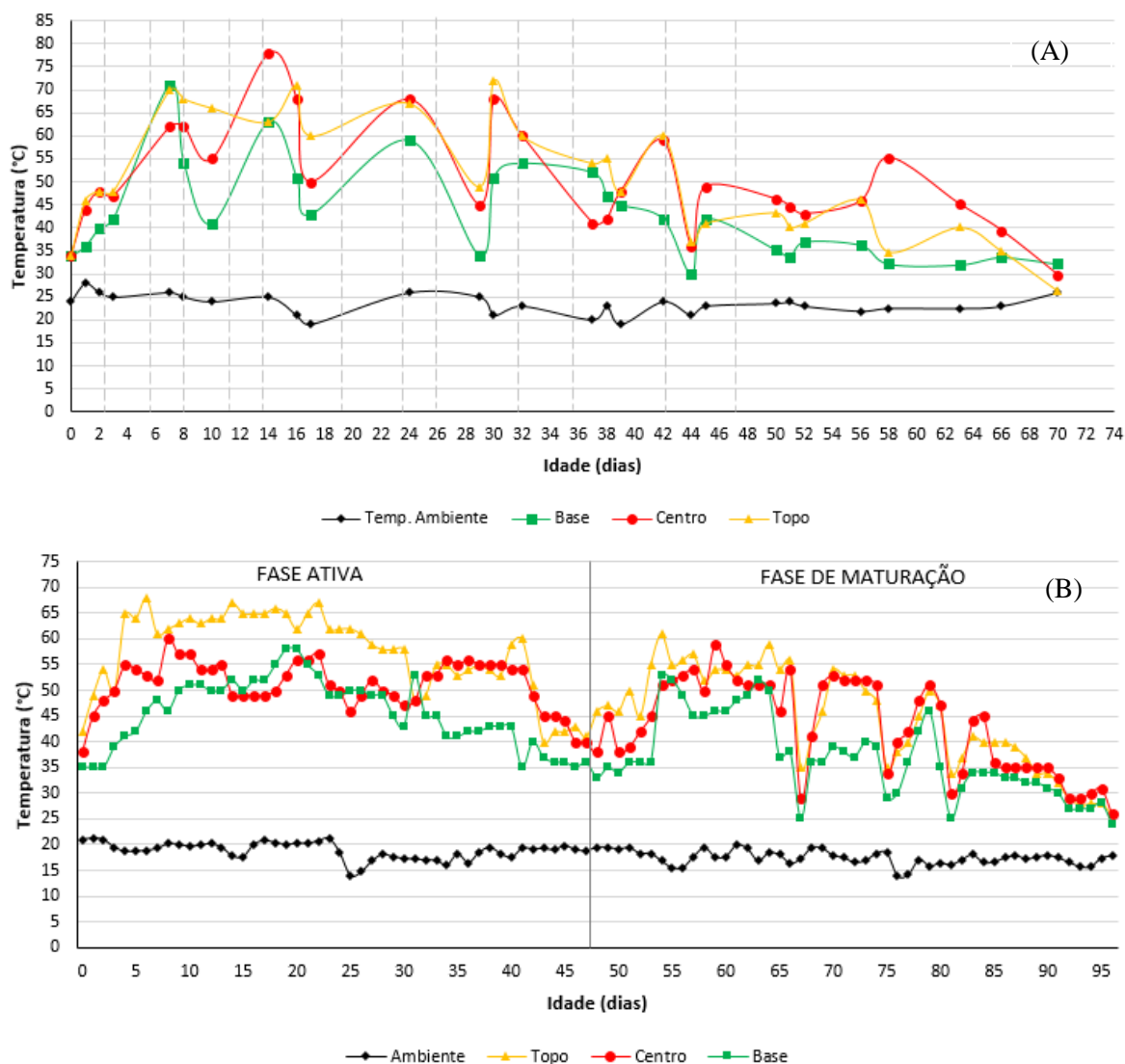
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 3 são apresentadas as temperaturas aferidas durante o período de compostagem. Os processos duraram 70 e 95 dias para PW e LEA, respectivamente. Não foram observadas quedas bruscas de temperatura na LEA como na PW, que ocorreram devido aos reviramentos.

A partir da idade de 43 dias, as temperaturas da LEA mantiveram-se abaixo de  $45^\circ\text{C}$  e ao dia 47, a leira foi desmontada e passou para o pátio, com reviramentos semanais até o fim da fase de maturação. Os microrganismos termofílicos degradam a matéria orgânica de forma rápida e intensa, e à medida que o substrato diminui, predominam as populações mesofílicas, que se mantêm em temperaturas menores que  $40^\circ\text{C}$  (FERNANDES; SILVA, 1999). Observou-se, no entanto, que após ser transferido o material da LEA para a leira de maturação, as temperaturas subiram novamente, o que pode ser devido ao fato de que, após a mistura, novas superfícies de partículas ficaram expostas a condições aeróbias, induzindo o aumento de calor (SAADI et al., 2013). Além disso, como o material não foi triturado antes da compostagem, a granulometria era alta, como restos de frutas, verduras e legumes inteiros. Uma vez que a leira era estática, a biodegradação desse material se dava em suas superfícies e quando passou a ser revirada, os compostos se partiam, diminuindo a granulometria e possibilitando a degradação das superfícies expostas. Ambos os experimentos atingiram



temperaturas termofílicas (acima de 40°C) nos primeiros dias. Observou-se que a LEA demorou mais tempo para atingir a maturação que a PW, de acordo com a temperatura. Isso pode ser devido ao tipo de material usado, com granulometria elevada, que com o reviramento, pôde ser reduzido e degradado mais rápido do que pela aeração forçada.



**Figura 3 – Relação das temperaturas medidas durante o processo de compostagem.**

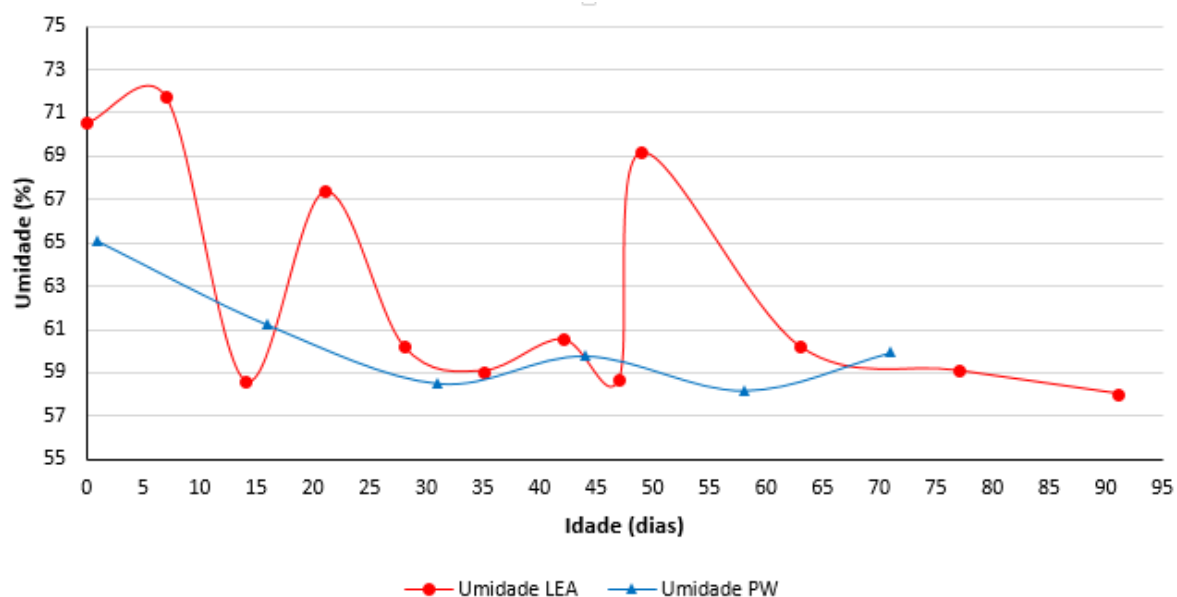
**(A) Temperaturas PW.**

**(B) Temperaturas LEA.**

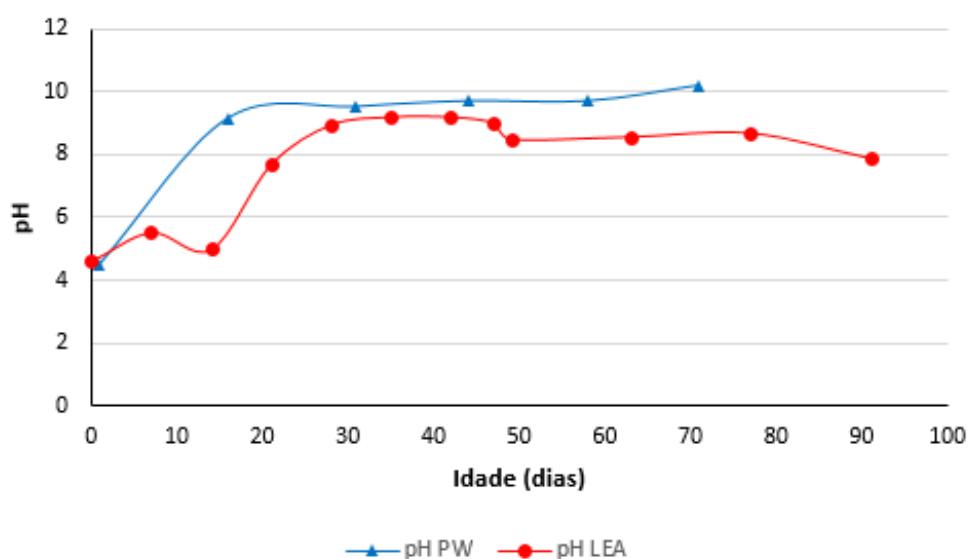
**Fonte: (A) AVEZEDO, VILELA, TEIXEIRA (2018)**

Os teores de umidade e de sólidos voláteis, tanto da LEA como da PW, são apresentados na Figura 3. Os teores de umidade da LEA não apresentaram uma diminuição constante, como o observado para a PW. Essa variação de umidade pode ser devido à amostragem, assim como às intempéries, pois como não há reviramento, a distribuição da umidade não se dá de forma homogênea. Awasthi et al. (2015) realizaram compostagem com resíduos municipais por reviramento e observaram valores finais de umidade que variaram de 37 a 43% e sólidos voláteis entre 59 e 64%, aproximadamente. Apesar de a umidade da LEA e PW ter sido superior, os valores de sólidos voláteis corroboraram com aqueles obtidos pelos autores. Ambos os experimentos atingiram umidade mínima de 58%, enquanto a máxima umidade da LEA foi de 72% no início do processo, devido à matéria orgânica fresca sem adição de material estruturante. Considera-se que há um equilíbrio do processo de compostagem quando a umidade encontra-se próxima a 55%, sendo valores acima de 60% indicadores de

anaerobiose podendo resultar em odores por excesso de líquido. Valores muito baixos, como inferiores a 40%, podem interferir na atividade biológica, reduzindo-a (BIDONE; POVINELLI, 1999).

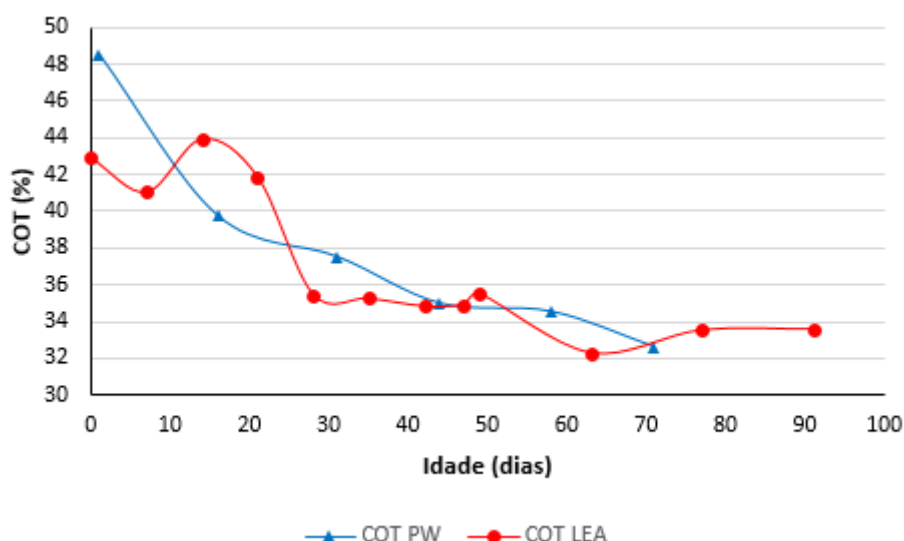


**Figura 4 – Umidades das leiras estática com aeração forçada (LEA) e de reviramento – processo *Windrow* (PW).**



**Figura 5 – Valores de pH medidos durante o processo de compostagem da LEA e PW.**

Foram registrados valores de pH baixos, em ambos os experimentos (AZEVEDO; VILELA; TEIXEIRA, 2018), durante o início do processo de compostagem, conforme apresentado na Figura 5. Os baixos valores podem ser devido à intensa atividade microbiana e à decomposição de açúcares e gorduras que proporcionaram a formação de ácido orgânico (AWASTHI et al., 2015; WONG et al., 2009). Os valores de pH aumentaram significativamente e se mantiveram básicos até o fim da compostagem. Awasthi et al. (2015) associaram os altos valores obtidos à produção de amônia associada à degradação de proteínas e à decomposição de ácidos orgânicos. Observou-se um período maior da LEA na fase ácida que pode ser devido à menor disponibilidade de oxigênio para a degradação, que ocorreu mais lentamente.



**Figura 6 - Teores de Carbono Orgânico Total obtidos durante o processo de compostagem.**

Como o carbono orgânico total foi obtido por uma relação com o teor de sólidos voláteis, seguiu o mesmo padrão de decaimento de valores para os dois experimentos. Os menores valores obtidos de COT foram de aproximadamente 32% ao final do processo de compostagem. A diminuição gradativa dos teores é devida à perda líquida de massa seca e carbono orgânico como  $\text{CO}_2$  durante a compostagem (AWASTHI et al., 2015). A perda de COT pode servir como indicador indireto do grau de maturidade do composto (KARAK et al., 2014).

## CONCLUSÕES

A partir dos dados apresentados, observou-se que ambos os processos de compostagem atingiram resultados que indicaram a maturação, apesar dos tempos distintos gastos por cada um.

O principal parâmetro analisado que permitiu diferenciar os dois processos realizados foi a temperatura, que foi o indicador da maturação dos materiais. Enquanto a leira por aeração forçada levou 95 dias para atingir temperaturas abaixo de  $40^\circ\text{C}$ , um dos indicadores da maturação do composto, a pilha por reviramento demorou 70 dias. Além dos reviramentos, a incorporação de palha ao material da PW também influenciou no aumento da temperatura, mantendo-a na faixa termofílica pelo tempo suficiente para que a matéria fosse biodegradada.

Tanto a umidade quanto o teor de sólidos decaíram durante a compostagem para os dois processos, finalizando o processo com aproximadamente 60 e 58% de umidade e 58 e 60% de sólidos voláteis, valores da PW e LEA, respectivamente, apresentando valores muito próximos.

O pH também apresentou uma diferença entre a leira e a pilha, devido a LEA ter permanecido mais tempo na faixa de pH ácido, o que pode indicar uma decomposição mais lenta e, portanto, maior tempo com formação de ácidos orgânicos devido a degradação microbiana.

Apesar de não ter sido discutida a disponibilidade de oxigênio e não ter sido testada outra taxa de aeração, considerou-se a taxa utilizada satisfatória, uma vez que manteve a umidade em teores ótimos ao processo de degradação. Outros estudos podem ser realizados para avaliar se o processo de compostagem por leiras estáticas aeradas pode ser acelerado com outras taxas, observando-se os teores de umidade do material.

A pilha por reviramento *Windrow*, portanto, apresentou maior eficiência quanto ao tempo de compostagem do que a leira estática aerada. Com os reviramentos constantes, o material, que apresentava diferentes granulometrias, foi mais rapidamente degradado, com maior disponibilidade de substrato para os micro-organismos decompositores.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2016. 64p. 2016.
2. APHA – Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water, ed.16, APHA, ANWA, WPCF, New York, USA, 1985.
3. AZEVEDO, M. A. Estudo e avaliação de quatro modos de aeração para sistemas de compostagem em leiras. 1993. 194 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1993.
4. AZEVEDO, M. A.; VILELA, N. M. S.; TEIXEIRA, H. L. Eficiência de compostagem de resíduos sólidos urbanos provenientes de uma Unidade de Triagem e Compostagem (UTC). XIV Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Pôster 2018.
5. AWASTHI, M. K.; PANDEY, A. K.; BUNDELA, P. S.; KHAN, J. Co-composting of organic fraction of municipal solid waste mixed with different bulking waste: Characterization of physicochemical parameters and microbial enzymatic dynamic. *Bioresource Technology*, v. 185, p. 200-207, 2015.
6. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Compostagem doméstica, comunitária e institucional de resíduos orgânicos: manual de orientação. Centro de Estudos e Promoção da Agricultura de Grupo, Serviço Social do Comércio. Brasília, DF: MMA, 2017.
7. BIDONE, F. R. A.; POVINELLI, J. Conceitos Básicos de Resíduos Sólidos. São Carlos: EESC; USP, 1999.
8. CHEN, Y. Effects of urbanization on municipal solid waste composition. *Waste Management*, in press, 2018.
9. FERNANDES, F.; SILVA, S. M. C. P. Manual prático para a compostagem de biossólidos. 1. ed. Rio de Janeiro: ABES, 1999.
10. KARAK, T.; SONAR, I.; PAUL, R. K.; DAS, S.; BORUAH, R. K.; DUTTA, A. K.; DAS, D. K. Composting of cow dung and crop residues using termite mounds as bulking agent. *Bioresource Technology*, n. 169, p.731–741, 2014.
11. KATHIRVALE, R.; YUNUS, M. N. M.; SOPIAN, K.; SAMSUDDIN, A. H. Energy potential from municipal solid waste in Malaysia. *Renewable Energy*, v.29, p. 559-567, 2003.
12. OGWUELEKA, T. C. Survey of household waste composition and quantities in Abuja, Nigeria. *Resources, Conservations and Recycling*, v. 77, p. 52-60, 2013.
13. SAADI, I., RAVIV, M., BERKOVICH, S., HANAN, A., AVIANI, I., LAOR, Y. Fate of soilapplied olive mill wastewater and potential phytotoxicity assessed by two bioassay methods. *J. Environ. Qual.*, v.42, p. 1791–1801, 2013.
14. WONG, J. W. C.; FUNG, S. O.; SELVAN, A. Coal fly ash and lime addition enhances the rate and efficiency of decomposition of food waste during composting. *Bioresource Technology*, n. 100, p. 3324–3331, 2009.