

### **III-323 - MONITORAMENTO DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM DOS RESÍDUOS DE PODAS DE ÁRVORES E GRAMADOS GERADOS NA UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS (CAMPUS PAMPULHA)**

**Valéria Cristina Palmeira Zago<sup>(1)</sup>**

Professora do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Doutora em Ciências do Solo, pela UFRRJ. Pesquisadora nas áreas de Recuperação de Áreas Degradadas, Aproveitamento de resíduos, Fitorremediação e Adubação orgânica.

**Jéssica Elorde Freitas<sup>(2)</sup>**

Engenheira Ambiental e Sanitária, pelo Centro Federal de Educação de Minas Gerais

**Carolina Minete Meireles<sup>(3)</sup>**

Graduanda de Engenharia Ambiental/UFMG

**Raphael Tobias de Vasconcelos Barros<sup>(4)</sup>**

Professor do Departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária/UFMG

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Av. Amazonas, 5253, B. Nova Suíça, Belo Horizonte-MG, CEP. 30421-169- Brasil – Tel: (31) 33197021- **email:** [valeriazago@cefetmg.br](mailto:valeriazago@cefetmg.br)

#### **RESUMO**

Os resíduos orgânicos representam cerca de 50% do total de resíduos domésticos urbanos gerados no Brasil e sua disposição final se dá diretamente nos aterros e lixões existentes no país. A Política Nacional de Resíduos Sólidos cita a compostagem como a forma mais adequada ambientalmente para a destinação desses resíduos. A UFMG possui um programa de compostagem desde 2005, reciclando todos os resíduos das áreas verdes do campus Pampulha. Este trabalho objetivou realizar o monitoramento da temperatura, umidade e pH de uma das áreas de compostagem deste campus e qualidade final do composto gerado. O processo de compostagem adotado pela UFMG prolonga o período de maturação do composto. As temperaturas das leiras durante o experimento apresentaram homogeneidade entre si. Ao final dos 230 dias experimentais a leira não alcançou a temperatura ambiente, porém apresentou temperaturas próximas, conforme esperado. Tal fato pode ser atribuído ao tamanho das leiras monitoradas e/ou a baixa frequência de revolvimentos. Durante o monitoramento não foi observado a presença de vetores e de odores. O composto final gerado a partir do processo de decomposição apresentou pH considerado ótimo para fertilizantes orgânicos. Porém, apresentou a relação de C/N alta, e os teores de nutrientes foram considerados baixos. O processo atual de compostagem seria otimizado em tempo e qualidade do produto, se o tamanho das leiras fosse reduzido e o revolvimento ocorresse ao menos uma vez ao mês.

**PALAVRAS-CHAVE:** Reciclagem, orgânicos, universidade, gestão, compostagem.

#### **INTRODUÇÃO**

A sociedade moderna tem enfrentado um de seus maiores desafios, que é o equacionamento da geração excessiva de resíduos sólidos e sua destinação final adequada (JACOBI e BENSEN, 2011). No Brasil, em 2016, a geração total de resíduos sólidos urbanos foi de aproximadamente 78,3 milhões de toneladas, do total coletado (71,3 milhões de toneladas), apenas 58,4% (41,7 milhões de toneladas) foram destinados de forma adequada, ou seja, enviados para o aterro sanitário (ABRELPE, 2016).

Os resíduos orgânicos representam cerca de 50 % do total de resíduos domésticos urbanos gerados no Brasil. Estes resíduos possuem a particularidade de poderem ser reciclados por meio de processos como o de compostagem, em qualquer escala, desde a doméstica até a industrial (MMA, 2017). Se os resíduos orgânicos forem separados e destinados para o processo de compostagem, a carga de resíduos domésticos que será enviada para o aterro sanitário pode ser reduzida até a metade, além de facilitar a reciclagem dos demais resíduos (WEI et al., 2017).

Segundo Barros (2012), sob o ponto de vista industrial e/ou comercial, a compostagem representa uma prática de reciclagem, que possibilita outras atividades socioeconômico-culturais. A compostagem é considerada a forma mais viável, econômica e ambientalmente, em relação as demais alternativas de desvio desses resíduos

(incineração e biometanização) (ALELUIA E FERRÃO, 2017); além de ser mais simples e de fácil operação (KIEHL, 2002). Ademais, produz ao final do processo o composto, que pode ser utilizado como condicionante do solo sem ocasionar danos ao meio ambiente, desde que os resíduos orgânicos utilizados neste processo passem por uma triagem retirando qualquer resíduo indesejável (BORTOLOTTI et al., 2018).

Destaca-se a importância do processo de gestão de resíduos sólidos consciente nas universidades, levando em consideração as opções para uma gestão que envolva práticas de reutilização e reciclagem de resíduos.

## OBJETIVO

Este trabalho objetivou realizar o monitoramento de parâmetros físico-químicos (pH, temperatura e umidade) durante o processo de compostagem dos resíduos de podas de árvores e gramados gerados no *campus* Pampulha da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), em Belo Horizonte-MG e avaliar a qualidade do composto gerado ao final do processo de compostagem.

## METODOLOGIA

O estudo foi realizado em um dos pátios de compostagem localizado no *campus* Pampulha – UFMG. Foram utilizados apenas os resíduos verdes recolhidos no *campus*, obtidos através das podas de árvores, capina, roçado, rastelamento e corte dos gramados. No dia 22 de setembro de 2017, foram implantadas três leiras, com o auxílio da máquina carregadeira, utilizando os resíduos verdes recolhidos no *campus* que foram homogeneizados (Figura 1a).

As quantidades de resíduos verdes, utilizados para a montagem das leiras 1, 2 e 3, foram aproximadamente: 594 kg, 587 kg e 489, kg, respectivamente. As leiras foram montadas no formato cônico (Figura 1b).



**Figura 1: Uso da pá carregadeira na montagem (a), formato e pontos de monitoramento dos parâmetros nas leiras (b), do pátio de compostagem do Pampulha (UFMG).**

As dimensões das leiras foram definidas pelo responsável pelo programa de compostagem de acordo com a capacidade da pá carregadeira em revolver as leiras e também em função da necessidade de se otimizar o espaço do pátio (Tabela 1).

**Tabela 1 – Dimensões e volume das três leiras implantadas no pátio de compostagem do campus Pampulha (UFMG), em 22 de setembro de 2017.**

Leira	Altura (m)	Diâmetro da base (m)	Volume da leira (m³)
1	2,52	8,90	52,23
2	2,70	8,55	51,67
3	2,57	8,00	43,04

Durante o período de decomposição dos resíduos das leiras (230 dias neste experimento), foi realizado o monitoramento com três principais parâmetros para determinação do grau de maturação: temperatura, pH e teor de umidade. O monitoramento dos parâmetros foi realizado sempre no mesmo horário do dia, em três pontos diferentes dentro das leiras (Figura 1b).

O monitoramento dos parâmetros foi realizado duas vezes na semana, além da observação sobre presença de vetores e/ou odores desagradáveis. Durante o período do experimento, as leiras foram irrigadas todos os dias da semana no período da manhã por cerca de 1 (uma) hora. Para a medição da temperatura foi utilizado o termômetro digital (marca Minipa modelo MT-450, com uma haste metálica de 1,40 metro). Com este mesmo aparelho, também foi medida a temperatura ambiente, às 9 h todas os dias.

Em cada seção da leira foram coletadas três amostras, que foram posteriormente homogeneizadas, e retirada uma subamostra com aproximadamente 50 gramas, identificadas e encaminhadas para o laboratório de determinação do pH (em água) e da umidade a 65° C (Kiehl, 2002). Após 230 dias do experimento, uma amostra composta por subamostras das três leiras foi encaminhada para análises de fertilidade, no Laboratório de Análise de Fertilizantes Corretivos, do Instituto Mineiro de Agropecuária (IMA).

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **Dimensões das leiras**

No início da implantação do programa de compostagem, as leiras eram montadas no modelo “windrows”, com formato triangular, altura de no máximo 2,0 m e largura de 1,5 – 2,0 m. A equipe de trabalhadores foi diminuindo com o passar do tempo, em função da redução de custos com mão-de-obra. Estes fatores afetaram a condução dos trabalhos, sendo necessário adotar uma nova logística para não interromper o programa. A montagem das leiras e os revolvimentos, anteriormente realizados manualmente, foram substituídas por uma pá carregadeira, emprestada de outro setor da UFMG, quando disponível.

Desta forma, de modo a facilitar as atividades da compostagem com o uso da pá carregadeira, as dimensões da leiras foram alteradas e, atualmente, são superiores ao recomendado por Brady e Weil (2013), que propõem dimensões das leiras de 2,0 m a 3,0 m (largura) e 1,0 m a 2,0 m (altura), em larga escala.

### **Parâmetros monitorados nas leiras**

Durante o período de compostagem, não foi identificada a ocorrência de mau cheiro ou a presença de vetores, ademais, não havia restos de alimentos nas leiras. Segundo Teixeira et al. (2004), a ausência de odores fétidos e vetores, é um indicativo de que durante o processo, as condições de aeração e umidade foram adequadas.

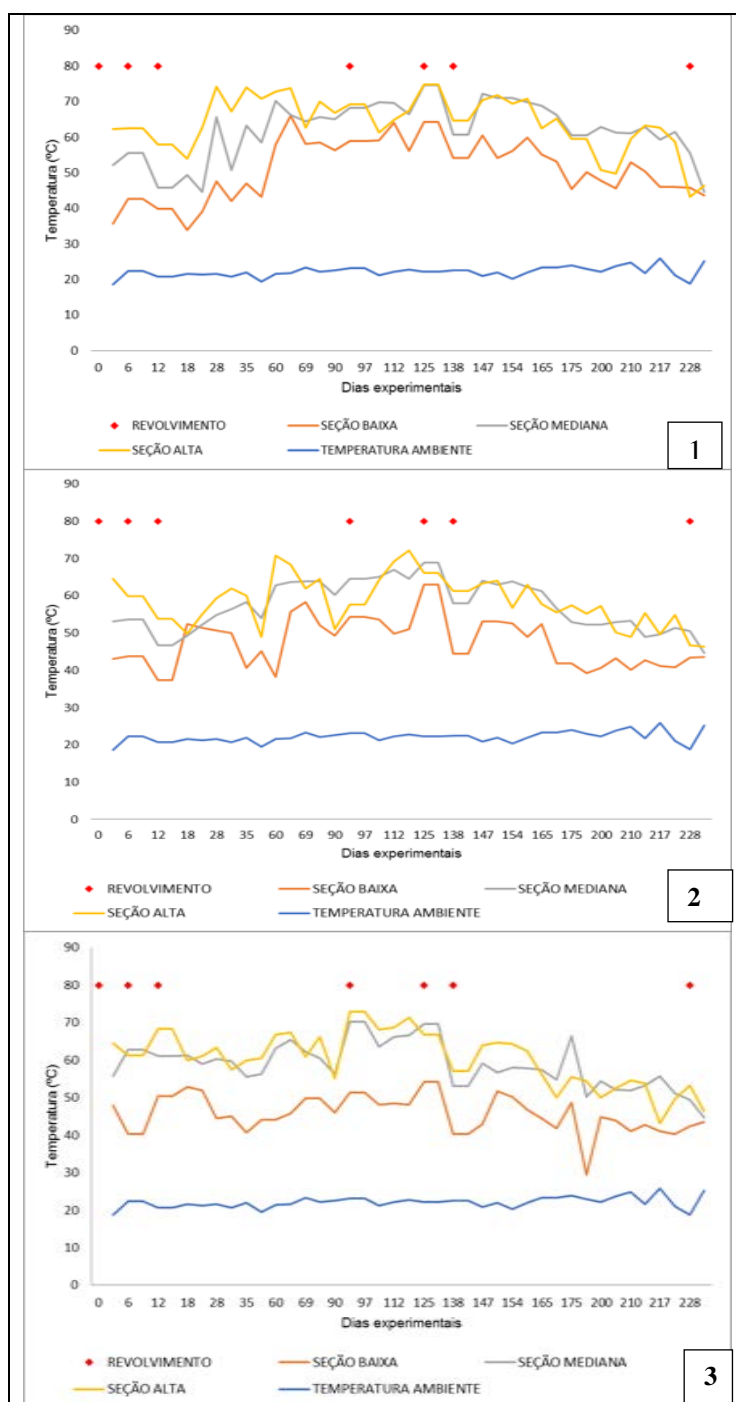
O monitoramento foi realizado durante 230 dias, considerado um período longo para a decomposição dos resíduos orgânicos. Em geral, a fase de maturação é de 120 - 160 dias, dependendo dos fatores: composição do material, clima, condições de temperatura, umidade e aeração.

Segundo Oliveira et al. (2005), o tempo de decomposição dos resíduos orgânicos depende da qualidade destes em termos nutricionais e de composição microbiológica. Portanto, nas situações em que é possível intercalar camadas de resíduos domésticos, esterco de aves e cavalos, entre outros, estes resíduos funcionam como inóculo de microrganismos, acelerando o processo de decomposição. Na compostagem da UFMG utilizaram-se apenas resíduos de podas, caso fossem inseridos neste processo de compostagem camadas de outros resíduos orgânicos, possivelmente seria reduzido o tempo de decomposição.

### **Temperatura**

Em relação ao monitoramento da temperatura durante o experimento, observou-se um comportamento muito similar entre as leiras (Gráfico 1). As seções baixas das três leiras estiveram mais baixas que as demais seções. Por não estar em contato com o ar atmosférico, as trocas gasosas são mais restritas e a massa de resíduos fica mais fria (DE BERTOLDI, 2013).

Na maior parte do experimento, as temperaturas mantiveram-se entre 50-73°C, na seção superior. Na seção mediana, variaram entre 45-70°C, enquanto na inferior, entre 30-62°C. Porém, não há uma mudança evidente nas fases mesófila e termófila, características do comportamento da decomposição da matéria orgânica, durante a compostagem (Figura 2).



**Figura 2 – Temperatura (°C) nas seções baixa, mediana e alta da leira 1, 2 e 3, monitoradas no *campus* Pampulha da UFMG e temperatura ambiente.**

O processo de compostagem tem três estágios sucessivos de temperatura – mesofílico (25-40°C), termófilo (35-65°C) e um estágio de resfriamento (atinge temperaturas próximas ao meio ambiente) (Insam e Bertoldi, 2011). A temperatura na compostagem normalmente aumenta rapidamente para 55-65°C no período de 24-72h a partir do início do processo. Este fenômeno foi observado durante o monitoramento das leiras no pátio da UFMG.

Segundo Kiehl (2002), durante a decomposição da matéria orgânica, a temperatura da leira eleva-se devido ao metabolismo exotérmico dos microrganismos e às propriedades isolantes da massa em compostagem,

considerando-se a faixa ótima de temperatura na leira de 45°C a 65°C. Valores acima de 70°C por um longo período são desaconselháveis, por restringirem a ação de organismos mais sensíveis.

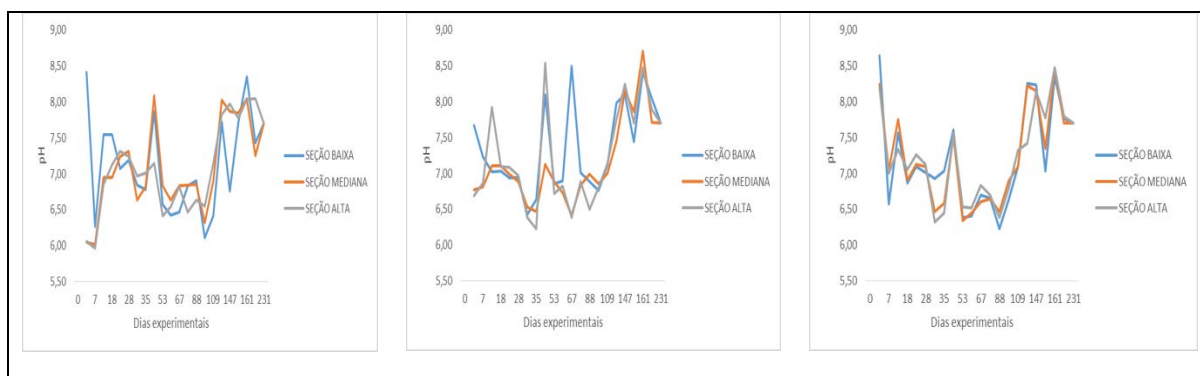
Podê-se observar que, após os revolvimentos, a temperatura das leiras era levemente rebaixada; no entanto, subindo novamente depois de alguns dias (Figura 2). Segundo De Bertoldi (2013), os revolvimentos provocam a liberação do excesso de calor, através da vaporização da água e da liberação de CO<sub>2</sub>, além de auxiliar na oxigenação das composteiras, disponibilizando O<sub>2</sub> para os microrganismos.

No 228º dia, as três leiras foram unificadas, conforme programação operacional do setor, liberando espaço no pátio para montagem de novas leiras. As temperaturas medidas naquele dia foram, 43,6°C (seção baixa), 44,6°C (seção mediana) e 46,4°C (seção alta), bem superiores à temperatura ambiente (25,2°C).

Isto pode ter sido ocasionado pela baixa quantidade de revolvimentos realizados (o que levou à redução na oxigenação da leira), ao tamanho das leiras estudadas e à elevada relação C/N dos resíduos de podas e folhas.

### pH

Em relação ao pH, foram verificados vários picos de elevação e redução, durante o monitoramento, variando de 6,5 a 8,8. Por se tratar de resíduos com relação C/N alta, a decomposição é mais lenta, por faltar N aos microrganismos. Em leiras, onde a relação C/N é mais equilibrada, já nos primeiros dias é possível verificar o rebaixamento do pH, causado pela liberação de ácidos orgânicos, oriundos da decomposição de moléculas primárias como proteínas e açúcares. Portanto, o comportamento do pH, reflete uma decomposição bastante lenta, onde o pH se reduz aproximadamente entre os 35º e os 88º dias. Após esse período, o pH eleva-se até o final do monitoramento. Segundo Rodrigues et al. (2006), a faixa considerada ótima para o desenvolvimento dos microrganismos responsáveis pela decomposição é entre 5,5 e 8,5. Porém, outros fatores interferem na decomposição como, por exemplo, umidade, aeração, temperatura e relação C/N.



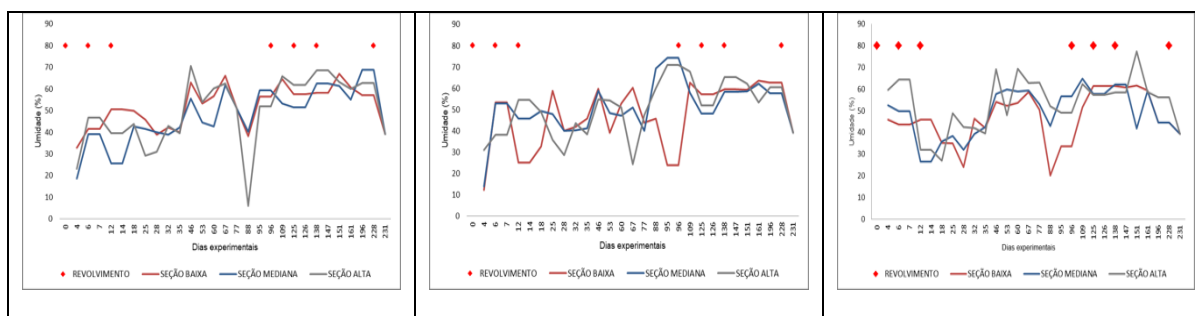
**Figura 3 – pH nas seções baixa, mediana e alta das leiras 1, 2 e 3, monitoradas no *campus* Pampulha da UFMG**

### Umidade

Observou-se bastante variação nos valores dos teores de umidade aferidos nas três leiras durante o experimento (Figura 4). Os resíduos utilizados possuem pouca umidade e não são triturados; portanto, possuem uma baixa área específica. A compostagem adequada desses resíduos é dependente de umidade oriunda de precipitações ou irrigações.

No pátio de compostagem da UFMG, as leiras foram irrigadas durante todo o experimento, utilizando um aspersor de água em seu topo, o que garantiu a umidade necessária na maior parte do tempo. No entanto, o tamanho das leiras, o número de revolvimentos reduzidos e não bem distribuídos no tempo podem ter prejudicado a distribuição da água entre as diferentes profundidades das leiras. Em alguns períodos e em profundidades diferentes, entre as leiras, o teor de umidade esteve abaixo do recomendado para a atividade microbiana decompositora.





**Figura 4 – Teores de umidade (%) nas seções baixa, mediana e alta da leira 1, 2 e 3, monitoradas no campus Pampulha da UFMG**

Segundo Teixeira et al. (2005), a umidade entre 50 e 60% seria a faixa ideal para a ação dos microrganismos benéficos à compostagem, e para Merkel (1981) esta faixa ideal está entre 40 e 60%. Segundo Carvalho (2006), umidade abaixo de 35% pode dificultar a atividade microbiana e consequentemente comprometer a qualidade do composto. De acordo com Pereira Neto e Lelis (1999), além de diminuir consideravelmente a atividade microbiana, teores de umidade abaixo de 30% aumentam o período de compostagem.

Da mesma forma, umidade acima de 65% pode afetar a aeração e favorecer a atração de insetos e ocorrência de odores (Lima, 2015). Foram observados, também alguns dias onde a umidade foi superior a 65%; no entanto, não se observaram odores e insetos.

### Características químicas do composto

Ao final dos 230 dias experimentais, após junção e homogeneização das três leiras, retirou-se uma amostra para a realização das análises do composto final (Tabela 2).

**Tabela 2 – Análises química do composto final**

Parâmetros	Teores
Nitrogênio total (%)	0,63
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total (%)	0,12
K <sub>2</sub> O solúvel em H <sub>2</sub> O (%)	0,31
Cálcio (%)	0,015
Magnésio (%)	0,010
Carbono Orgânico (%)	15,4
Umidade (%)	39,2
pH	7,7
Relação C/N	24

Comparando os resultados dos parâmetros analisados do composto final com os recomendados para fertilizantes orgânicos, observou-se que o índice de pH foi considerado ótimo, pois está acima de 7,5. A relação C/N foi de 24, considerada indesejável, pois foi acima de 18, sendo ótimo entre 8 e 12, e bom entre 12 e 18. Os teores de nutrientes do composto analisado foram considerados baixos para fertilizado curado ou maturado, de acordo com Kiehl (1985).

### CONCLUSÕES

A compostagem pode ser considerada um processo simples e satisfatório para o tratamento de resíduos orgânicos. O monitoramento dos parâmetros pH, teores de umidade e principalmente temperatura demonstrou as fases de decomposição do material e auxiliou na identificação da maturação do composto.

O processo de compostagem adotado atualmente pela UFMG tem prolongado o tempo de maturação do composto. As temperaturas das leiras durante o experimento apresentaram homogeneidade entre si. Ao final dos 230 dias experimentais, as leiras não alcançaram a temperatura ambiente. Tal fato pode ser atribuído ao maior tamanho das leiras monitoradas e à irregularidade dos revolvimentos. Durante o monitoramento não foi observada a presença de vetores e de odores.

O composto final gerado a partir do processo de decomposição apresentou pH considerado ótimo; porém, apresentou a relação de C/N alta, e os teores de nutrientes foram considerados baixos.

Sugerem-se dois pontos de adequação ao processo atual de compostagem na UFMG: redução do tamanho das leiras e revolvimento com intervalos entre 20-20 dias.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil* 2016. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2016.pdf>>, acesso em 12/10/2017.
2. ALELUIA, J.; FERRÃO, P. *Assessing the costs of municipal solid waste treatment technologies in developing Asian countries*. *Waste management*, v. 69, p. 592-608, 2017.
3. BARROS, R. T. V. *Elementos de gestão de resíduos sólidos*. Belo Horizonte: Tessitura, 2012. 424 p.
4. BRADY, N.; WEIL, R. *Elementos da natureza e propriedades do solo*. 3. ed. São Paulo: Bookman, 2013.
5. BORTOLOTTI, A.; KAMPELMANN, S.; DE MUYNCK, S. *Decentralised Organic Resource Treatments—Classification and comparison through Extended Material Flow Analysis*. *Journal of cleaner production*, v. 183, p. 515-526, 2018.
6. CARVALHO, J. G. *Compostagem de resíduos agroindustriais*. Lavras, Editora UFLA. 2006. Disponível em: <<http://www.editora.ufla.br/index.php/component/phocadownload/category/56-boletins-de-extensao?download=1102:boletinsextensao>>, acesso em 20/11/2018.
7. DE BERTOLDI, M. (Ed.). *The science of composting*. Springer Science & Business Media, 2013.
8. INSAM, H., DE BERTOLDI, M., *Microbiology of the composting process*. In: Diaz, L.F., de Bertoldi, M., Bidlingmaier, W., Stentiford, E. (Eds.), *Compost Science and Technology*. Elsevier, Amsterdam, p. 25-48, 2011.
9. JACOBI, P. R.; BENSEN, G. R. *Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade*. *Estudos Avançados*, São Paulo, v. 25, n. 71, p. 135-158, Jan/Abri. 2011.
10. KIEHL, E. J. *Fertilizantes Orgânicos*. Piracicaba: Editora Agronômica “Ceres” Ltda, 1985. 492 p.
11. KIEHL, E. J. *Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto*. 3. ed. Piracicaba: Edição do Autor, 2002. 171 p.
12. LIMA, L. C. Avaliação de Diferentes Fontes de Carbono e Nitrogênio para Compostagem dos Resíduos Orgânicos do Restaurante Universitário da UFLA. 2015. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015
13. MERKEL, J. A. *Composting*. In: Gerenciando resíduos de gado. AVI, Westport, CT, 1981. p. 306-324.
14. MINISTERIO DO MEIO AMBIENTE- MMA. Centro De Estudos E Promoção Da Agricultura De Grupo (CEPAGRO); Serviço Social Do Comércio (SESC). *Compostagem doméstica, comunitária e institucional de resíduos orgânicos: manual de orientação*. Brasília: MMA, 2017. 66 p.
15. OLIVEIRA; A. M. G.; AQUINO; A. M.; NETO; M. T. C. *Compostagem Caseira de Lixo Orgânico Doméstico*. Circular 76. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Bahia, dez. 2005.
16. PEREIRA NETO, J. T. P.; LELIS, M. de P. N. *Importância da umidade na compostagem: uma contribuição ao estado da arte*. In: 20o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, p. 1691-1698, 1999.
17. RODRIGUES, M.S. et al. *Compostagem: reciclagem de resíduos sólidos orgânicos*. In: Spadotto, C.A.; Ribeiro, W. *Gestão de Resíduos na agricultura e agroindústria*. FEPAF. Botucatu. p. 63-94, 2006.
18. TEIXEIRA, L. B. et al. *Processo de compostagem, a partir de lixo orgânico urbano, em leira estática com ventilação natural*. Belém: Embrapa, 2004, 8 p. (Circular Técnica, 33).
19. TEIXEIRA, L. B. et al. *Processos de Compostagem Usando Resíduos das Agroindustrias de Açaí e Palmito do Açaizeiro*. Belém: Embrapa, 2005. 6 p. Circular Técnica.
20. WEI, Y. et al. *Environmental challenges impeding the composting of biodegradable municipal solid waste: A critical review*. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 122, p. 51-65, 2017.