



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS DE PODAS DE
ÁRVORES E GRAMADOS GERADOS NO *CAMPUS* PAMPULHA DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS (BELO HORIZONTE)

JÉSSICA ELORDE FREITAS

BELO HORIZONTE
2018

JÉSSICA ELORDE FREITAS

AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS DE PODAS DE
ÁRVORES E GRAMADOS GERADOS NO *CAMPUS* PAMPULHA DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS (BELO HORIZONTE)

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao Centro Federal de Educação Tecnológica de
Minas Gerais como requisito parcial para
obtenção do título de Engenheira Ambiental e
Sanitarista.

Orientadora: Profa. Dra. Valéria Cristina Palmeira Zago
Coorientador: Prof. Dr. Raphael Tobias de Vasconcelos Barros

BELO HORIZONTE

2018

Freitas, Jéssica Elorde.

S—

Avaliação do processo de compostagem de resíduos de podas de árvores e gramados gerados no *campus* Pampulha da Universidade Federal de Minas Gerais (Belo Horizonte) / Jéssica Elorde Freitas.: 2018.

48 f.; -- cm.

Orientadora: Profa. Dra. Valéria Cristina Palmeira Zago

Coorientador: Prof. Dr. Raphael Tobias de Vasconcelos Barros

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2018.

1. Compostagem. 2. Resíduos. 3. Decomposição. I. Freitas, Jéssica Elorde. II. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. III. Avaliação do processo de compostagem de resíduos de podas de árvores e gramados gerados no *campus* Pampulha da Universidade Federal de Minas Gerais (Belo Horizonte).

CD -----

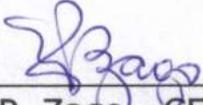
JÉSSICA ELORDE FREITAS

AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS DE
PODAS DE ÁRVORES E GRAMADOS GERADOS NO CAMPUS PAMPULHA
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS (BELO HORIZONTE)

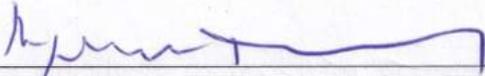
Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Centro Federal de
Educação Tecnológica de Minas Gerais
como requisito parcial para obtenção
do título de Engenheiro Ambiental e
Sanitarista.

Data de aprovação: 29/11/2018

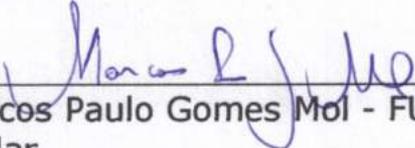
Banca Examinadora:



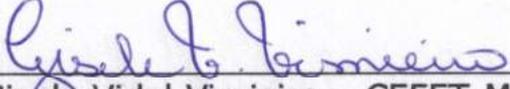
Profª. Drª. Valéria C. P. Zago - CEFET-MG
Presidente da Banca Examinadora - orientadora



Prof. Dr. Raphael Tobias de Vasconcelos Barros - UFMG
Coorientador



Prof. Dr. Marcos Paulo Gomes Mol - FUNED
Membro Titular



Profª. Drª. Gisele Vidal Vimieiro - CEFET-MG
Membro Titular

Ao meu Deus.

“Confia no Senhor de todo o seu coração, e
não te estribes no teu próprio entendimento.”
Provérbios 3:5

AGRADECIMENTOS

À minha família, que me apoiou durante toda esta caminhada, esteve presente e sempre me deram palavras de força e ânimo para continuar.

Aos meus orientadores, Prof^a. Dr. Valéria Zago e Prof^o. Dr. Raphael Tobias, que estiveram dispostos a me ajudar e contribuir para um melhor aprendizado.

Aos meus queridos amigos, Priscila, Ítalo, Amanda, Débora, Tatiana, Laura e Lucas, que estiveram comigo nos momentos difíceis e alegres desta caminhada.

Agradeço a disponibilidade e paciência de toda equipe da Divisão de Áreas Verdes (DAV – UFMG), sempre dispostos a me ajudar, em especial ao querido Agnaldo.

À Carol Minete, que participou diretamente desta pesquisa, doando seu tempo e seu conhecimento.

Aos queridos colegas da Produção Verde e Laboratório de Água Bioágua que dispuseram do seu tempo e conhecimento para a realização das análises.

Por fim, agradeço a todos que fizeram parte desta etapa da minha vida, e que contribuíram diretamente e indiretamente.

RESUMO

Freitas, Jéssica Elorde. *Avaliação do processo de compostagem de resíduos de podas de árvores e gramados gerados no campus Pampulha da Universidade Federal de Minas Gerais (Belo Horizonte)*. 2018. 48f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

Os resíduos orgânicos representam cerca de 50% dos resíduos urbanos gerados no Brasil, estes possuem a particularidade de poderem ser reciclados por meio de processos como o de compostagem. O objetivo do trabalho foi avaliar o desempenho do processo de compostagem dos resíduos de podas de árvores e gramados gerados nos jardins do *campus* Pampulha (Belo Horizonte) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). O estudo foi realizado em um dos pátios de compostagem localizado no *campus* Pampulha da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Foram utilizados os resíduos verdes recolhidos no *campus* para a montagem de 3 (três) leiras. Durante o período de compostagem, foi realizado o monitoramento da temperatura, pH e umidade. As leiras apresentaram uma similaridade entre as temperaturas medidas durante todo o período experimental, observou-se temperaturas mais baixas no período inicial de monitoramento, chamada de fase mesófila, depois a fase termófila, e, finalmente, uma redução nos dias finais do experimento, caracterizando o retorno à fase mesófila, porém não atingindo a temperatura ambiente. Os valores de pH nas três leiras se mantiveram na faixa de 6,0 a 9,0, a umidade das leiras apresentou significativa variação. O processo de compostagem adotado pela UFMG prolonga o período de maturação do composto, acredita-se que isto se deve ao tamanho das leiras monitoradas e a baixa frequência de revolvimentos. O composto final gerado apresentou índice de pH considerado ótimo, porém, alta relação de C/N, e baixos teores de nutrientes. Optar pelo processo de compostagem ao invés de destinar os resíduos para o aterramento, reduziu a emissão de GEEs em 0,51 tCO₂eq.

Palavras-Chave: Compostagem. Resíduos. Decomposição.

ABSTRACT

Freitas, Jéssica Elorde. Evaluation of the composting process of pruning residues of trees and grasses generated at the Pampulha campus of the Federal University of Minas Gerais (Belo Horizonte). 2018. 48f. Undergraduate Thesis (Sanitation and Environmental Engineering degree) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

Organic waste accounts for about 50% of urban waste generated in Brazil, which has the particularity that they can be recycled through processes such as composting. The objective of this work was to evaluate the performance of the composting process of pruning residues of trees and grasses generated in the gardens of the Pampulha (Belo Horizonte) campus of the Federal University of Minas Gerais (UFMG). The study was carried out in one of the composting yards located at the Pampulha campus of the Federal University of Minas Gerais (UFMG). Green residues collected on the campus were used for the assembly of 3 (three) lines, during the composting period, the monitoring of temperature, pH and humidity was carried out. The results showed a similarity between the temperatures measured during the whole experimental period, lower temperatures were observed in the initial period of monitoring, called the mesophilic phase, then the thermophilic phase, and finally, a reduction in the final days of the experiment, characterizing the return to the mesophilic phase, but not reaching the ambient temperature. The values of pH in the three strips remained in the range of 6.0 to 9.0, the humidity of the farms presented a considerable variation. The composting process adopted by UFMG prolongs the maturation period of the compound, which is believed to be due to the size of the monitored tracks and the low frequency of turns. The final compound generated presented a pH index considered to be optimal, however, a high C / N ratio, and low nutrient content. Opting for the composting process instead of disposing the waste to the ground, reduced GHG emissions by 0.51 tCO₂eq.

Keywords: Composting. Waste. Decomposition.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Formatos das leiras de compostagem.....	21
Figura 2 – Variação da temperatura dos resíduos em processo de compostagem...	24
Figura 3 – Localização do pátio de compostagem próximo à FAE – UFMG	25
Figura 4 – Montagem das leiras no <i>campus</i> Pampulha da UFMG, no dia 22 de setembro de 2017.....	27
Figura 5 – Leira 1, no dia 26 de setembro de 2017, no <i>campus</i> Pampulha da UFMG.....	28
Figura 6 – Esquema de pontos amostrais de medição de temperatura nas leiras montadas no <i>campus</i> Pampulha da UFMG, no dia 22 de setembro de 2017.....	29
Figura 7 – Termômetro digital modelo MT-450, marca Minipa	29
Figura 8 – Realização da medição da temperatura no interior da leira montada no <i>campus</i> Pampulha da UFMG, no dia 22 de setembro de 2017.....	30
Figura 9 – Esquema de coleta de amostras para análise de pH e umidade, nas leiras montadas no <i>campus</i> Pampulha da UFMG, no dia 22 de setembro de 2017.....	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Geração de RSU no Brasil e porcentagem coletada	17
Tabela 2 – Vantagens e desvantagens do método de compostagem	20
Tabela 3 – Dimensões e volume das leiras montadas no dia 22 de setembro de 2017, na área de compostagem, no <i>campus</i> Pampulha, UFMG.....	27
Tabela 4 – Revolvimento das leiras de compostagem montadas no dia 22 de setembro de 2017, no <i>campus</i> Pampulha, UFMG.....	28
Tabela 5 – Análise do composto final.....	42
Tabela 6 – Análise de fertilizantes orgânicos.....	43

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Temperatura (°C) nas seções baixa, mediana e alta da leira 1 e temperatura ambiente, montada no <i>campus</i> Pampulha da UFMG, no dia 22 de setembro de 2017.....	34
Gráfico 2 – Temperatura (°C) nas seções baixa, mediana e alta da leira 2 e temperatura ambiente, montada no <i>campus</i> Pampulha da UFMG, no dia 22 de setembro de 2017.....	35
Gráfico 3 – Temperatura (°C) nas seções baixa, mediana e alta da leira 3 e temperatura ambiente, montada no <i>campus</i> Pampulha da UFMG, no dia 22 de setembro de 2017.....	35
Gráfico 4 – pH nas seções baixa, mediana e alta da leira 1, montada no <i>campus</i> Pampulha da UFMG, no dia 22 de setembro de 2017.....	37
Gráfico 5 – pH nas seções baixa, mediana e alta da leira 2, montada no <i>campus</i> Pampulha da UFMG, no dia 22 de setembro de 2017.....	38
Gráfico 6 – pH nas seções baixa, mediana e alta da leira 3, montada no <i>campus</i> Pampulha da UFMG, no dia 22 de setembro de 2017.....	38
Gráfico 7 – Umidade (%) nas seções baixa, mediana e alta da leira 1, montada no <i>campus</i> Pampulha da UFMG, no dia 22 de setembro de 2017.....	39
Gráfico 8 – Umidade (%) nas seções baixa, mediana e alta da leira 2, montada no <i>campus</i> Pampulha da UFMG, no dia 22 de setembro de 2017.....	40
Gráfico 9 – Umidade (%) nas seções baixa, mediana e alta da leira 3, montada no <i>campus</i> Pampulha da UFMG, no dia 22 de setembro de 2017.....	40

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

CEU – Centro Esportivo Universitário

CO₂ – Gás carbônico

C/N – Carbono/Nitrogênio

DAV – Divisão de Áreas Verdes

FAE – Faculdade de Educação

IMA – Instituto Mineiro de Agropecuária

LAFC – Laboratório de Análise de Fertilizantes Corretivos

NBR – Normas Brasileiras Regulamentadoras

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	16
2.1	Objetivo Geral.....	16
2.2	Objetivos específicos	16
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
3.1	Resíduos Sólidos no Brasil	17
3.2	Compostagem	18
3.3	Principais fatores que influenciam na compostagem.....	22
3.3.1	Microrganismos.....	22
3.3.3	Umidade.....	22
3.3.4	Aeração.....	22
3.3.5	Temperatura	23
3.3.6	Relação Carbono/Nitrogênio.....	24
3.3.7	Dimensões e formatos das leiras.....	24
4	METODOLOGIA.....	25
4.1	Área de estudo	25
4.2	Montagem das leiras	26
4.3	Monitoramento.....	28
4.3.1	Temperatura	29
4.3.2	pH	30
4.3.3	Umidade.....	31
4.4	Composto final.....	31
4.5	Estimativa da emissão de gases efeito estufa (GEE's)	32
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	33

5.1 Monitoramento.....	33
5.1.2 pH	37
5.1.3 Umidade.....	39
5.2 Composto final.....	41
5.3 Estimativa da emissão de gases efeito estufa (GEE's)	44
6 CONCLUSÕES	45
REFERÊNCIAS	46

1 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 & BENSON, 2011). Em 2016, no Brasil, a geração total de resíduos sólidos urbanos foi de aproximadamente 78,3 milhões de toneladas, o montante coletado foi de 71,3 milhões de toneladas, sendo que apenas 58,4% (41,7 milhões de toneladas) deste montante foi destinado de forma adequada, ou seja, enviado para o aterro sanitário (ABRELPE, 2016).

Do total de resíduos urbanos gerados no Brasil, os resíduos orgânicos representam cerca de 50%. 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 que será enviada para o aterro sanitário (melhor hipótese), aterro controlado e lixões pode ser reduzida até a metade. Desta forma, a compostagem apresenta-se como uma solução para a parcela orgânica da gestão de resíduos sólidos.

Segundo Costa et. al. (2005), o processo de compostagem visa a acelerar a decomposição do material orgânico, desde que existam condições para o desenvolvimento microbiano, sendo estas condições: temperatura, umidade, relação C/N e nutrientes.

A compostagem trata-se de um processo simples e viável, sendo uma alternativa para o tratamento dos resíduos orgânicos gerados. Além disso, 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.

Diante disso, a utilização da compostagem como reciclagem da parcela de resíduos orgânicos trata-se de uma solução para a grande geração destes resíduos. O produto final gerado a partir do processo de compostagem pode ser utilizado como condicionador em jardins e outros. Trata-se de um processo com baixos custos de operação e com procedimentos de fácil entendimento.

Desta forma, este trabalho propõe o estudo do processo de compostagem, através do acompanhamento da montagem das leiras, do monitoramento físico-

químico durante o processo de decomposição, e avaliação do composto gerado ao final da maturação, avaliando suas vantagens e desvantagens, além da análise das emissões de gases de efeito estufa.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar o desempenho do processo de compostagem dos resíduos de podas de árvores e gramados gerados nos jardins do *campus* Pampulha (Belo Horizonte) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

2.2 Objetivos específicos

- 1) Monitorar parâmetros físico-químicos, além da presença de vetores e odores desagradáveis durante o processo de compostagem;
- 2) Avaliar as dimensões das leiras utilizadas e compará-las ao recomendado pela literatura;
- 3) Avaliar a qualidade do composto final, através da análise de nutrientes; e
- 4) Estimar a emissão de Gases de Efeito Estufa para dois cenários: destinação final da matéria orgânica para o aterro sanitário e destinação para o processo de compostagem.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Resíduos Sólidos no Brasil

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 10.004 de 2004, define resíduos sólidos como:

“Resíduos no estado sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isto soluções técnica e economicamente inviáveis em face a melhor tecnologia disponível.”

A Abrelpe (Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais) realiza um estudo que gera anualmente um relatório denominado como Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, contendo informações das quantidades de resíduos sólidos urbanos (RSU) gerados, porcentagem coletada, entre outros. A Tabela 1 apresenta alguns dados obtidos nos Panoramas dos anos de 2013, 2014, 2015 e 2016.

Tabela 1 – Geração de RSU no Brasil e porcentagem coletada.

Ano	Geração RSU (toneladas)	Coletado (%)
2013	76,3 milhões	90,4
2014	78,6 milhões	90,6
2015	79,9 milhões	90,8
2016	78,3 milhões	91

Fonte: Adaptado ABRELPE (2013, 2014, 2015 e 2016).

A partir dos dados obtidos dos Panoramas de Resíduos Sólidos no Brasil, observou-se que entre os anos de 2013 e 2016, as quantidades de RSU geradas encontraram-se entre 76 e 80 milhões de toneladas, sendo que mais de 90% do total gerado foi coletado.

No ano de 2016, do total de RSU coletado, 58,4% foi destinado à aterros sanitários, 24,2% destinado à aterros controlados e 17,4% destinado à lixões (ABRELPE, 2016). Segundo Abrelpe (2012) a composição destes resíduos é: 2,9%

metais, 13,1% papel, papelão e embalagem cartonada, 13,5% plástico, 2,4% vidro, 51,4% matéria orgânica e 16,7% outros.

A Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), considera uma destinação final ambientalmente adequada como a:

“Destinação que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações permitidas pelos órgãos competentes do Sisnama, do SNVS e do Suasa, entre elas a destinação final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos “ (BRASIL, 2017).

Para a PNRS, é considerado também como uma destinação final ambientalmente adequada, a distribuição ordenada dos rejeitos em aterros sanitários, desde que sejam seguidas as normas operacionais específicas (BRASIL, 2017).

A PNRS inclui a compostagem como uma forma de destinação final ambientalmente correta para parcela orgânica dos resíduos gerados, levando em consideração que esta representa, de acordo com a Abrelpe (2012), mais de 50% da composição total dos RSU. Desta forma, a compostagem apresenta-se como uma solução viável para a destinação adequada dos resíduos orgânicos gerados no Brasil.

3.2 Compostagem

A compostagem consiste em um conjunto de técnicas aplicadas para controlar a decomposição da matéria orgânica, com a finalidade de obter, no menor tempo possível, um material estável, rico em húmus e nutrientes minerais, com atributos físicos, químicos e biológicos superiores ao da matéria prima (MELLO-PEIXOTO et al., 2014).

Na agricultura antiga, em algum momento observou-se o fenômeno natural de fertilização do solo. A fertilização iniciava-se com a deposição de galhos, folhas, fezes de animais e outros, que sob influências climáticas, promovia a decomposição natural. Supõe-se que os antigos agricultores observaram este processo, e de

acordo com as suas necessidades, passaram a reproduzi-lo, atualmente chamado de compostagem (MMA, 2017).

A técnica da compostagem foi desenvolvida com a finalidade de se obter mais rapidamente e em melhores condições a estabilização da matéria orgânica; ela é considerada um processo controlado pelo fato de se acompanhar e monitorar a temperatura, a aeração e a umidade, entre outros. Baseia-se na decomposição microbiana de oxidação e oxigenação de uma massa heterogênea de matéria orgânica no estado sólido e úmido (KIEHL, 2002).

Ao final do processo de compostagem, obtém-se o produto final chamado de composto orgânico. Segundo Oliveira e Dantas (1995) sua composição dependerá do material utilizado no início do processo, e COUTO et. al. (2008) afirma que ele pode ser usado sem restrições em todas as culturas com benefícios importantes para a estrutura física, na vida e para fertilidade do solo.

A compostagem apresenta vantagens e desvantagens sob o ponto de vista industrial e/ou comercial, se adotada como método para tratamento dos resíduos orgânicos (BARROS, 2012) (Tabela 2).

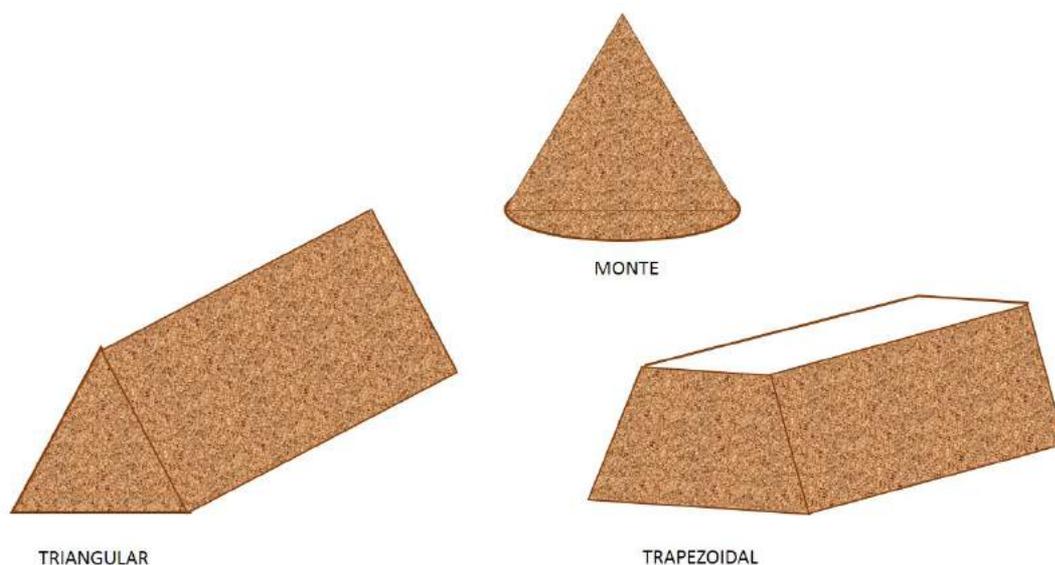
Tabela 2 – Vantagens e desvantagens do método de compostagem.

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> - Representa uma prática de reciclagem, que possibilita outras atividades socioeconômico-culturais; - Possibilita a recuperação e reutilização de matéria-prima (resíduos orgânicos), diminuindo a quantidade de resíduos a serem aterrados e o volume de chorume e metano produzidos nos aterros; - Propicia a recuperação de solos exauridos; - Permite uma significativa economia de energia, quando comparado aos tratamentos possíveis; - A usina de compostagem idealmente não polui nem contamina a vizinhança; - Não necessita de mão de obra muito especializada; - Representa oportunidade de geração de emprego e renda; - Pode diminuir a necessidade de transporte dos resíduos. 	<ul style="list-style-type: none"> - É um método de tratamento parcial, por tratar apenas matéria orgânica; - Exige controle operacional eficaz, para que não surjam problemas na manutenção do composto, e portanto com sua qualidade; - Necessita de triagem eficiente dos materiais indesejáveis, evitando contaminação do composto; - Pode haver flutuação sensível no mercado consumidor do composto.

Fonte: BARROS (2012).

Segundo Nunes (2009), as leiras podem possuir seções triangulares, trapezoidais ou até mesmo cônicas (monte), como visto na Figura 1, deve-se seguir as seguintes dimensões para facilitar seu manejo: largura de 3m a 4m e altura de 1m a 1,5m. Teixeira et al. (2005) recomenda, para processos em que o revolvimento é manual, leiras com a largura da base de 2,0m a 2,5m e altura de aproximadamente de 1,2m a 1,3m. Já Brady e Weil (2013) falam em dimensões de compostagem em larga escala com leiras de 2m a 3m de largura e altura de 1m a 2 m.

Figura 1 – Formatos das leiras de compostagem.



Fonte: autoria própria.

De acordo com Kiehl (2002), o formato das leiras em montes isolados tem apresentado bons resultados na compostagem em pequena escala ou em experimentos científicos.

Na compostagem, os resíduos orgânicos sofrem o processo de cura ou maturação, que se dá por três fases: primeira fase, chamada de fitotóxica; segunda fase, chamada de semicura; e terceira fase, chamada de maturação. A primeira fase refere-se à fase inicial da decomposição da matéria orgânica, na qual há o despreendimento de calor, vapor d'água e CO₂ (gás carbônico). Estes materiais orgânicos crus possuem reação ácida, neste início da decomposição desenvolvem-se traços diversos de ácidos minerais e orgânicos. Caso este composto imaturo seja empregado como adubo, pode interferir na germinação de sementes, pela toxicidade por excesso de amônia ou se o material contiver mais nitrogênio do que os microrganismos necessitam (KIEHL, 2002).

A segunda fase inicia-se após passados 10 a 20 dias, que corresponde à primeira fase. Nesta fase, a decomposição pouco progride, o material entra no estágio de bioestabilização. Ao completar esta fase, o material deixa de ser danoso às plantas, porém ainda não alcançou características ideais. A terceira fase (maturação), conhecida como humificação, é o estágio final da degradação da matéria orgânica. Nesta fase, o composto é considerado maduro, porém isto não

significa que este possui uma alta qualidade, o composto pode estar maduro e humificado e possuir baixa qualidade (KIEHL, 2002).

3.3 Principais fatores que influenciam na compostagem

3.3.1 Microrganismos

As bactérias, fungos e actinomicetes são os principais responsáveis pela transformação da matéria orgânica crua em húmus, mas participam também do processo de degradação alguns organismos, como: algas, protozoários, nematoides, vermes e insetos. A natureza da comunidade microbiana, o número, a espécie e a intensidade da atividade de decomposição irão variar de acordo com as condições favoráveis reinantes para estes organismos (KIEHL, 2002).

Os resíduos orgânicos a serem compostados, já trazem consigo em quantidade e qualidade suficientes, microrganismos para sua decomposição. Com condições favoráveis, como umidade adequada, boa aeração e composição física e química da matéria orgânica, os microrganismos se multiplicarão de forma exponencialmente e se distribuirão por toda a leira através do revolvimento (KIEHL, 2002).

3.3.3 Umidade

Manter a leira com uma umidade adequada é indispensável para um bom processo de compostagem. Deve-se evitar o excesso de umidade, que, geralmente, elimina o oxigênio da massa de compostagem, reduzindo a ação dos microrganismos. A faixa ideal de umidade para a ação dos microrganismos benéficos à compostagem é de 50% a 60%. Caso a leira fique molhada demais, ela apresentará cheiro desagradável em virtude da compactação ou pelo encharcamento da massa de degradação (TEIXEIRA et al., 2005).

3.3.4 Aeração

A compostagem trata-se de um processo de fermentação aeróbia, onde a presença do ar é indispensável, já que os microrganismos necessitam do oxigênio para o seu metabolismo, evitando o mau cheiro e a proliferação de moscas. Assim, é necessário a realização do revolvimento da leira, permitindo o bom arejamento da

massa em decomposição, o fornecimento do oxigênio para os microrganismos e a regulação da temperatura interna da leira (OLIVEIRA; LIMA; CAJAZEIRA, 2004; TEIXEIRA et al., 2002).

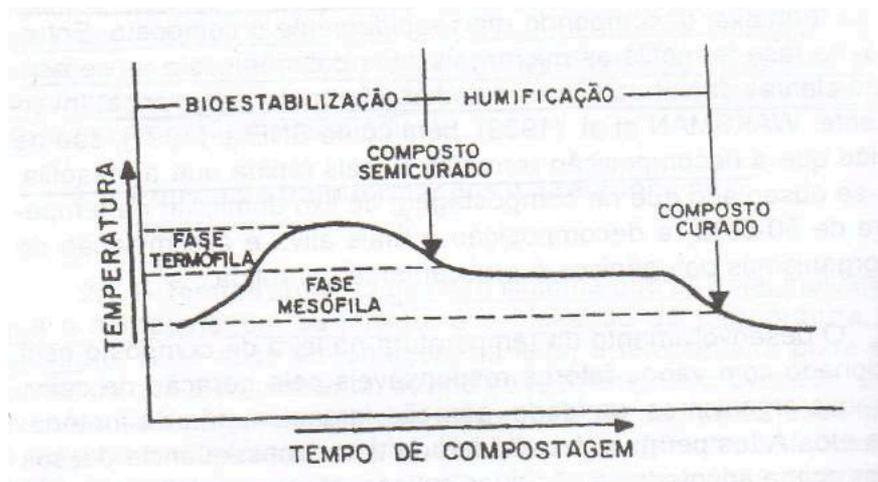
3.3.5 Temperatura

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

A primeira fase da temperatura da leira demonstra que a compostagem iniciou-se, caracterizada pela elevação da temperatura; nessa ascensão tem-se inicialmente a fase mesófila, que caracteriza-se por temperaturas entre 25°C e 40°C (faixa ótima). Com a temperatura continuando em ascensão, chega-se a fase termófila, caracterizada por temperaturas entre 50°C a 55°C (faixa ótima). Nesta fase, os microrganismos patogênicos e as sementes daninhas são eliminados com maior segurança (KIEHL, 2002).

Se mantiverem condições favoráveis de umidade e oxigenação na leira, após um período, a leira retornará à faixa de temperatura mesófila, possivelmente indicando a bioestabilização do substrato. Assim, a sequência dos estádios de temperatura na leira de compostagem é: inicialmente o material na temperatura ambiente, posteriormente entrando na fase mesófila, passando para a termófila, retornando para a mesófila. Ao final da degradação dos resíduos orgânicos a temperatura se iguala com a do ambiente, como representado na Figura 2 (KIEHL, 2002).

Figura 2 – Variação da temperatura dos resíduos em processo de compostagem.



Fonte: KIEHL (2002).

3.3.6 Relação Carbono/Nitrogênio

A relação C/N serve como indicador de fases. Assim, no início da compostagem a relação C/N deve ser na ordem de 30:1, considerada ótima, e no final do processo, de 10:1. Tanto a falta de nitrogênio quanto a falta de carbono limita a atividade microbiológica. Se a relação C/N for muito baixa, pode ocorrer grande perda de nitrogênio pela volatilização da amônia; se a relação for muito elevada, os microrganismos não encontrarão nitrogênio suficiente para a síntese de proteínas e terão seu desenvolvimento limitado, tornando o processo de compostagem mais lento (LIMA, 2004; FERNANDES; SILVA, 2017).

3.3.7 Dimensões e formatos das leiras

Como já apresentado neste texto, as leiras podem possuir três formatos principais e a literatura recomenda suas dimensões. Segundo Kiehl (2002), leiras muito altas possuem menor aeração natural, e maior tendência de compactação das camadas inferiores, podendo tornar o processo nas camadas inferiores anaeróbio.

Além disso, leiras com alturas abaixo das recomendadas perdem umidade rapidamente, fazendo com que o material seco não entre em decomposição, e assim perde-se a temperatura ótima para os organismos termófilos proliferarem e eliminarem patogênicos (KIEHL, 2002).

4 METODOLOGIA

4.1 Área de estudo

O estudo foi realizado em um dos pátios de compostagem localizado no *campus* Pampulha da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), com coordenadas geográficas: latitude 19° 52' 08" S e longitude 43° 57' 58" W.

A Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) abriga em seus *campi* extensas áreas cobertas por vegetações de diversas espécies e portes, o *campus* Pampulha possui uma área de aproximadamente 340 ha, distribuída em espaços gramados, jardins e vegetação florestal. Devido a isto, o *campus* gera grande volume de resíduos obtidos nos serviços de poda, capina, roçado, rastelamento e corte de gramados, atividades responsáveis pela produção de resíduos verdes (grama, folhas, galhos e lenha) (BARROS; SILVA; MIRANDA, [S.D.]).

O *campus* Pampulha possui dois pátios de compostagem, um próximo a Faculdade de Educação (FAE) (Figura 3) e outro no Centro Esportivo Universitário (CEU). Ambos os pátios são a céu aberto, recebem os resíduos verdes do *campus*, aplicam a técnica de compostagem e o composto final serve de adubo para os próprios jardins do *campus*.

Figura 3 – Localização do pátio de compostagem próximo à FAE - UFMG.



Fonte: GOOGLE MAPS (2017).

Devido à mão de obra escassa no *campus* para montagem, monitoramento e revolvimento das leiras, a Divisão de Áreas Verdes (DAV) inseriu uma nova forma de conduzir o trabalho de compostagem, incorporando uma máquina carregadeira no processo para substituir a mão de obra humana, desde o final de 2015. Assim, possibilitou a montagem de leiras maiores, de forma que a máquina conduzisse o processo de montagem e revolvimento das leiras.

4.2 Montagem das leiras

Foram utilizados os resíduos verdes recolhidos no *campus*, obtidos através das podas de árvores, capina, roçado, rastelamento e corte dos gramados, para a montagem de 3 (três) leiras, no pátio de compostagem localizado próximo a FAE (UFMG). As leiras foram montadas no dia 22 de setembro de 2017, com o auxílio da máquina carregadeira (Figura 4), em formato de montes cujas as dimensões estão apresentadas na Tabela 3. A Figura 5 apresenta a leira 1 após 4 dias de sua montagem.

Figura 4 – Montagem das leiras no *campus* Pampulha da UFMG, no dia 22 de setembro de 2017.



Tabela 3 – Dimensões e volume das leiras montadas no dia 22 de setembro de 2017, na área de compostagem, no *campus* Pampulha, UFMG.

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

Figura 5 – Leira 1, no dia 26 de setembro de 2017, no *campus* Pampulha da UFMG.



4.3 Monitoramento

O monitoramento dos parâmetros temperatura, umidade e pH iniciou no dia 26/09/2017 e foi finalizado em 10/05/2018, ou seja, 230 DAI (dias após a implantação das leiras). Durante o experimento, também foi realizada observação da presença de vetores e odores desagradáveis. As leiras foram irrigadas todos os dias da semana, exceto finais de semana e feriados, no período da manhã por cerca de 1 (uma) hora. O revolvimento das leiras foi realizado de acordo com a disponibilidade de maquinário e mão de obra, conforme apresentado na Tabela 4.

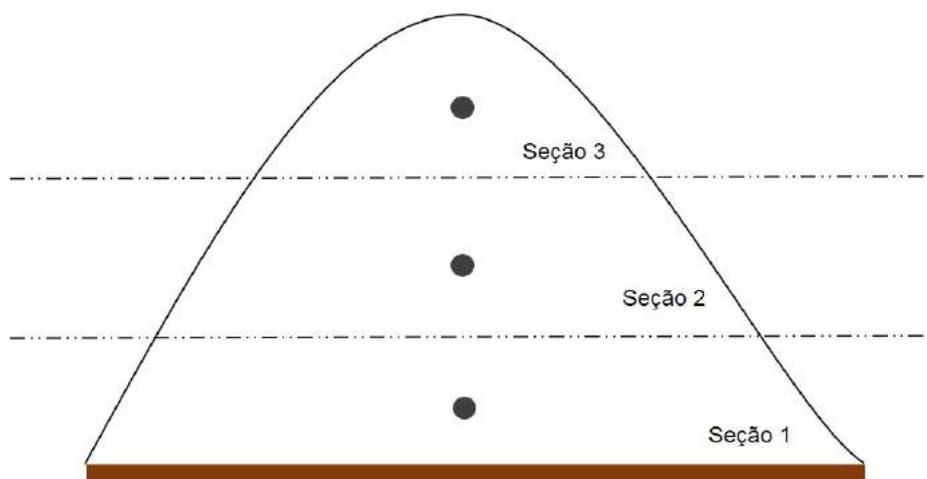
Tabela 4 – Revolvimento das leiras de compostagem montadas no dia 22 de setembro de 2017, no *campus* Pampulha, UFMG.

Data	Dia experimental
22/09/2017	0
28/09/2017	6
04/10/2017	12
27/12/2017	96
25/01/2018	125
07/02/2018	138
08/05/2018	228

4.3.1 Temperatura

As medições das temperaturas das leiras foram feitas em três diferentes alturas (1 - baixa, 2 - mediana e 3 - alta) (Figura 6). Para a medição foi utilizado o termômetro digital (marca Minipa, modelo MT-450) (Figura 7), com haste metálica de 1,40 metros (Figura 8). Com este mesmo aparelho, foi medida também a temperatura ambiente.

Figura 6 – Esquema de pontos amostrais de medição de temperatura nas leiras montadas no *campus* Pampulha da UFMG, no dia 22 de setembro de 2017.



Figuras 7 – Termômetro digital modelo MT-450, marca Minipa.



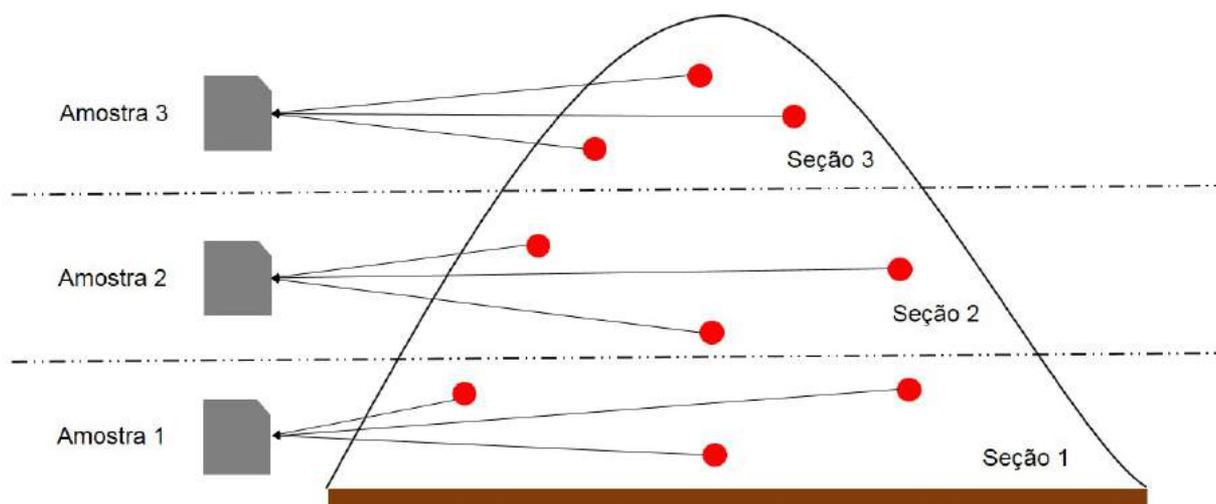
Figura 8– Realização da medição da temperatura no interior da leira montada no *campus* Pampulha da UFMG, no dia 22 de setembro de 2017.



4.3.2 pH

Para o monitoramento do pH, foi realizada a coleta de amostras duas vezes na semana, nas três alturas previamente estabelecidas (1 - baixa, 2 - mediana e 3 - alta) em cada leira (Figura 9). Em cada altura, foram coletadas três subamostras que foram homogeneizadas e retiram-se aproximadamente 50 gramas de amostra, encaminhada ao laboratório para análise. A análise de pH foi realizada de acordo com o método 4500 H do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (2017).

Figura 9 – Esquema de coleta de amostras para análise de pH e umidade, nas leiras montadas no *campus* Pampulha da UFMG, no dia 22 de setembro de 2017.



4.3.3 Umidade

A umidade foi monitorada da mesma forma que o pH: as amostras (50 gramas), recolhidas através do esquema apresentado na Figura 9, foram utilizadas para analisar o pH e a umidade separadamente. Seguiu-se o procedimento apresentado por Kiehl (2002), para a análise e para o cálculo da porcentagem de umidade.

4.4 Composto final

Para a verificação da maturação do substrato, utilizou-se o método apresentado por Kiehl (2002). Este método consiste na observação da temperatura das leiras: quando estas apresentarem valores iguais ao da temperatura ambiente, isto significa que o substrato estará completamente curado ou humificado, desde que durante o processo de decomposição não tenha lhe faltado água e oxigênio.

A verificação da maturação do substrato foi realizada de acordo com a experiência de campo dos funcionários da DAV, assim o processo de monitoramento foi finalizado sem que as leiras atingissem a temperatura ambiente. Ao 228º DAI (08/05/2018), as leiras foram unidas e homogeneizadas, para facilitar o processo de peneiramento do composto e reduzir a área utilizada no pátio de compostagem. Ao final dos 230 dias experimentais, retirou-se uma amostra para a realização das análises do composto final, o procedimento utilizado para a retirada da amostra foi o

mesmo aplicado para recolher amostras para análise de umidade e pH. O composto foi analisado no Laboratório de Análise de Fertilizantes Corretivos (LAFC) do Instituto Mineiro de Agropecuária (IMA), foram realizadas análises para avaliar a qualidade do composto gerado, sendo elas: teores de cálcio, magnésio, carbono orgânico, fósforo, nitrogênio e potássio.

4.5 Estimativa da emissão de gases efeito estufa (GEE's)

Para a estimativa de emissões de GEE's foi utilizado a planilha "on-line" para cálculo, do Modelo de Redução de Resíduos (WARM), proposta pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos. Esse programa considera a quantidade de resíduos que serão destinados, convertendo-a em toneladas de CO₂ equivalente que serão emitidos de acordo com seu tipo de destinação.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Monitoramento

Durante o período de compostagem, não foi identificada a ocorrência de mau cheiro ou a presença de vetores, o que segundo Teixeira et. al. (2004), é um indicativo de que, durante o processo, as condições de aeração e umidade foram adequadas.

Como apresentado na Tabela 3, as dimensões utilizadas para a montagem das leiras são diferentes do que o recomendado pela literatura, como apresentado no referencial teórico (largura variando de 2m a 4m e altura de 1m a 2m). Isso se deve ao uso da pá carregadeira para a montagem das leiras. As dimensões das leiras foram definidas de acordo com a capacidade da máquina de revolver e conforme a necessidade de se otimizar o espaço do pátio de compostagem. As quantidades de resíduos verdes, utilizados para a montagem das leiras 1, 2 e 3, foram aproximadamente: 594,03 kg, 587,38 kg e 489,48 kg, respectivamente.

O monitoramento foi realizado durante 230 dias experimentais, considerado um período longo para a decomposição dos resíduos orgânicos. No experimento de Lellis et. al. (2016), a maturação do composto ocorreu em 120 dias experimentais. Segundo Aquino et. al. (2005), o tempo de decomposição dos resíduos orgânicos depende da qualidade destes em termos nutricionais e de composição microbiológica. Portanto, nas condições em que é possível intercalar camadas de resíduos domésticos, esterco de aves, cavalos, codornas, entre outros, estes resíduos funcionam como inóculo de microrganismos, acelerando o processo de decomposição. No processo de compostagem da UFMG monitorado, utilizaram-se apenas resíduos de podas de árvores e gramados, desta forma, caso fosse inserido a este processo de compostagem camadas de outros resíduos orgânicos, possivelmente seria reduzido o tempo de decomposição.

5.1.1 Temperatura

Os Gráficos 1, 2 e 3 apresentam os dados monitorados de temperatura nas leiras 1, 2 e 3, respectivamente.

Gráfico 1 – Temperatura (°C) nas seções baixa, mediana e alta da leira 1, montada no *campus* Pampulha da UFMG, no dia 22 de setembro de 2017 e temperatura ambiente.

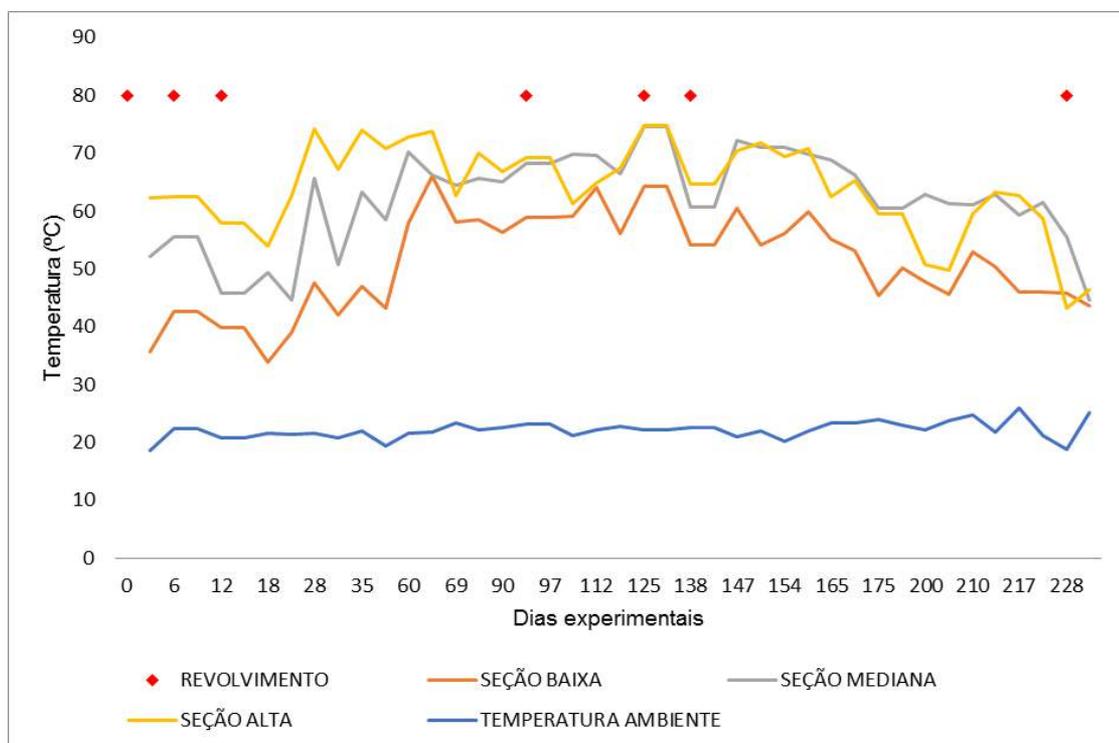


Gráfico 2 – Temperatura (°C) nas seções baixa, mediana e alta da leira 2, montada no *campus* Pampulha da UFMG, no dia 22 de setembro de 2017 e temperatura ambiente.

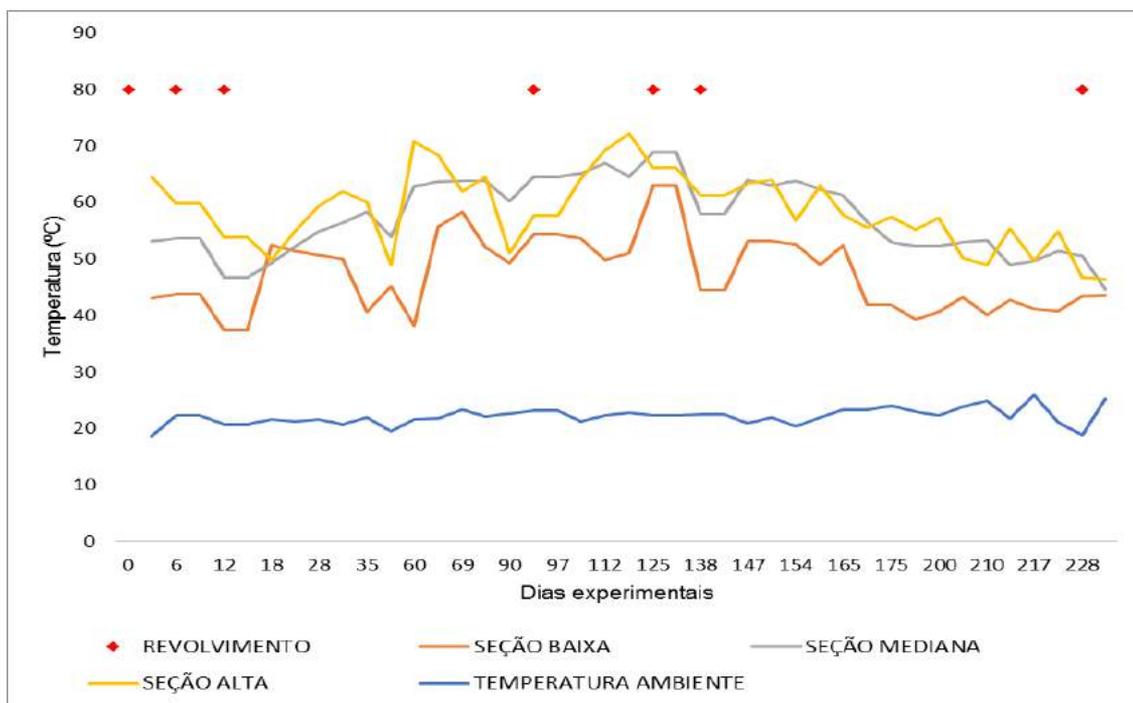
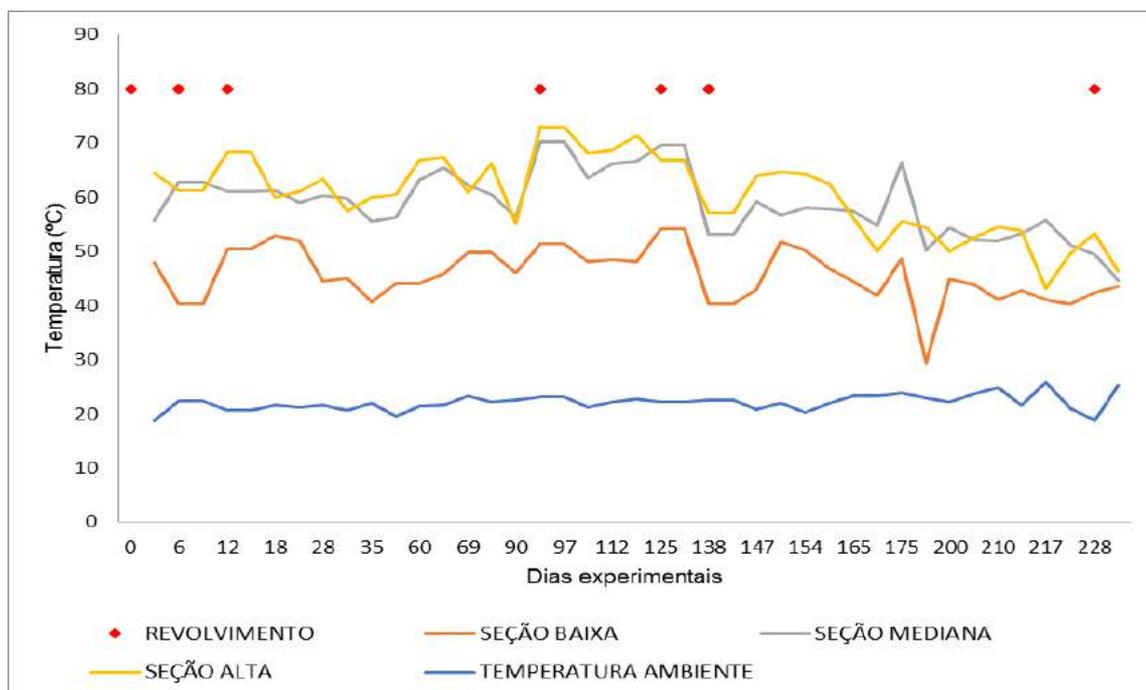


Gráfico 3 – Temperatura (°C) nas seções baixa, mediana e alta da leira 3, montada no *campus* Pampulha da UFMG, no dia 22 de setembro de 2017 e temperatura ambiente.



Os resultados apresentados nos Gráficos 1, 2 e 3 mostram uma similaridade entre as temperaturas medidas nas três leiras, durante todo o período experimental. Foram observadas temperaturas mais baixas no período inicial de monitoramento, destacando as seções baixas das leiras, este período é chamado de fase mesófila, caracterizado por temperaturas entre 25°C e 40°C (KIEHL, 2002). Em poucos dias experimentais, as temperaturas já se elevaram, atingindo segundo Kiehl (2002) a fase termófila, caracterizada por temperaturas entre 50°C a 55°C. As temperaturas nas leiras continuaram em ascensão, chegando e ultrapassando em alguns dias experimentais a temperatura de 70 °C. E, finalmente, uma redução nos dias finais de observação, caracterizando o retorno à fase mesófila, porém não atingindo a temperatura ambiente, que indica a possível bioestabilização do substrato (KIEHL,2002).

Conforme citado por 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, sendo observados temperaturas acima de 70°C na leira 1 entre os dias experimentais 28° e 158° nas seções mediana e alta, na leira 2 apenas no 60° e 116° dia experimental na seção alta, e na leira 3 apenas no 97° e 116° dia experimental nas seções mediana e alta. Segundo Raabe (2018), os revolvimentos provocam a liberação do excesso de calor, através da vaporização da água e da liberação de CO₂, além de auxiliar na oxigenação das composteiras, disponibilizando O₂ para os microrganismos. Nos Gráficos 1, 2 e 3, é possível identificar uma redução na temperatura quando ocorreu o revolvimento das leiras.

Se as condições de umidade e oxigenação na leira forem favoráveis, a temperatura da leira retornará a faixa entre 25°C e 40°C, indicando a bioestabilização do substrato (KIEHL,2002). Após a junção das leiras (228° dias experimentais) para finalização do experimento (230 dias experimentais), as temperaturas medidas foram, 43,6°C (seção baixa), 44,6°C (seção mediana) e 46,4°C (seção alta), sendo elas acima do indicado por Kiehl (2002), e diferente da temperatura ambiente (25,2°C). Isto pode ter sido ocasionado pela baixa quantidade de revolvimentos realizados, o que levou a redução na oxigenação da leira, e/ou

devido ao tamanho das leiras estudadas. Conforme apresentado na Tabela 3, as dimensões das leiras estudadas diferem das dimensões indicadas por Nunes (2009), segundo o qual a largura deve ser entre de 3m e 4m, e a altura entre 1m e 1,5m. Por sua vez, Teixeira et al. (2005) sugerem as dimensões de 2,0m a 2,5m de largura e altura de 1,2m a 1,3m, enquanto Brady e Weil (2013) referem-se a largura de base de 2m a 3m e altura de 1m a 2m.

5.1.2 pH

Os Gráficos 4, 5 e 6 apresentam os valores de pH nas seções baixa, mediana e alta nas leiras 1, 2 e 3, respectivamente.

Gráfico 4 – pH nas seções baixa, mediana e alta da leira 1, montada no *campus* Pampulha da UFMG, no dia 22 de setembro de 2017.

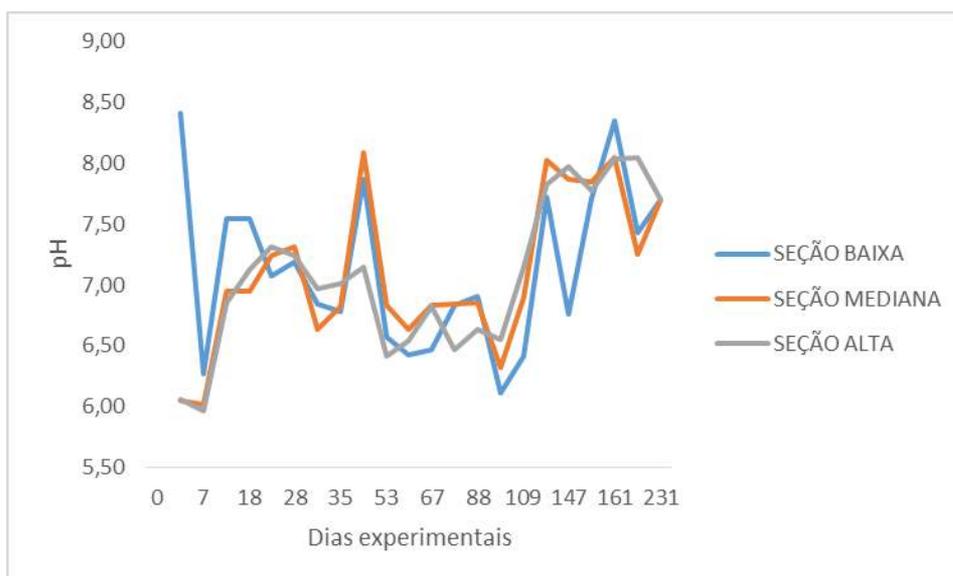


Gráfico 5 – pH nas seções baixa, mediana e alta da leira 2, montada no *campus* Pampulha da UFMG, no dia 22 de setembro de 2017.

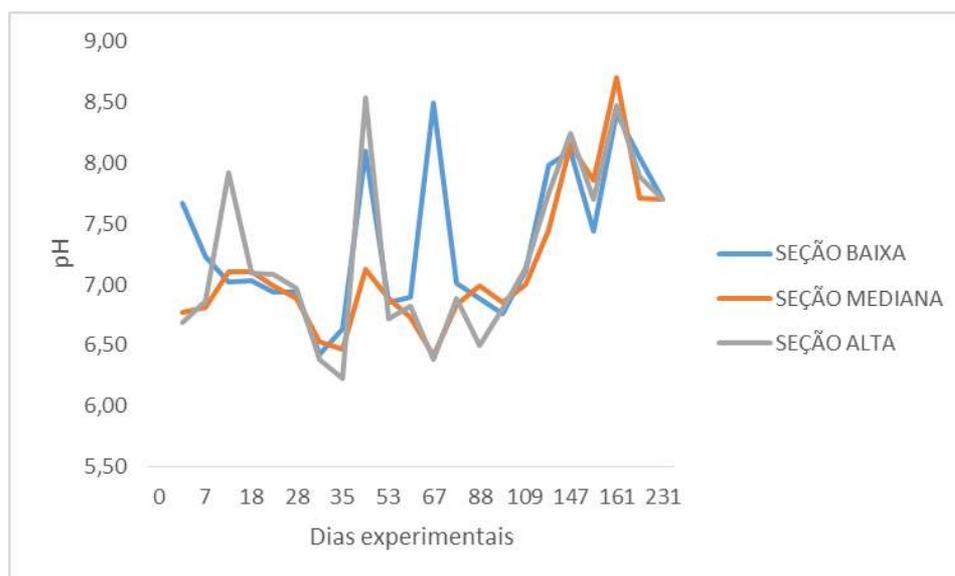
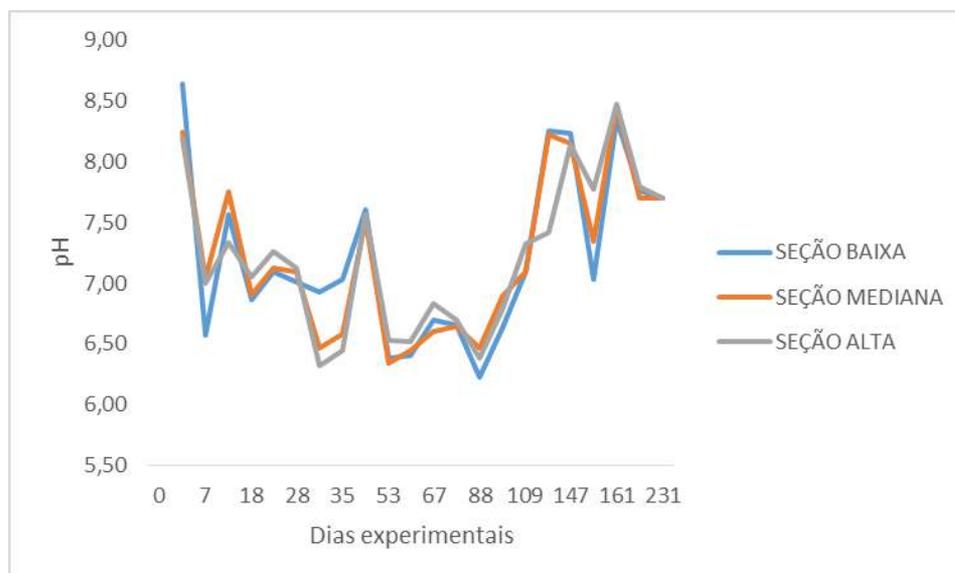


Gráfico 6 – pH nas seções baixa, mediana e alta da leira 3, montada no *campus* Pampulha da UFMG, no dia 22 de setembro de 2017.



No início do processo de compostagem, os resíduos orgânicos passam pela fase chamada de fitotóxica, segundo Kiehl (2002). Esta fase refere-se à etapa inicial de decomposição da matéria orgânica, há o desprendimento de calor, vapor d'água e CO₂, onde estes materiais orgânicos crus possuem uma reação ácida (produção de ácidos orgânicos) o que provoca uma redução no pH. Conforme resultados apresentados nos Gráficos 4, 5 e 6, é possível identificar logo nos primeiros dias

experimentais uma baixa no pH das leiras 2 e 3, indicando o início da fase fitotóxica. Já na leira 1 é possível identificar o início desta fase próximo ao 20º dia experimental.

Além disso, é possível inferir que os valores de pH nas seções baixa, mediana e alta nas três leiras se mantiveram na faixa de 6,0 a 9,0 durante todo o experimento. Segundo Rodrigues et al. (2006), a faixa considerada ótima para o desenvolvimento dos microrganismos responsáveis pela decomposição é entre 5,5 e 8,5.

5.1.3 Umidade

Os Gráficos 7, 8 e 9 apresentam os valores de umidade nas seções baixa, mediana e alta nas leiras 1, 2 e 3, respectivamente.

Gráfico 7 – Umidade (%) nas seções baixa, mediana e alta da leira 1, montada no *campus* Pampulha da UFMG, no dia 22 de setembro de 2017.

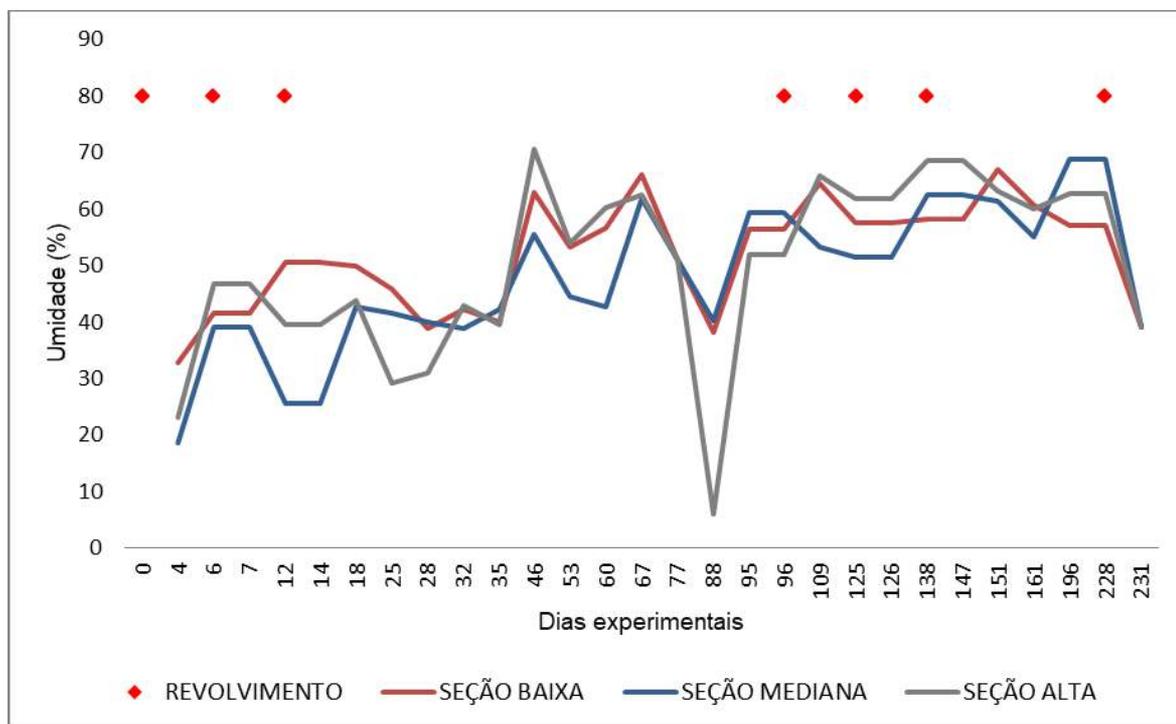


Gráfico 8 – Umidade (%) nas seções baixa, mediana e alta da leira 2, montada no *campus* Pampulha da UFMG, no dia 22 de setembro de 2017.

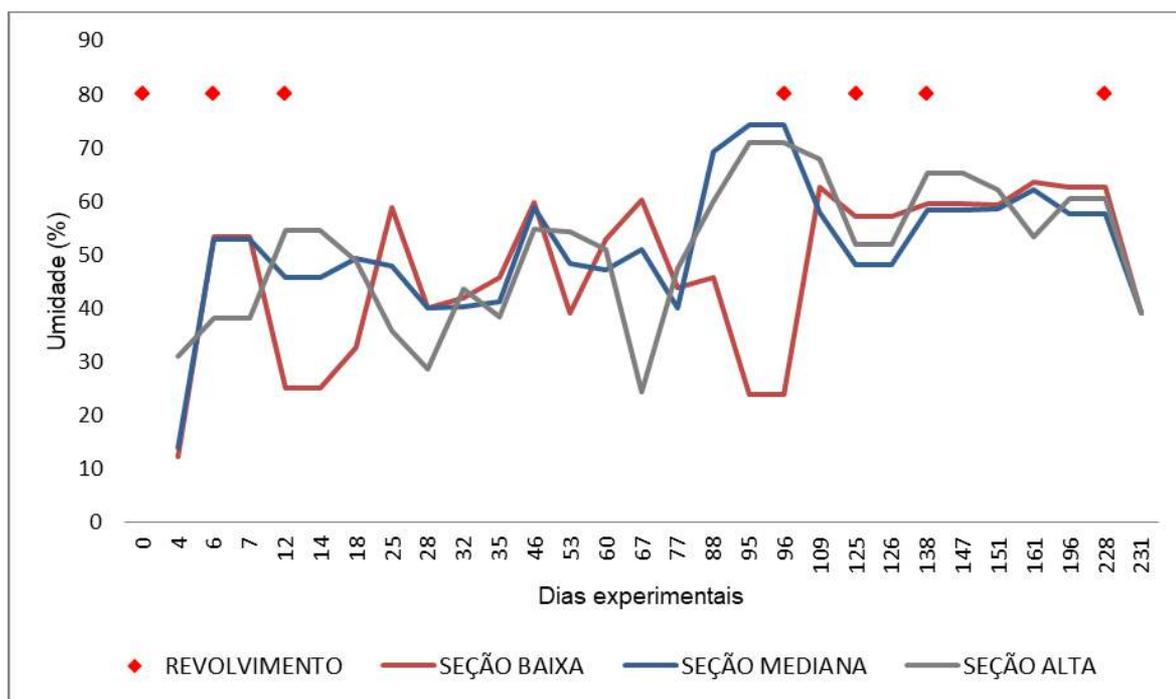
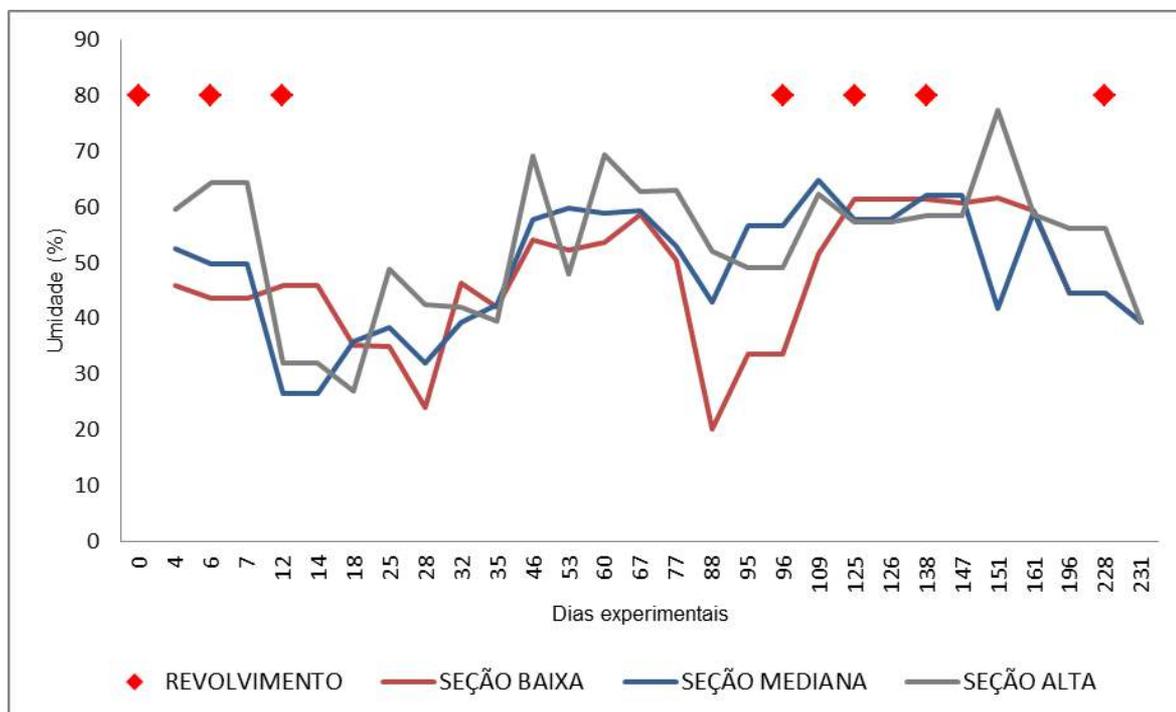


Gráfico 9 – Umidade (%) nas seções baixa, mediana e alta da leira 3, montada no *campus* Pampulha da UFMG, no dia 22 de setembro de 2017.



Observou-se bastante variação nos valores de umidade aferidos nas três leiras durante o experimento. As leiras foram irrigadas durante todo o experimento,

utilizando um aspersor de água em seu topo. É possível que o tamanho da leira e a baixa quantidade de revolvimentos propiciaram a grande variação da umidade entre as seções, baixa, mediana e alta.

As três leiras apresentaram valores de umidade acima de 50% a partir do 46º dia experimental em todas as seções. 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%.

Ao 88º dia experimental, a seção alta da leira 1 apresentou umidade de 6,02%, que distorce bastante dos valores de umidade em suas outras seções e das outras leiras. Essa queda de umidade pode ter sido ocasionada por se tratar de um período quente, propiciando a transferência da umidade da leira para a seção mediana e alta.

Segundo Carvalho (2006), umidade abaixo de 35% pode dificultar a atividade microbiana, conseqüentemente 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. Na leira 1, foi identificada umidade abaixo de 35% nas seções baixa (4º DAI), mediana (14º DAI) e alta (25º, 28º e 88º DAI); na leira 2, nas seções baixa (4º, 14º e 18º DAI), mediana (4º DAI) e alta (4º e 28º DAI), e na leira 3, nas seções baixa (28º, 88º e 95º DAI), mediana (28º DAI) e alta (14º e 18º DAI).

Identificou-se umidade acima de 65% (Gráficos 7,8 e 9) na leira 1, aos 147 DAI (seção alta), 151 DAI (seção baixa) e 196 DAI (seção mediana); na leira 2, aos 95 DAI (seção mediana), 109 DAI (seção alta) e 147 DAI (seção alta), e na leira 3 aos 46 DAI (seção alta), 60 DAI (seção alta) e 151 DAI (seção alta). De acordo com Lima (2015), umidade acima de 65% pode afetar a aeração e favorecer a atração de insetos e ocorrência de odores, os quais não foram observados neste monitoramento.

5.2 Composto final

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. A Tabela 5 apresenta resultados do composto final das três leiras juntas, conforme Relatório de Ensaio N° 0091/2018 apresentado pelo IMA:

Tabela 5 – Análise química do composto final (230 DAI).

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

Fonte: IMA (2018).

A Tabela 6 apresenta a relação entre alguns parâmetros de fertilizantes orgânicos e os teores considerados como ótimo, bom, indesejável, baixo, médio e alto:

Tabela 6 – Análise de fertilizantes orgânicos.

Parâmetros	Teores	Nível
Umidade	entre 15 a 25%	ótimo
	entre 25 a 35%	bom
	acima de 35%	indesejável
Índice de pH	acima de 6,0	indesejável
	entre 6,0 e 7,5	bom
	acima de 7,5	ótimo
Relação C/N	entre 8 a 12/1	ótimo
	entre 12 a 18/1	bom
	acima de 18/1	indesejável
Fósforo	acima de 0,5%	baixo
	entre 0,5 e 1,5%	médio
	acima de 1,5%	alto
Potássio	abaixo de 0,5%	baixo
	entre 0,5 e 1,5%	médio
	acima de 1,5%	alto
Cálcio	abaixo de 1,5%	baixo
	entre 1,5 e 3,0%	médio
	acima de 3,0%	alto
Magnésio	abaixo de 0,6%	baixo
	entre 0,6 e 1,2%	médio
	acima de 1,2%	alto

Fonte: KIEHL (1985).

Comparando os resultados dos parâmetros analisados do composto final com os recomendados por Kiehl (1985) para fertilizantes orgânicos, observou-se que a umidade encontrada (39,2%) é indesejável, recomenda-se entre 15 a 25% como ótimo e entre 25 a 35% como bom. O índice de pH no fertilizante curado foi considerado ótimo, pois foi acima de 7,5. A relação C/N foi de 24,4, considerada indesejável, pois foi acima de 18, sendo entre 8 e 12 ótimo, e entre 12 e 18 bom.

Os teores de nutrientes do composto analisado foram considerados baixos, sendo o teor de cálcio encontrado de 0,015%, o de magnésio foi de 0,010%, o de potássio foi de 0,31%, e o de fósforo foi de 0,12%.

5.3 Estimativa da emissão de gases efeito estufa (GEE's)

Utilizando a planilha “*on-line*” do Modelo de Redução de Resíduos, sabendo que a quantidade total de resíduos de podas de árvores e gramados (ramos e folhas) compostados neste monitoramento foi de 1680,89 kg, foi possível calcular a emissão de gases de efeito estufa para os dois cenários: destinação final para o aterro sanitário e destinação para o processo de compostagem.

As emissões referentes à destinação destes resíduos para serem aterrados seria de 0,75 tCO₂eq. em emissões de GEEs. Para o cenário adotado, processo de compostagem, a emissão foi de 0,24 tCO₂eq. Segundo Ngoc e Schnitzer (2009), o setor de resíduos sólidos urbanos é um dos principais contribuintes para emissão de gases de efeito estufa.

Desta forma, optar pela utilização do processo de compostagem ao invés de destinar estes resíduos para o aterramento, reduziu a emissão de GEEs do resíduos compostados em 0,51 tCO₂eq, esta redução é equivalente à queima de 57 galões de gasolina, ou seja, aproximadamente 215 litros deste combustível.

6 CONCLUSÕES

A compostagem pode ser considerada um processo simples e satisfatório para o tratamento de resíduos orgânicos. O monitoramento dos parâmetros pH, umidade e principalmente temperatura demonstraram as fases de decomposição do material e auxiliaram na identificação da maturação do composto. Os parâmetros pH e umidade apresentaram valores dentro do esperado.

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 índice de pH considerado ótimo, segundo os teores apresentados por Kiehl (1985) para fertilizantes orgânicos. Porém, apresentou a relação de C/N alta, e os teores de nutrientes foram considerados baixos.

Em relação à emissão de GEEs, foi possível inferir que optar pelo processo de compostagem ao invés de destinar os resíduos de podas de árvores e gramados do *campus* Pampulha da UFMG para o aterramento reduziu a emissão em 0,51 tCO₂eq.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Norma Brasileira, **ABNT NBR 2004**. Rio de Janeiro, RJ, 2004.

Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2012**. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2012.pdf>> , acesso em 12.out.2017.

Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2013**. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2013.pdf>> , acesso em 12.out.2017.

Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2014**. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2014.pdf>> , acesso em 12.out.2017.

Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2015**. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2015.pdf>> , acesso em 12.out.2017.

Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2016**. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2016.pdf>> , acesso em 12.out.2017.

Standard Methods for the examination of water and wastewater. APHA. American Public Health Association, American Water Works Association Water Works Association, Water Environmental Federation, 23th ed. Washington.

AQUINO, Adriana Marina de et al. **Integrando compostagem e vermicompostagem na reciclagem de resíduos orgânicos domésticos**. Seropédica: Embrapa, 2005. 4 p. Circular Técnica.

BARROS, Raphael Tobias Vasconcelos. **Elementos de gestão de resíduos sólidos**. Belo Horizonte: Tessitura, 2012. 424 p.

BARROS, Raphael Tobias Vasconcelos; SILVA, Thiago Almeida da Silva e; MIRANDA, Tiago Gonzalez. **O gerenciamento dos resíduos verdes na UFMG: outras possibilidades**. Belo Horizonte. [S.D.].

BRADY, Nyle; WEIL, Raymond. **ELEMENTOS DA NATUREZA E PROPRIEDADES DO SOLO**. 3. ed. São Paulo: Bookman, 2013.

BRASIL. Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 3 ago. 2010. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=636>> , acesso em 12.out.2017.

CARVALHO, José Gabriel. **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.

COSTA, Mônica S. S. de M. et al. **Compostagem de resíduos da indústria de desfibração de algodão**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 540-548, Mai/Ago. 2005.

COUTO, Josimar Ribeiro do et al. **Instruções práticas para produção de composto orgânico em pequenas propriedades**. Brasília: Embrapa, 2008. 8 p. Comunicado Técnico.

FERNANDES, Fernando; SILVA, Sandra Márcia Cesário Pereira da. **MANUAL PRÁTICO PARA A COMPOSTAGEM DE BÍOSSÓLIDOS**. PROSAB - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. Disponível em: <https://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/Livro_Compostagem.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2017.

JACOBI, Pedro Roberto; BENSEN, Gina Rizpah. **Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade. Estudos Avançados**, São Paulo, v. 25, n. 71, p. 135-158, Jan/Abri. 2011.

KIEHL, Edmar José. **Fertilizantes Orgânicos**. Piracicaba: Editora Agronômica "Ceres" Ltda, 1985. 492 p.

KIEHL, Edmar José. **MANUAL DE COMPOSTAGEM: MATURAÇÃO E QUALIDADE DO COMPOSTO**. 3. ed. Piracicaba: Edição do Autor, 2002. 171 p.

LIMA, Luiz Mário Queiroz. **Lixo: Tratamento e Biorremediação**. 3. ed. Hemus, 2004. 266 p.

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

LELLIS, Italo Cordeiro et al. **Projeto piloto de compostagem nos campi I e II do Cefet-MG**. In: XIV ENEEAmb, II Forum Latino e I SBEA, Brasília, p. 1-5. 2016.

MELLO-PEIXOTO, Erika Cosendey Toledo de et al. Compostagem: construções e benefícios. In: Congresso Paranaense de Agroecologia, 1., 2014, Pinhais. Pinhais: **Cadernos de Agroecologia**, 2014. p. 1 - 5.

MERKEL, J. A. Composting. Em: **Gerenciando resíduos de gado**. AVI, Westport, CT, 1981. p. 306-324.

MINISTÉRIO 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.

NGOC, U.N.; SCHNITZER, H. **Sustainable solutions for solid waste management in Southeast Asian countries**. Waste Management 29(6): p.1982-1995. 2009.

NUNES, Maria Urbana Corrêa. **Compostagem de Resíduos para Produção de Adubo Orgânico na Pequena Propriedade**. Aracaju: Embrapa, 2009. 7 p.

OLIVEIRA, Arlene Maria Gomes; DANTAS, Jorge Luiz Loyola. **Composto orgânico**. Cruz das Almas: Embrapa, 1995. 12 p. Circular Técnica.

OLIVEIRA, Francisco Nelsieudes Sombra; LIMA, Hermínio José Moreira; CAJAZEIRA, João Paulo. **Uso da Compostagem em Sistemas Agrícolas Orgânicos**. Fortaleza: Embrapa, 2004. 14 p. Documentos.

PEREIRA NETO, João Tinoco Pereira; LELIS, Marcelo de Paula Neves. **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.

RAABE, Robert. **The Rapid Composting Method**. Disponível em: <<http://vric.ucdavis.edu/>>. Acesso em: 20 nov. 2018.

RODRIGUES, M. S.; SILVA, F. C.; BARREIRA, L. P.; KOVACS, A. **Compostagem: reciclagem de resíduos sólidos orgânicos**. In: SPADOTTO, C.A.; RIBEIRO, W. (Orgs.) Gestão de Resíduos na agricultura e agroindústria. Botucatu: FEPAF, 2006. p. 63-94.

TEIXEIRA, Leopoldo Brito et al. **Processo de Compostagem a Partir de Lixo Orgânico Urbano e Carço de Açaí**. Belém: Embrapa, 2002. 8 p. Circular Técnica.

TEIXEIRA, Leopoldo Brito 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.

TEIXEIRA, Leopoldo Brito et al. **Processos de Compostagem Usando Resíduos das Agroindustrias de Açaí e Palmito do Açaizeiro**. Belém: Embrapa, 2005. 6 p. Circular Técnica.