

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL (PEC)

Isabela Salgado Vargas

**Análise de viabilidade técnica da compostagem de resíduos de poda, capina,
varrição e roçada: estudo de caso na Universidade Federal de Juiz de Fora**

Juiz de Fora

2023

Isabela Salgado Vargas

Análise de viabilidade técnica da compostagem de resíduos de poda, capina, varrição e roçada: estudo de caso na Universidade Federal de Juiz de Fora

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PEC) da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Área de concentração: Saneamento e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Samuel Rodrigues Castro

Juiz de Fora

2023

Ficha catalográfica elaborada através do Modelo Latex do CDC da UFJF
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Vargas, Isabela Salgado.

Análise de viabilidade técnica da compostagem de resíduos de poda, capina, varrição e roçada : estudo de caso na Universidade Federal de Juiz de Fora / Isabela Salgado Vargas. – 2023.

101 f. : il.

Orientador: Samuel Rodrigues Castro

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PEC), 2023.

1. Adubo Orgânico. 2. Gestão Ambiental. 3. Matéria Orgânica. 4. Qualidade do Composto. 5. Resíduos de Limpeza Urbana. I. Castro, Samuel Rodrigues, orient. II. Título.

Isabela Salgado Vargas

Análise de viabilidade técnica da compostagem de resíduos de poda, capina, varrição e roçada: estudo de caso na Universidade Federal de Juiz de Fora

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PEC) da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Área de concentração: Saneamento e Meio Ambiente.

Aprovada em 16 de junho de 2023

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Samuel Rodrigues Castro - Orientador
Universidade Federal de Juiz de Fora

Professor Dr. Jonathas Batista Gonçalves Silva
Universidade Federal de Juiz de Fora

Professor Dr. Marcelo Henrique Otênio
Universidade Federal de Juiz de Fora

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Priscila e Holdmarson, pelo amor, apoio e por toda a orientação durante minha caminhada, por me fazerem uma pessoa melhor e por me ensinar todos os dias uma coisa nova.

Ao Matheus, pela presença, pelas conversas, pelo amor e paciência, pelas leituras e correções e também pela ajuda nas umidificações e revolvimentos das leiras.

Ao Wander, Evandro e demais funcionários da PROINFRA, pela disponibilidade e parceria.

Ao LAQUA - Laboratório de Qualidade Ambiental da UFJF para realização das análises, e especialmente à Iramaia, por todos os ensinamentos, ajuda e amizade.

A todos os professores do Departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária, pelos ensinamentos e dedicação com o curso. Em especial ao professor Samuel, meu orientador, pelo carinho e direcionamento ao longo do desenvolvimento do trabalho, e à minha banca, professores Jonathas e Marcelo.

À Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano e Sustentabilidade de São João del-Rei, por todo aprendizado e apoio, em especial ao secretário Antônio Lombardi.

Por fim, a todos os que de alguma forma fazem parte da minha vida, e contribuem para que eu seja quem eu sou hoje, aos meus avós, Dulce, Martinho, Cida e Hildson, tios e tias, madrinha Cristiane e padrinho Wenderson, primos e primas, amigos da faculdade e de fora dela, Leandro e Mariana, que já são família, e mais tantos outros. Um grande obrigado por tudo! Essa caminhada não foi solitária, mas cheia de contribuições de todos vocês.

RESUMO

A compostagem é um processo controlado de aceleração da degradação natural da fração orgânica dos resíduos sólidos, sendo a compostagem de resíduos secos aquela na qual são compostados os resíduos provenientes da arborização e paisagismo urbano. Visando viabilizar a compostagem de resíduos secos, este trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade técnica da compostagem de resíduos de poda, capina, varrição e roçada analisando os efeitos observados nos parâmetros físico-químicos inerentes ao processo, e na qualidade final do composto gerado, em escala piloto. Para isso, três leiras de compostagem em sistema aberto foram avaliadas na Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), e monitorados os parâmetros de temperatura, pH, condutividade e salinidade, densidade, sólidos voláteis e carbono orgânico, umidade, nitrogênio total Kjeldahl (NTK), relação carbono/nitrogênio (C/N), capacidade de troca catiônica (CTC), fósforo, enxofre e potássio durante 116 dias. O composto gerado foi avaliado por meio de teste de germinação, análise de massa fresca e seca, e comprimento de raízes e parte aérea. Como resultado, foi proposto a instalação de 26 locais fixos de armazenamento temporário (LAT) a fim de facilitar a logística de armazenamento e transporte dos resíduos dentro do campus, economizando cerca de 2 a 3 viagens por semana, além de até 12 horas de trabalho e de até 75 km rodados pelo caminhão semanais. Além disso, obteve-se resultados de alto teor de nitrogênio inicial das amostras, de 1,5%, o que resultou em uma relação C/N inicial de 26,6. Assim, concluiu-se que não era pertinente a adição de suplemento de nitrogênio nas leiras de compostagem. O pH resultante do processo foi de aproximadamente 7, indicando um composto semimaturado, resultado corroborado pela relação C/N final maior que 20. Porém, o composto produzido não apresentou toxicidade no teste de germinação, o que indica a potencialidade de seu uso. Em nenhum parâmetro houve diferença significativa entre as pilhas com revolvimento e sem revolvimento, indicando que sua ausência não foi um fator impeditivo para a compostagem. Encontrou-se resultados positivos quanto a qualidade do composto gerado, sendo o tratamento que continha 50% composto e tratamento com 75% composto os de melhor desempenho, enquanto que o tratamento que obteve piores resultados quanto à germinação e desenvolvimento da biomassa das plântulas foi o que não continha composto. Dessa forma, o estudo concluiu ser viável tecnicamente o uso da compostagem como método de destinação ambientalmente adequada dos resíduos de capina, varrição, poda e roçada gerados no campus universitário.

Palavras-chave: Adubo Orgânico. Gestão de resíduos. Matéria Orgânica. Qualidade do Composto. Resíduos de Limpeza Urbana.

ABSTRACT

Composting is a controlled process of accelerating the natural degradation of the organic fraction of solid waste, dry waste composting being that in which waste from afforestation and urban landscaping is composted. Aiming to make possible the composting of dry waste, this work aimed to evaluate the technical feasibility of composting waste from pruning, weeding, sweeping and mowing, analyzing the effects observed on the physical-chemical parameters inherent to the process, and on the final quality of the compost generated, on a pilot scale. For this, three open system composting windrows were evaluated at the Federal University of Juiz de Fora (UFJF), and the parameters of temperature, pH, conductivity and salinity, density, volatile solids and organic carbon, humidity, total nitrogen Kjeldahl (NTK), carbon/nitrogen ratio (C/N), cation exchange capacity (CEC), phosphorus, sulfur and potassium for 116 days. The compost generated was evaluated by means of a germination test, analysis of fresh and dry mass, and root length and part area. As a result, it was proposed to install 26 fixed temporary storage locations (LAT) in order to facilitate the logistics of storing and transporting waste within the campus, saving about 2 to 3 trips per week, in addition to up to 12 hours of work. and up to 75 km traveled by the truck weekly. In addition, results were obtained for high initial nitrogen content of the samples, of 1.5%, which resulted in an initial C/N ratio of 26.6. Thus, it was concluded that the addition of nitrogen supplement in the compost piles was not relevant. The pH resulting from the process was approximately 7, indicating a semi-matured compost, a result corroborated by the final C/N ratio greater than 20. However, the compost produced did not show toxicity in the germination test, which indicates its potential use. There was no significant difference between the piles with and without turning in any parameter, indicating that their absence was not an impediment to composting. Positive results were found regarding the quality of the compost generated, with the treatment containing 50% compost and the treatment with 75% compost having the best performance, while the treatment that obtained the worst results regarding germination and development of seedling biomass was the one that did not contain compost. Thus, the study concluded that it is technically feasible to use composting as an environmentally appropriate method of disposal of waste from weeding, sweeping, pruning and mowing generated on the university campus.

Keywords: Organic Fertilizer. Environmental management. Organic matter. Compost Quality. Urban Cleaning Waste.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Variação da temperatura, na leira, durante a compostagem. | 24 |
| Figura 2 – Variação do pH, na pilha, durante a compostagem. | 30 |
| Figura 3 – Tolerância de algumas hortaliças à salinidade | 32 |
| Figura 4 – Leiras 1, 2 e 3 no pátio de compostagem. | 42 |
| Figura 5 – Esquema de montagem da análise do substrato produzido. | 49 |
| Figura 6 – Armazenamento atual dos resíduos verdes | 53 |
| Figura 7 – Locais fixos de armazenamento temporário implantados | 55 |
| Figura 8 – Fluxograma dos processos de gerenciamento dos resíduos verdes da UFJF. | 56 |
| Figura 9 – Localização aproximada dos locais de armazenamento temporário distribuídos ao longo do campus da UFJF. | 57 |
| Figura 10 – Materiais utilizados para confecção dos LAT. | 57 |
| Figura 11 – Localização do pátio de compostagem no campus da UFJF. | 61 |
| Figura 12 – Fluxograma da infraestrutura e instalações necessárias para implantação do sistema de compostagem proposto. | 61 |
| Figura 13 – Variação mediana da temperatura, nas leiras com revolvimento e sem revolvimento, e temperatura ambiente, durante a compostagem. | 67 |
| Figura 14 – Variação mediana da umidade nas leiras com revolvimento e sem revolvimento, durante a compostagem. | 68 |
| Figura 15 – Pluviosidade no período de 17 de maio a 30 de setembro | 70 |
| Figura 16 – Variação mediana da densidade, nas leiras com revolvimento e sem revolvimento, durante a compostagem | 72 |
| Figura 17 – Variação mediana do pH, nas leiras com revolvimento e sem revolvimento, durante a compostagem | 73 |
| Figura 18 – Variação mediana da condutividade elétrica (a) e salinidade (b), nas leiras com revolvimento e sem revolvimento, durante a compostagem | 74 |
| Figura 19 – Variação do carbono e nitrogênio, nas leiras com revolvimento e sem revolvimento, durante a compostagem | 75 |
| Figura 20 – Variação da CTC, nas leiras com revolvimento e sem revolvimento, durante a compostagem | 79 |
| Figura 21 – Variação do fósforo, enxofre e potássio, nas leiras com revolvimento e sem revolvimento, durante a compostagem | 80 |
| Figura 22 – Resultados do índice de germinação (IG) para os cinco tratamentos em três momentos | 83 |
| Figura 23 – Resultados do comprimento da raiz (CR) para os cinco tratamentos | 84 |
| Figura 24 – Resultados da massa seca aérea (IMSA), raiz (IMSR) e total (IMST) para os cinco tratamentos | 85 |

| | |
|---|----|
| Figura 25 – Resultados do comprimento da parte aérea (CA) para os cinco tratamentos | 86 |
| Figura 26 – Resultados do comprimento total (CT), massa fresca total (IMFT) e massa seca total (IMST) para os cinco tratamentos | 87 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Resultados dos parâmetros analisados por tratamento | 81 |
|--|----|

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|--------------|--|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| Ca^{2+} | Cálcio |
| CE | Condutividade Elétrica |
| CH_4 | Gás Metano |
| CO_2 | Gás Carbônico |
| CA | Comprimento da Parte Aérea |
| CR | Comprimento da Raiz |
| CT | Comprimento Total |
| CTC | Capacidade de Troca Catiônica |
| C/N | Relação Carbono/Nitrogênio |
| IG | Índice de Germinação |
| IMFT | Índice de Massa Fresca Total |
| IMSA | Índice de Massa Seca da Parte Aérea |
| IMSR | Índice de Massa Seca da Raiz |
| IMST | Índice de Massa Seca Total |
| INMET | Instituto Nacional de Meteorologia |
| IS | Índice de Salinidade |
| IVE | Índice de Velocidade de Emergência |
| H_2O | Água |
| K^+ | Potássio |
| LAQUA | Laboratório de Qualidade Ambiental |
| LESA | Laboratório Nacional de Engenharia Sanitária e Ambiental |
| MAPA | Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizante e Corretivos |
| MG | Minas Gerais |
| Mg^{2+} | Magnésio |
| N | Nitrogênio |
| $NaNO_3$ | Nitrato de Sódio |
| $N - NH_4^+$ | Nitrogênio Amoniacal |
| NH_4^+ | Amônio |
| N_{org} | Nitrogênio Orgânico |
| NPK | Nitrogênio, Fósforo e Potássio |
| NTK | Nitrogênio Total Kjeldahl |
| PROINFRA | Pró-Reitoria de Infraestrutura e Gestão |
| SV | Sólidos Voláteis |
| UFJF | Universidade Federal de Juiz de Fora |
| UFV | Universidade Federal de Viçosa |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 12 |
| 2 | ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO | 15 |
| 3 | JUSTIFICATIVA | 16 |
| 4 | OBJETIVOS | 18 |
| 4.1 | OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 18 |
| 5 | METODOLOGIA CIENTÍFICA | 19 |
| 6 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 20 |
| 6.1 | A PROBLEMÁTICA DOS RESÍDUOS VEGETAIS | 20 |
| 6.2 | COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS VEGETAIS (COMPOSTAGEM SECA) | 22 |
| 6.3 | PARÂMETROS | 23 |
| 6.3.1 | Temperatura | 23 |
| 6.3.2 | Umidade | 26 |
| 6.3.3 | Aeração e Revolvimento | 27 |
| 6.3.4 | Tamanho das partículas | 28 |
| 6.3.5 | Densidade aparente | 28 |
| 6.3.6 | pH | 29 |
| 6.3.7 | Condutividade elétrica e salinidade | 30 |
| 6.3.8 | Relação C/N | 32 |
| 6.4 | QUALIDADE DO SUBSTRATO PARA PRODUÇÃO DE MUDAS | 34 |
| 6.4.1 | Matéria Orgânica | 34 |
| 6.4.2 | CTC do solo | 36 |
| 6.4.3 | Nitrogênio, Potássio, Fósforo e Enxofre | 36 |
| 6.4.4 | Utilização do composto | 38 |
| 7 | MATERIAL E MÉTODOS | 40 |
| 7.1 | CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA | 40 |
| 7.2 | OBTENÇÃO DOS DADOS | 40 |
| 7.3 | CARACTERIZAÇÃO DO EXPERIMENTO | 41 |
| 7.4 | PARÂMETROS | 43 |
| 7.4.1 | Condições climáticas durante o experimento | 43 |
| 7.4.2 | Temperatura | 43 |
| 7.4.3 | Umidade | 44 |
| 7.4.4 | Revolvimento (aeração) e Umidificação | 44 |
| 7.4.5 | Densidade aparente e rendimento do composto | 44 |
| 7.4.6 | pH | 45 |
| 7.4.7 | Condutividade elétrica e salinidade | 45 |
| 7.4.8 | Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK) | 46 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 7.4.9 | Carbono orgânico, sólidos fixos e voláteis | 47 |
| 7.4.10 | CTC, Potássio, Fósforo e Enxofre | 48 |
| 7.5 | QUALIDADE DO COMPOSTO PARA PRODUÇÃO DE MUDAS . . . | 48 |
| 7.5.1 | Índice de germinação (IG) | 50 |
| 7.5.2 | Índice de velocidade de emergência (IVE) | 50 |
| 7.5.3 | Número de folhas (NF) | 50 |
| 7.5.4 | Comprimento da parte aérea (CA) e das raízes (CR) | 50 |
| 7.5.5 | Índice de massa fresca total (IMFT) | 51 |
| 7.5.6 | Índice de massa seca da parte aérea (IMSA) e das raízes (IMSR) | 51 |
| 7.6 | ANÁLISES ESTATÍSTICAS | 51 |
| 8 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 52 |
| 8.1 | GERENCIAMENTO ATUAL DOS RESÍDUOS DE PODA, VARRIÇÃO, CAPINA E ROÇADA DA UFJF | 52 |
| 8.2 | GERENCIAMENTO PROPOSTO PARA OS RESÍDUOS DE PODA, VARRIÇÃO, CAPINA E ROÇADA | 54 |
| 8.2.1 | Características da arborização do local e dos resíduos gerados . | 54 |
| 8.2.2 | Alternativas de coleta, armazenamento e transporte de resíduos | 55 |
| 8.2.3 | Alternativas de tratamento dos resíduos e alternativas locacio- nais da implantação do pátio de compostagem | 58 |
| 8.2.4 | Infraestrutura, instalações de apoio e equipamentos necessários | 61 |
| 8.2.5 | Instalação da composteira | 64 |
| 8.2.6 | Quantidade final do composto gerado | 65 |
| 8.2.7 | Qualidade e destinação final do composto | 66 |
| 8.2.7.1 | <i>Temperatura</i> | 66 |
| 8.2.7.2 | <i>Umidade, aeração e revolvimento</i> | 68 |
| 8.2.7.3 | <i>Tamanho das partículas</i> | 71 |
| 8.2.7.4 | <i>Densidade aparente</i> | 71 |
| 8.2.7.5 | <i>pH</i> | 73 |
| 8.2.7.6 | <i>Condutividade elétrica e salinidade</i> | 74 |
| 8.2.7.7 | <i>Carbono, nitrogênio e relação C/N</i> | 75 |
| 8.2.7.8 | <i>CTC, fósforo, enxofre e potássio</i> | 78 |
| 8.2.7.9 | <i>Destinação final do composto</i> | 80 |
| 8.2.7.9.1 | Índice de germinação (IG) e índice de velocidade de emergência (IVE) . | 82 |
| 8.2.7.9.2 | Análise do desenvolvimento das raízes e parte aérea das plântulas | 83 |
| 8.2.7.9.3 | Análise geral dos resultados | 87 |
| 8.2.8 | Orientações e recomendações técnicas à instituição | 88 |
| 9 | CONCLUSÃO | 90 |
| | REFERÊNCIAS | 92 |

1 INTRODUÇÃO

A gestão de resíduos sólidos produzidos no meio urbano se tornou um dos mais sérios problemas ambientais vividos pela humanidade (VALE, 2016; Da SILVA, ROCHA & Da SILVA *et al.*, 2018; SOARES *et al.*, 2018; MOSER *et al.*, 2021). Durante décadas, e até os dias atuais no Brasil, a disposição final de resíduos sólidos em todo o mundo foi predominantemente em aterros, visto que, sob análise superficial, são métodos mais simples e com menores custos quando comparados a outras técnicas de disposição final ambientalmente adequadas (SOUSA JÚNIOR, 2011; COTTA *et al.*, 2015; PLANARES, 2020).

Portanto, um dos maiores desafios do poder público atual é a gestão urbana dos resíduos sólidos gerados, principalmente devido à sua grande variedade de composição e volume, que muitas vezes demandam destinações e disposições diversas (BIDONE, 2001; CORTEZ, 2011; ROCHA *et al.*, 2015; MAGALHÃES, 2018). Assim, o ideal seria que a fração orgânica gerada fosse estabilizada através de processos biológicos controlados, permitindo assim a reciclagem dos nutrientes e utilização da matéria orgânica. Tal fração é composta por resíduos domiciliares e resíduos provenientes da limpeza pública, como resíduos de feiras livres, resíduos de poda, varrição, capina e roçada (BRASIL, 2010).

Estes últimos, resíduos de poda, varrição, capina e roçada, também chamados de resíduos provenientes da arborização e paisagismo urbano, representam uma considerável fração dos resíduos orgânicos gerados em um município (BENITO, *et al.*, 2006; PMF, 2012; PGIRS, 2014; ROCHA *et al.*, 2015; VALE, 2016; REYES-TORRES *et al.*, 2018; PMGIRS, 2020; BUGNI *et al.*, 2020). Em Florianópolis são gerados cerca de 500 m³ por mês de resíduos de poda (PMF, 2012). Em São Paulo, cerca de 137 toneladas de poda por dia, podendo chegar a 50 mil toneladas (galhos e troncos) anuais, cerca de 0,7% dos resíduos totais gerados na cidade (PGIRS, 2014; ROCHA *et al.*, 2015). Já em Natal - RN, os resíduos da arborização correspondem a aproximadamente 2,9% dos resíduos sólidos urbanos totais do município, totalizando 36 toneladas de podas por dia geradas (VALE, 2016). No Rio de Janeiro, segundo a Diretoria Técnica e de Logística da COMLURB (Companhia Municipal de Limpeza Urbana), são gerados aproximadamente 30 t/dia de resíduos de poda pela empresa (BUGNI *et al.*, 2020). E de acordo com o Plano Municipal de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos de Juiz de Fora (MG), em 2020 o município gerava aproximadamente 8,2 toneladas diárias na atividade de varrição, 1,1 toneladas no corte e poda de árvores, e mais 5,9 toneladas na capina e roçada, correspondendo a aproximadamente 0,4% de todos os resíduos sólidos gerados no município (PMGIRS, 2020).

Devido às características físicas e de volume que inviabilizam a compactação desses resíduos, comprometendo seu manejo, diversos municípios encontram grandes dificuldades à

sua disposição e transporte (MEIRA, 2010; REYES-TORRES *et al.*, 2018; MANGUEIRA, GOMES & SOUSA, 2019). Nesse contexto, esses resíduos chamam especial atenção por apresentarem grande potencial de aproveitamento que, na maioria dos casos, não é gerenciado de forma adequada (ROCHA *et al.*, 2015; SOARES *et al.*, 2018; LI *et al.*, 2022).

A fim de propor soluções para essa problemática pode-se citar as oportunidades de aproveitamento dos resíduos vegetais maiores, como pedaços de galhos e troncos, utilizando-os como lenha, carvão, fabricação de móveis rústicos, artesanato, brinquedos, entre outras possibilidades. Porém, cerca de 69% desses materiais são galhos finos e folhas que não servem para esse fim, sendo necessário uma adequação em sua destinação final, como é o caso da compostagem (ROCHA *et al.*, 2015; MAGALHÃES, 2018).

A compostagem dos resíduos de poda, varrição, capina e roçada apresenta várias vantagens se comparada à disposição desses resíduos em aterros sanitários:

- a) ajuda no fechamento dos ciclos biogeoquímicos e melhora a escassez dos recursos naturais, já que o composto se torna uma fonte rica em macro e micronutrientes e matéria orgânica para substrato para as plantas (SOUSA JÚNIOR, 2011; CORTEZ, 2011; MAGALHÃES, 2018; CESTONARO, BARROS & MATOS, 2022);
- b) auxilia na retenção de umidade e na melhoria da textura do solo (COTTA *et al.*, 2015; AYILARA *et al.*, 2020);
- c) pode servir como substrato para utilização em áreas agrícolas, produção de mudas e paisagismo (BARATTA JÚNIOR, 2007; UFPB, 2020);
- d) pode servir como substrato para recuperação de áreas degradadas (VENTORINO *et al.*, 2019; AYILARA *et al.*, 2020);
- e) é um processo de baixo custo e traz valorização de um resíduo que muito provavelmente seria apenas disposto em aterro (MEIRA, 2010; SOUSA JÚNIOR, 2011; MAGALHÃES, 2018);
- f) evita a poluição do meio ambiente ao evitar que sejam emitidos alguns gases de efeito estufa, como o gás metano (CH_4), e subprodutos como sulfeto de hidrogênio e ácido sulfídrico, resultados de reações químicas que podem ser formados em aterros sanitários, lixões ou na incineração. Além disso, evita a contaminação por chorume/lixiviado gerado em aterros (IPCC, 1995; ROCHA *et al.*, 2015; AYILARA *et al.*, 2020; BUGNI *et al.*, 2020; GOMES, 2021; LI *et al.*, 2022);
- g) diminui área necessária para disposição dos resíduos em aterros, aumentando conseqüentemente sua vida útil (FERREIRA *et al.*, 2019; AYILARA *et al.*, 2020; UFPB, 2020; CESTONARO, BARROS & MATOS, 2022);

h) diminui gastos com transporte para os aterros e com sua disposição nesses locais (MEIRA, 2010; MAGALHÃES, 2018).

Mesmo sendo observados alguns casos de encaminhamento dos resíduos de arborização e paisagismo urbano para os serviços de compostagem, essas são ações isoladas e muitas vezes insuficientes para dar uma destinação correta a todos os resíduos da arborização. Além disso, não há investimentos na infraestrutura e na valorização desses resíduos, e nem mesmo um modelo logístico para sua coleta, processamento e distribuição dos produtos (MEIRA, 2010).

Sendo assim, até os dias atuais no Brasil, a destinação final dessa tipologia de resíduos, tem sido, predominantemente, a disposição nos aterros sanitários, lixões, terrenos baldios ou uso para queima (PLANARES, 2020; BORKOWSKI, 2022), o que, além de contrariar o disposto na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) que orienta incentivar a redução, a reutilização e a reciclagem dos resíduos sólidos (BRASIL, 2010), também reduz a vida útil dos aterros, devido seu grande volume de resíduos e sua lenta degradação, aumentando ainda o risco de combustão e o perigo de operação máquinas no local (MEIRA, 2010; MAGALHÃES, 2018).

Dentro dos campi das universidades a problemática não se difere, uma vez que esses espaços normalmente apresentam grandes áreas arborizadas que necessitam de adequado gerenciamento dos seus resíduos vegetais gerados (VILELA & PIESANTI, 2015; SOARES *et al.*, 2018; MAGALHÃES, 2018; UFPB, 2019; SANTANA, 2022).

Assim, ao perceber-se a necessidade emergente de pesquisas que aperfeiçoem e expandem a prática da compostagem, principalmente em grande escala (SOTO-PAZ *et al.*, 2017; BARTHOD *et al.*, 2018; GUILAYN *et al.*, 2020; AYILARA *et al.*, 2020; FAGUNDES *et al.*, 2021; CESTONARO, BARROS & MATOS, 2022), esse trabalho visa avaliar a viabilidade técnica do aproveitamento de poda, varrição, capina e roçada através da compostagem seca, objetivando auxiliar empresas públicas e privadas, além de instituições de educação de ensino básico ao superior, a implementar processos de compostagem seca de resíduos provenientes da arborização e paisagismo urbano.

2 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação está dividida em oito capítulos. No primeiro capítulo apresenta-se a introdução, seguida da estrutura da dissertação no capítulo dois. A justificativa e motivação para a presente pesquisa sobre o tema está apresentada no terceiro capítulo enquanto seu objetivo geral e seus objetivos específicos no quarto. A metodologia científica é apresentada no quinto capítulo.

O sexto capítulo apresenta uma revisão bibliográfica da conceituação dos resíduos vegetais e seu gerenciamento; sobre como ocorre a compostagem dos resíduos vegetais; os parâmetros mais importantes no controle da compostagem desses resíduos; e abordando o assunto da qualidade do substrato para produção de mudas.

Por sua vez, o capítulo sete apresenta os materiais e métodos utilizados na descrição da compostagem que foi realizada dentro da UFJF, Campus Juiz de Fora, além do detalhamento do tratamento de dados utilizados na dissertação, enquanto que o capítulo oito apresenta os resultados encontrados no levantamento de indicadores e dados, primários e secundários da compostagem seca; expõe a análise técnica do processo; os resultados sobre a comparação da qualidade do composto gerado com e sem revolvimento; e os resultados dos ensaios de germinação. Expondo assim as diretrizes para a elaboração da compostagem seca de resíduos provenientes da arborização e paisagismo urbano em diversos ambientes como em empresas públicas e privadas e instituições de educação de ensino básico ao superior.

No nono e último capítulo, serão apresentadas as conclusões e as considerações finais, almejando a possibilidade de encontrar soluções viáveis de serem colocadas em prática, além de recomendações para trabalhos futuros.

3 JUSTIFICATIVA

A partir de uma revisão da literatura, verificou-se a necessidade de mais trabalhos que avaliem os efeitos dos diferentes parâmetros na compostagem (BARTHOD *et al.*, 2018; GUILAYN *et al.*, 2020), levando-se em conta a viabilidade econômica dos processos (FAGUNDES *et al.*, 2021) em períodos longos de tempo (SOTO-PAZ *et al.*, 2017).

Ainda se percebeu a necessidade de estudos que quantificassem os resíduos da arborização gerados dentro do Campus Juiz de Fora da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), seja dos resíduos totais da arborização, roçada, capina e da varrição, ou ainda, dos resíduos por espécies (MAGALHÃES, 2018), e a necessidade emergente de pesquisas que aperfeiçoem e expandem a prática da compostagem (SOUSA JÚNIOR, 2011), visto que, apesar de a compostagem ser uma tecnologia usada há muito tempo, ainda encontra barreiras quanto à detecção de patógenos, a baixa qualidade do composto, a longa duração do processo e produção de odor (AYILARA *et al.*, 2020).

Por fim, atualmente, verificou-se uma demanda por parte da Pró-Reitoria de Infraestrutura e Gestão na Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF, campus sede, para correta destinação dos seus resíduos provenientes da arborização e do paisagismo, em local estratégico, a fim de reduzir custos com transporte de material.

Tal demanda justifica-se pelo fato de o Campus Juiz de Fora possuir uma área aproximada de um 1,34 milhão de metros quadrados com apenas 177 mil metros quadrados de área construída e por ser uma área amplamente arborizada. Essa situação exige constantes adequações em seu paisagismo e arborização, principalmente através da roçada, capina e varrição de folhas e gramados, e de podas de árvores para melhoria da iluminação, para acesso visual das câmeras de segurança e, também, para segurança das estruturas, dos veículos e dos pedestres dentro do Campus (MAGALHÃES, 2018).

Atualmente, os serviços de varrição, poda e manejo do serviço de jardinagem produz diariamente dentro do campus sede da UFJF um volume aproximadamente, dependendo da época do ano, de 10 m³ de resíduos verdes. Estes são destinados a um terreno na zona rural do município que dista aproximadamente 20 km do campus, localizado às margens da BR 040. Um caminhão do tipo caçamba, é responsável pelo transporte deste resíduo ao destino final, sendo necessárias duas viagens por dia para disposição de todo o volume gerado de resíduos. Assim, o caminhão caçamba percorre aproximadamente, 80 km diariamente, para a disposição dos resíduos verdes. Neste trajeto ocorre gasto com o combustível e manutenção do caminhão, mão de obra do motorista e dispêndio de tempo, de aproximadamente 60 minutos por viagem. Assim, faz-se necessário a adoção de métodos e técnicas adequados de gestão e tratamento dos volumes destes resíduos *in loco*, para que a matéria orgânica presente seja estabilizada e possa cumprir seu papel natural de fertilizar os solos da própria instituição e também uma gestão mais eficiente

dos recursos financeiros da universidade.

Assim, acredita-se que esse projeto de pesquisa auxiliará na implantação de composteiras em escala real dentro da instituição, e posteriormente, os relatórios e documentos gerados da pesquisa, poderão auxiliar empresas, condomínios e até mesmo o setor público, como forma de reaproveitamento dos resíduos sólidos secos.

Os resultados obtidos mostrarão custos técnicos associados à implementação da compostagem, identificando os maiores gargalos dessa técnica de reaproveitamento de resíduos secos, mostrando soluções e alternativas, permitirá um melhor gerenciamento de composteiras ao disponibilizar os parâmetros ideais para essa técnica e como alcançá-los.

4 OBJETIVOS

Assim, o objetivo dessa pesquisa é avaliar a viabilidade técnica da compostagem de resíduos de poda, capina, varrição e roçada, analisando os efeitos observados nos parâmetros físico-químicos ao longo do processo e na qualidade do composto obtido, em escala piloto.

4.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) auxiliar no levantamento de indicadores e dados, primários e secundários que subsidiarão a implementação da compostagem na UFJF;
- b) realizar uma análise de viabilidade técnica do processo;
- c) comparar a qualidade do composto gerado sem revolvimento e com revolvimento;
- d) comparar o substrato produzido com um solo vegetal.

5 METODOLOGIA CIENTÍFICA

A metodologia científica a ser trabalhada no projeto será tanto descritiva, atendendo aos três primeiros objetivos específicos, quanto hipotético-dedutiva, atendendo os próximos dois objetivos específicos. Apresenta natureza qualitativa e quantitativa, utilizando como estratégia de pesquisa o estudo de caso.

6 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Na presente revisão bibliográfica serão apresentados os principais temas relacionados a importância da arborização e seus resíduos vegetais, sobre a compostagem desses resíduos, os parâmetros de controle mais importantes durante a compostagem, e a qualidade necessária que esse composto deve atingir para que supra as necessidades da agricultura.

6.1 A PROBLEMÁTICA DOS RESÍDUOS VEGETAIS

O termo “poda” pode ser classificado como a retirada de partes de uma planta, com a utilização de determinadas técnicas. Essa atividade tem por finalidade a execução de um conjunto de cortes com objetivos diversos tais como a formação, ou estímulo ao crescimento, à floração e à frutificação; a limpeza, objetivando a eliminação de ramos mortos, doentes ou indesejáveis; a contenção, para limitar-se espaço, principalmente nas áreas urbanas, com o objetivo de melhorá-la em algum aspecto de interesse da sociedade; ou até mesmo para segurança da população, quando há perigo de interferência em edificações, instalações elétricas, redes aéreas e telefônicas (SEITZ, 1996; CEMIG, 2011; MAGALHÃES, 2018; MANGUEIRA, GOMES & SOUSA, 2019; BORKOWSKI, 2022).

De forma geral, a supressão da vegetação de porte arbóreo em propriedade pública ou privada fica subordinada à autorização, por escrito, do Administrador Regional competente. Em cidades que possuem um órgão municipal dedicado ao meio ambiente, somente o município poderá autorizar o corte de árvores, como é o caso da cidade de Juiz de Fora. Na cidade, a responsabilidade pela autorização para atividades referentes às árvores (poda drástica, corte, etc.) fica a cargo da Secretaria de Sustentabilidade em Meio Ambiente e Atividades Urbanas (Sesmaur) (JUIZ DE FORA, 2009).

Desta forma, mesmo um órgão federal, como é o caso da UFJF, Campus Juiz de Fora, por estar localizado em uma área urbana do município, deve respeitar a legislação municipal que trata do corte e da poda de árvores, solicitando autorização para a Secretaria de Sustentabilidade em Meio Ambiente e Atividades Urbanas da Prefeitura de Juiz de Fora (JUIZ DE FORA, 2009).

Para a solicitação de corte ou poda drástica, a PROINFRA (Pró-Reitoria de Infraestrutura e Gestão da Universidade Federal de Juiz de Fora) preenche um formulário próprio da Sesmaur realizando a descrição da situação das árvores e motivo pelo qual é solicitado o corte. A Sesmaur tem até 60 dias para atender à solicitação a partir do protocolo do pedido. A Sesmaur envia um analista ambiental para realizar uma vistoria no local e, então, é emitido um parecer deferindo ou indeferindo o pedido de corte. De posse deste parecer com autorização para corte, a PROINFRA tem até 60 dias para realizar o serviço que é, então, encaminhado para empresa terceirizada. Vale recordar que, como previsto na DN COMDEMA nº 37 de 01 de dezembro de 2009, poda é caracterizada

como menos de 50% de desbaste da copa da árvore, não sendo necessária a autorização da Sesmaur. Já para o caso de desbaste maior que 50% da copa, caracteriza-se como poda drástica, sendo necessária autorização (JUIZ DE FORA, 2009).

As operações de poda e de remoção da arborização urbana, além de varrição, capina e roçada, geram resíduos que são chamados de subprodutos madeireiros, como galhos, troncos, raízes e ramos de diferentes tamanhos. Ademais, são também gerados resíduos chamados de subprodutos não-madeireiros, como folhas, gramas, sementes, frutos e outras substâncias químicas presentes nas diferentes partes do vegetal (MEIRA, 2010; MAGALHÃES, 2018; BUGNI *et al.*, 2020).

O gerenciamento desses resíduos sólidos provenientes da poda, da roçada, da capina e da varrição depende, em grande parte, de fatores climáticos e sazonais, além de aspectos econômicos, culturais e sociais da população. A disposição final correta destes resíduos é, portanto, importante, principalmente, tratando-se da estética local, higiene e saúde. Além disso, o gerenciamento é relevante para a prevenção de riscos de enchentes causadas pelos entupimentos de vias de escoamento de águas (MAGALHÃES, 2018).

Ainda assim, pela falta de modelos de gerenciamento eficientes para esses resíduos, os municípios do país comumente encontram dificuldades para a disposição de resíduos provenientes da arborização e paisagismo urbano, sendo o gerenciamento inadequado dos resíduos um problema cada vez maior aos municípios brasileiros, que têm contribuído para prejudicar o desenvolvimento sustentável, afetando os pilares ambiental, social e econômico (MAGALHÃES, 2018; CESTONARO, BUGNI *et al.*, 2020; MOSER *et al.*, 2021; BARROS & MATOS, 2022).

De acordo com Meira (2010), a maior parte dos municípios brasileiros não têm políticas para arborização e paisagismo urbanos nem para a destinação ou o reaproveitamento dos resíduos de poda urbana. Algumas das causas para isso é que esses resíduos são gerados em grandes volumes com características físicas que inviabilizam sua compactação, além de apresentarem lenta degradação (MEIRA, 2010; MAGALHÃES, 2018).

Dentre as formas de gerenciamento correto para essa tipologia de resíduos estão a utilização dos resíduos vegetais maiores, na produção de energia, tanto na forma de carvão vegetal, quanto de lenha; e a confecção de objetos de madeira, como artigos domésticos, peças decorativas, brinquedos, mobiliário e objetos artesanais.

Porém, através da quantificação total da poda em estudo realizado por Meira (2010), sabe-se que a maior parte da biomassa gerada, cerca de 69%, são galhos finos e folhas, tendo maior potencial para ser transformada em composto orgânico, por apresentar um diâmetro inferior a oito centímetros, ressaltando a importância do tema na utilização de resíduos da arborização.

6.2 COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS VEGETAIS (COMPOSTAGEM SECA)

De acordo com diversos autores, a compostagem vem sendo utilizada pelo homem desde os tempos mais remotos; tanto vegetais como animais eram utilizados para serem incorporados ao solo, visando aumento da produção agrícola (KIEHL, 1985; FERNANDES & SILVA, 1999; BIDONE, 2001; CORTEZ, 2011; AZIM *et al.*, 2018). Este processo foi muito usado na antiguidade, sobretudo pelos orientais, que faziam uso intensivo de compostos orgânicos na produção de cereais. As técnicas empregadas eram artesanais e fundamentavam-se na formação de leiras ou montes de resíduos que ocasionalmente eram revolvidos (KIEHL, 1985; BARATTA JÚNIOR, 2007).

Atualmente existem técnicas que auxiliam na compostagem, acelerando a degradação da matéria orgânica e fornecendo um substrato rico em nutrientes para plantas. Diante disto, a compostagem é um processo biológico aeróbio (com presença de oxigênio) controlado de transformação ou biodegradação dos resíduos orgânicos (matéria orgânica) em substâncias húmicas, estabilizadas, com propriedades e com características diferentes do material que lhe deu origem (ABNT, 1996; KIEHL, 1985; FERNANDES & SILVA, 1999; PEIXOTO, 2005; BIDONE, 2001; BRASIL, 2017; BORGES, 2018; AYILARA *et al.*, 2020).

Essas transformações dos resíduos ocorrem principalmente através da ação de uma população diversificada de organismos em condições aeróbias e termofílicas, podendo ser subdividida em duas etapas: física (desintegração) e química (decomposição) (ABNT, 1996; SOUZA *et al.*, 2001; PEIXOTO, 2005; BRASIL, 2017). Em geral o processo demora de 75 a 90 dias (SOUZA *et al.*, 2001), mas a compostagem apenas de resíduos secos, sem a introdução de materiais ricos em nitrogênio normalmente é mais lenta. De acordo com Baratta Júnior (2007), Meira (2010), Cortez (2011) e Soares *et al.* (2018), leva entre 100 dias até 120 dias, podendo durar até 210 dias, segundo Reyes-Torres *et al.* (2018).

Os resíduos orgânicos variam grandemente em sua composição, apresentando uma ordem crescente de resistência à decomposição, conforme Quadro 1 (PEIXOTO, 2005; BARATTA JÚNIOR, 2007). Durante o processo, alguns destes componentes da matéria orgânica são utilizados pelos próprios microrganismos para formação de seus tecidos, como a energia, outros são volatilizados, como o desprendimento de gás carbônico, liberação de energia na forma de calor e água (na forma de vapor) (SOUZA *et al.*, 2001; BIDONE, 2001; PEIXOTO, 2005), e outros, transformados biologicamente em uma substância escura e uniforme, com consistência amanteigada, rica em partículas coloidais, com propriedades físicas e químicas bem diferentes da matéria-prima original (SOUZA *et al.*, 2001; BIDONE, 2001; BARATTA JÚNIOR, 2007).

Quadro 1 – Resistência à decomposição dos componentes dos resíduos orgânicos.

| Resistência à decomposição | Componentes | Composição |
|-----------------------------------|---------------------------|-------------------|
| Muito Baixa | Açúcares e amidos | 1 a 5% |
| Baixa | Proteínas | 1 a 15% |
| Média | Hemicelulose | 10 a 28% |
| Alta | Celulose | 20 a 50% |
| Muito Alta | Gorduras, ceras e taninos | 1 a 8% |
| Muito Alta | Ligninas | 10 a 30% |

Fonte: Elaborada pela autora (2022), adaptado de Peixoto (2005); Baratta Júnior (2007).

Essa substância, resultado do processo de compostagem, é chamada de composto, adubo orgânico homogêneo, sanitizado, sem cheiro, de cor escura, estável, solto, e com muitos nutrientes e características indispensáveis para as plantas. Esse composto, pronto para ser usado em qualquer cultura, atua de maneira dinâmica na melhoria dos solos, sem causar dano e proporcionando uma melhoria nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (KIEHL, 1985; FERNANDES & SILVA, 1999; SOUZA *et al.*, 2001; SOUZA *et al.*, 2020; CESTONARO, BARROS & MATOS, 2022).

Já a diferença entre a compostagem com materiais orgânicos úmidos, e a compostagem de resíduos secos, como poda, capina, varrição e roçada, é justamente o teor de nitrogênio encontrado, que acarretará maior relação C/N. Com isso, pode ocorrer menor temperatura na leira, lentidão no processo de compostagem e qualidade do composto final diferente. Nos capítulos seguintes será abordado com detalhes cada parâmetro de interesse da compostagem de resíduos provenientes da arborização e paisagismo urbano.

6.3 PARÂMETROS

A seguir serão apresentados os parâmetros mais importantes no controle da compostagem dos resíduos de poda, capina, varrição e roçada.

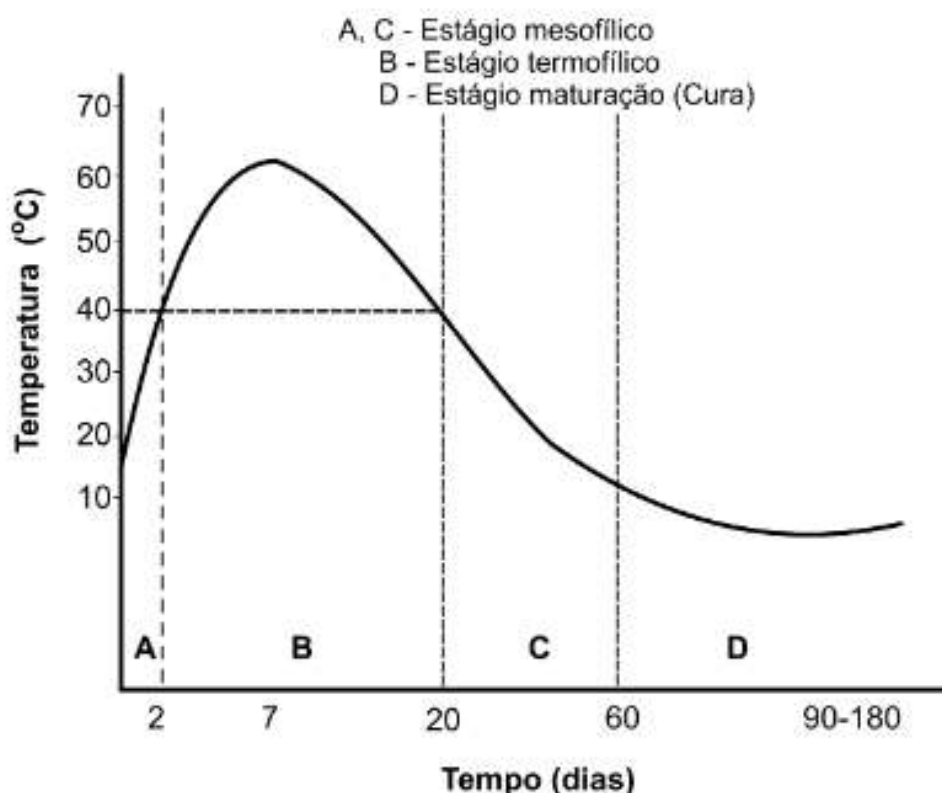
6.3.1 Temperatura

Na compostagem, o primeiro e principal indicador de desempenho do processo é o controle da temperatura, já que está intimamente relacionado à atividade microbiana e às condições ambientais da leira, como a aeração e umidade. Além de ser um bom indicador da taxa de decomposição do material orgânico e indicador da fase de maturação em que o composto se encontra (CWMI, 1996; FERNANDES & SILVA, 1999; SOUZA *et al.*, 2001; BIDONE, 2001; PEREIRA NETO, 2007; AZIM *et al.*, 2018).

Durante o processo de degradação da matéria orgânica na compostagem, se as condições são favoráveis para o desenvolvimento dos microrganismos, ocorre um comportamento característico de evolução da temperatura que vai assumindo diferentes valores ao

longo do tempo (Figura 1) (KIEHL, 1985; PEIXOTO, 2005; ROCHA *et al.*, 2015; AZIM *et al.*, 2018).

Figura 1 – Variação da temperatura, na leira, durante a compostagem.



Fonte: Peixoto (2005).

Assim, pode-se dividir essa evolução em quatro fases distintas. Inicialmente, ocorre a colonização do ambiente por microrganismos ainda em estado de latência, porém com uma intensa atividade metabólica, apresentando uma elevada síntese de DNA e enzimas. Com a multiplicação destes, e à medida que os microrganismos vão consumindo a matéria orgânica mais facilmente biodegradável, presente no meio, como carboidratos, a temperatura da composteira se eleva, chegando a temperaturas amenas, por volta de 30 a 45°C, correspondendo à fase mesófila (FERNANDES & SILVA, 1999; SOUZA *et al.*, 2001; PEIXOTO, 2005; PEREIRA NETO, 2007; ROCHA *et al.*, 2015). Nessa fase predominam bactérias e actinomicetos mesofílicos, que são responsáveis pela quebra inicial da matéria orgânica facilmente decomponíveis, promovendo a liberação de calor na massa de compostagem. Além da atuação de fungos, que são seres heterotróficos, que utilizam a matéria orgânica sintetizada pelas bactérias e outros microrganismos, como fonte de energia (PEIXOTO, 2005; VALENTE *et al.*, 2009; PEREIRA NETO, 2007).

Mais adiante esse aquecimento se acelera, devido à multiplicação de organismos aeróbicos que apresentam metabolismo exotérmico, chegando a temperaturas de 45°C até

65°C, sendo importante o controle da temperatura de 55°C a 65°C, ideal para decomposição de restos vegetais. Essa fase é então chamada de fase termófila (FERNANDES & SILVA, 1999; PEIXOTO, 2005; PEREIRA NETO, 2007; SOUZA *et al.*, 2001; AZIM *et al.*, 2018). Essa fase é caracterizada pela morte de microrganismos mesófilos e substituição por actinomicetos, bactérias e fungos termófilos. Estes, geram uma decomposição máxima que normalmente ocorre da matéria orgânica que ainda não foi degradada, como proteínas, aminoácidos, lipídeos e carboidratos recalcitrantes por bactérias e celulose e lignina pelos actinomicetos e fungos, já que é quando há máxima intensidade de atividade microbiológica, podendo durar mais de 20 dias (PEIXOTO, 2005; KIEHL, 1985; VALENTE *et al.*, 2009; AZIM *et al.*, 2018).

De acordo com diversos autores, se a fase termófila perdurar por mais de 20 dias, há uma grande chance de os organismos patogênicos e sementes indesejáveis serem eliminados (FERNANDES & SILVA, 1999; BARATTA JÚNIOR, 2007; SOUSA JÚNIOR, 2011; CORTEZ, 2011). De acordo com a Resolução CONAMA nº 380 (BRASIL, 2006) e Resolução nº 481 (BRASIL, 2017), a temperatura para pilhas ou leiras de compostagem deve manter uma média superior a 55°C por no mínimo 14 dias para eliminação dos organismos patogênicos.

Nesta faixa de temperatura ideal não haverá perdas significativas de nitrogênio. No entanto, a temperatura ficando superior ou igual à 65°C é desaconselhável, pois temperaturas elevadas, além de levar a perdas maiores de fontes de nitrogênio na forma de amônia ou óxido nitroso (aliada ao pH alto - acima de 8), podem causar eliminação de microrganismos mineralizantes da matéria orgânica pela insolubilização de proteínas hidrossolúveis, prejudicando a degradação desta e comprometendo a compostagem como um todo (KIEHL, 1985; FERNANDES & SILVA, 1999; PEIXOTO, 2005; VALENTE *et al.*, 2009).

Em terceira fase, a temperatura começa a decair novamente, devido à escassez de fonte de energia para os microrganismos termofílicos, chegando a temperaturas iguais à fase mesofílica, quando ocorre progressivamente a transformação das moléculas complexas em substâncias húmicas (BRITO, 2008; AZIM *et al.*, 2018). Até chegar a fase de maturação, onde a degradação da matéria orgânica e atividade microbiológica diminuem bastante e a temperatura já se estabilizou perto da temperatura ambiente abaixo de 35°C (SOUSA JÚNIOR, 2011). Na fase de maturação a atividade biológica é pequena, portanto, a necessidade de aeração também diminui. O processo ocorre com predominância de transformações de ordem química de polimerização de moléculas orgânicas estáveis no processo conhecido como humificação, acompanhada da mineralização de determinados componentes da matéria orgânica, como nitrogênio, fósforo, cálcio e magnésio, que passam da forma orgânica para a inorgânica, ficando disponíveis às plantas (KIEHL, 1985; FERNANDES & SILVA, 1999; VALENTE *et al.*, 2009).

Vale lembrar que, apesar de a literatura sugerir temperaturas consideradas ideais para a compostagem, a duração e a sequência das fases do processo de decomposição dependem da matéria prima e da manutenção das condições favoráveis para a compostagem (KIEHL, 1985; BORKOWSKI, 2022).

6.3.2 Umidade

Os resíduos vegetais possuem em média 90% de água, as folhas são mais ricas em água, e a matéria seca restante é formada por celulose, açúcares e proteínas, nos quais encontram-se os macro e micronutrientes (PEIXOTO, 2005; BARATTA JÚNIOR, 2007).

A presença de umidade na compostagem é um dos parâmetros mais importantes e deve ser dosada de forma que o processo ocorra de forma aeróbica. Esta água presente na massa de compostagem viabiliza as funções vitais dos microrganismos envolvidos no processo, desde à atividade metabólica até necessidade fisiológica dos microrganismos, e está intimamente relacionada à temperatura da leira de compostagem (PEREIRA NETO, 2007; SOUSA JÚNIOR, 2011).

Segundo reportado na literatura (KIEHL, 1985; CWMI, 1996; FERNANDES & SILVA, 1999; PEIXOTO, 2005; PEREIRA NETO, 2007; ROCHA *et al.*, 2015; CHIARELOTTO *et al.*, 2021) a umidade ideal situa-se na faixa de 50%, e um consenso que os valores entre 40% e 60% são os limites máximo e mínimo para que o processo ocorra de maneira satisfatória. Valores acima de 60% fazem com que os espaços vazios com ar (micro e macroporos) sejam preenchidos com água, diminuindo a penetração de oxigênio na leira, levando a uma anaerobiose e prejudicando, portanto, os microrganismos aeróbicos e as propriedades físicas e químicas do composto, além de provocar lixiviação dos nutrientes. Já valores abaixo de 40% comprometem a atividade microbiana do processo, fazendo com que o processo se torne lento ou até mesmo paralisado pela morte dos microrganismos (CWMI, 1996; FERNANDES & SILVA, 1999; RICHARD *et al.*, 2002; VALENTE *et al.*, 2009; CHIARELOTTO *et al.*, 2021).

Cortez (2011) recomenda sempre o revolvimento no momento da umidificação, para evitar o acúmulo de umidade na leira. Esta interação é importante para que a água não caminhe por canais preferenciais, ficando a leira com umidade distribuída de forma heterogênea. Além disso, durante o revolvimento, os restos, em fase de decomposição absorvem melhor a água (SOUZA *et al.*, 2001).

Resíduos vegetais normalmente apresentam umidade por volta de 44%, sendo necessário reposição de umidade nas leiras durante a compostagem para atingir a umidade ideal para o processo (PEREIRA NETO, 1987; SOUSA JÚNIOR, 2011).

6.3.3 Aeração e Revolvimento

A aeração e o revolvimento são dois dos parâmetros mais importantes para a correta degradação da matéria orgânica. Por ser um processo aeróbio, a compostagem necessita de oxigênio para atender às necessidades dos microrganismos envolvidos neste processo. Esta aeração está relacionada a diversos fatores: tamanho das partículas, tamanho das leiras, natureza do material, teor de umidade e o número de revolvimentos (FERNANDES & SILVA, 1999; PEREIRA NETO, 2007; AZIM *et al.*, 2018).

O revolvimento da leira é essencial, pois reduz as altas concentrações de CO_2 , produzido pela respiração dos microrganismos no interior das leiras, e aera a massa orgânica ao introduzir ar rico em oxigênio. Além disso, serve para aumentar a porosidade do meio, que sofre uma compactação natural devido ao peso próprio (reduzindo sua altura em até um terço da original) e homogeneizar o composto, misturando as camadas externas, mais secas, com as camadas internas, mais úmidas das leiras, permitindo uma reposição de umidade mais perfeita (FERNANDES & SILVA, 1999; PEIXOTO, 2005; SOUZA *et al.*, 2001; VALENTE, 2009; CORTEZ, 2011).

No início do processo de compostagem recomenda-se um revolvimento maior (FERNANDES & SILVA, 1999; VALENTE *et al.*, 2009; BORGES, 2018). Após a etapa inicial de degradação, Souza *et al.* (2001) e Fernandes & Silva (1999) recomendam serem feitos, ao longo do processo, de três a cinco revolvimentos, dependendo da textura do material utilizado, pois materiais mais grosseiros necessitam de maior número de revolvimentos. Recomendam serem realizados em intervalos de 25 a 30 dias, logo após o início da diminuição da temperatura, ou quando se notar a necessidade de fazê-los, por excesso de umidade, mau cheiro, presença de moscas, etc. Vale lembrar que o excesso de revolvimentos também é prejudicial à composteira, já que pode diminuir excessivamente a temperatura do meio, prejudicando a degradação da matéria orgânica e decomposição por parte dos microrganismos. Outro fator decorrente do excesso de aeração é a perda de fontes de nitrogênio por meio da volatilização da amônia e óxido nitroso (VALENTE *et al.*, 2009; CHIARELOTTO *et al.*, 2021).

Já segundo recomendações de Sousa Júnior (2011), nos primeiros 20 dias da compostagem o revolvimento deve ocorrer a cada 2 a 4 dias, e após esse período inicial, a cada 5 dias. Baratta Júnior (2007) e Borges (2018) já recomenda um revolvimento por semana nas primeiras seis semanas e após, dois revolvimentos por mês até o final do processo. Por fim, muitos autores, devido à dificuldade de se determinar a concentração de oxigênio no centro da leira, adotam o momento adequado para se fazer o revolvimento em função de outros fatores, como a temperatura (BIDONE, 2001; BENITO *et al.*, 2006; SELLAMI *et al.*, 2008; BORGES, 2018; MIGOT *et al.*, 2019; BORKOWSKI, 2022). Sellami *et al.* (2008) trabalhando com a compostagem da mistura de resíduos da produção de azeite de oliva, excretas de aves e casca de gergelim, em leiras estáticas arejadas, usaram

como parâmetro para a frequência dos revolvimentos, a temperatura interna de 55°C. Benito *et al.* (2006) compostando resíduos de plantas, realizaram os revolvimentos quando a temperatura excedeu os 80°C. Migot e al. (2019), compostando lodo de esgoto, resíduos de restaurante e resíduos de granja misturados com poda de árvore e aparas de grama realizava revolvimentos quando a temperatura excedia 65°C.

De acordo com Valente *et al.* (2009), baseado em estudos obtidos da literatura, pode-se concluir que, a frequência dos revolvimentos não tem necessariamente que ser executada com grande rigor, pois a atividade microbiana no interior da massa em compostagem, ocorre na presença de quantidades muito reduzidas de oxigênio. De acordo com o autor, a ausência de revolvimentos não é um fator prejudicial para o desenvolvimento do processo, principalmente no caso da compostagem de resíduos verdes, que naturalmente apresentam umidade menor. Porém, vale ressaltar que o não revolvimento poderá causar um aumento do tempo de compostagem além dos problemas já citados acima como excesso de umidade na leira de compostagem (SOUZA *et al.*, 2001).

6.3.4 Tamanho das partículas

O tamanho das partículas é fundamental na compostagem. Quanto menor as partículas, menor será a porosidade do material a ser compostado, prejudicando então as trocas gasosas e causando uma compactação excessiva da massa. Porém, partículas muito grandes são mais difíceis de degradar, diminuindo a velocidade de transformação, devido à menor área superficial, o que dificulta o ataque dos microrganismos. Portanto, devido a compostagem ser um processo dependente do fornecimento de oxigênio, as partículas devem ter um tamanho que permita tanto as trocas gasosas, quanto a degradação rápida da matéria orgânica pelos microrganismos, sendo ideal então a trituração dos resíduos verdes a serem compostados (PEIXOTO, 2005; AFONSO *et al.*, 2021; BORKOWSKI, 2022).

Segundo Fernandes & Silva (1999) alguns autores obtiveram condições ótimas de compostagem com substratos apresentando de 30 a 36% de porosidade. De modo geral, o tamanho das partículas deverá estar entre 0,5 e 5 cm, para que, ao ser misturado, confira integridade estrutural à mistura, permitindo boa aeração (FERNANDES & SILVA, 1999; BIDONE, 2001; BENITO *et al.*, 2006; PEIXOTO, 2005; PEREIRA NETO, 2007; BORKOWSKI, 2022).

6.3.5 Densidade aparente

A densidade do composto é um parâmetro importante de ser monitorada pois influencia as propriedades mecânicas do solo, como resistência, porosidade e facilidade de compactação (AZIM *et al.*, 2018). De acordo com Cortez (2011), os resíduos de poda apresentaram uma densidade aproximada de 0,15g/cm³. Já de acordo com Da Silva, Rocha & Da

Silva *et al.* (2018), as densidades de resíduos de folhas e aparas de grama no período inicial apresentaram valores de $0,04 \text{ g/cm}^3$, e sofreram aumento de densidade da biomassa úmida de aproximadamente 461%, chegando a aproximadamente $0,6 \text{ g/cm}^3$ aos 110 dias de compostagem.

Segundo Kiehl (1985), a adubação orgânica, quando feita de forma correta, reduz a densidade do solo trazendo benefícios e melhorando as características físicas dele. Isso ocorre uma vez que a matéria orgânica degradada (de densidade $0,17 \text{ a } 1 \text{ g/cm}^3$) (CAMARGO & ALLEONI, 2006; MOREIRA E SIQUEIRA 2006;) se junta às partículas minerais de maior densidade ($1,2 \text{ a } 1,4 \text{ g/cm}^3$) (KIEHL, 1985; SOUSA JÚNIOR, 2011).

Dentre as vantagens para o solo estão a retenção de água, devido a característica inerente da matéria orgânica de reter até 160% seu volume em água, além da melhora na estruturação, granulação e melhora na capacidade de infiltração do solo e aumento de porosidade (KIEHL, 1985; MOREIRA E SIQUEIRA 2006; SOUSA JÚNIOR, 2011).

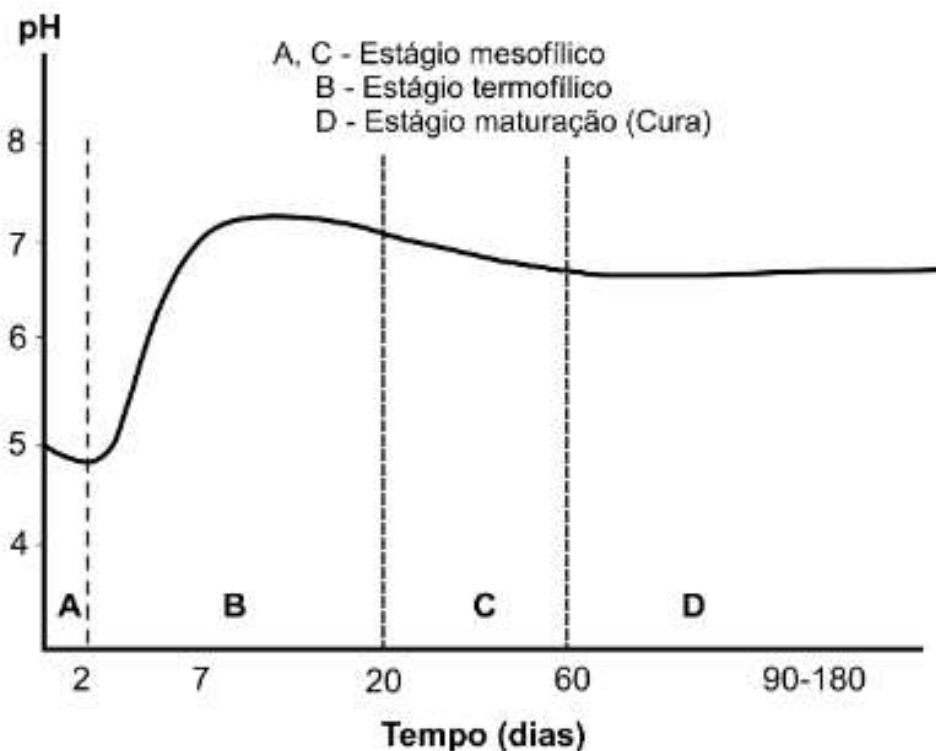
Aqui vale ressaltar a importância desse aspecto que a compostagem pode resultar na estruturação do solo, visto que esse é um aspecto difícil de modificar por métodos de adubação/fertilização mineral (SOUSA JÚNIOR, 2011).

6.3.6 pH

O acompanhamento do pH permite diagnosticar a fase em que a compostagem se encontra. Inicialmente ocorre um decréscimo no pH geralmente inferior a 6,0, indicando que o composto está na fase inicial de compostagem (cerca de 40 dias), devido à produção de ácidos orgânicos (Figura 2). Este aumento da acidez no início do processo de compostagem proporciona o crescimento de fungos e a quebra de lignina e de celulose, sendo de grande importância para a decomposição da matéria orgânica. Nesse período também percebe-se certa fitotoxicidade no composto, que pode ser provocada pela presença conjunta de nitrogênio amoniacal, dióxido de carbono e ácidos orgânicos variados (FERNANDES & SILVA, 1999; PEIXOTO, 2005; DA SILVA, ROCHA & DA SILVA, 2018; TOLEDO *et al.*, 2020).

Após esse momento inicial, é possível observar o aumento do pH, explicado pela hidrólise das proteínas e observado pela liberação de amônia, que permanece entre 6,0 e 7,6. Neste instante é sinal que o composto está semicurado ou bioestabilizado. A partir do momento em que o pH se torna superior a 7,6, o composto se torna maturado ou humificado. Esta evolução ocorre devido à produção de ácidos orgânicos em reação com as bases liberadas da matéria orgânica durante a decomposição no início do processo, onde o ataque microbiano nos resíduos orgânicos promove um aumento do pH através da descarboxilação de ânions orgânicos que consomem prótons, e depois pela hidrólise das proteínas e liberação de amônia (PEIXOTO, 2005; PAVINATO & ROSOLEM, 2008; DA SILVA, ROCHA & DA SILVA, 2018; AZIM *et al.*, 2018).

Figura 2 – Variação do pH, na pilha, durante a compostagem.



Fonte: Peixoto (2005).

Assim, compostos estabilizados comumente apresentam pH acima de 7,0 a 8,5, sendo ótimos condicionantes para solos ácidos (PEREIRA NETO, 2007; QING *et al.*, 2020; CESTONARO, BARROS & MATOS, 2022).

De acordo com Fernandes & Silva (1999), misturas que apresentam pH próximo de 5,0 ou ligeiramente inferior podem ser prejudicadas pois há uma diminuição drástica da atividade microbiológica e o composto pode não passar para a fase termófila. Porém, de acordo com o mesmo autor, de maneira geral o pH geralmente não é um fator crítico da compostagem. E em experiência realizada no Laboratório Nacional de Engenharia Sanitária e Ambiental (LESA) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), verificou-se a compostagem ocorrendo em valores bem mais amplos de pH, de 4,5 a 9,5 (SOUSA JÚNIOR, 2011), já que os valores extremos são automaticamente regulados pelos microrganismos por meio da degradação de compostos que produzirão substâncias ácidas ou básicas, de acordo com a necessidade do meio (PEREIRA NETO, 2007; VALENTE *et al.*, 2009; AZIM *et al.*, 2018).

6.3.7 Condutividade elétrica e salinidade

Um possível problema que pode ocorrer em solos cultivados é a salinização, ou seja, o acúmulo de sais no solo, provenientes do manejo incorreto de fertilizantes. O excesso de sais solúveis e/ou sódio trocável, geram problemas para o solo, pois dificulta a absorção de

água pelas plantas, provocando diminuição do rendimento das culturas (AMORIM *et al.*, 2010; MIGOT *et al.*, 2019; BORKOWSKI, 2022).

Algumas medidas preventivas como a utilização racional de fertilizantes, dando preferência aos altamente solúveis, devem, portanto, ser adotadas no sentido de evitar o processo de salinização. Outra técnica interessante é a aplicação periódica de matéria orgânica incorporada ao solo, que traz diversas vantagens para o solo, expostas no capítulo 6.4.1. Além disso vale ressaltar a importância do preparo de solo adequado, e dimensionamento adequado do sistema de irrigação, sendo inclusive recomendado, para tratamento da alta salinidade do solo, uma subsolagem e uma irrigação pesada para lavar os sais (RIBEIRO, GUIMARÃES, ALVAREZ V., 1999).

Para se estimar a quantidade de sais existentes na solução do solo, pode-se monitorar a condutividade elétrica (CE) do solo, refletindo o grau de salinidade em que o solo se encontra (RIBEIRO, GUIMARÃES, ALVAREZ V., 1999; TOLEDO *et al.*, 2020).

O valor da condutividade elétrica pode ser obtido pela medição, direta em extrato de solo saturado, com aparelho apropriado (condutivímetro) e, normalmente é expresso nas unidades: mS/cm, μ S/cm ou dS/m (S = Siemens) (RIBEIRO, GUIMARÃES, ALVAREZ V., 1999).

A condutividade elétrica reflete a degradação e mineralização da matéria orgânica. Aumentos na CE durante o estágio inicial da compostagem podem ser observados devido à produção e acúmulo de componentes solúveis (por exemplo, NH_4^+) provenientes da degradação da matéria orgânica, e uma condutividade elétrica muito alta inibe a germinação e desenvolvimento de mudas (MENG *et al.*, 2019; YANG *et al.*, 2021; KONG *et al.*, 2022). Enquanto que diminuições graduais até o final da compostagem são causadas principalmente pela degradação e redução de componentes solúveis, por exemplo, a volatilização do carbono orgânico e a humificação dos materiais de compostagem transformando sal e ácidos orgânicos micromoleculares em húmus macromolecular (HE *et al.*, 2020).

O valor de salinidade tolerada depende da espécie, ocorrendo prejuízos na produtividade quando a CE do solo ultrapassa determinado valor. A Figura 3 apresenta os valores limites de tolerância de algumas hortaliças à salinidade (RIBEIRO, GUIMARÃES, ALVAREZ V., 1999).

Destaca-se que salsa, ervilha e cenoura são cultivares sensíveis à salinidade, enquanto que a alface é levemente sensível. No caso da cultura da alface, valores de condutividade elétrica superiores a 1,3 dS/m podem ser prejudiciais para o desenvolvimento das mudas, enquanto que Jorge *et al.* (2020) afirma que valores superiores a 0,8 dS/m já poderiam fazer com que a cultura não seja capaz de absorver efetivamente nutrientes e água. Das hortaliças apresentadas, apenas o aspargo seria tolerável à salinidade, suportando mais de 4 dS/m de salinidade.

Figura 3 – Tolerância de algumas hortaliças à salinidade

| Cultura | Condutividade elétrica em extrato de solo saturado | | Classificação ^{3/} |
|-----------|---|---|-----------------------------|
| | Valor limite ^{1/} | Perda de Produtividade ^{2/} | |
| | dS/m | % / dS/m | |
| Abóbora | 2,5 | 13,0 | LS |
| Aipo | 1,8 | 6,2 | LS |
| Alface | 1,3 | 13,0 | LS |
| Aspargo | 4,1 | 2,0 | T |
| Batata | 1,7 | 12,0 | LS |
| Beterraba | 4,0 | 9,0 | GT |
| Brócolos | 2,8 | 9,2 | LS |
| Cenoura | 1,0 | 14,0 | S |
| Couve | - | - | LS |
| Ervilha | - | - | S |
| Espinafre | 2,0 | 7,6 | LS |
| Melão | - | - | LS |
| Nabo | 0,9 | 9,0 | LS |
| Pepino | 2,0 – 2,5 | - | - |
| Pimentão | 1,8 – 2,2 | - | - |
| Salsa | - | - | S |
| Rabaneite | 1,2 | 13,0 | LS |
| Repolho | 1,8 | 9,7 | LS |
| Tomate | 2,0 – 4,0 | 9,9 | LS |

^{1/} Valor limite (deciSiemens/m) a partir do qual há prejuízos na produtividade. ^{2/} Porcentagem de perda da produtividade por unidade de dS/m a partir do valor limite. ^{3/} T= Tolerante, GT = Geralmente Tolerante, LS = Levemente Sensível, S = Sensível.

Fonte: Ribeiro, Guimarães, Alvarez V. (1999).

6.3.8 Relação C/N

Os microrganismos necessitam de fonte de carbono como fonte de energia e como componente elementar para sua formação; e nitrogênio para síntese de proteínas, aminoácidos, ácidos nucleicos, enzimas, coenzimas, pigmentos e vitaminas, sendo a relação C/N essencial para um bom equilíbrio da leira de compostagem (BATISTA *et al.*, 2018; AZIM *et al.*, 2018; JORGE *et al.*, 2020; TOLEDO *et al.*, 2020; CHIARELOTTO *et al.*, 2021). Assim, normalmente na compostagem são introduzidos tanto materiais ricos em carbono, quanto materiais ricos em nitrogênio. Na compostagem de resíduos secos normalmente não há introdução suficiente de materiais ricos em nitrogênio. Porém, a falta desses materiais, em quantidade ou qualidade adequados, não impede o processo de compostagem, somente causa um prolongamento no processo devido ao crescimento limitado dos microrganismos decompositores (KHIEL, 1995; REYES-TORRES *et al.*, 2018; JORGE *et al.*, 2020; AFONSO *et al.*, 2021). Segundo Kiehl (1985); MAPA (2017) e Meira (2010), o importante é garantir pelo menos 40% de matéria orgânica total e 1% de nitrogênio. Outro fato a ser levado em conta é que, quando parte do carbono disponível é de difícil degradação, como a celulose, a lignina e a hemicelulose presente nos resíduos vegetais, é aconselhável uma relação C/N inicial maior, pois o carbono biodisponível é inferior ao carbono total (VALENTE *et al.*, 2009).

Normalmente pesquisadores (KIEHL, 1985; PEIXOTO, 2005; AZIM *et al.*, 2018; AYILARA *et al.*, 2020; JORGE *et al.*, 2020) sugerem relações C/N iniciais próximas a 20/1 a 30/1. Porém, apesar desses valores sugeridos para a relação C/N ótima na

compostagem, constata-se que não poderá ser um valor absoluto, mas sim, que deve variar com as características do material a compostar (VALENTE *et al.*, 2009).

Essa relação inicial ótima tem como razão o fato de os microrganismos que realizam a decomposição da matéria orgânica absorverem os elementos carbono e nitrogênio na proporção de 20 a 30 partes de carbono para uma parte de nitrogênio (relação C/N igual a 20/1 a 30/1). Assim, eliminam 2/3 do carbono na forma de gás carbônico (CO_2) e imobilizam no seu protoplasma celular cerca de 1/3. Já o nitrogênio é majoritariamente incorporado nos tecidos celulares dos microrganismos, sendo seu excedente liberado como amônia. Por esta razão o produto final da compostagem (húmus) tem uma relação C/N próxima a 10/1 (KHIEL, 1995; PEIXOTO, 2005; AYILARA *et al.*, 2020; MOSER *et al.*, 2021).

Segundo indicações de Fernandes & Silva (1999), independentemente da relação C/N inicial, a relação C/N no final do processo converge para valores baixos, próximos a 10/1, devido a perdas maiores de carbono que de nitrogênio, indicando uma estabilização do material orgânico ao longo do período. Fato corroborado por Da Silva, Rocha & Da Silva *et al.* (2018) em experimento no Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Os autores realizaram a compostagem com galhos triturados e resíduos vegetais com alta proporção C/N de 49:1, diferindo significativamente de outros resíduos estudados com inoculação de fontes de nitrogênio, e obtiveram, após 110 dias de compostagem, relações C/N semelhantes, sem diferença significativa, a 95% de confiança, entre os tratamentos com diferentes tipos de resíduos.

Fato também corroborado por Corrêa (1998) que avaliou diferentes tipos de camas na criação de suínos, como casca de arroz, maravalha, sabugo de milho e serragem, e verificou que no alojamento dos animais, no primeiro lote, os materiais apresentaram, respectivamente, os seguintes valores para a relação C/N: 85/1; 513/1; 87/1 e 179/1, sendo que ao final de três lotes criados sobre as camas, os valores reduziram para 14/1; 15/1; 12/1 e 20/1, respectivamente.

Além disso, mesmo um composto não totalmente curado, apresentando relação C/N entre 13/1 a 18/1, chamado de semicurado ou bioestabilizado, pode ser utilizado sem risco de causar danos às plantas (KHIEL, 1995; PEIXOTO, 2005; MEIRA, 2010; AFONSO *et al.*, 2021).

Geralmente a matéria orgânica fibrosa, rica em carbono, apresenta uma relação C/N de 70/1 a 90/1 (THOMSEN, 2000). Enquanto que os resíduos de poda normalmente apresentam alta relação C/N (KIEHL, 1985; BARATTA JÚNIOR, 2007; SOUSA JÚNIOR, 2011; REYES-TORRES *et al.*, 2018) da ordem de 83,4 para podas de árvore e 50,3 para aparas de grama (MIGOT *et al.*, 2019). Já de acordo com Cortez (2011), resíduos de poda de árvore apresentam relação próxima a 35/1, e segundo Meira (2010), próximo a 41/1.

6.4 QUALIDADE DO SUBSTRATO PARA PRODUÇÃO DE MUDAS

O composto gerado pela compostagem de resíduos vegetais é dotado de todas ou quase todas as características essenciais para um bom substrato agrícola. A sua utilização ajuda a conservar o solo, melhorando suas condições físicas e químicas. Diferentemente do uso indiscriminado de fertilizantes industriais, que podem causar sobrecarga de nutrientes no solo e águas subterrâneas, trazendo toxicidade química e lixiviação nos cursos d'água, além de provocar escassez precoce de diversas reservas naturais (PEIXOTO, 2005; ROCHA *et al.*, 2015; AYILARA *et al.*, 2020).

Além dessa vantagem, os fertilizantes orgânicos não alteram a composição química dos vegetais, e conseqüentemente sua qualidade biológica, pelo contrário, auxiliam na ativação da atividade biológica do solo, tanto estimulando a atividade dos microrganismos nativos, como também ao introduzir novos. Sendo assim são bastante recomendados como forma de manter o equilíbrio nutricional e torná-las menos predispostas a pragas e doenças (SOUZA *et al.*, 2001; AYILARA *et al.*, 2020).

Por último, a maior vantagem da utilização dos adubos orgânicos em relação aos minerais é sua capacidade de provimento dos nutrientes (principalmente fósforo, potássio, cálcio e magnésio) de forma gradual, à medida que são demandados para o crescimento da planta, diminuindo as perdas por volatilização (principalmente do nitrogênio), fixação do fósforo, ou lixiviação (principalmente do potássio) (SOUSA JÚNIOR, 2011).

6.4.1 Matéria Orgânica

O teor de matéria orgânica do solo depende de diversos fatores como o clima, a textura, a topografia e o uso do solo ou cobertura vegetal natural. Em solos naturais seu incremento pode ocorrer naturalmente pelos processos biológicos de quase toda a fauna e flora existentes no local. Porém, como os solos são muito susceptíveis à degradação ambiental antrópica, devido a sua parte mais rica se encontrar na parte mais superior dele, ou seja, totalmente exposta às atividades antrópicas, um dos maiores problemas da atualidade está em se perder a matéria orgânica que há presente nessa camada mais superior do solo, também chamada de horizonte A (BARROS, 2013). Assim, a utilização do composto orgânico pode ser uma alternativa à problemática, visto que tende a aumentar a matéria orgânica (GUERRA, 1990).

A fração mais importante da matéria orgânica são as substâncias húmicas, materiais poliméricos originados da decomposição da lignina (substância presente no exterior das células vegetais responsável por sua rigidez e defesa). A partir da atuação da micro e macrofauna além dos catalisadores abióticos, os resíduos vegetais vão sendo transformados em frações leves, posteriormente ácidos fúlvicos e húmicos até formar a humina, de coloração bem escura. Esse componente da matéria orgânica é considerado a sua parte mais estável e é ela que tem a capacidade de interagir com íons metálicos, de manter o pH

mais constante e de ser um grande nutriente para as plantas (PEIXOTO, 2005; GRANDO, CAVALHEIRO & RHODEN, 2017).

Além da sua grande importância nutricional para o solo, com a liberação de nitrogênio e fósforo por exemplo, além de outros macronutrientes para as plantas, a matéria orgânica tem a potencialidade de inativação de elementos tóxicos, a capacidade de trocar cátions importantes para a nutrição das plantas com o solo (aumenta a CTC do solo), e ainda um alto poder tamponante, ou seja, ajuda a regular o pH do solo (RIBEIRO, GUIMARÃES & ALVAREZ, 1999; GRANDO, CAVALHEIRO & RHODEN, 2017). Ainda, para os microrganismos, ela serve como uma forma de abrigo e de fonte de carbono necessária para a sua sobrevivência. Além de fonte de nitrogênio, já que sua composição é basicamente por proteínas e aminoácidos, que, por sua vez, são formados por grupos químicos de ácidos carboxílicos e aminos. Os grupos aminos apresentam em sua formulação a molécula de nitrogênio que podem servir de fonte de nutrientes para os microrganismos presentes no solo (RIBEIRO, GUIMARÃES & ALVAREZ, 1999; FIALHO, 2007).

Porém, uma das funções mais importantes da matéria orgânica é a de auxiliar na estruturação do solo, e evitar a susceptibilidade à erosão. A parte sólida do solo normalmente se organiza em “agregados“, e a formação destes agregados depende de elementos de ligação, que funcionam como elementos cimentantes na sua estruturação. Estes agentes de ligação são colóides, que podem ser minerais (argilas) ou orgânicos (húmus). Portanto a matéria orgânica humificada permite maior agregação e coesão entre as partículas, auxiliando na formação de agregados maiores que proporcionarão a formação dos macroporos e microporos (RIBEIRO, GUIMARÃES & ALVAREZ, 1999; FERNANDES & SILVA, 1999; PEIXOTO, 2005; LOSS *et al.*, 2014; KLEIN & KLEIN, 2015; GOMES, 2015; COTTA *et al.*, 2015).

Os macroporos e microporos são responsáveis por proporcionar ao solo a possibilidade de infiltração e retenção da água, respectivamente, possibilitando uma boa aeração do solo, aumentando a sua porosidade, reduzindo a plasticidade e a coesão do solo, e consequentemente diminuindo a sua densidade, auxiliando também de forma a evitar a erodibilidade, uma das grandes causas da degradação ambiental dos solos (RIBEIRO, GUIMARÃES & ALVAREZ, 1999; GRANDO, CAVALHEIRO & RHODEN, 2017; BATISTA *et al.*, 2018). A presença de micro e macroporos auxilia também na germinação de sementes, iniciação radicular e disponibilização dos nutrientes para desenvolvimento do sistema radicular e aéreo (FERNANDES & SILVA, 1999; BARATTA JÚNIOR, 2007; COTTA *et al.*, 2015).

Ainda, os colóides formados pela presença de matéria orgânica no meio, além de estruturar o solo, também se constituem na parte quimicamente ativa do sistema, armazenando os nutrientes mais solúveis, que servirão para as plantas (FERNANDES &

SILVA, 1999).

Em trabalho realizado por Smith *et al.* (1985), os autores concluíram a grande importância da matéria orgânica em solos com diferentes mineralogias para aumentar a plasticidade deste. Isso ocorre pelo fato de que o aumento do teor de matéria orgânica no solo tende a aumentar a sua área superficial específica, elevando assim, os valores dos limites de plasticidade. Klein & Klein (2015) citam a melhora substancial que a introdução da matéria orgânica ao solo pode causar na estrutura do mesmo, já que favorece o desenvolvimento radicular das plantas e ainda aumenta o tamanho do reservatório de água disponível. Segundo Kiehl (1985), só a matéria orgânica, ainda não estabilizada, apresenta a capacidade de retenção de água em torno de 80%, enquanto que os materiais humificados podem apresentar capacidade de 300 a 400% de retenção de água, servindo como um grande reservatório para as plantas.

Segundo Hoitink & Boehm (1999), a adição de matéria orgânica, proveniente da compostagem, ao solo auxilia para que uma grande diversidade de agentes de controle biológico atue diretamente no controle de várias populações de patógenos do solo, causadores de doenças de plantas. O autor cita que estes microrganismos, por apresentarem diversos mecanismos de biocontrole, promovem um equilíbrio sustentável na biota do solo.

6.4.2 CTC do solo

A matéria orgânica presente no solo, após passar por processos de decomposição e de mineralização, geram um residual orgânico de composição química variável conhecido como húmus. Estes, coloides orgânicos, formam a fração quimicamente ativa desse solo, e podem apresentar excedente de cargas negativas ou positivas que deverão ser contrabalanceadas pelos íons que se encontram dissolvidos na solução do solo (BATISTA *et al.*, 2018).

Assim, a capacidade de troca catiônica (CTC) mede a potência do solo em armazenar nutrientes presentes na forma catiônica (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e NH_4^+ , por exemplo), que estavam outrora presentes na solução do solo, e posteriormente trocá-los com espécies vegetais. Desta maneira, os nutrientes aderidos às superfícies dos minerais de argila por forças eletrostáticas, fenômeno denominado de adsorção, são menos passíveis de ser perdidos por lavagem, devido às chuvas ou à umidificação, passando então a ser disponibilizados gradualmente às plantas. Os grupos funcionais das substâncias húmicas têm grande importância na CTC do solo, sendo este parâmetro uma medida indireta para caracterizar o nível de humificação de um composto (FERNANDES & SILVA, 1999; COUTO *et al.*, 2010; CESTONARO, BARROS & MATOS, 2022).

6.4.3 Nitrogênio, Potássio, Fósforo e Enxofre

Nitrogênio, fósforo, potássio e enxofre são os principais nutrientes exigidos para o crescimento das plantas e favorecer a sua produtividade. Embora os micronutrientes

também sejam necessários para o desenvolvimento normal das plantas, concentrações mais altas levam à toxicidade (RAZAQ *et al.*, 2017; AYILARA *et al.*, 2020).

O nitrogênio é um dos elementos mais importantes e um fator limitante para o desenvolvimento vegetal, pelo fato de os microrganismos necessitarem de nitrogênio para síntese de proteínas e por ele ser precursor de ácidos nucleicos, hormônios vegetais e proteínas (FERNANDES & SILVA, 1999; AYILARA *et al.*, 2020; BUGNI *et al.*, 2020). Massas de materiais lenhosos normalmente apresentam teores de 0,2% a 0,5% de N, enquanto plantas herbáceas, como as gramíneas, têm normalmente de 0,5% a 1,5% de N, e as leguminosas de 1,5% a 3,0% de N (PEIXOTO, 2005). Diferentemente dos outros compostos nutrientes, deve-se ter cuidado com o nitrogênio na compostagem devido a sua facilidade de volatilização em forma de amônia, quando em condições de valores de pH maiores que 7,0 e temperatura superior a 60 °C (PEIXOTO, 2005).

O nitrogênio nas plantas é um dos responsáveis pelo crescimento rápido, cor verde brilhante, devido à formação de pigmentos fotossintéticos ativos por aumento das quantidades de proteínas estromais e tilacóides nas folhas e sistema radicular diminuído das plantas. Além disso, uma planta bem nutrida de nitrogênio apresenta alto crescimento e desenvolvimento, tecidos tenros e atraso na maturidade (MACIEL, KOVALESKI & BONA, 2021). A deficiência de nitrogênio normalmente pode causar perda na cor verde das folhas, crescimento atrofiado, baixo desenvolvimento dos cloroplastos nas folhas, baixo teor de proteína e coloração amarela (RAZAQ *et al.*, 2017; AYILARA *et al.*, 2020).

O fósforo (P), de forma geral, é o macronutriente acumulado em quantidades menores. Na planta, o elemento é integrante de vários compostos importantes, como os intermediários de açúcares, fosfolipídeos e fosfoproteínas, que são responsáveis pela integridade das membranas celulares, constituinte da estrutura complexa de ácidos nucleicos, além de desempenhar papel importante nas transferências de energia na respiração e na fotossíntese. O fósforo é, portanto, importante na divisão celular da planta, e aquisição, armazenamento e transformações complexas de energia nos vegetais. É necessário para a formação de compostos biorgânicos e ativo em processos metabólicos (BATISTA *et al.*, 2018; BUGNI *et al.*, 2020; MACIEL, KOVALESKI & BONA, 2021). A adição de fósforo ao solo pobre desse nutriente promove o crescimento das raízes, resistência ao inverno, estimula o cultivo e muitas vezes acelera a maturidade das plantas. A deficiência de fósforo pode levar ao crescimento atrofiado, desenvolvimento deficiente e maturação tardia de sementes e frutos, diminuir as taxas fotossintéticas, os teores de proteínas e de lipídeos, e pode haver uma mudança na cor das folhas maduras para coloração azul-escura ou roxa característica nas plantas (KHATER, 2015; RAZAQ *et al.*, 2017; BATISTA *et al.*, 2018).

O potássio (K) é o segundo elemento requerido em quantidade pelas plantas e o cátion mais abundante no tecido vegetal. Diferentemente do nitrogênio e fósforo, o potássio não tem função estrutural nas plantas, embora o elemento desempenhe papel

fundamental na ativação de vários fenômenos fisiológicos no interior da planta, chegando a acionar mais de oitenta enzimas. Além disso, o K é o elemento mais importante envolvido na regulação osmótica e essa função permite ao potássio atuar em outros eventos fisiológicos fundamentais da planta, como absorção de água, regulação da abertura e fechamento estomático, crescimento vegetal, favorecimento do transporte, redistribuição e armazenamento de carboidratos e nutrientes no interior da planta, desenvolvimento de caroteno e conteúdo de clorofila, estando ligado a diversos processos energéticos e fisiológicos. Promove o vigor e a cor das plantas, sendo necessário para a planta criar açúcares. Também é essencial porque ajuda a planta a resistir a doenças e sobreviver a condições climáticas adversas, como seca e frio, pois aumenta a espessura da parede celular, que gera mais rigidez dos tecidos e ajuda a promover rápida recuperação das injúrias (BATISTA *et al.*, 2018; BUGNI *et al.*, 2020; MACIEL, KOVALESKI & BONA, 2021). A deficiência de potássio nas plantas pode levar à queima e escurecimento das pontas das folhas mais velhas, que progride para as folhas totais com o tempo. Talos fracos também podem estar associados à deficiência de potássio (AYILARA *et al.*, 2020).

A dinâmica desse elemento é influenciada pelo regime hídrico, e está relacionada ao potássio não fazer parte de nenhuma estrutura ou molécula orgânica. Também é encontrado como cátion livre ou adsorvido, o que, devido à sua alta mobilidade, o torna facilmente trocável em células ou tecidos (Da SILVA, ROCHA & Da SILVA *et al.*, 2018).

O enxofre (S), dentre outras ações, é conhecido por alterar o fluxo de elétrons na cadeia respiratória mitocondrial, tornando-o fungitóxico, além de ser componente estrutural de aminoácidos como a metionina e a cisteína e também de ser estabilizante de proteínas por meio das ligações dissulfeto (S-S), que mantêm a estabilidade das ligações terciárias das proteínas. O S está presente em membranas (sulfolipídeos) e como grupo prostético de enzimas e coenzimas (nitrogenase, ferredoxina, biotina e tiamina). Essas funções são imprescindíveis para os processos de fotossíntese, a resistência ao déficit hídrico, a fixação biológica de nitrogênio, o desenvolvimento radicular, entre outras funções (BATISTA *et al.*, 2018; MACIEL, KOVALESKI & BONA, 2021).

6.4.4 Utilização do composto

Como dito anteriormente, a matéria orgânica no solo apresenta variadas frações funcionais, biológicas, físicas e químicas (6.4.1), e dependendo do grau de maturidade do composto gerado e estabilidade da matéria orgânica presente nele, pode servir de várias formas. A matéria orgânica bem estabilizada e bastante humificada normalmente é rica em colóides húmicos, que tem ação nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, e apresenta alto poder tamponante e alta CTC, além de favorecer na estruturação do solo. Este tipo de matéria orgânica é chamada de condicionadora físico-química do solo, e apresenta tempos de permanência de décadas ou mesmo centenas de anos (FERNANDES

& SILVA, 1999; LEITE *et al.*, 2015; CESTONARO, BARROS & MATOS, 2022).

Os compostos gerados a partir da compostagem de resíduos secos normalmente apresentam essas características, e são mais direcionados a atuar como condicionador das propriedades físicas do solo. Isso porque utilizam-se preferencialmente ingredientes ricos em carbono e um baixo volume de ingredientes ricos em nitrogênio, apenas o suficiente para que ocorra o processo de fermentação. Em consequência, o processo de compostagem será mais lento e o teor final de nutrientes será baixo (6.3.8). Segundo alguns autores, para esta finalidade é melhor que o composto não esteja completamente maduro. Este composto pode ser usado para melhorar a agregação de solos arenosos ou tornar mais leves os solos argilosos pesados (diminuição da densidade 6.3.5 (SOUZA *et al.*, 2001).

Já a matéria orgânica menos estabilizada, porém bastante humificada, pode servir como uma grande fornecedora de nutrientes e fonte de carbono para o solo, pois assim ela apresenta muitas substâncias que ainda não foram decompostas, mas que possuem decomposição fácil e rápida, que podem durar meses ou poucos anos (PEIXOTO, 2005). Por último, a matéria orgânica que serve como uma boa condicionadora biológica do solo é aquela que vai servir como uma fonte de carbono e de abrigo para os microrganismos (LEITE *et al.*, 2015). Se o objetivo for utilizar o composto para fornecer nutrientes ao solo ou às plantas, o composto pode ainda ser enriquecido com substâncias tais como calcário, farinha de ossos, fosfatos naturais, cinzas, etc. (SOUZA *et al.*, 2001; UFPB, 2020)).

Empiricamente, uma dose de 10 toneladas por hectare ($1,0\text{kg}/\text{m}^2$) é considerada como adubação leve, 20 toneladas ($2,0\text{kg}/\text{m}^2$) como média, e acima de 40 toneladas ($4,0\text{kg}/\text{m}^2$) como adubação pesada. Em árvores adultas, o composto deve ser aplicado no raio da cobertura da copa (saia), em doses variando de 25 a 30 litros por planta. O composto pode ser aplicado próximo às sementes, mudas e plantas adultas sem causar problemas. Pode ser incorporado ao solo ou aplicado à superfície, porém, é aconselhável cobri-lo com terra ou palha para evitar perdas pela ação das intempéries (SOUZA *et al.*, 2001).

7 MATERIAL E MÉTODOS

No presente capítulo serão apresentados o material e os métodos utilizados na descrição da compostagem que foi realizada dentro da UFJF, Campus Juiz de Fora, além do detalhamento do tratamento de dados utilizados na dissertação.

7.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

A Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) é uma universidade pública, sediada em Juiz de Fora (MG), com um campus avançado em Governador Valadares (MG). A instituição posiciona-se como um polo científico e cultural de uma região de mais de três milhões de habitantes e está classificada entre as melhores universidades da América Latina, com reconhecimento nacional e internacional.

Foi criada no ano de 1960, através de um decreto do então presidente Juscelino Kubitschek, que federalizava e agregava as instituições de ensino superior existentes na cidade de Juiz de Fora. Na época, eram oferecidos apenas seis cursos de graduação, comparados com as 93 opções de cursos de graduação oferecidas hoje, além de 36 de mestrado e 17 de doutorado, em todas as áreas do conhecimento. Pelo campus da UFJF circulam diariamente mais de 20 mil alunos, sem contar os cerca de três mil estudantes da educação a distância (UFJF, 2021a).

O local de estudo possui latitude 21° 46' 37.0"S, longitude 43° 22' 21.1"W e altitude de 920 m, de acordo com a classificação climática de Köppen, apresenta clima tropical de altitude (Cwa), com temperatura média de 18,9° C e pluviosidade média de 1.536 mm. O solo predominante é do tipo Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (FEAM, 2010).

7.2 OBTENÇÃO DOS DADOS

Para o estudo dos resíduos da poda, varrição, capina e roçada da UFJF, foi realizado o acompanhamento das ações junto à Pró-Reitoria de Infraestrutura e Gestão (PROINFRA), a fim de apresentar um diagnóstico atual do gerenciamento destes resíduos. As informações apresentadas foram obtidas através de observações físicas e presenciais. Procedeu-se com conversas e coletou-se materiais disponibilizados por colaboradores da PROINFRA, tais como o Projeto de Compostagem interno. Além disso apurou-se informações públicas disponíveis em sites oficiais da UFJF e em publicações de artigos periódicos a fim de subsidiar o trabalho, com a obtenção da caracterização da arborização do local.

Através do diagnóstico foi proposto um prognóstico de coleta, armazenamento e transporte de resíduos; alternativas locais e infraestrutura, instalações e equipamentos necessários para instalação de composteiras. Após a alocação das leiras de compostagem,

no período de maio a outubro de 2022 foi feito monitoramento diário e semanal dos parâmetros estudados e registros fotográficos das leiras.

Já com relação aos procedimentos de análises laboratoriais, semanalmente foram coletadas amostras para obtenção dos dados de densidade, pH, umidade, condutividade elétrica, salinidade, nitrogênio total Kjeldahl, carbono orgânico e sólidos. Estas análises foram realizadas no Laboratório de Qualidade Ambiental (LAQUA) da UFJF.

Em três momentos da compostagem, sendo uma no início do processo, outra por volta de 50 dias de compostagem, e outra ao final do processo, com o composto maturado, aos 116 dias de compostagem, amostras foram enviadas para um laboratório externo à UFJF, para obtenção das análises de fósforo, potássio, enxofre, CTC, carbono total, nitrogênio total e hidrogênio total em massa bruta.

Em ambos os casos as amostras foram coletadas em três profundidades (topo, meia altura e base da leira) e para cada profundidade era coletada uma alíquota em quatro diferentes pontos da leira equidistantes, totalizando 12 amostras em cada leira, conforme recomenda NBR 10.007 (ABNT, 2004) de amostragem de resíduos sólidos.

7.3 CARACTERIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi realizado em área aberta de 13.409 m². Os resíduos foram provenientes das atividades de poda, capina, varrição e roçada da Universidade Federal de Juiz de Fora. Para avaliação da necessidade ou não de revolvimento, propôs-se a construção de três leiras, sendo a primeira sem revolvimento, chamada leira 1; e a segunda e terceira com revolvimento, chamadas leiras 2 e 3 respectivamente (Figura 4).

Para montagem das leiras do tamanho desejado, necessitou-se de três caminhões de resíduos da UFJF para cada leira. A fim de obter um equilíbrio na implementação das leiras quanto ao tempo, seguiu-se o seguinte cronograma (Quadro 2) a partir de uma amostragem composta:

Quadro 2 – Quadro do cronograma utilizado na montagem das três leiras de compostagem

| Leira 1 | Leira 2 | Leira 3 |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Terça-feira (17/05/22) | Quarta-feira (18/05/22) | Quinta-feira (19/05/22) |
| Quinta-feira (26/05/22) | Terça-feira (24/05/22) | Quarta-feira (25/05/22) |
| Quarta-feira (01/06/22) | Quinta-feira (02/06/22) | Terça-feira (31/05/22) |

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

As composteiras foram construídas em formato de leiras com revolvimento manual, exceto leira 1, sem revolvimento. Esse método tem como vantagem ser de baixo custo, simples, ter maior flexibilidade operacional e possibilitar a homogeneização do teor de umidade das misturas devido ao revolvimento (FERNANDES & SILVA, 1999; BIDONE,

Figura 4 – Leiras 1, 2 e 3 no pátio de compostagem.



Fonte: Acervo pessoal (2022).

2001; SOUSA JÚNIOR, 2011; CORTEZ, 2011). A aeração manual é interessante pois favorece a atividade microbiana e quebra adicional das partículas. Nesse sistema, a aeração é fornecida pelo revolvimento e pela convecção e difusão do ar na massa de resíduos (GOMES, 2021). Além disso, a desvantagem maior desse método é o requerimento de grandes áreas, que não é um problema para a UFJF, já que há a disponibilidade de um pátio para a confecção das composteiras de aproximadamente 13.409m².

Pereira Neto (2007) recomenda pilhas ou leiras de compostagem de resíduos sólidos orgânicos, no geral, de 1,5 a 3m de base por 1,6m de altura, enquanto que Souza *et al.* (2001) e Fernandes & Silva (1999) recomendam leiras de 2 a 2,5m ou 4 a 4,5m de base respectivamente por 1,5 a 1,8m de altura. Peixoto (2005) indica altura de 1,5m e largura de 2m como ideais para as leiras de compostagem, com comprimento variáveis, para que nenhuma parte da leira fique a mais de 75 cm de uma fonte de ar. Experiências de Baratta Júnior (2007) com composto de poda de árvores sugere 1,6m de altura por 1,8m de base.

Quanto à forma das leiras, Souza *et al.* (2001) e Peixoto (2005) recomendam, em estações chuvosas, que se montem as leiras com formato triangular com o ápice ligeiramente arredondado para favorecer o escoamento da água. Já o formato trapezoidal é indicado para estações secas, pois facilita a infiltração de água.

O tamanho das leiras de compostagem é um parâmetro muito importante a ser definido, já que interfere tanto na manutenção da temperatura quanto na troca de gases

dentro da leira de compostagem. Quando a leira de compostagem é muito pequena, o calor criado pelo metabolismo dos microrganismos ali presentes se dissipa muito rapidamente e o material não se aquece, além de poder ocorrer grande perda de umidade. Enquanto que, quando se trabalha com grandes volumes, o calor se acumula no interior da leira podendo alcançar temperaturas elevadas, em razão destes materiais serem bons isolantes térmicos, além do fato de que pode ocorrer compactação prejudicando a troca de gases e aumentando o tempo de compostagem (PEIXOTO, 2005; BARATTA JÚNIOR, 2007).

Pelo fato de a composteira ter sido construída na época de seca (meses de junho a setembro), e por questões de operabilidade, optou-se por construir as leiras em formato trapezoidal com dimensões aproximadas de 1,6m de altura por 2,5m de largura e 6,5m de comprimento. A distância entre as leiras foi de 0,5m, para permitir os revolvimentos manuais e passagem dos operadores. Assim, a cada revolvimento, a leira foi transferida para o lado vago.

7.4 PARÂMETROS

A seguir serão apresentados os parâmetros analisados com seus detalhamentos metodológicos.

7.4.1 Condições climáticas durante o experimento

Por se tratar de compostagem a céu aberto, com leiras que são susceptíveis a chuvas, radiação solar, vento, evapotranspiração, entre outros fenômenos meteorológicos, fez-se necessário o monitoramento dos registros de precipitação, radiação, vento e evapotranspiração, uma vez que podem influenciar nos resultados obtidos. Os dados foram obtidos pelo site do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), da estação meteorológica A518 localizada na Universidade Federal de Juiz de Fora, a cerca de 250 m de distância das leiras de compostagem. O período analisado foi de 17 de maio a 30 de setembro de 2022.

7.4.2 Temperatura

As temperaturas foram monitoradas diariamente, exceto aos finais de semana e feriados, com o auxílio de uma sonda com 1 metro de altura, e de um termômetro de haste metálica de 50 cm de altura. As amostras eram coletadas em três profundidades (topo, meia altura e base da leira) e para cada profundidade era medida em quatro diferentes pontos da leira equidistantes, conforme NBR 10.007 (ABNT, 2004) de amostragem de resíduos sólidos e semelhante ao que foi feito por Kiehl (1985), Baratta Júnior (2007), Meira (2010) e CWM (1996), de modo a obter-se 12 valores representativos para cada leira amostrada. Vale lembrar que se penetrou a sonda obliquamente nas leiras e deixou-se no lugar por tempo suficiente para que a leitura se estabilizasse para, em seguida, movê-la para um novo local. Estas medições foram feitas diariamente por volta do meio dia.

Para registro gráfico destas temperaturas, foi adotada a temperatura máxima obtida nas medições, assim como Sousa Júnior (2011) e Bortolini (2018).

7.4.3 Umidade

Realizou-se o monitoramento da umidade (U) semanalmente, em duplicata, seguindo metodologia disponibilizada no manual de métodos analíticos oficiais para fertilizante e corretivos - MAPA (2017). No tocante à determinação da umidade existente no material amostrado, procedeu-se da seguinte forma: foram coletadas três amostras de material de cada pilha de compostagem a ser analisada, com massas conhecidas de 10g.

Após homogeneizar toda a amostra, colocou-se em cadinhos de porcelana, pesou-se e registrou-se a massa (G1) da amostra *in natura*. Levou-se à estufa regulada para a temperatura de $65 \pm 5^\circ\text{C}$ e deixou-se secar até a massa constante por 24 horas. Retirou-se da estufa, e deixou-se esfriar em dessecador. Após, foi obtida a massa (G2) da amostra. O teor de umidade é dado então por:

$$U_{65}(\%) = 100 \cdot \frac{(G1 - G2)}{G1} \quad (7.1)$$

Em que:

- a) $G1$ = massa da amostra *in natura*, em gramas.
- b) $G2$ = massa da amostra seca a 65°C , em gramas.

7.4.4 Revolvimento (aeração) e Umidificação

O processo de umidificação e revolvimento ocorreram juntos, para evitar o acúmulo de umidade na leira, para que a água não caminhe por canais preferenciais, e para que os restos vegetais, em fase de decomposição absorvam melhor a água (CORTEZ, 2011; SOUZA *et al.*, 2001). Assim, o revolvimento e a reposição de umidade ocorreram sempre que a temperatura aparentava acima de 65°C , ou que a umidade aparentava abaixo de 50%, o que ocorreu aproximadamente uma vez por semana por 8 semanas, e após, apenas uma vez ao mês, semelhante ao que foi feito por Migot *et al.* (2019), Cotta *et al.* (2015), Meira (2010), e Baratta Júnior (2007). Para a leira sem revolvimento, foi adotado os mesmos dias, só que houve apenas umidificação.

7.4.5 Densidade aparente e rendimento do composto

Durante o processo de maturação ocorre uma perda de volume que pode variar de 30 a 70% (em média 50%), dependendo do tipo de material utilizado (SOUZA *et al.*, 2001; PEIXOTO, 2005). Dessa forma, determinou-se a densidade aparente do composto semanalmente. A densidade foi extraída fazendo-se a massa pesada pelo volume conhecido. Essa análise foi realizada em duplicata e adotou-se a mediana das medições.

7.4.6 pH

Realizou-se o monitoramento com um pHmetro (mPA210 MS - Tecnoyon) semanalmente em duplicata, seguindo metodologia disponibilizada no Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizante e corretivos - MAPA (2017) e também utilizada por Wendling *et al.* (2002), CENBIO (2008), Meira (2010), Cotta *et al.* (2015) e Migot *et al.* (2019). Para a determinação do pH das amostras, preparou-se uma solução de cloreto de cálcio ($CaCl_2$) 0,01 mol/L através da pesagem de $1,47 \text{ g} \pm 1 \text{ mg}$ do sal e dissolução em água.

Foram coletadas três amostras de material de cada pilha de compostagem a ser analisada, com massas conhecidas de 10g. Essas amostras foram transferidas para um béquer de 100 mL, e foi adicionado 50 mL da solução de $CaCl_2$ 0,01 mol/L. Homogeneizou-se e aguardou-se 30 minutos, agitando de 10 em 10 minutos. Após feito isso, ligou-se o potenciômetro (mPA210 MS - Tecnoyon) já calibrado com as soluções-tampão de pH 7 e 4. Mediu-se o pH da solução da amostra pela inserção cuidadosa do eletrodo de forma que este se mantenha no nível da solução, sem entrar em contato com algum material decantado da amostra.

7.4.7 Condutividade elétrica e salinidade

Realizou-se o monitoramento da condutividade elétrica (CE) e salinidade semanalmente, com leitura em duplicata, seguindo metodologia disponibilizada no Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizante e corretivos - MAPA (2017) e Migot *et al.* (2019). Para medição da condutividade elétrica, pesou-se 1,0 g da amostra do composto de cada pilha, com aproximação de 0,1 mg, solubilizou-o com água deionizada em balão volumétrico de 100 mL. Após completar o volume e homogeneizar, deixou-se em repouso por 30 minutos.

O extrato produzido foi medido através da inserção cuidadosa do eletrodo do condutivímetro GEHAKA CG 1800. Para determinação do índice de salinidade (IS) utilizou-se como referência comparativa direta a solução de nitrato de sódio ($NaNO_3$) 10g/L em água, cuja condutividade elétrica, medida em mS/cm, arbitrariamente terá o índice adimensional 1, equivalente a 100% de salinidade. Os resultados foram expressos em percentagem com precisão de uma casa decimal.

$$IS(\%) = 100 \cdot \frac{CE_1}{CE_2} \quad (7.2)$$

Em que:

- a) CE_1 = medida da condutividade elétrica da solução-amostra (extrato), em mS/cm.

- b) CE_2 = medida da condutividade elétrica da solução de referência de NaNO_3 a 10 g/L.

7.4.8 Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK)

Realizou-se o monitoramento de nitrogênio total Kjeldahl semanalmente, em duplicata, seguindo metodologia de Ribeiro (2010), adaptada de WHO (1978) e também utilizada por Sousa Junior (2011), Baratta Júnior (2007) e Cotta *et al.* (2015). O nitrogênio total foi determinado pelo método Kjeldahl, que obtém o valor do nitrogênio total Kjeldahl (NTK) que é a soma do nitrogênio orgânico (N_{org}) com o amoniacal ($N - \text{NH}_4^+$). Para a quantificação do NTK, uma amostra de 0,350g foi transferida para um tubo de digestão de 250ml. Adicionou-se 1g de catalisador K_2SO_4 , $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (sulfato de cobre pentaidratado), na proporção 10:1 e 15ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4). Para a conversão de todo o nitrogênio orgânico a íons amônio ($N - \text{NH}_4^+$), levou-se a mistura à digestão em bloco digestor em 350°C até que o volume fosse reduzido, por aproximadamente uma hora.

Acrescentou-se água deionizada até completar o volume de 100 ml. Tomou-se uma alíquota de 25 mL e transferiu-se para um balão volumétrico de 250 mL. Adicionou-se 30 ml de hidróxido de sódio (NaOH p.a. 50%) para a solução tornar-se básica.

Na sequência, o pH da amostra foi elevado para converter o íon amônio à amônia. A amostra foi então destilada, e o condensador do destilador foi ligado a um erlenmeyer contendo ácido bórico (H_3BO_4), que reage com a amônia desprendida na destilação, produzindo o composto borato de amônio. Foi possível quantificar o borato de amônio formado por titulação com ácido clorídrico 0,01 mol/L. A viragem é de verde-claro para vinho-claro.

Para obtenção do nitrogênio Kjeldahl, em miligramas por litro, utilizou-se o seguinte cálculo:

$$NTK - N(\%) = 100 \cdot (A - B) \cdot 0,01 \cdot 14,01 \cdot 100\% \cdot 1000 \cdot M \quad (7.3)$$

Em que:

- A = volume de solução padrão de HCl utilizado na titulação da amostra, em mililitros;
- B = volume de solução padrão de HCl utilizado na titulação do branco, em mililitros;
- M = massa de amostra usada, em gramas.

A fim de se realizar análises complementares, obteve-se amostras em três momentos da compostagem, sendo uma no início do processo, outra por volta de 50 dias de compostagem, e outra ao final do processo, com o composto maturado, (116 dias) que foram enviadas a um laboratório externo para, além de análises de nitrogênio total, serem

analisados os seguintes parâmetros: carbono orgânico, CTC, fósforo, potássio e enxofre segundo metodologia de MAPA (2014).

7.4.9 Carbono orgânico, sólidos fixos e voláteis

Realizou-se o monitoramento de carbono orgânico e sólidos fixos e voláteis semanalmente, em duplicata, seguindo metodologia de CWMI (1996) e WHO (1978) adaptada de Adams *et al.* (1951) para estimar a porcentagem de carbono com base no teor de sólidos voláteis. Isso ocorreu devido às limitações do LAQUA associadas à determinação de matéria orgânica por combustão. Dessa forma, a avaliação da fração orgânica de fertilizantes e materiais orgânicos foi feita através de seu constituinte principal, o carbono orgânico.

O teor de sólidos voláteis (SV) é determinado por calcinação de uma amostra e são representados pelos componentes (principalmente carbono, oxigênio e nitrogênio) que, quando levados a temperaturas elevadas de 500-600°C, queimam, oxidando, deixando apenas as cinzas (principalmente cálcio, magnésio, fósforo, potássio e outros elementos minerais que não oxidam). Este parâmetro define o teor de matéria orgânica dos resíduos e a estabilização do produto final (CWMI, 1996; FERNANDES & SILVA, 1999).

Para tal, foram utilizadas 4g de cada uma das três amostras de material seco, utilizados para medição de umidade, que foram levadas à mufla por 550°C por 2 horas, de acordo com WHO (1978). Após o período, transferiu-se as amostras para um dessecador para resfriamento em atmosfera seca por cerca de duas horas. Pesou-se as amostras e obteve-se o valor dos sólidos fixos das amostras (G3). Para obtenção dos sólidos voláteis utilizou-se o seguinte cálculo:

$$SV(\%) = \frac{4000 - G3}{4000} \cdot 100 \quad (7.4)$$

Em que:

- a) SV = sólidos voláteis, em miligramas;
- b) $G3$ = sólidos fixos, em miligramas.

A relação C/N é considerada como um parâmetro para caracterização do grau de maturação de adubos orgânicos (RODELLA & ALCARDE, 1994). Assumindo-se o teor de carbono de 52% da fração de sólidos voláteis, de acordo com metodologia de WHO (1978) - Methods of analysis of sewage sludge solid wastes and compost, obtém-se o teor de carbono das amostras por:

$$Carbono(\%) = SV(\%) \cdot 0,52 \quad (7.5)$$

Em que:

a) SV = sólidos voláteis, em miligramas.

A fim de se realizar análises complementares, obteve-se amostras em três momentos da compostagem, sendo uma no início do processo, outra por volta de 50 dias de compostagem, e outra ao final do processo, com o composto maturado, (116 dias) que foram enviadas a um laboratório externo para, além de análises de carbono orgânico, serem analisados os seguintes parâmetros: nitrogênio total, CTC, fósforo, potássio e enxofre segundo metodologia de MAPA (2014).

7.4.10 CTC, Potássio, Fósforo e Enxofre

Foram realizadas análises de CTC, enxofre, potássio e fósforo em três momentos do processo de compostagem, sendo uma no início do processo, outra por volta de 50 dias de compostagem, e outra ao final do processo, com o composto maturado (116 dias). Tais análises foram encaminhadas para um laboratório externo à UFJF utilizando metodologia de MAPA (2014).

7.5 QUALIDADE DO COMPOSTO PARA PRODUÇÃO DE MUDAS

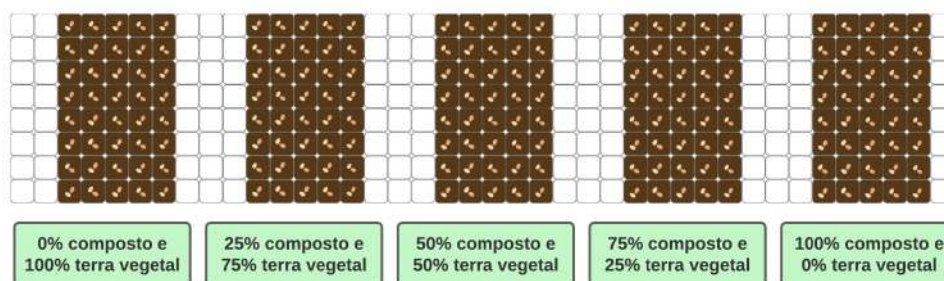
Ao final do processo de compostagem, realizou-se a análise do substrato produzido, coletando-se 500g de composto de cada uma das três leiras, numa amostragem composta. Para tal, houve homogeneização da composição feita, que foi utilizada para a condução dos ensaios de avaliação potencial do composto para a produção de mudas. Utilizou-se bandejas plásticas, contendo 64 células com volume de 29 mL, com dimensões de 6 cm de altura x 34 cm de largura x 34 cm de comprimento. As bandejas foram colocadas de forma elevada para permitir a ventilação da parte inferior, segundo recomendações de Nunes & Santos (2007). Foram preparadas cinco tipos de combinações de substratos, chamadas tratamentos, intercalados por fileiras de células vazias como bordaduras, totalizando 40 células para cada combinação. Os tratamentos foram: i) um contendo apenas terra vegetal; ii) outro com 75% de terra vegetal e 25% de composto orgânico; iii) um de 50% de terra vegetal e 50% de composto orgânico; iv) outro com 25% de terra vegetal e 75% de composto orgânico e; o último, v) com 100% de substrato obtido do composto orgânico (Figura 5).

Antes da colocação das sementes foi descontado o percentual de umidade do composto e do substrato comercial, determinado previamente através da secagem em estufa a 65°C por 72 horas, considerando-se então para a mistura apenas a massa seca de ambos, de acordo com metodologia de Borkowski (2022).

Foram obtidas comercialmente 320 sementes de alface (*Lactuca sativa L.*) com índice de 85% de germinação e 99% de pureza, de acordo com o fabricante, e colocadas para germinar, considerando duas sementes por berço (célula) de 5 mm de profundidade

(Figura 5), sendo a semeadura realizada em 06 de março de 2023, totalmente randomizada, de acordo com metodologia de Fagundes *et al.* (2020).

Figura 5 – Esquema de montagem da análise do substrato produzido.



Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Tal espécie pertence à família Asteraceae e apresenta ciclo anual sendo a hortaliça folhosa mais consumida no Brasil (IBGE, 2020; BORKOWSKI, 2022). É fonte de vitaminas e sais minerais, com destaque no elevado teor de vitamina A e B e minerais como cálcio e ferro (FERNANDES *et al.*, 2002; MARQUES *et al.*, 2003).

Essa hortaliça também é muito utilizada em pesquisas científicas como modelo experimental em plantas (SOARES, 2000; OLIVEIRA *et al.*, 2010; PAIVA *et al.*, 2016). Isso ocorre porque a alface é bem sensível aos metabólitos secundários que atuam como aleloquímicos (FERREIRA & AQUILA, 2000; MACIAS *et al.*, 2000), isso é, substâncias químicas geradas na decomposição de certos vegetais, que podem causar fitotoxicidade ao crescimento de sementes de outros vegetais (ROHRIG *et al.*, 2019), considerada indicadora de atividade alelopática (ALVES, 2004), além de apresentar ciclo de produção curto, de cerca de 30 dias.

As bandejas foram mantidas por cerca de 23 dias em bancadas elevadas e ripadas, para permitir a ventilação da parte inferior das bandejas segundo recomendações de NUNES; SANTOS, 2007 e Borkowski (2022). Foram mantidas com iluminação natural e aspersão realizada diariamente, de forma manual e na parte da manhã, para que as folhas das mudas consigam secar evitando assim o surgimento de doenças que venham a comprometer sua qualidade (LESKOVAR; SHARMA, 2016; BORKOWSKI, 2022). Foi realizada aspersão em quantidade até saturar o substrato (BORKOWSKI, 2022).

O tempo de monitoramento foi determinado de acordo com o desenvolvimento da alface. No geral, para a alface em condições de temperatura entre 20°C e 25°C, desenvolve o suficiente para realizar o transplante em cerca de 3 a 4 semanas após a realização da semeadura, neste período ela deve apresentar em torno de 4 a 5 folhas (OLIVEIRA *et al.*, 2010; MADEIRA; SILVA; NASCIMENTO, 2016).

Após os 23 dias da semeadura, período de crescimento, todas as plântulas germinadas foram retiradas dos alvéolos da sementeiras, lavadas e foram avaliadas, considerando a

variável índice de germinação (IG). Além disso foram determinadas as seguintes variáveis: índice de velocidade de emergência, número de folhas (unidade), comprimento da parte aérea (cm), comprimento da raiz (cm), massa seca e total da raiz (mg) e da parte aérea (mg).

7.5.1 Índice de germinação (IG)

O IG das sementes foi calculado pelo número de sementes germinadas (germinação das sementes). Este método tem sido utilizado pelo governo italiano como critério para avaliar a maturidade dos resíduos orgânicos e composto de esterco (QING *et al.*, 2020):

$$IG(\%) = \frac{SG}{ST} \cdot 100 \quad (7.6)$$

Em que:

- a) SG = número de sementes germinadas.
- b) ST = número total de sementes plantadas.

7.5.2 Índice de velocidade de emergência (IVE)

O índice de velocidade de emergência (IVE), baseado em Maguirre (1962), foi determinado registrando-se diariamente o número de sementes germinadas e considerando como emergidas, as plântulas que apresentaram os cotilédones totalmente livres e normais, ou seja, pelo menos 2 milímetros de comprimento de radícula. Foi analisado o resultado com 6, 9 e 12 dias após a germinação.

7.5.3 Número de folhas (NF)

Tal parâmetro foi analisado através da contagem diária das folhas emergidas da alface. É importante para se determinar o final do período de análise do experimento, conforme detalhado anteriormente, ou seja, o experimento finalizou após todas as plântulas germinadas apresentarem ou 3 ou 4 folhas cada.

7.5.4 Comprimento da parte aérea (CA) e das raízes (CR)

As plântulas germinadas foram retiradas dos alvéolos da sementeiras, lavadas, para retirada do substrato, e deixadas sobre papel toalha para remover o excesso de umidade. Posteriormente foram excisadas considerando a parte aérea e parte radicular, para a determinação do comprimento das mesmas. Os resultados foram expressos em centímetros.

O comprimento da parte aérea foi medido do hipocótilo até os cotilédones totalmente livres e normais e a parte das raízes foi medido do hipocótilo até a radícula, ou seja, do caule até a ponta da raiz em todas as amostras germinadas (RIP *et al.*, 2020).

7.5.5 Índice de massa fresca total (IMFT)

Com relação à massa fresca, as plântulas (parte aérea e parte radicular) consideradas para avaliação foram levadas a uma balança analítica para a determinação da massa fresca em miligramas. Dividiu-se a massa fresca total pelo número de plântulas, obtendo o valor da massa fresca média por plântula.

7.5.6 Índice de massa seca da parte aérea (IMSA) e das raízes (IMSR)

Com relação à massa seca, as mesmas plântulas (parte aérea e parte radicular) consideradas para avaliação foram colocadas em estufa, a 65°C durante 72 horas, dentro de cadinhos para posterior pesagem em balança analítica eletrônica. Dividiu-se a massa seca total pelo número de plântulas, obtendo o valor da massa seca média por plântula (BORKOWSKI, 2022).

7.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

A fim de respaldar os resultados obtidos e auxiliar na comparação entre as composteiras com e sem o revolvimento; e também a comparação entre a qualidade do composto gerado e de um sem composto serão analisados a existência de possíveis diferenças significativas, a 95% de confiança, entre os processos citados. Para isso, verificar-se-á a aderência das distribuições à distribuição normal pelo teste Shapiro-Wilk (TORMAN *et al.*, 2012). Dependendo-se do resultado encontrado, aplicar-se-á o teste de Wilcoxon-Mann-Whitney (Mann & Whitney, 1947), no caso de não aderência à distribuição normal, ou o teste de t-Student (Kalpić; Hlupić; Lovrić, 2011) no caso de aderência. As análises estatísticas mencionadas foram realizadas com o auxílio do software STATISTICA 8 (Statsoft, 2007).

8 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos resultados e discussão apresenta-se os resultados encontrados no levantamento de indicadores e dados, primários e secundários da compostagem seca e as discussões acerca disso; expõe a análise técnica do processo; os resultados sobre a comparação da qualidade do composto gerado com e sem revolvimento; e os resultados dos ensaios de germinação com sua discussão.

8.1 GERENCIAMENTO ATUAL DOS RESÍDUOS DE PODA, VARRIÇÃO, CAPINA E ROÇADA DA UFJF

O campus da UFJF possui uma extensa área verde que propicia uma saúde ambiental favorável para a comunidade acadêmica e visitantes da instituição, sendo referência na região em ensino, pesquisa e lazer (UFJF, 2021b). Essa área verde possui remanescentes florestais dentro de seu espaço físico, as quais geram um grande número de resíduos, constituídos por folhas, flores e frutos, que caem nas vias, além de galhos oriundos da poda controlada das árvores e procedentes do corte de gramas de forma manual e/ou mecanizada.

A Pró-Reitoria de Infraestrutura e Gestão (PROINFRA) da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), realiza o planejamento e o gerenciamento, a execução, o acompanhamento, a manutenção e a fiscalização dos projetos e das obras de engenharia. São contemplados os serviços de manutenção de parques, de jardins, de redes de eletricidade e sistemas elétrico, hidráulico e predial, de redes de telefonia e comunicação de dados, de equipamentos eletroeletrônicos, de marcenaria e de serralheria, dentre outros, que resultam em melhorias estruturais na Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF, 2021b).

Essa Pró-Reitoria também é responsável pela reforma dos espaços físicos da UFJF, além de administrar as ações de sustentabilidade, bem como a ocupação e o uso das áreas da UFJF. Gerencia, ainda, o patrimônio, os processos de compras e o almoxarifado, além dos serviços de correspondência, de protocolo e de transporte, bem como a segurança da instituição. Encarrega-se ainda da parte contratual, de convênios e licitações da instituição, além da fiscalização administrativa dos contratos de terceirização de mão-de-obra exclusiva (UFJF, 2021b).

De acordo com informações disponibilizadas pelo Portal da Transparência (PORTALDATRANSPARÊNCIA, 2022), a execução dos serviços de campo é realizada em conjunto com uma empresa de engenharia contratada, sendo atualmente a Tekno Sistemas de Engenharia LTDA, escolhida por processo licitatório nº 23071.007077/2020-24, pregão nº 57/2020, com contrato de um ano contados a partir de 16 de agosto de 2021, prorrogável por mais até, no máximo, cinco anos (até 2027). Todas as requisições de serviços são feitas através do Sistema Integrado de Gestão Acadêmica (SIGA) (UFJF, 2021c). Serviços

como plantio, corte e poda de árvores são solicitadas através de demanda, enquanto que as atividades de capina, roçada e de varrição são rotineiras, executadas diariamente, seguindo um cronograma anual pré-estabelecido pelo setor.

Os principais equipamentos utilizados no serviço, de propriedade da UFJF, para a poda, capina e roçada são duas motosserras, duas motopodas, 12 roçadeiras à combustão, um guincho de alavanca (tifor), um triturador florestal, dois caminhões caçamba - um de 8m³ e um de 6m³. Um caminhão com cesto aéreo também fica disponível, quando há necessidade de poda em altura, além de um caminhão munck para carregamento de toras pesadas.

Com relação ao material vegetal, proveniente de resíduos de poda, varrição, capina e roçada, até o ano de 2021, esse era agrupado em pequenos montes no interior dos canteiros ou gramados e em seguida, era coletado por dois colaboradores em uma lona que, quando cheia, era arrastada para a borda da calçada, próximo ao arruamento, e então eram feitos montes maiores para posterior recolhimento, realizado por outra equipe, com um caminhão caçamba (Figura 6).

Figura 6 – Armazenamento atual dos resíduos verdes



Fonte: Acervo pessoal (2022).

Um caminhão caçamba com capacidade de 8 m³ é utilizado para o recolhimento dos resíduos, que são carregados e compactados com os pés pelos trabalhadores responsáveis pelo recolhimento e colocados de forma a ultrapassar a linha limite da caçamba. O caminhão é então coberto com uma lona para transporte.

Após esta etapa, os resíduos provenientes da arborização e paisagismo da UFJF são destinados a um terreno na zona rural do município que dista aproximadamente 20 km do campus, localizado às margens da BR-040. O mesmo caminhão do tipo caçamba que recolhe os resíduos dentro da UFJF é responsável pelo transporte deste resíduo ao destino final, sendo necessárias, em média, duas viagens por dia para disposição de todo o volume gerado de resíduos. Assim, o caminhão caçamba percorre aproximadamente 80

km diariamente para a disposição dos resíduos verdes. Neste trajeto ocorre gasto com o combustível e manutenção do caminhão, mão de obra do motorista e dispêndio de tempo, de aproximadamente 60 minutos por viagem (ida e volta), ou seja, duas horas por dia.

8.2 GERENCIAMENTO PROPOSTO PARA OS RESÍDUOS DE PODA, VARRIÇÃO, CAPINA E ROÇADA

Através do diagnóstico realizado, foi proposto, a seguir, um prognóstico de do gerenciamento dos resíduos de poda, varrição, capina e roçada.

8.2.1 Características da arborização do local e dos resíduos gerados

A fim de melhor entender os resultados dos parâmetros obtidos de análise da compostagem, buscou-se, através de estudos da literatura, uma caracterização das espécies arbóreas e vegetativas do campus UFJF. O primeiro estudo encontrado foi de Moreira e Carvalho (2013), que amostraram 920 indivíduos no campus, no ano de 2013. Dentre as famílias de maior riqueza específica estão Fabaceae, Euphorbiaceae e Melastomataceae, sendo as duas primeiras famílias, de árvores leguminosas, resultados que vão ao encontro dos padrões normalmente encontrados para as florestas estacionais semidecíduais de Minas Gerais. As cinco espécies mais encontradas foram *Pinus elliottii*, *Miconia latecrenata*, *Tibouchina granulosa*, *Peltphorum dubium* e *Syzygium jambos* (MOREIRA & CARVALHO, 2013).

Tal estudo foi revisado e complementado por Fonseca (2017) nas identificações de algumas espécies, principalmente da família Myrtaceae. Neste estudo realizado em cinco fragmentos florestais urbanos (< 6 ha) no Campus da Universidade Federal de Juiz de Fora, o autor encontrou como espécies dominantes as seguintes espécies: *Pinus elliottii*, *Eremanthus erythropappus*, *Miconia cinnamomifolia*, *Piptadenia gonoacantha*. Sendo identificado uma importante dominação por espécies exóticas ou nativas oportunistas como a arbórea exótica *Pinus elliottii* Engelm. (Pinaceae) ou mais conhecido como “Pinus Novo”; arbórea nativa *Eremanthus erythropappus* (DC.), conhecida como “Candeal”; e gramínea exótica *Brachiaria spp.* (Poaceae) (FONSECA, 2017).

Por último, de acordo com trabalho de Magalhães (2018), foi relatado pelo operador de motosserra/motopoda responsável pela poda das árvores no Campus da UFJF, que as espécies com maior incidência de corte e de poda dentro do Campus são Jacaré (*Piptadenia gonoachanta*), Jamelão (*Syzygium cumini*) e Pinheiro (*Pinus sp.*).

Alguns resíduos normalmente são disponíveis em maiores quantidades em certos períodos do ano. Caso dos resíduos de poda de árvores, capinas e roçadas e aparas de grama, que sofrem os efeitos das estações do ano, tanto nos volumes produzidos como nas suas características (FERNANDES & SILVA, 1999). Porém, de acordo com dados disponibilizados pela PROINFRA da UFJF, a geração dos resíduos de poda, capina,

varrição e roçada não são sazonais na Universidade, pois a empresa responsável se programa para realizar tais atividades ao longo do ano, para que não haja sobrecarga em épocas de chuvas e ventos fortes. Vale ressaltar também que essa periodicidade da poda não leva em conta a melhor época para poda de cada espécie (MAGALHÃES, 2018).

Vale ressaltar que uma extensa variedade de restos vegetais a serem decompostos, a partir de diferentes origens, é favorável, devido à maior diversidade de componentes químicos e nutrientes que poderão ser encontrados nas espécies. Além disso, é promovido melhor equilíbrio da relação C/N e melhor diversidade de granulometria e resistência à decomposição, acarretando um desenvolvimento heterogêneo de organismos e formação de coloides orgânicos de diferentes graus de maturidade no solo (PEIXOTO, 2005; CORTEZ, 2011; RUEDA *et al.*, 2022).

8.2.2 Alternativas de coleta, armazenamento e transporte de resíduos

Visando facilitar a operacionalidade do serviço de poda, capina, varrição e roçada, propôs-se juntamente à PROINFRA que esses resíduos fossem varridos, transportados em carrinhos de mão do tipo Girica, e agrupados em locais fixos de armazenamento temporário (LAT) (figura 7). Dessa forma evita-se que montes de resíduos verdes fiquem espalhados pelo Campus, e que porventura, ocupem espaços de calçada, como havia sendo feito (capítulo 8.1).

Figura 7 – Locais fixos de armazenamento temporário implantados



Fonte: Acervo pessoal (2022).

Outro ganho é que, com a nova proposta, os resíduos podem ficar acumulados por cerca de uma semana, diminuindo a frequência de uso do caminhão caçamba, evitando seu transporte diário e consequentemente trazendo benefícios financeiros e ambientais, além de redução de custos técnicos com equipamentos, transporte e mão de obra (Figura 8).

Os locais de armazenamento temporário (LAT) estão sendo alocados estrategicamente em vários pontos distribuídos dentro do campus, para que ocorra a coleta pelo

Figura 8 – Fluxograma dos processos de gerenciamento dos resíduos verdes da UFJF.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

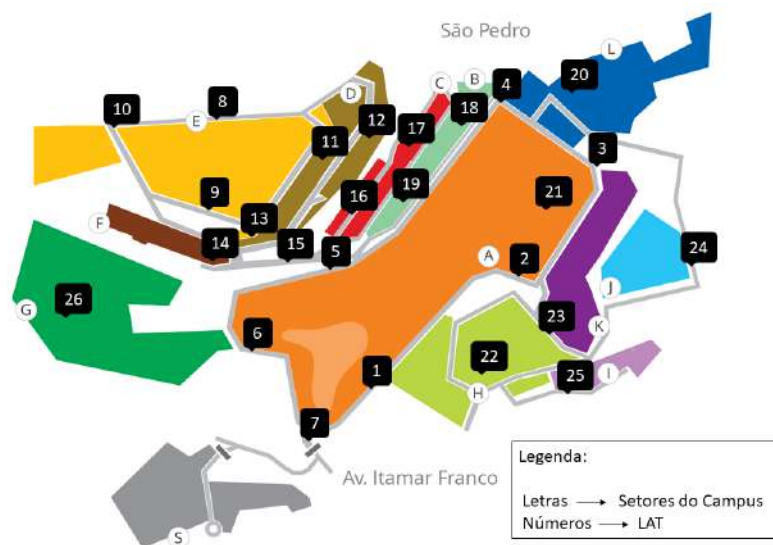
caminhão, com frequência semanal, e transporte até o pátio de compostagem (alocado dentro da própria instituição). Os pontos escolhidos foram:

- a) seis LAT no anel viário da UFJF (pontos 1 ao 6);
- b) um no pórtico sul (ponto 7);
- c) dois no platô da faculdade de Engenharia (ponto 8 e 9);
- d) um no CRITT (ponto 10);
- e) dois no platô do Instituto de Ciências Exatas (ICE) (pontos 11 e 12);
- f) um no Centro de Gestão do Conhecimento Organizacional (CGCO) (ponto 13);
- g) um no Centro de Biologia da Reprodução (CBR) (ponto 14);
- h) três no platô do Instituto de Ciências Biológicas (ICB) (pontos 15 ao 17);
- i) dois no platô da faculdade de Letras (pontos 18 e 19);
- j) um na PROINFRA (ponto 20);
- k) um na Reitoria (ponto 21);
- l) dois no platô da faculdade de Farmácia (pontos 22 e 23);
- m) um no platô do Instituto de Ciências Humanas (ICH) novo (ponto 24);
- n) um no platô da faculdade de Economia (ponto 25);
- o) e um na faculdade de Educação Física (ponto 26).

A figura 9 expõe a localização aproximada dos 26 locais de armazenamento temporário distribuídos ao longo do campus.

Os armazenamentos temporários foram construídos visando o aproveitamento de materiais disponíveis na própria instituição. No anel viário, pórtico sul e reitoria os armazenamentos temporários foram construídos com o aproveitamento de bancos de concreto armado que se encontram em sobrestado na instituição. Nos demais pontos do campus o material foi de telhas ecológicas na cor verde e mourão de eucalipto para a sustentação (figura 10). Para efeito estético, ainda serão plantadas na frente dos LAT, principalmente nos que estão em áreas mais movimentadas da instituição, mudas de Maricá que são popularmente conhecidas como cerca viva.

Figura 9 – Localização aproximada dos locais de armazenamento temporário distribuídos ao longo do campus da UFJF.



Fonte: Acervo pessoal (2022).

Figura 10 – Materiais utilizados para confecção dos LAT.



Fonte: Acervo pessoal (2022).

Quanto ao banco de funcionários, de acordo com a análise do quadro atual de funcionários da UFJF e do diagnóstico do gerenciamento de resíduos de poda, capina, varrição e roçada, para o andamento satisfatório do manejo dos resíduos verdes da UFJF, necessita-se de uma equipe técnica qualificada. Assim, prevê-se atualmente a necessidade, diariamente, de 20 profissionais (Quadro 3) responsáveis pela varrição da via pública no campus da UFJF, em especial as áreas verdes, e roça mecanizada e manual de matos e gramas. Os resíduos provenientes da varrição são constituídos por folhas, flores, frutos, que caem nas vias, além de galhos oriundos da poda controlada das árvores e resíduos procedentes do corte de gramas manual e/ou mecanizada. Além da varrição o profissional faz o transporte do resíduo em carrinhos do tipo girica até os LAT.

Quadro 3 – Dimensionamento da equipe do sistema de manejo dos resíduos de poda, varrição, capina e roçada da UFJF, após implementação da compostagem.

| Colaborador | Quantidade | Frequência |
|---|------------|------------|
| Equipe de poda, varrição, capina e roçada | 20 | Diária |
| Coletadores | 4 | Semanal |
| Motorista | 2 | Semanal |
| Operador de compostagem | 1 | Semanal |

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Os resíduos serão recolhidos por uma equipe de quatro trabalhadores, responsáveis pelo carregamento manual dos LAT até o caminhão caçamba e deste até o pátio de compostagem. O transporte fica encarregado dos motoristas, profissionais responsáveis pela operação de veículos pesados do tipo caminhão caçamba e afins. Frequentemente será necessária a operação de outras máquinas como pá carregadeira de rodas ou retroescavadeira/carregadeira compacta. Essa necessidade dá-se pela escolha do revolvimento manual, necessário sempre que houver umidificação das leiras de compostagem. Para essa finalidade necessita-se de dois operadores.

Como propôs-se a rota de coleta semanal, ambos os colaboradores (coletadores e motoristas) trabalharão com a frequência semanal, como está exposto no quadro 3. Assim, diariamente são acumulados cerca de 10 a 12m³ de resíduos verdes nos locais de armazenamento temporário.

Por fim, para manejo direto das leiras de compostagem, como revolvimento, umidificação e monitoramento de parâmetros essenciais, prevê-se inicialmente, apenas um operador. Assim, a única demanda adicional, comparada à demanda de manejo dos resíduos verdes atuais na UFJF, que o sistema de compostagem irá requerer, com relação ao número de funcionários, é de um operador.

8.2.3 Alternativas de tratamento dos resíduos e alternativas locais da implantação do pátio de compostagem

Uma usina de compostagem realiza o processamento de resíduos, retendo-os por um certo tempo e em seguida os enviando a uma destinação final para utilização. Assim, conforme mencionado no capítulo 1, essa técnica apresenta diversas vantagens quando comparada a demais técnicas de tratamento de resíduos de poda, varrição, capina e roçada, visto que seu impacto negativo no meio ambiente é inferior comparado a um aterro sanitário, que estoca grandes volumes de resíduos por longos períodos.

Ademais, conforme discorrido no capítulo 6.1, grande parte dos resíduos gerados provenientes da arborização e paisagismo urbano são frações finas que apresentam maior potencial para serem transformadas em composto orgânico, quando comparadas a outras

técnicas de tratamento de resíduos verdes. Sendo assim, a compostagem é recomendada para esse fim.

Já com relação ao local de implantação da compostagem, a lei de zoneamento urbano deve ser observada quando se tratar de tecnologia para prefeituras. Quando as cidades dispuserem de um Plano Diretor, é importante que a proposta da usina de compostagem atenda às diretrizes pré estabelecidas. Outras diretrizes internas das universidades e instituições de ensino devem ser observadas caso a caso. Além disso, algumas considerações devem ser levantadas:

- a) critérios estéticos: odor, barulho e poluição visual são importantes de serem evitados. No caso do odor, a compostagem não é um processo que gere cheiros ruins, pois é um processo aeróbio. Porém, devido a problemas de manutenção e manejo do processo, pode gerar odores quando identificada a ocorrência de anaerobiose. Seguindo o monitoramento recomendado (temperatura, umidade e pH), evita-se esse problema.
- b) critérios de segurança: composteiras abertas, como é o caso proposto para a UFJF, devem se atentar para a atração de vetores. Durante o período de três meses de projeto piloto já foi observado a presença de ratos, aranhas e outros insetos menores como moscas, formigas e besouros nas leiras de compostagem. Animais maiores podem ser atraídos como cachorros e gatos, porém não foi observado sua presença. Considerando que a presença de insetos e microfauna são importantes na degradação da matéria orgânica e promovem um ecossistema equilibrado, indicando o sucesso da compostagem, recomenda-se o uso de equipamentos de proteção individual (EPIs) para segurança dos trabalhadores, em vez de retirada ou isolamento total das composteiras;
- c) critério fisiográfico: devem ser evitadas as áreas próximas a mananciais, pois o local pode estar sujeito à erosão e transporte de resíduos pela chuva. Áreas com o lençol freático pouco profundo também devem ser evitadas por uma questão de segurança ao risco de contaminação da águas do subsolo (FERNANDES & SILVA, 1999). Ademais, se possível, terrenos levemente inclinados são mais interessantes de serem escolhidos, já que facilitam o escoamento de água, enquanto que áreas com grande inclinação, além de dificultar as obras, também são mais sujeitas à ação das águas pluviais que podem transportar os resíduos por erosão. Vale lembrar que, quando for possível a utilização de terrenos levemente inclinados, que se construa as leiras com o comprimento paralelo à queda do terreno, para favorecer a homogeneidade da umidificação (FERNANDES & SILVA, 1999; PEIXOTO, 2005);
- d) disponibilidade de água: conforme exposto no capítulo 6.3.2, os organismos decompositores da matéria orgânica necessitam de água para sua sobrevivência.

Assim, sugere-se a escolha do local próximo a alguma fonte de água, a fim de se evitar gastos com transporte de caminhões pipa ou tubulações excessivamente longas;

- e) impacto no trânsito: o impacto da instalação da usina no tráfego também deve ser considerado, sendo necessária definição de uma rota e horários estratégicos que não afetarão negativamente o tráfego nas vias por onde passam, sendo importante evitar horários de pico e trânsito maiores. Alguns impactos causados à instalação da usina podem ser minimizados por medidas adequadas de projeto e operação. Um calendário conveniente de transporte e descarregamento pode minimizar o problema de tráfego, além de evitar o armazenamento de grandes volumes de resíduos na usina.

Após a escolha do local de implantação da usina de compostagem, as áreas de recebimento de resíduos ou estocagem de resíduos devem ser cobertas, a fim de proteger a compostagem de excesso de água, do vento e insolação extrema (PEIXOTO, 2005), e impermeabilizadas para promover a proteção do solo, como estabelece a Resolução nº 481/2017. Ou seja, os pátios de compostagem podem ser asfaltados ou concretados, ou ainda se utilizar da impermeabilização por compactação de solo. Neste caso, os solos mais propícios à compactação são os solos argilosos, para os quais devem ser feitas as caracterizações granulométricas e ensaio de Proctor para que a compactação permita um coeficiente de permeabilidade $K < 10^{-7}$ cm/s.

Também é necessária a instalação de sistemas de coleta, manejo e tratamento dos líquidos lixiviados gerados, bem como sistema de drenagem e manejo das águas pluviais (BRASIL, 2017), de forma a evitar as contaminações das águas e subsolo. Ambos, chorume e água pluvial, podem ser recirculados nas próprias leiras de compostagem como forma de controle da umidade (FERNANDES & SILVA, 1999).

A Universidade Federal de Juiz de Fora dispõe de uma área (platô) de 13.409 m² subutilizada localizada dentro do próprio campus, próximo à PROINFRA. O local se apresenta afastado dos prédios de aulas garantindo o distanciamento mencionado nos critérios estéticos e de segurança, e foi alocada uma caixa d'água próximo ao platô, que já apresenta impermeabilização por pavimento asfáltico (Figura 11).

Por fim, o plantio de uma cortina verde é uma medida benéfica, pois, além de impedir que o vento transporte odores para a vizinhança, caso isso ocorra momentaneamente, cria uma barreira verde tornando a paisagem mais agradável. No caso da UFJF, o local escolhido para o pátio de compostagem já apresenta distanciamento das áreas e prédios utilizados, além de ser cercada por árvores que auxiliam no quesito odor e paisagismo.

Figura 11 – Localização do pátio de compostagem no campus da UFJF.

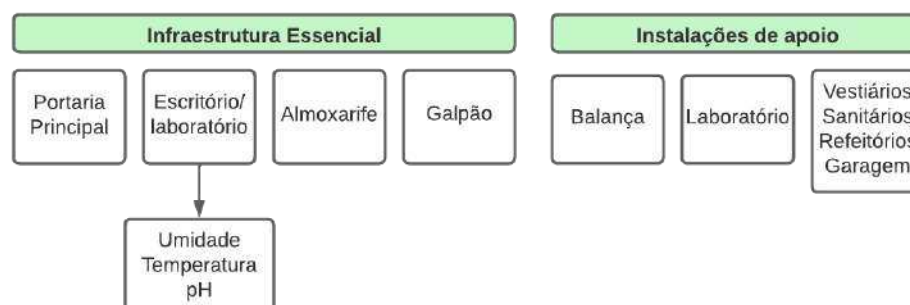


Fonte: Elaborada pela autora (2022).

8.2.4 Infraestrutura, instalações de apoio e equipamentos necessários

A complexidade das instalações de apoio e a definição dos equipamentos necessários a uma usina de compostagem depende das características dos resíduos utilizados, da quantidade de resíduos a ser compostada e conseqüentemente do porte da usina de compostagem, da tecnologia escolhida, do tipo de produto final que se espera obter e do local de implantação e conseqüentemente disponibilidade prévia dessas instalações. Na figura 12 são mostradas as principais infraestrutura e instalações necessárias para a construção de uma usina de compostagem.

Figura 12 – Fluxograma da infraestrutura e instalações necessárias para implantação do sistema de compostagem proposto.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Uma portaria principal, não necessariamente com a presença constante de um guarda, é interessante para controlar as entradas e saídas de resíduos e materiais. Atual-

mente a área destinada para o pátio de compostagem contém uma câmera de vigilância em sua entrada pela via de acesso, sendo necessária a ampliação de medidas de controle de entrada de visitantes, como a colocação de mais câmeras de vigilância ao longo do pátio ou fechamento de todas as entradas com portaria e guarita. Além disso, de acordo com a Resolução nº 481 de 2017, deve-se adotar medidas de isolamento e sinalização da área, sendo proibido o acesso de pessoas não autorizadas e animais (BRASIL, 2017).

A necessidade de uma balança para caminhões ou balança comum corporal ou de bancada deve ser avaliada em função do porte da estação, de seu regime de funcionamento, e da necessidade de controle do peso das quantidades de resíduos tratados e do produto final a ser comercializado, e assim inferir seu rendimento.

Para a boa condução do processo de compostagem é fundamental um pequeno escritório/laboratório para manter os controles da operação da usina, centralizar os contatos e o gerenciamento da operação.

Por se tratar de um processo conhecido como simples, diversas vezes observa-se o uso da compostagem sem o devido zelo e com baixo ou nenhum cuidado e monitoramento. Porém, a compostagem requer certo trabalho e cuidados na sua condução, principalmente quando se almeja eficiência no processo e no tempo de bioestabilização, além de qualidade do produto final. Esses cuidados são pequenos quando comparados aos benefícios que o projeto de compostagem proporciona aos envolvidos. Assim, o conhecimento básico da evolução dos fatores físicos e químicos que ocorrem durante a compostagem é fundamental para o sucesso do projeto, favorecendo o manejo, a fim de se obter um composto de boa qualidade (PEIXOTO, 2005; CHEN *et al.*, 2016).

Dentro dos parâmetros da compostagem mais importantes de serem monitorados estão o controle da umidade, temperatura e pH. Estes parâmetros, além de serem importantes por indicar o bom funcionamento das leiras de compostagem, são simples de serem monitorados, existindo inclusive equipamentos que meçam, de forma menos precisa, os três parâmetros em conjunto, e quase que instantaneamente. Nesse caso as medições são feitas dentro da própria usina de compostagem, e sem necessidade de funcionário técnico qualificado.

Outros parâmetros tais como nutrientes, teor de carbono e nitrogênio, metais pesados, análises microbiológicas, qualidade do composto como CTC e salinidade podem ser determinados em laboratórios periodicamente (recomenda-se que sejam realizados no mínimo anualmente) a fim de verificação da qualidade do substrato produzido e adequação de sua destinação final. Nesse caso não se recomenda a implantação de um laboratório próprio no pátio de compostagem, isso porque, além de gasto com a construção e com funcionário qualificado para realização das análises, não há necessidade de acompanhamento de todos os parâmetros com frequência.

Por fim, um almoxarifado é essencial para armazenamento de ferramentas tais

como pás, rastelos e mangueiras que são utilizadas na rotina da operação. No caso da UFJF essa necessidade se intensifica ainda mais pelo fato do pátio de compostagem ser em local mais alto e afastado em relação ao almoxarife da PROINFRA.

Nas estações de maior porte, ou nas que não dispõem, em sua proximidade, de vestiários, instalações sanitárias, refeitório, garagem e prédio administrativo, pode ser necessário implantação dessas instalações no próprio pátio ou usina de compostagem (BIDONE, 2001; FERNANDES & SILVA, 1999).

Se a estação dispuser de máquinas em permanência, é necessário um galpão para abrigá-las, como é o caso do triturador. Este é essencial para uma usina de compostagem, principalmente quando se trata resíduos de poda. De acordo com o explanado no capítulo 6.3.4, de modo geral, o tamanho das partículas deverá ser de 0,5 a 5 cm, para que confira homogeneidade à mistura, permitindo boa aeração (FERNANDES & SILVA, 1999; BENITO *et al.*, 2006; PEIXOTO, 2005; PEREIRA NETO, 2007; BORGES, 2018). Mesmo que não usufruído momentaneamente, recomenda-se a separação de uma área para esse fim, para que, futuramente se implante o triturador no processo de compostagem, já que a falta deste prejudica o tempo de degradação da matéria orgânica (capítulo 8.2.7.3). A conveniência de uma pequena oficina deve ser definida em função do grau de mecanização da estação (FERNANDES & SILVA, 1999).

Com relação aos equipamentos utilizados no dia-a-dia na usina pode-se citar:

- a) Para revolvimentos: Pá carregadeira de rodas ou retroescavadeira tipo carregadeira compacta, que pode realizar a mistura dos materiais e arejar a leira. O equipamento também poderá exercer a função de carregar resíduos a serem encaminhados para a compostagem ou o composto maturado a ser encaminhado para destinação final. Vale lembrar que, para estações de compostagem de pequeno e médio porte, tal equipamento não precisa estar disponível para a estação o tempo todo. Ele pode ser utilizado em outras demandas e atividades da instituição, caso seja propriedade da prefeitura ou universidade em que esteja sendo feita a compostagem; Pá ou enxada de pedreiro, necessária para montagem e arrumações no decorrer dos revolvimentos das leiras de compostagem, devido à dificuldade de manuseio dos materiais a serem compostados e maturados apenas com a retroescavadeira.
- b) Para peneiramento: Peneira, importante por separar o composto mais fino do composto ainda não totalmente degradado, e por separar pedras, folhas, galhos ou outros materiais cujas dimensões possam criar impedimento físico à germinação das sementes ou mesmo ao crescimento normal das plantas, além de impedir certos contaminantes não segregados na origem (MANGUEIRA, GOMES & SOUSA, 2019; CESTONARO, BARROS & MATOS, 2022). Pelo volume ser levado, uma peneira elétrica vibratória é sugerida. A peneira também

é importante pois garante, ainda, a homogeneidade granulométrica do produto final.

- c) Para umidificação: Mangueiras, conexões hidráulicas, caixas d'água e torneiras. Pela necessidade de umidificação reportada no capítulo 8.2.7.2.
- d) Para pequenos transportes: Carrinhos de mão do tipo Girica. Tal carrinho tem a finalidade de transportar os resíduos de poda, capina, varrição e roçada até os locais fixos de armazenamento temporário (LAT).
- e) Para grandes transportes: Caminhão caçamba responsável por transportar os resíduos de poda, varrição, capina e roçada até o pátio de compostagem, e após, transportar o composto maturado até o centro de destinação final.
- f) Para operação de poda, varrição, capina e roçada: Motosserras, motopodas, roçadeiras à combustão e vassouras. Tais equipamentos já fazem parte da rotina dos funcionários durante o serviço, normalmente já sendo disponível na instituição (universidade ou prefeitura).

Portanto, o grau de mecanização e os equipamentos necessários são bastante variáveis e o engenheiro projetista deve conciliar as alternativas de menor custo, garantindo a segurança do processo e a boa qualidade do produto final.

Além dos equipamentos básicos para funcionamento da compostagem, equipamentos extras podem ser implementados a fim de incrementar o projeto. Um exemplo bem sucedido é o da Serraria Ecológica, na cidade de Guarulhos, SP, onde se aproveitam o calor da fermentação das leiras de compostagem na própria usina. Para tal, foi implementada uma serpentina de cobre de 60 m por dentro do composto, por onde corre água, que alimenta um chuveiro (até 1 h de banho) e uma pia externa. Assim, os trabalhadores usufruem de água quente sem gasto com energia (ROCHA *et al.*, 2015).

Uma estação de envase do produto final também se torna uma infraestrutura interessante, principalmente para o uso do composto produzido em ações de educação ambiental e outras ações em que a divulgação do projeto possa servir de referência, até mesmo em eventos acadêmicos envolvendo a comunidade interna e externa. Além disso, caso o objetivo seja a venda desse produto, a estação será necessária para tal.

8.2.5 Instalação da composteira

Com a implantação dos locais de armazenamento temporário (LAT) (capítulo 8.2.2), os resíduos de poda, capina, varrição e roçada serão acumulados por uma semana, ou seja, serão acumulados cerca de 50m³ a 60m³ de resíduos. Assim, sugere-se a construção de duas composteiras por semana de dimensões 2,5m de largura, 1,6m de altura e aproximadamente 6,5m de comprimento, como apresentado no capítulo 7.

Também é interessante adicionar um pouco de composto em fase de semimaturação, na proporção de 5 a 10% de seu volume, nos resíduos em início de compostagem, como inóculo, ou seja, cerca de 10m³. Este procedimento é útil, pois acelera o processo de decomposição dos resíduos frescos, elevando o nível de atividade biológica, já que introduz microrganismos já adaptados ao processo de compostagem, principalmente quando se trata de compostagem de resíduos vegetais, mais lignificados, com alta relação C/N (FERNANDES & SILVA, 1999; BORKOWSKI, 2022). De acordo com Fernandes & Silva (1999) essa prática teve seu efeito positivo comprovado em inúmeros experimentos, pois esta inoculação traz consigo uma população já selecionada para o processo de compostagem.

Entretanto, de acordo com o mesmo autor, a inoculação de microrganismos específicos, mais aptos a degradar determinados tipos de substratos, em composteiras, não resulta em conclusões tão positivas. Segundo Fernandes & Silva (1999), vários pesquisadores investigaram a eficácia da adição de inoculantes contendo microrganismos específicos aos resíduos em processo de compostagem. E, em geral, estes trabalhos mostraram que devido à grande variedade e quantidade de microrganismos presentes nas misturas durante a compostagem, a população de microrganismos específicos se restringe, devido à competição, o que leva a evoluções parecidas entre misturas inoculadas com microrganismos específicos e as não inoculadas.

Conclusão corroborada por Souza (2016), que testou diferentes inóculos em compostagem realizada em biorreatores de bancada, e concluiu que a utilização de inoculação natural apresentou ao fim do processo menor relação C/N e nível de pH dentro do recomendado para o composto orgânico.

Assim, sugere-se apenas essa prática de uso do composto semimaturado, ao invés de inoculação de microrganismos específicos, que podem ser mais dispendiosos, acarretar maior controle do processo e mão-de-obra qualificada para tal, e pode não resultar em tantos ganhos positivos quanto se espera.

8.2.6 Quantidade final do composto gerado

Atualmente, o campus sede da UFJF gera por volta de 10 m³ a 12 m³ de resíduos verdes diariamente, o que culmina em aproximadamente 50 m³ a 60 m³ de resíduos semanais. Considerando a utilização dos locais de armazenamento temporário (LAT), que acumulam os resíduos por uma semana, como proposto no capítulo 8.2.2, e considerando o caminhão disponível para transporte dos resíduos de capacidade de 8 m³, serão necessários cerca de 7 a 8 viagens por semana para levar os resíduos provenientes de poda, capina, varrição e roçada ao pátio da UFJF. Ou seja, uma economia de cerca de 2 a 3 viagens por semana, além de economia de até 12 horas de trabalho e de até 75 km rodados pelo caminhão semanais.

Considerando a composteira de aproximadamente 26 m³ (conforme item 7.3), é

proposto a construção de duas leiras por semana. E levando em conta o período de 120 dias (17 semanas) para o processo de compostagem, seria necessário um espaço para 34 leiras a fim suprir a demanda da Universidade.

No início do uso da usina de compostagem, com o pátio vazio, o processo se dará com a inclusão de duas leiras por semana, até completo cerca de 120 dias. Após esse momento, a cada semana será destinado cerca de 30 m³ de composto já maturado, com a reposição de mais duas leiras novas com resíduos provenientes de poda e arborização urbana. Assim, o rendimento do pátio de compostagem é de cerca de 30 m³ por semana com peso médio de 3 toneladas, considerando-se a densidade de 0,1 g/cm³ (capítulo 8.2.7.4).

Como o pátio de compostagem atual da UFJF dispõe de 13.409 m², e cada leira ocupa cerca de 21 m² (inclusive espaçamento livre entre as leiras para circulação), 34 leiras ocupariam apenas 714 m², ou seja, 5% do espaço disponível.

8.2.7 Qualidade e destinação final do composto

A seguir, discrimina-se os resultados dos parâmetros físico-químicos analisados com sua discussão.

8.2.7.1 *Temperatura*

A fim de comparar as composteiras com e sem o revolvimento, foi analisada a existência de possíveis diferenças significativas a 95% de confiança. Após verificar-se a não aderência das distribuições de temperatura à distribuição normal pelo teste Shapiro-Wilk (TORMAN *et al.*, 2012), aplicou-se o teste Mann-Whitney (MANN & WHITNEY, 1947). Com relação ao parâmetro de temperatura, não foi identificada diferença significativa entre os tipos de leiras estudados ($p_valor = 0,0786$).

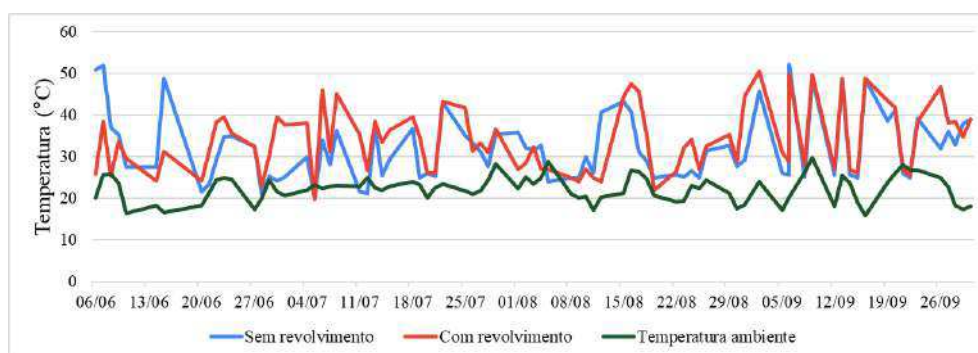
Além disso, não foi possível identificar, através dos dados de temperatura (Figura 13), as fases da compostagem mesofílica e termofílica (fase de degradação rápida) e de maturação (fase de humificação). Inicialmente, logo após a montagem das pilhas, houve um rápido aumento da temperatura na leira sem revolvimento (chegando até 52°C), enquanto que a leira com revolvimento manteve-se a temperaturas mais amenas (24,3°C a 38,4°C). Isso pode ter se dado devido à perda de energia muito severa que ocorreu através dos revolvimentos (VALENTE *et al.*, 2009).

Logo após as primeiras semanas, as temperaturas das leiras passaram a ter comportamento muito semelhante, aproximadamente constante, sendo observado certa coerência com a temperatura ambiente (Figura 13).

Acredita-se que os três fatos (não haver diferença significativa entre as leiras, dificuldade de observar as fases bem definidas e temperaturas próximas à temperatura

ambiente) são causados pela composteira estar localizada a céu aberto, totalmente suscetível à temperatura ambiente. Porém, mesmo assim, pode-se afirmar que houve degradação da matéria orgânica durante o período estudado, representado pelos acréscimos na temperatura interna das leiras (KIEHL, 1998; FERNANDES & SILVA, 1999; PEREIRA NETO, 2007; AZIM *et al.*, 2018; AFONSO *et al.*, 2021). Isso ocorre porque parte da energia presente nos compostos orgânicos (resíduos compostados) é usada para o crescimento dos microrganismos, enquanto que o restante é liberada como calor. Como resultado, o material que está sendo compostado se aquece, atingindo uma temperatura elevada (SOUZA *et al.*, 2001; PEIXOTO, 2005; PEREIRA NETO, 2007; VALENTE *et al.*, 2009).

Figura 13 – Variação mediana da temperatura, nas leiras com revolvimento e sem revolvimento, e temperatura ambiente, durante a compostagem.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

A temperatura das composteiras ficou entre 14°C e 52,2°C, com uma mediana de 23,1°C, não sendo possível inferir se houve eliminação dos organismos patogênicos e sementes indesejáveis, já que, para a Resolução nº 481 (BRASIL, 2017), a temperatura para pilhas ou leiras de compostagem deve manter uma média superior a 55°C por no mínimo 14 dias para essa afirmação. Porém, considerando a origem dos resíduos e a segregação na fonte, o que evita possíveis contaminações cruzadas, há indicativo da eficiência do processo e qualidade do produto final no que se refere a presença de organismos patogênicos. Já a temperatura ambiente variou de 6,5°C até 32,2°C, com mediana de 16,5°C.

Como dito anteriormente (capítulo 6.3.1), a ausência de calor, principalmente nos primeiros dias da compostagem, pode ter diversas causas, como déficit de microrganismos ou baixa colonização do meio; falta de oxigênio pelo excesso de umidade; material de granulometria muito alta, causando lentidão por parte dos microrganismos na degradação (SOUZA *et al.*, 2001; PEREIRA NETO, 2007; AFONSO *et al.*, 2021), entre outros.

Assim, além da influência da temperatura externa, acredita-se que o material de granulometria alta, devido à falta de trituração dos resíduos, e a dificuldade de manutenção da umidade entre 40 e 60% (capítulo 6.3.2) que será melhor abordada no capítulo 8.2.7.2, podem ter prejudicado a elevação da temperatura nas leiras de compostagem (AFONSO *et al.*, 2021).

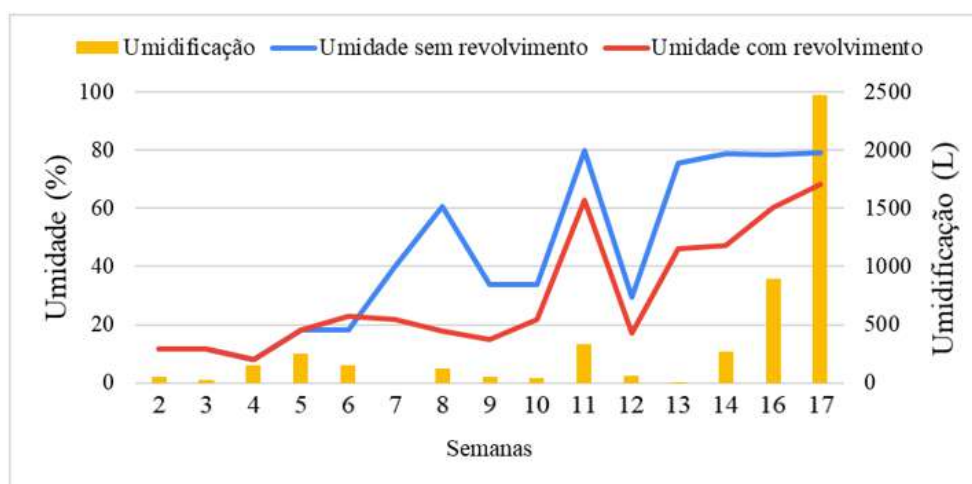
Ademais, o incremento de composto em fase de semimaturação nos resíduos em início de compostagem, (capítulo 8.2.5) pode ser útil para evitar o déficit de microrganismos ou baixa colonização do meio.

8.2.7.2 Umidade, aeração e revolvimento

Como não pôde ser observado a transição das fases de temperatura da compostagem, não se pode afirmar que houve maior perda de água na fase termofílica do processo, como era de se esperar. Porém, como apresentado na figura 14, a umidade tende a um aumento ao longo das semanas. Assim, pode-se inferir, mesmo sem respaldo da temperatura, que, conforme a decomposição dos materiais avançava, estes foram apresentando uma capacidade maior de retenção de água, diminuindo, portanto, a necessidade de umidificação.

Além disso, nas últimas três semanas houve um aumento substancial da pluviosidade (Figura 15), que elevou a umidade das composteiras, corroborando a diminuição da necessidade de aporte manual de água nas últimas semanas do processo.

Figura 14 – Variação mediana da umidade nas leiras com revolvimento e sem revolvimento, durante a compostagem.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

No processo de compostagem frequentemente há necessidade de reposição de umidade devido ao próprio metabolismo dos microrganismos, pela perda de água em forma de vapor e devido ao calor gerado no interior das leiras, além da perda de umidade pela ação dos ventos e pelo calor do sol (PEREIRA NETO, 1987; SOUZA *et al.*, 2001; BIDONE, 2001; PEIXOTO, 2005; SOUSA JÚNIOR, 2011). E, por ser a compostagem um processo biológico, a água é fundamental para as necessidades fisiológicas dos microrganismos que participam da decomposição do material orgânico (PEREIRA NETO, 2007; SOUSA JÚNIOR, 2011).

Porém, mesmo com o aporte manual semanal de água nas 6 primeiras semanas (exceto na semana 3 que houve incremento de umidade pela chuva), a umidade permaneceu abaixo de 40%, limite mínimo para que o processo ocorra de maneira satisfatória, segundo autores (KIEHL, 1985; FERNANDES & SILVA, 1999; BIDONE, 2001; CWM, 1996; PEIXOTO, 2005; PEREIRA NETO, 2007).

Esses valores podem ter comprometido a atividade microbiana do processo, fazendo com que a decomposição da matéria orgânica se tornasse lenta ou até mesmo paralisada temporariamente pela morte dos microrganismos (CWM, 1996; FERNANDES & SILVA, 1999; RICHARD *et al.*, 2002; VALENTE *et al.*, 2009).

Assim, a baixa umidade das leiras, entre 8,08% e 23% nas primeiras 6 semanas de estudo, aliado a falta da trituração dos materiais a serem compostados, explicam a lentidão no processo de degradação do composto, assim como verificado por Bidone (2006) que obteve umidades entre 36 e 42% sugerindo ter ocorrido um comprometimento parcial da atividade microbiológica nas leiras.

Em oposição, o excesso de umidade a partir da semana treze, na leira sem revolvimento, pode ter acarretado entupimento dos poros diminuindo a penetração de oxigênio. Tal fato pode inclusive ter levado a anaerobiose durante um pequeno período de tempo, mesmo não sendo observado em nenhuma das leiras de compostagem indicativos como mau cheiro (CWM, 1996; FERNANDES & SILVA, 1999; RICHARD *et al.*, 2002; CORTEZ, 2011).

Como dito no capítulo 7.4.4, o processo de umidificação e revolvimento ocorreram juntos, para evitar o acúmulo de umidade na leira. Assim, o revolvimento e a reposição de umidade ocorreram sempre que a temperatura aparentava acima de 65°C, ou que a umidade aparentava abaixo de 50%. No caso da temperatura, não foi observado nenhum momento em que a temperatura ultrapassasse os 65°C. Já com relação à umidade, foi necessário reposição de água em oito momentos (Quadro 4), dos quais dois sem que houvesse revolvimento (semana 8 e 12).

Quadro 4 – Umidificação e revolvimento realizados durante o período da compostagem.

| Semanas | 2 | 4 | 5 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Data | 11/06 | 26/06 | 03/07 | 08/07 | 25/07 | 03/08 | 22/08 | 31/08 |
| Umidificação | x | x | x | x | x | x | x | x |
| Revolvimento | x | x | x | x | | x | | x |

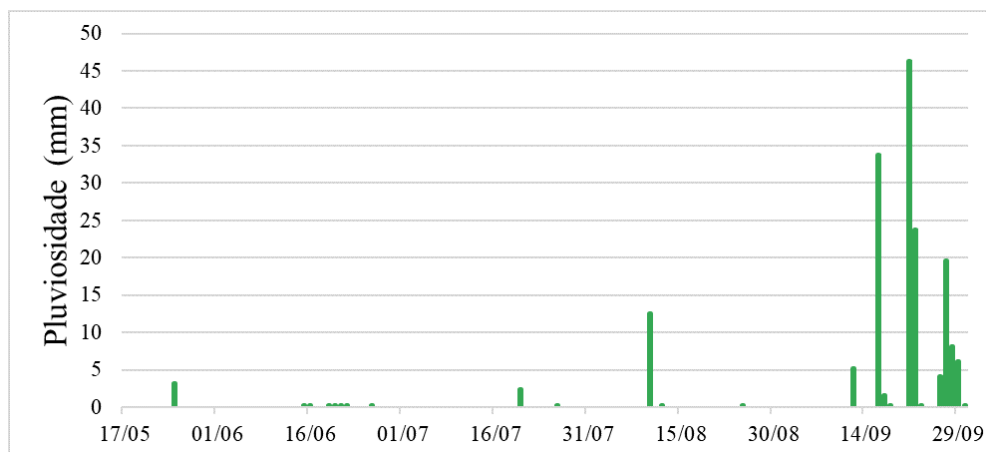
Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Como pode ser observado, o processo de aeração e revolvimento ocorreu aproximadamente uma vez por semana por 6 semanas, e após, apenas uma vez a cada 15 dias, semelhante ao que foi feito por Migot *et al.* (2019), Cotta *et al.* (2015), Meira (2010),

e Baratta Júnior (2007) com maior reposição de umidade e aeração logo no início do processo, e posterior diminuição da frequência.

Essa diminuição da frequência adotada de revolvimentos ocorreu também pelo fato de ter chovido muito nas últimas três semanas (semanas 15 a 17), como falado anteriormente, aumentando a umidade das leiras e dispensando o processo conjunto (Figura 15).

Figura 15 – Pluviosidade no período de 17 de maio a 30 de setembro



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

No geral, foram gastos 1.052 litros de água durante os 116 dias de compostagem, e foram aportados mais 3.841,50 litros de água pela chuva, porém, esse aporte totalizado não ocorreu de forma homogênea, já que as leiras de compostagem estavam sem proteção quanto à chuva (tenda). Assim, houve um aporte muito maior no final do processo, justamente no período em que não haveria tanta necessidade de umidificação.

Com relação aos revolvimentos, também é importante maior frequência no início do processo de compostagem, não só para homogeneizar o composto quanto à umidade, mas também para oxigenar o meio, já que a compostagem é um processo aeróbio, necessitando de oxigênio para atender às necessidades dos microrganismos envolvidos neste processo (FERNANDES & SILVA, 1999; BARATTA JÚNIOR, 2007; PEREIRA NETO, 2007). E é justamente no início do processo de compostagem que os microrganismos mais necessitam de oxigênio, cerca de 5 a 15% (FERNANDES & SILVA, 1999; VALENTE *et al.*, 2009).

Após análise de significância, não se obteve diferença significativa, a 95%, entre as leiras revolvidas e sem revolvimento quanto ao parâmetro de umidade ($p_valor = 0,1775$) (MANN; WHITNEY, 1947), assim como não houve diferença para o parâmetro de temperatura. Acredita-se que isso tenha ocorrido pelo fato da atividade microbiana no interior da massa em compostagem, ocorrer na presença de quantidades muito reduzidas de oxigênio (VALENTE *et al.*, 2009), principalmente quando se trata de resíduos secos, provenientes de poda, varrição, capina e roçada, que apresentam menor umidade e maior

porosidade.

Com isso, pode-se concluir que a frequência dos revolvimentos não tem necessariamente que ser executada com grande rigor, e sua ausência não foi um fator impeditivo para o desenvolvimento do processo. Porém, vale ressaltar que o não revolvimento pode ter causado um aumento do tempo de compostagem além de ter causado acúmulo de umidade na leira 1 de compostagem (SOUZA *et al.*, 2001).

8.2.7.3 *Tamanho das partículas*

Mesmo havendo um triturador na UFJF, não foi possível sua utilização para os experimentos de construção das leiras de compostagem, pois não havia no momento operador para tal máquina. Mesmo assim procedeu-se com a compostagem. Nesse caso o prejuízo de não se triturar os resíduos se deu pelas partículas muito grandes serem mais difíceis de degradar, diminuindo a velocidade de transformação, devido à menor área superficial (FERNANDES & SILVA, 1999; PEIXOTO, 2005; BENITO *et al.*, 2006; PEREIRA NETO, 2007; AFONSO *et al.*, 2021; BORKOWSKI, 2022), acarretando maior lentidão no processo de maturação da compostagem.

Mesmo após 116 dias de compostagem, observou-se quantidades de resíduos ainda grandes e não suficientemente degradados. Um dos motivos mais prováveis é a falta da trituração dos resíduos no início da compostagem, que prejudicou a degradação da matéria orgânica. Assim como foi observado a aceleração da degradação propiciada pela trituração no trabalho de Soares *et al.* (2018). Essa aceleração, propiciada por esse cuidado inicial, é fundamental em contextos que geram resíduos de forma periódica e que dispõem de espaço reduzido para a montagem de pilhas ou leiras. Além disso, a aceleração do processo, pela simples trituração do material orgânico, possibilita a rotatividade das leiras em um mesmo espaço, visto que a maturação do composto também ocorre de forma breve (SOARES *et al.*, 2018; AFONSO *et al.*, 2021).

Assim, recomenda-se o uso do triturador para a implementação da compostagem no campus, o qual foi melhor abordado no capítulo 8.2.4.

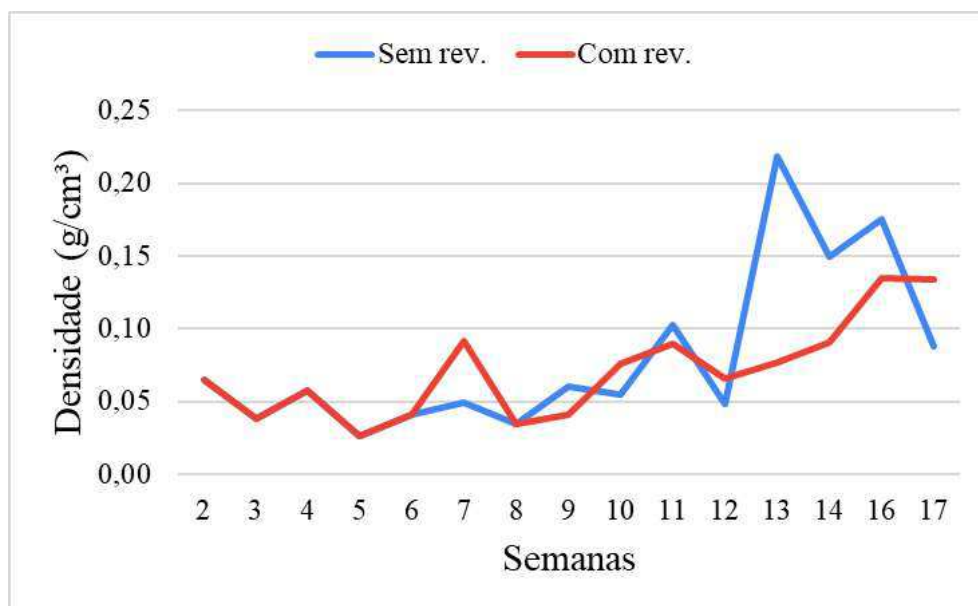
8.2.7.4 *Densidade aparente*

Com relação ao parâmetro de densidade aparente, após verificar-se a não aderência da distribuição a distribuição normal pelo teste Shapiro-Wilk test (TORMAN *et al.*, 2012), não foi identificada diferença significativa entre as composteiras com e sem o revolvimento, a 95% de confiança, pelo teste de Wilcoxon-Mann-Whitney ($p_valor = 0,9001$) (MANN & WHITNEY, 1947).

As composteiras construídas apresentavam aproximadamente 26 m³ ao início do processo, e após os 116 dias de compostagem apresentavam 11,55 m³ (leira 1), 14,85 m³ (leira 2) e 17,3 m³ (leira 3). Com relação à densidade, esta apresentou uma tendência de

acrécimo ao longo do tempo de compostagem (Figura 16), iniciando com cerca de 0,04 g/cm³ (mediana das 8 primeiras semanas) e finalizando com cerca de 0,1 g/cm³ (mediana das 7 últimas semanas), ou seja, acréscimo de aproximadamente 250%.

Figura 16 – Variação mediana da densidade, nas leiras com revolvimento e sem revolvimento, durante a compostagem



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Ou seja, a cada leira de resíduos compostado, serão gerados aproximadamente 15 m³ de composto, ou seja, 1,5 t de composto. Assim, a cada quilo de resíduos gerados, gera-se aproximadamente 0,58 kg de composto.

Esse resultado é semelhante ao encontrado por Da Silva, Rocha & Da Silva *et al.* (2018), que, quanto à densidade inicial de resíduos de folhas e aparas de grama, encontraram o mesmo valor de 0,04 g/cm³, e que sofreram aumento de densidade da biomassa úmida de aproximadamente 461%, chegando a aproximadamente 0,6 g/cm³ aos 110 dias de compostagem.

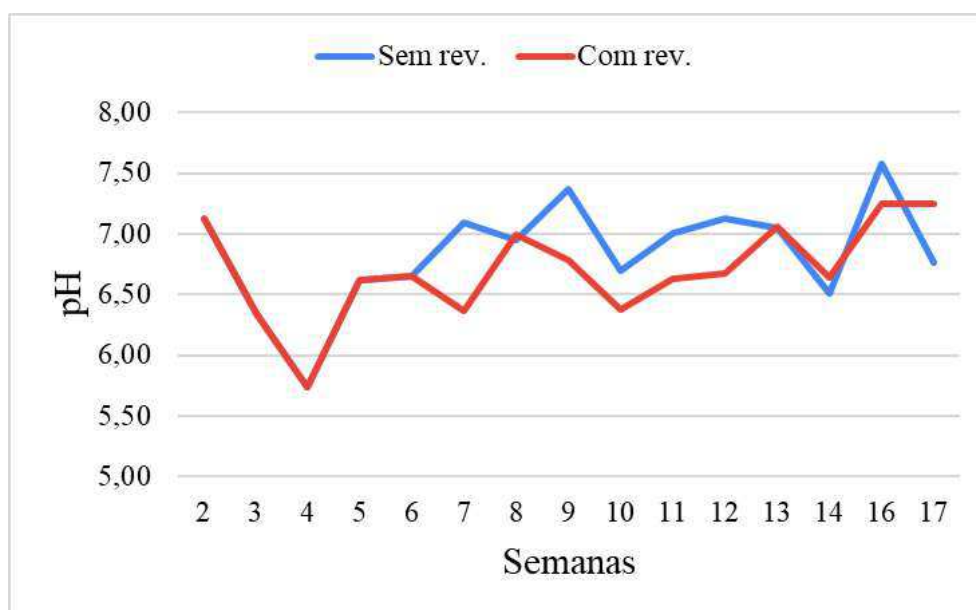
Isso ocorre devido ao consumo do carbono na matéria-prima por microrganismos durante a atividade biológica, que resulta em um aumento da humificação e redução de massa e volume iniciais. Durante o processo de biotransformação, parte da matéria orgânica é degradada em CO₂ e H₂O, havendo uma perda importante de massa, que após a maturação poderá variar de 30 a 60% do peso inicial, em função do teor de matéria orgânica degradada e da quantidade de água evaporada (FERNANDES & SILVA, 1999). Este consumo da biomassa reduz o volume e os espaços de aeração devido ao ataque microbiano e à aglutinação de partículas, causando alojamento e aumento da densidade (Da SILVA, ROCHA & Da SILVA *et al.*, 2018). Este fator se reflete evidentemente nos volumes transportados e no valor final da venda (FERNANDES & SILVA, 1999).

8.2.7.5 pH

Também com relação ao parâmetro de pH, não foi possível identificar diferença significativa, a 95% de confiança entre as leiras com e sem revolvimento ($p_valor = 0,3612$) (KALPIĆ; HLUPIĆ; LOVRIĆ, 2011). Na figura 17 é possível acompanhar os valores de pH ao longo do processo de compostagem.

Pode-se observar que, como era de se esperar, houve uma rápida diminuição dos valores, logo nas primeiras semanas, com o pH diminuindo de 7,13 para 5,74 (medianas) da segunda para a quarta semana de acompanhamento (Figura 17). A explicação para essa queda do valor pode ser atribuída à grande produção de ácidos orgânicos que ocorre em reação à liberação de bases durante a decomposição da matéria orgânica, logo no início do processo. Esta etapa proporciona o crescimento de fungos e a quebra de lignina e de celulose que vão sendo transformadas em ácidos fúlvicos e húmicos pela atuação da micro e macrofauna e dos catalisadores abióticos (FERNANDES & SILVA, 1999; PEIXOTO, 2005; PAVINATO & ROSOLEM, 2008; GRANDO, CAVALHEIRO & RHODEN, 2017; DA SILVA, ROCHA & DA SILVA, 2018).

Figura 17 – Variação mediana do pH, nas leiras com revolvimento e sem revolvimento, durante a compostagem



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Após esse momento inicial, o pH sofreu aumento constante, voltando a valores próximos a neutralidade. Isso ocorre devido a descarboxilação de ânions orgânicos que consomem prótons e liberam amônia, através da hidrólise das proteínas (PEIXOTO, 2005; DA SILVA, ROCHA & DA SILVA, 2018; AZIM *et al.*, 2018).

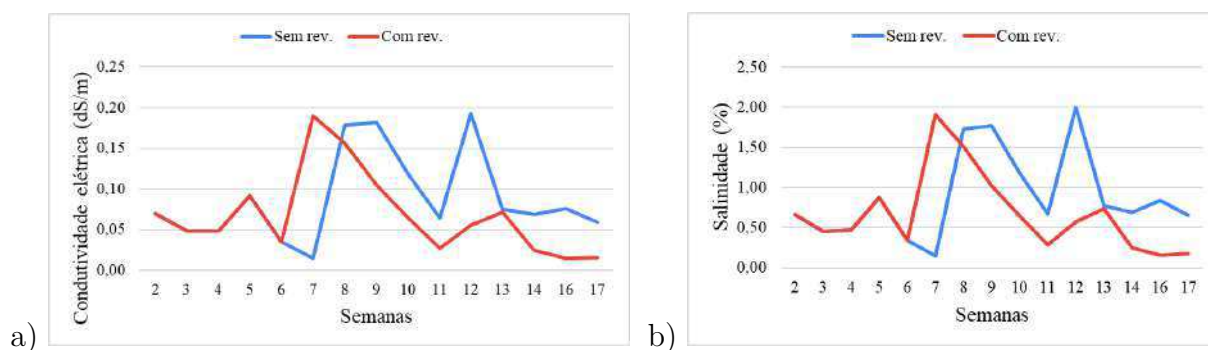
O valor de pH final alcançado pelo composto, próximo a 7, indica que ele está semicurado ou bioestabilizado, comprovando assim que o processo de compostagem foi

eficiente, porém lento. Mesmo assim, conclui-se que está apto a ser utilizado como substrato, como afirma Matos (2015), que a faixa aceitável de pH de um substrato maturado encontra-se entre 6,0 e 8,0, informação que será corroborada com o capítulo 8.2.7.9.

8.2.7.6 Condutividade elétrica e salinidade

Com relação ao parâmetro de condutividade elétrica e salinidade, percebeu-se, pela figura 18, que apesar de haver mudança nos valores ao longo das semanas, com aumento no período intermediário da compostagem e valores menores no início e final do processo, o valor final não sofreu grandes alterações, permanecendo entre 0,01 e 0,19 dS/m, ou seja, bem abaixo do limite máximo de tolerância de diversas culturas (capítulo 6.3.7).

Figura 18 – Variação mediana da condutividade elétrica (a) e salinidade (b), nas leiras com revolvimento e sem revolvimento, durante a compostagem



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Os aumentos que ocorreram durante a sétima e a décima terceira semanas podem ser devido à produção e acúmulo de componentes solúveis (por exemplo, NH_4^+) provenientes da degradação da matéria orgânica. Após um período de tempo, esses componentes são perdidos, seja por volatilização, como é o caso da amônia, seja por degradação e consumo pela biota presente no ambiente, caso do carbono orgânico e humificação de sais e ácidos orgânicos micromoleculares em húmus macromolecular (HE *et al.*, 2020). Dessa forma, promove diminuição do valor da condutividade e salinidade.

No caso da cultura da alface, valores de condutividade elétrica superiores a 0,8 dS/m podem ser prejudiciais para o desenvolvimento das mudas, fazendo com que não sejam capazes de absorver efetivamente nutrientes e água (JORGE *et al.*, 2020), o que não ocorreu com o substrato produzido por meio da compostagem.

Diversos autores também encontraram valores finais de condutividade próximos ao encontrado neste experimento, não sendo um parâmetro crítico para uso do substrato (BENITO *et al.*, 2006; BORKOWSKI, 2022). Porém, deve-se atentar para o fato de que o substrato produzido por meio da compostagem de resíduos verdes normalmente não

apresenta grandes quantidades de nutrientes, sendo melhor condicionador do solo do que nutricional (SOUZA *et al.*, 2001).

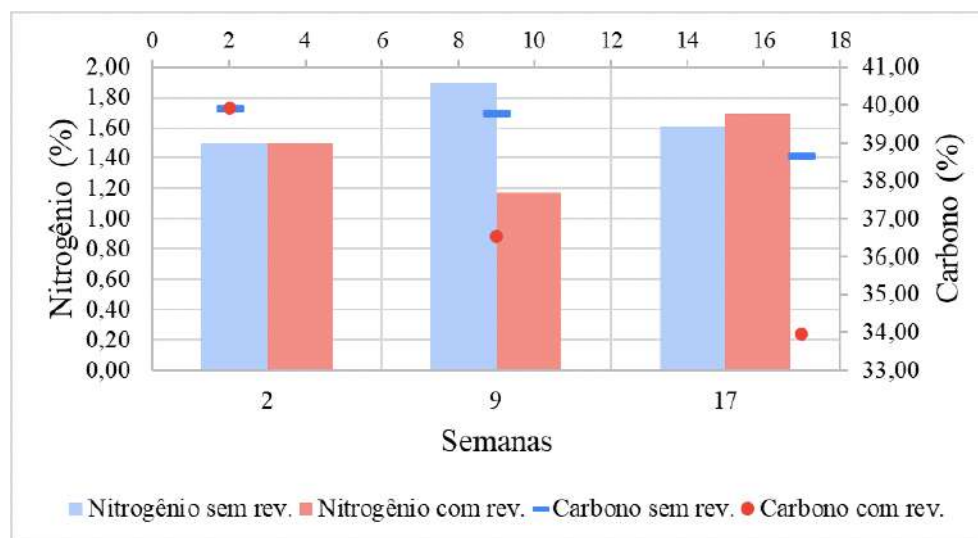
Não foi identificada diferença significativa entre as composteiras com e sem o revolvimento, a 95% de confiança, pelo teste de Wilcoxon-Mann-Whitney ($p_valor = 0,9001$) (MANN & WHITNEY, 1947).

8.2.7.7 Carbono, nitrogênio e relação C/N

Como dito anteriormente (capítulo 6.3.8), o carbono é essencial como fonte de energia e como componente elementar para os microrganismos decompositores, além de ser um grande componente da matéria orgânica, importantíssima para a qualidade do solo. Segundo Kiehl (1995); MAPA (2017) e Meira (2010), é importante garantir pelo menos 40% de matéria orgânica total nos materiais que serão decompostos por compostagem e formarão um substrato.

Nas amostras coletadas foi encontrado o valor de 39,91% na primeira semana de monitoramento, para ambas as leiras, finalizando com valores medianos de 38,66% para a leira sem revolvimento e mediana de 33,96% para as leiras com revolvimento (Figura 19).

Figura 19 – Variação do carbono e nitrogênio, nas leiras com revolvimento e sem revolvimento, durante a compostagem



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

O decréscimo ocorrido ao longo das semanas se dá pelo fato de os microrganismos que realizam a decomposição da matéria orgânica eliminarem grande parte do carbono na forma de gás carbônico (CO_2) e imobilizarem no seu protoplasma celular o restante (KHIEL, 1995; PEIXOTO, 2005; VALENTE *et al.*, 2009; AYILARA *et al.*, 2020). Como as leiras com revolvimento favorecem o desprendimento desse carbono, na forma de gás carbônico gerado pelos microrganismos durante sua respiração, para a atmosfera, os valores

desse elemento serão menores nas leiras com revolvimento quando comparadas à sem revolvimento.

Já com relação ao nitrogênio, outro elemento essencial para síntese de proteínas, aminoácidos e ácidos nucleicos de microrganismos (FERNANDES & SILVA, 1999; SOUSA JÚNIOR, 2011; TOLEDO *et al.*, 2020), os valores encontrados foram de 1,18% a 1,9% ao longo das medições realizadas, apontando um acréscimo geral no processo (figura 19).

A primeira questão a ser levantada sobre esse elemento é com relação ao alto teor inicial das amostras. Apesar de os resíduos secos (resíduos vegetais provenientes de poda, varrição, capina e roçada) normalmente não conterem materiais ricos em nitrogênio (KHIEL, 1985; MAPA, 2017; MIGOT *et al.*, 2019; JORGE *et al.*, 2020; AFONSO *et al.*, 2021), obteve-se resultados positivos, superiores a 1%.

Este fato pode ser explicado pela presença de aparas de grama *Brachiaria spp.* (Poaceae), e árvores leguminosas, da família Fabaceae (capítulo 8.2.1). Na família Fabaceae é muito comum a ocorrência de lectinas, proteínas que se ligam a carboidratos ou glicopeptídeos (SÁ JÚNIOR, 2018), e de acordo com estudos de Bugni *et al.* (2020), várias espécies desta família apresentam altos teores de nitrogênio em sua composição, como é o caso da espécie *Enterolobium contortisiliquum*, com quase 41 g/kg de nitrogênio, e ainda conhecida pela presença de consideráveis níveis da substância secundária saponina (BUGNI *et al.*, 2020). Tal espécie foi encontrada no campus da UFJF, em estudo realizado por Moreira & Carvalho (2013), provavelmente fazendo parte das espécies que deram origem aos resíduos de poda analisadas nesta dissertação.

Outras famílias também encontradas nos estudos de inventário da UFJF, Euphorbiaceae e Melastomataceae (capítulo 8.2.1) apresentam considerável concentração de nitrogênio na composição de suas espécies. Como é o caso da espécie *J. gossypifolia*, da família Euphorbiaceae, cujo um dos principais metabólitos secundários é a presença de grupos aminos e proteínas (SILVEIRA, 2017); e quanto à família Melastomataceae, encontra-se altas concentrações de saponinas que têm boa capacidade de formação de complexos com proteínas (CRUZ *et al.*, 2022). Em todas essas famílias encontra-se a presença acentuada de proteína, componente orgânico rico em nitrogênio, visto que a maioria das proteínas contém aproximadamente 16% de nitrogênio (SGARBIERI, 1996).

Além disso, Migot *et al.* (2019) concluíram, através de seus estudos de compostagem com poda de árvore e aparas de grama, que gramas apresentaram elevado teor de nitrogênio na estação seca do ano. Benito *et al.* (2006) também encontraram teores de nitrogênio total (TN) variando de 0,99% e 2,01% para restos de poda, folhas e aparas de grama. Resultado corroborado por Da Silva, Rocha & Da Silva *et al.* (2018), que concluiu que o composto gerado por folhas e material vegetal triturado sem adição de inoculante, apresentou temperaturas iniciais mais baixas significativamente, a 95% de confiança, se comparado ao tratamento gerado através da compostagem com aparas de grama.

Isso ocorre devido à própria estrutura celular dos materiais que estão sendo compostados. Enquanto as folhas e os galhos triturados têm uma estrutura celular formada por cadeias químicas mais longas, composta por fibras de celulose, lignina, ceras e óleos, os resíduos de grama apresentam tecido jovem e menos complexo, o que facilita a decomposição de estruturas de carboidratos menos complexas pelos microrganismos, resultando em uma estabilização mais rápida (Da SILVA, ROCHA & Da SILVA *et al.*, 2018).

O segundo ponto a ser observado é com relação ao acréscimo geral do teor de nitrogênio ao final do período de compostagem. Tal comportamento foi contrário ao esperado, que seria a diminuição desse nutriente pela incorporação nos tecidos celulares dos microrganismos e volatilização de seu excedente na forma de amônia (KHIEL, 1985; PEIXOTO, 2005; VALENTE *et al.*, 2009; AYILARA *et al.*, 2020).

Em seus experimentos, Cotta *et al.* (2015) também encontraram aumento do teor desse nutriente ao final dos 98 dias de compostagem de resíduos vegetais, esterco bovino e serragem. Tal fato provavelmente se deu pela conversão do N_2 gasoso atmosférico fixado por certas espécies de organismos altamente especializados. A fixação desse nutriente em compostos utilizáveis pelas plantas (nitrato e nitrito) possibilita ocorrer pequena adição de nitrogênio no interior das leiras de compostagem (COTTA *et al.*, 2015).

Durante o período da compostagem, o processo de imobilização do nitrogênio também pode ter ocorrido, que é uma diminuição temporária na disponibilidade de N no solo, ocorrendo quando há aporte de material orgânico com alta relação C/N, normalmente acima de 30 (BATISTA *et al.*, 2018).

Além disso, vale ressaltar que as condições favoráveis para volatilização da amônia (pH maior que 7,0 e temperatura superior a 60 °C) (PEIXOTO, 2005) não ocorreram em nenhuma ocasião durante os experimentos, o que pode ter evitado a sua perda.

Incorporando os resultados de carbono e nitrogênio, pode-se chegar aos seguintes valores de relação carbono/nitrogênio: 26,61 para o início da compostagem e 24,01 para o final do processo na leira sem revolvimento e 20,09 para as leiras com revolvimento.

Assim, pelo fato de o valor de nitrogênio encontrado para o início do processo de compostagem ser elevado, o resultado de uma relação C/N inicial alta, de aproximadamente 26,6, não foi controverso nas amostras. Assim, estando a relação dentro da faixa normalmente sugerida por pesquisadores, de 20 a 30 (AZIM *et al.*, 2018; AYILARA *et al.*, 2020; JORGE *et al.*, 2020), concluiu-se que não era necessária a adição de suplemento de nitrogênio em nenhuma das leiras de compostagem.

Pelo fato de os microrganismos consumirem cerca de 20 a 30 partes de carbono para cada parte de nitrogênio, o produto final da compostagem (húmus) tem uma relação C/N próxima a 10 (KHIEL, 1995; PEIXOTO, 2005; AZIM *et al.*, 2018; AYILARA *et al.*, 2020; JORGE *et al.*, 2020). Porém, encontrou-se valores superiores a 20 no experimento produzido.

Duas explicações podem ser encontradas para esse resultado: i) o alto teor de carbono encontrado em componentes muito recalcitrantes (como a celulose, a lignina e a hemicelulose presente nos resíduos vegetais - capítulo 6.2), levando a relações finais de C/N altas devido a biodisponibilização deste composto ser inferior ao carbono total presente nas amostras (BENITO *et al.*, 2006; VALENTE *et al.*, 2009; CESTONARO, BARROS & MATOS, 2022); ii) o composto não estar totalmente maturado (AFONSO *et al.*, 2021), fato que explica os valores finais encontrados de pH (capítulo 8.2.7.5) baixos e decorrente da baixa temperatura e desnível da unidade observados (capítulo 8.2.7.1 e capítulo 8.2.7.2).

Corrêa (1998) também encontrou valores superiores de relação C/N para seus estudos. Ele avaliou diferentes tipos de camas na criação de suínos, como casca de arroz, maravalha, sabugo de milho e serragem, e verificou que ao final de 100 dias de compostagem, os valores reduziram para 14; 15; 12 e 20, respectivamente. O mesmo ocorreu em trabalho de Benito *et al.* (2006), onde a relação C/N do composto produzido para restos de poda, folhas e aparas de grama variou entre 22 e 48, sendo que os autores concluíram que uma relação C/N em torno de 30 indica maturidade do composto para o tipo de resíduo que estava sendo compostado (BENITO *et al.*, 2006). Cestonaro, Barros & Matos (2022) chegaram a resultados de que 47% dos lotes de composto produzidos em seus experimentos não cumpriram o valor máximo aceitável para a relação C/N exigido pela regulamentação brasileira, de 20.

Além disso, Khiel (1995), Meira (2010), e Peixoto (2005) concluíram em seus estudos que um composto apresentando relação C/N entre 13 a 18, chamado de semicurado ou bioestabilizado pode ser utilizado sem risco de causar danos às plantas. Tal toxicidade será avaliada, em potencial para cultivo de alface, na seção 8.2.7.9.

Com relação a comparação entre as leiras com e sem revolvimento, os parâmetros carbono e nitrogênio apresentam distribuição normal mas não apresentam diferença significativa, a 95% de confiança ($p_valor = 0,0583$ e $p_valor = 0,9779$, respectivamente) (KALPIĆ; HLUPIĆ; LOVRIĆ, 2011); e o parâmetro de relação C/N não segue uma distribuição normal e não apresenta diferença significativa, a 95% de confiança ($p_valor = 0,5766$) (MANN & WHITNEY, 1947).

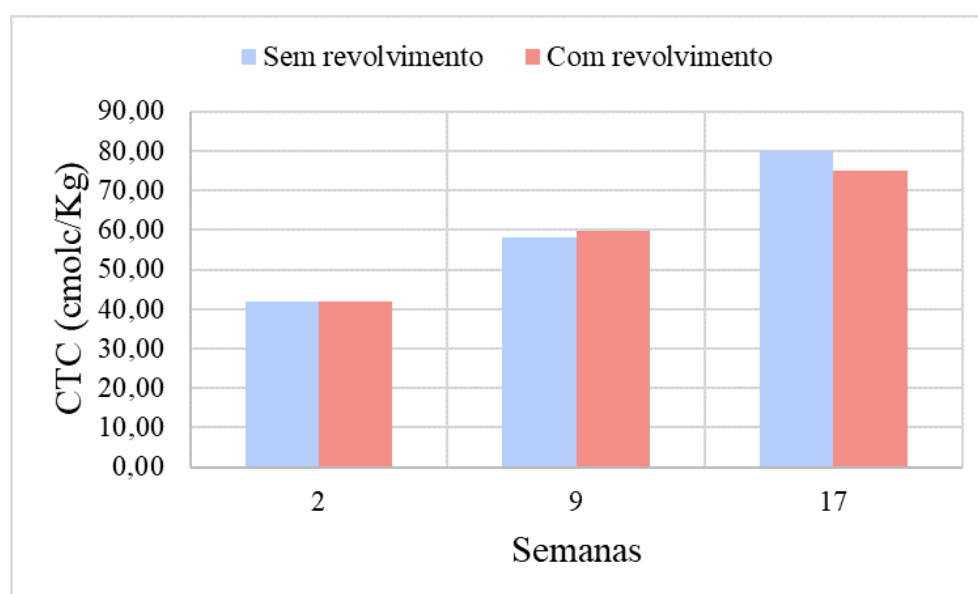
8.2.7.8 CTC, fósforo, enxofre e potássio

Os valores encontrados para a CTC (capacidade de troca catiônica) das leiras foram apresentados na figura 20 abaixo.

Como era de se esperar, o valor subiu ao longo do período da compostagem, chegando a valores acima de $60 \text{ cmol}_c/\text{kg}$, limite recomendado para bons compostos de resíduos sólidos urbanos (IGLESIAS JIMÉNEZ E PÉREZ GARCÍA, 1992; BRITO, 2007). Isso ocorre devido à produção de grupos funcionais a partir da biotransformação da matéria

orgânica presente nos materiais a serem compostados, já que grande parte da matéria orgânica presente nos resíduos provenientes de poda, varrição, capina e roçada são as substâncias húmicas (CESTONARO, BARROS & MATOS, 2022). Esse componente da matéria orgânica é considerado a sua parte mais estável e contém grupos funcionais que apresentam a capacidade de interagir com íons metálicos, podendo inativar elementos tóxicos, além de aumentar a capacidade de troca de cátions importantes para a nutrição das plantas com o solo (RIBEIRO, GUIMARÃES & ALVAREZ, 1999; FERNANDES & SILVA, 1999; PEIXOTO, 2005; COUTO *et al.*, 2010; GRANDO, CAVALHEIRO & RHODEN, 2017).

Figura 20 – Variação da CTC, nas leiras com revolvimento e sem revolvimento, durante a compostagem

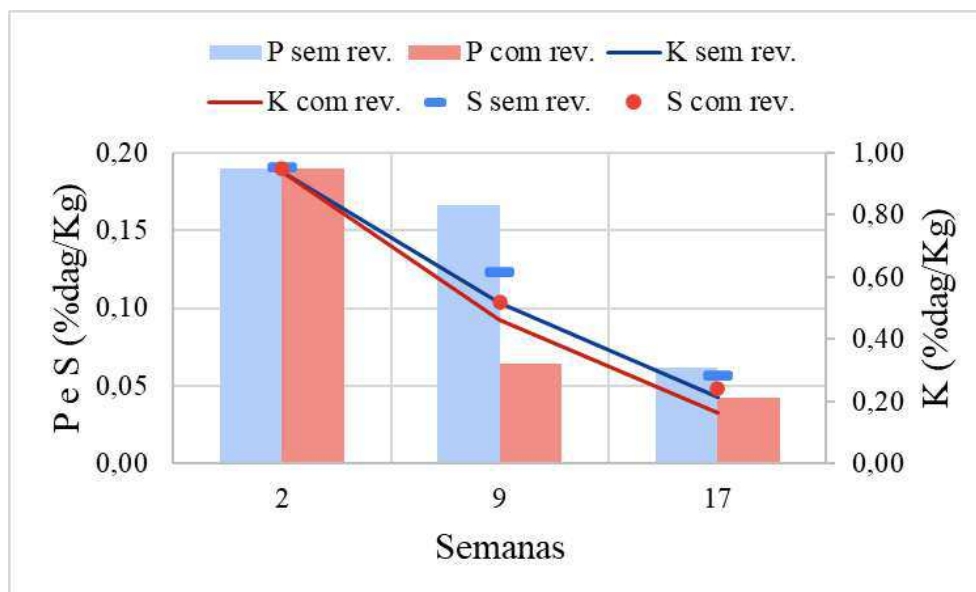


Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Já com relação aos elementos potássio, fósforo e enxofre, os três sofreram diminuição ao decorrer do processo de compostagem (Figura 21), o que indica que houve perda desses nutrientes por lixiviação, como é caso do potássio, ou fixação pelos microrganismos como é o caso do fósforo (SOUSA JÚNIOR, 2011).

Com relação a este último, Da Silva, Rocha & Da Silva *et al.* (2018) não encontraram diferenças significativas entre os diversos tratamentos estudados com inoculação de materiais ricos em fósforo (como esterco) ou não, para a composição final desse componente no composto estabilizado. O que ressalta a importância de incrementos desses nutrientes após a finalização do processo de compostagem, quando o interesse for suplementação nutricional, já que esses nutrientes, juntamente com o nitrogênio, são os principais exigidos para o crescimento das plantas e favorecimento da sua produtividade (RAZAQ *et al.*, 2017; AYILARA *et al.*, 2020), e são normalmente deficitários em compostos produzidos por meio de resíduos vegetais apenas (BATISTA *et al.*, 2018; REYES-TORRES *et al.*, 2018).

Figura 21 – Variação do fósforo, enxofre e potássio, nas leiras com revolvimento e sem revolvimento, durante a compostagem



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Com relação ao enxofre, de acordo com a Instrução Normativa nº 25 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2009), o teor mínimo necessário para um bom substrato comercializável é de 1% em massa sólida. Assim, sugere-se a incrementação desse nutriente para utilização como adubo.

8.2.7.9 Destinação final do composto

A compostagem faz com que a matéria orgânica seja degradada em produtos químicos de baixo peso molecular, como polissacarídeos, açúcares redutores e aminoácidos, que podem servir como precursores de húmus. Estes, materiais orgânicos solúveis, são os únicos produtos químicos que podem passar pelas membranas celulares dos microrganismos (GUO *et al.*, 2019, JIANG *et al.*, 2021; JIN *et al.*, 2022). Dessa forma, o composto já maduro pode ser aplicado para melhorar a fertilidade do solo e o crescimento das plantas (FERNANDES & SILVA, 1999; LEITE *et al.*, 2015; YANG *et al.*, 2021; CESTONARO, BARROS & MATOS, 2022). Porém, a aplicação de composto imaturo pode prejudicar o crescimento e desenvolvimento das plantas, devido à grande atividade microbiana que ele promoverá no solo, podendo induzir competição por oxigênio e nutrientes na rizosfera, e liberação de substâncias tóxicas (OLIVEIRA; SARTORI; GARCEZ, 2008; YANG *et al.*, 2021).

Muitos autores se debruçaram em estudos sobre maturidade de substrato de compostagem aeróbica mecanizada, porém, a literatura ainda carece de mais estudos que abordem substratos produzidos por meio da compostagem em larga escala, com

revolvimentos manuais (LI *et al.*, 2018, WANG *et al.*, 2022a; KONG *et al.*, 2022), que normalmente diferem por apresentar uma aeração menos controlada e de certa forma restrita quanto à profundidade de difusão de oxigênio, resultando em uma temperatura mais baixa, quase ambiente (WANG *et al.*, 2022b). Portanto, a matéria orgânica não é degradada uniformemente, levando a um composto com qualidade variável (LIU *et al.*, 2020a).

Assim, para viabilizar a destinação do composto produzido, é fundamental avaliar-se sua maturidade. Para tal, métodos físicos, químicos e biológicos podem ser usados para identificar e caracterizar mudanças (KOMILIS, 2015; CHEN *et al.*, 2018; XUE *et al.*, 2019). Dessa forma, foram realizados testes de germinação e crescimento de mudas, conforme exposto no capítulo 7.5.

A proposta de uso do composto produzido na Universidade Federal de Juiz de Fora é de aproveitamento como substrato nas áreas verdes do próprio campus, de forma a economizar recursos financeiros com transporte para outro local e diminuir gastos com compra de adubos e demais substratos comerciais.

Os resultados obtidos para os parâmetros analisados em todos os cinco tratamentos são mostrados na tabela 1:

Tabela 1 – Resultados dos parâmetros analisados por tratamento

| TRATAMENTOS | IG (%) | CA (cm) | CR (cm) | CT (cm) | IMFT (mg) | IMSA (mg) | IMSR (mg) | IMST (mg) |
|----------------------------------|--------|---------|---------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 0% composto e 100% terra vegetal | 71,3 | 2,47 | 8,18 | 10,65 | 28,66 | 2,92 | 1,10 | 4,02 |
| 25% composto e 75% terra vegetal | 91,3 | 4,37 | 9,80 | 14,17 | 149,71 | 7,95 | 3,17 | 11,12 |
| 50% composto e 50% terra vegetal | 96,3 | 6,59 | 8,57 | 15,16 | 255,01 | 11,90 | 3,75 | 15,64 |
| 75% composto e 25% terra vegetal | 73,8 | 7,07 | 7,55 | 14,61 | 308,65 | 13,07 | 2,96 | 16,03 |
| 100% composto e 0% terra vegetal | 87,5 | 6,32 | 4,20 | 10,52 | 194,42 | 10,65 | 2,24 | 12,89 |

Fonte: Elaborada pela autora (2023)

em que:

- a) IG = Índice de germinação;
- b) CA = Comprimento da parte aérea;
- c) CR = Comprimento das raízes;
- d) CT = Comprimento total (raiz + parte aérea);
- e) IMFT = Índice de massa fresca total (raiz + parte aérea);

- f) IMSA = Índice de massa seca da parte aérea;
- g) IMSR = Índice de massa seca das raízes;
- h) IMST = Índice de massa seca total (raiz + parte aérea).

8.2.7.9.1 Índice de germinação (IG) e índice de velocidade de emergência (IVE)

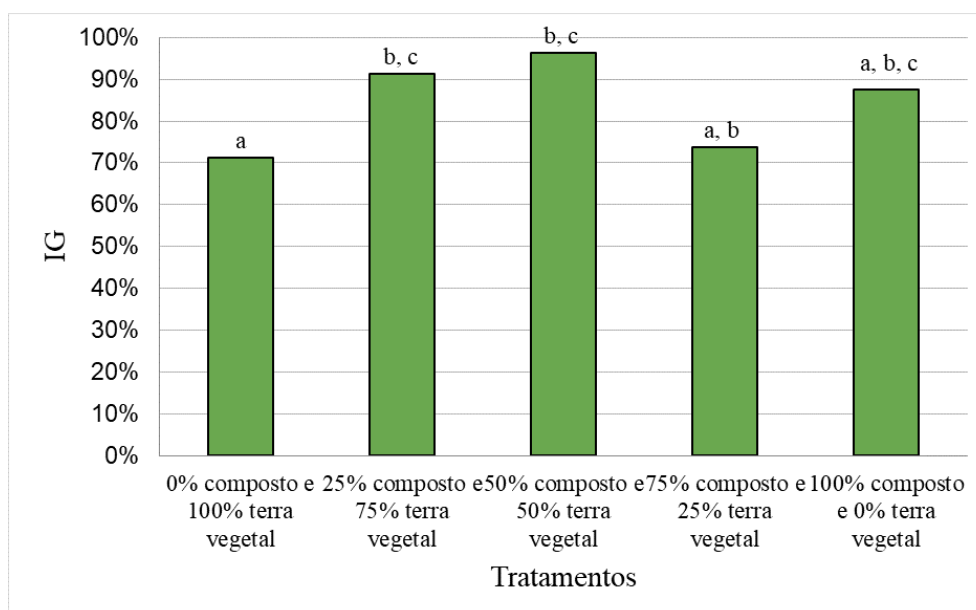
O índice de germinação de sementes (IG) surge como um indicador biológico sensível e confiável, mais direto ao testar se o composto produzido é inibidor do crescimento ou não, e amplamente utilizado para avaliar a maturidade e a fitotoxicidade de um composto (WANG *et al.*, 2017; LUO *et al.*, 2018; ZHAN *et al.*, 2021; WANG *et al.*, 2022a; KONG *et al.*, 2022). Foi proposto pela primeira vez por Zucconi *et al.* em 1981, com um IG de mais de 80% indicando composto maduro e livre de fitotoxicidade (ZUCCONI *et al.*, 1981; WANG *et al.* 2015; BOHM *et al.*, 2017; YANG *et al.*, 2021; KONG *et al.*, 2022). De um modo geral, diversos autores afirmam que quando o IG da semente é superior a 50%, indica que o produto composto atingiu a maturidade (WANG *et al.* 2013b ; MENG *et al.* 2018; QING *et al.*, 2020; YANG *et al.*, 2021).

Nas avaliações do desenvolvimento das mudas de alface, a germinação das sementes foi afetada significativamente, a 95% de confiança, pelos diferentes teores de composto gerado pela compostagem, para 23 dias após a germinação.

A emergência das plântulas iniciou-se a partir do sexto dia após a realização da semeadura, tendo o valor máximo de plantas emergidas após 12 dias. Aos seis dias de experimento, o substrato que teve melhor desempenho foi o que continha 25% composto, seguido do que continha 0% composto, que apresentaram percentual de emergência de 48,8% e 42,5% respectivamente, enquanto os tratamentos com maior porcentagem de composto obtiveram índice de germinação de apenas 27,5% (75% composto) e 20% (100% composto). Porém, após esse período, o substrato que apresentou melhor desempenho foi o 50% composto, visto que o percentual de emergência ficou acima de 96% após os 10 dias de semeadura, enquanto que o pior desempenho se deu ao tratamento de 0% composto, com apenas 71,3% de IG ao final do experimento (Figura 22).

Ao final dos 23 dias de germinação, o IG de todos os tratamentos foi alto, superior a 50% (Figura 22), indicando que o produto composto atingiu a maturidade (WANG *et al.* 2013b ; MENG *et al.* 2018; QING *et al.*, 2020; YANG *et al.*, 2021). Este fenômeno pode indicar a baixa concentração de compostos aleloquímicos que interferem na emergência da plântula, como ácidos orgânicos voláteis e NH_4^+ que inibem seu crescimento (WANG *et al.*, 2015; WANG *et al.*, 2017; HE *et al.*, 2020). Além de presença de compostos húmicos, já que a fitotoxicidade do composto pode ser reduzida pela formação de húmus (GUO *et al.*, 2019, JIANG *et al.*, 2021; KONG *et al.*, 2022).

Figura 22 – Resultados do índice de germinação (IG) para os cinco tratamentos em três momentos



*OBS: Índices iguais não evidenciam diferença significativa a 95% de confiança.

Fonte: Elaborada pela autora (2023).

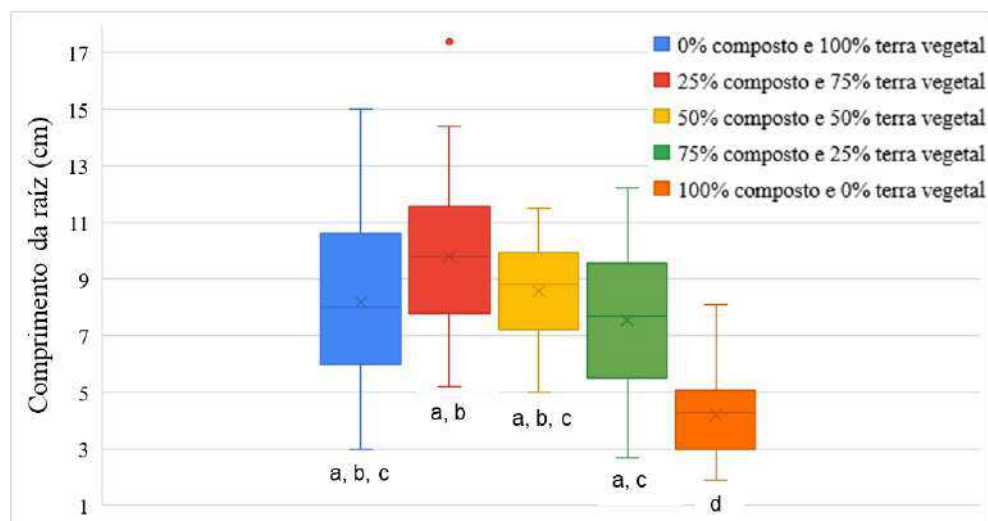
Tal resultado foi superior ao encontrado por Fagundes *et al.* (2020), que encontrou IG de 67% a 87%; semelhante ao resultado de Borkowski (2022) de 87 a 89% e inferior ao resultado de Bohm *et al.* (2017) de 96% a 98%.

8.2.7.9.2 Análise do desenvolvimento das raízes e parte aérea das plântulas

Constatou-se que houve diferença significativa de crescimento para a característica de comprimento da radícula das plântulas, entre os tratamentos propostos. De acordo com a Figura 23, observa-se que conforme foi aumentado o teor de composto, o comprimento de radícula foi diminuindo do tratamento 25% composto até o que continha 100% composto. Monteiro *et al.* (2012) e Borkowski (2022) em análises de desenvolvimento de plântulas de alface, também resultaram em valores de comprimento de raízes inferiores com o uso de composto orgânico produzido. A conclusão dos autores foi que, devido à menor retenção de água, sobrou maior espaço livre para o desenvolvimento das raízes. Para melhor análise, um estudo de porosidade seria necessário, a fim de corroborar tal hipótese. Quanto ao comprimento da radícula, obteve-se média de 7,66 cm, superior ao encontrado por Bohm *et al.* (2017) de 2,80 a 3,30 cm, em seu estudo com germinação de alface em substrato de compostagem com folhas de Sibipiruna (*Caesalpinia pluviosa*).

Já com relação à massa das raízes, o resultado foi diferente. Os tratamentos que resultaram em melhor desenvolvimento da massa seca foram o 50% composto, com massa média de 3,75 mg, seguido do 25% composto, com massa média de 3,16 mg (Figura 24).

Figura 23 – Resultados do comprimento da raiz (CR) para os cinco tratamentos



*OBS: Índices iguais não evidenciam diferença significativa a 95% de confiança.

Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Tal comportamento também foi observado por Borkowski (2022), em que tratamentos intermediários de composto (25% a 75% composto) resultaram em melhores desempenhos quando comparados a tratamentos mais extremos (0% e 100% composto), porém foram encontrados valores inferiores aos do autor, que chegaram a um crescimento de até 12 mg com 75% de composto mas superior aos valores de Bohm *et al.* (2017) de 1,18 a 1,67 mg.

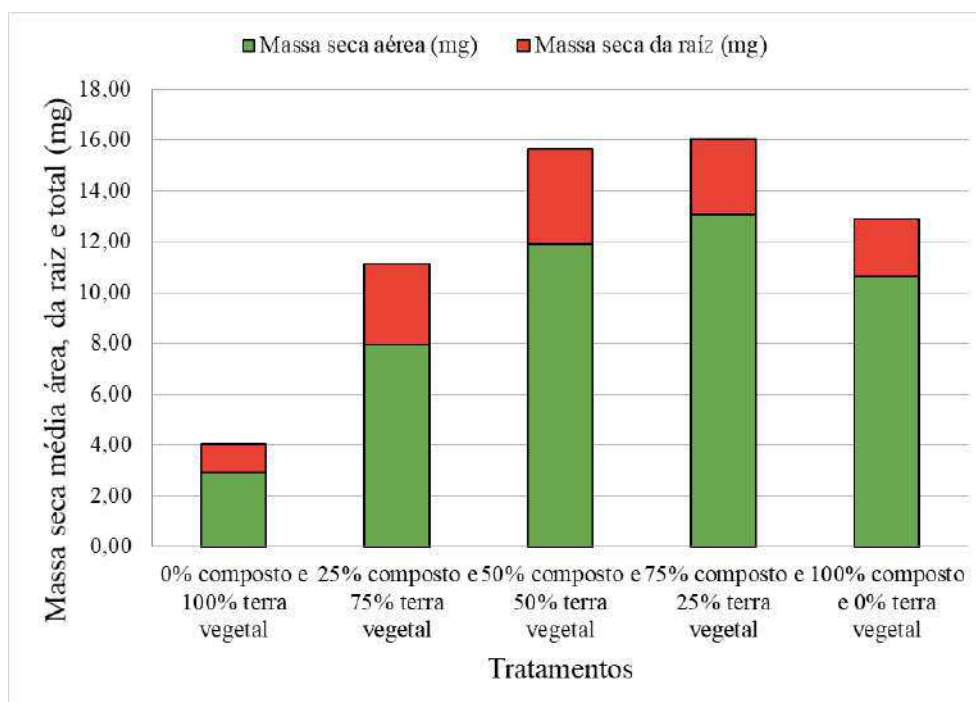
Dessa forma, entende-se que, uma quantia de composto foi importante tanto para o crescimento maior da raiz no tratamento 25% composto, quanto no maior desenvolvimento de massa seca no tratamento 50% composto. Logo, conclui-se que a utilização do composto promoveu um melhor desenvolvimento do comprimento da radícula, provavelmente por este substrato intermediário apresentar em sua composição os nutrientes e umidade em concentrações balanceadas para o crescimento inicial da raiz (BOHM *et al.*, 2017).

Apesar de a demanda de nutrientes por hortaliças-fruto ser alta, se o uso de fertilizantes orgânicos se dar de forma desordenada, com adubação excessiva, este pode resultar em desequilíbrios. O excesso de alguns nutrientes levam as plantas a um estado de toxidez ou deficiência induzida pela inibição competitiva de um elemento em excesso sobre outro. Dessa forma, a planta pode passar por uma situação de estresse e ter redução no crescimento (BATISTA *et al.*, 2018).

Isso ocorre porque a matéria orgânica é o componente controlador da disponibilidade dos nutrientes no solo, que promove um processo de mineralização e liberação desses nutrientes ou formação de complexos organometálicos, que impedem que o micronutriente interaja com os minerais do solo ou outros íons dissolvidos. Esse efeito pode ser benéfico em vários casos pela formação de quelatos entre compostos orgânicos e micronutrientes. Porém, em alguns casos, a presença de altos valores de matéria orgânica diminui a disponibilidade

de alguns micronutrientes, como por exemplo, de cobre. Isso acarreta prejuízos financeiros por gastos desnecessários, baixas produções e produtos com menor qualidade nutricional e visual, devido à distúrbios fisiológicos às plantas (BATISTA *et al.*, 2018).

Figura 24 – Resultados da massa seca aérea (IMSA), raiz (IMSR) e total (IMST) para os cinco tratamentos



Fonte: Elaborada pela autora (2023).

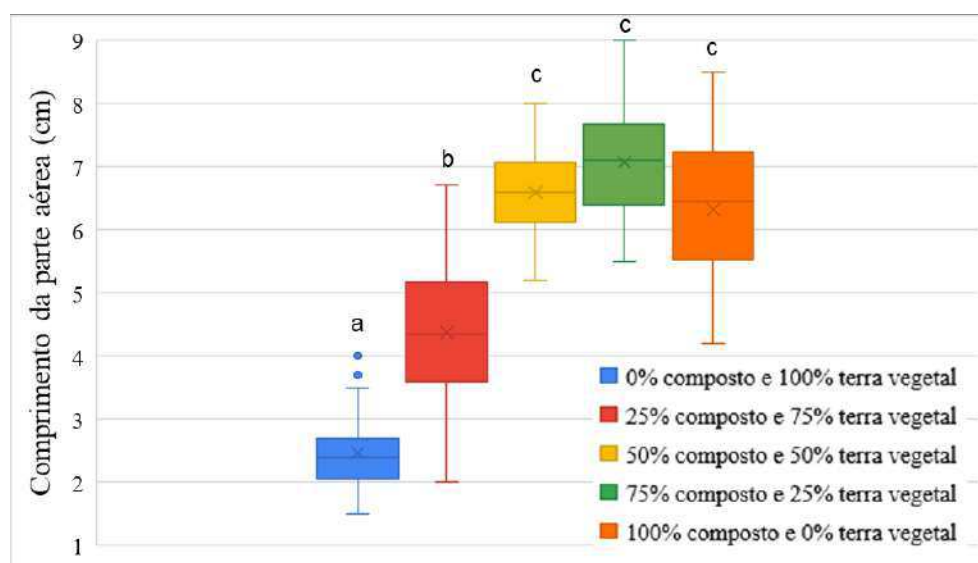
Sláviková *et al.* (2022) também encontraram resultados semelhantes em estudo de germinação e desenvolvimento de mudas de alface em composto de resíduos domésticos. Os melhores resultados foram em tratamentos com menores teores composto, visto que os tratamentos com elevados teores de composto inibiram a germinação e prejudicaram o crescimento da parte aérea e biomassa da alface. O mesmo ocorreu com Vieira *et al.* (2018) em composto de resíduos de alimentos e folhas, em que os autores concluíram que um substrato intermediário com composto e terra vegetal gerava um maior crescimento de massa fresca e seca se comparado a tratamentos com somente um dos componentes.

Faquin (1994) observou que o excesso de nitrogênio também pode reduzir a absorção de outros elementos essenciais, causando deficiência nutricional e refletindo na produção, o que pode explicar a redução da massa fresca nos tratamentos com mais composto. Além disso, possivelmente nos tratamentos com maior porcentagem de terra vegetal, havia menor retenção de umidade, ou seja, maior porosidade, permitindo que as raízes se desenvolvessem mais em tamanho (BORKOWSKI *et al.*, 2022), já que substratos orgânicos, com muita matéria orgânica, possuem maior capacidade de retenção de umidade e disponibilização de maior quantidade de nutrientes, levando às células das raízes mais túrgidas, apresentando uma diferença significativa entre os tratamentos (PAIVA *et al.*, 2011).

Por fim, o excesso de microrganismos no substrato poderia também aumentar a taxa de respiração celular, provocando uma redução nos teores de oxigênio disponíveis para a planta (PRIMAVESI, 2002). Dessa forma, recomenda-se uma análise futura microbiológica do composto produzido.

Quanto à parte aérea das plântulas, pode ser observado que, maiores teores de composto (50%, 75% e 100%) resultaram em aumento significativo tanto do comprimentos das plântulas (Figura 25), quanto aumento da massa seca (Figura 24), indicando um efeito positivo na utilização do composto produzido. Borkowski (2022), em estudos de germinação de alface, também obteve resultados positivos quanto a sua utilização de composto produzido através de compostagem de resíduos da poda de Pata-de-vaca (*Bauhinia forficata*), concluindo que o crescimento da parte aérea da planta teve resultados positivos à medida que se aumentava os teores de composto e diminuía os teores de substrato comercial.

Figura 25 – Resultados do comprimento da parte aérea (CA) para os cinco tratamentos



*OBS: Índices iguais não evidenciam diferença significativa a 95% de confiança.

Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Baratta Júnior (2007) também obteve resultados positivos ao utilizar composto produzido a partir de restos de poda de arborização urbana na produção de mudas de plantas ornamentais, sendo encontrado resultados superiores de massa fresca e seca da parte aérea e também na altura de mudas de plantas ornamentais, produzidas utilizando composto em relação ao uso de substrato comercial.

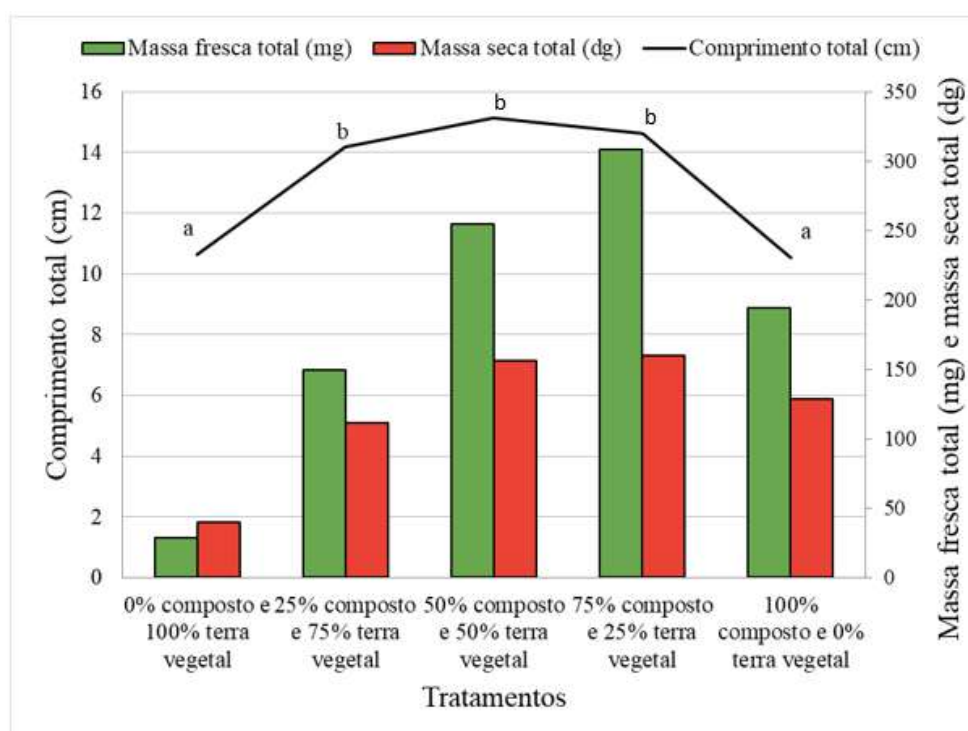
O tratamento que obteve melhores resultados para o desenvolvimento aéreo das alfaces foi o 75% composto, que chegou a resultados de 7,07 cm e 13,06 mg, seguido do tratamento 50% composto, com 6,59 cm de comprimento e 11,90 mg de massa seca. Estes resultados indicam que o composto produzido afetou positivamente o potencial

osmótico e proporcionou à plântula uma melhor condição fisiológica evidenciada pela massa e comprimento da parte aérea. O rendimento de folhas da alface também pode estar relacionado às funções que os adubos orgânicos exercem sobre as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, uma vez que eles apresentam efeitos condicionadores e aumentam a capacidade do solo em armazenar nutrientes necessários ao desenvolvimento das plantas (OLIVEIRA *et al.*,2018).

8.2.7.9.3 Análise geral dos resultados

Ao analisar a plântula inteira, contabilizando tanto a parte aérea quanto às raízes, pode ser observado um maior desenvolvimento nos tratamentos intermediários, de 25% composto ao 75% composto, enquanto que os demais tratamentos (0% e 100% composto) apresentaram menores valores (Figura 26). Foi conclusivo que os tratamentos 50% composto e tratamento 75% composto responderam melhor em quase todos os parâmetros de germinação e crescimento da plântula analisados, onde houve um acúmulo de biomassa e crescimento.

Figura 26 – Resultados do comprimento total (CT), massa fresca total (IMFT) e massa seca total (IMST) para os cinco tratamentos



*OBS: O valor de massa fresca está representado em mg e o valor de massa seca está representado em dg a fim de melhor apresentação visual.

*OBS: Índices referentes ao comprimento total (CT), onde índices iguais não evidenciam diferença significativa a 95% de confiança.

Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Complementarmente, o tratamento que obteve piores resultados quanto à germinação e desenvolvimento da biomassa das plântulas foi o 0% composto, com apenas 71,3% de germinação, 10,65 cm de comprimento, 28,66 mg de massa fresca e 4,02 mg de massa seca.

É possível que a adição de composto à terra vegetal possa ter alterado a comunidade microbológica de decompositores e a quantidade de matéria orgânica e mineral disponíveis no substrato para a plântula (BOHM *et al.*, 2017), além de alterar a qualidade nutricional, favorecendo os tratamentos com composto.

Silva *et al.* (2018), também verificaram efeitos positivos ao utilizarem composto orgânico produzido a partir de restos de poda, resíduos vegetais e esterco bovino, na produção de mudas de alface. O composto aumentou o volume radicular para a cultivar *Grand Rapids* em relação aos outros tratamentos adotados, mostrando-se uma alternativa na produção de mudas de alface podendo substituir o substrato comercial e a vermiculita.

Cabral *et al.* (2011), identificaram o maior desenvolvimento de mudas de alface utilizando substrato a base de esterco bovino e palha de feijão, maiores acúmulos de biomassa das mudas, tamanho das mudas além de maior tamanho e número de folhas em relação ao uso de substrato comercial.

8.2.8 Orientações e recomendações técnicas à instituição

Levando-se em conta o estudo de caso da Universidade Federal de Juiz de Fora, propõe-se orientações técnicas para a implementação de melhorias às condições de compostagem na Instituição:

- a) aprimorar a infraestrutura mínima necessária à compostagem, com utilização de triturador para a implementação da compostagem no campus;
- b) providenciar cobertura das leiras a fim de se evitar influências da pluviosidade sobre a umidade nas composteiras;
- c) capacitar os envolvidos com treinamentos periódicos;
- d) estabelecer cronograma de coleta de resíduos respeitando a sazonalidade e operacionalização do pátio, levando-se em conta qual a melhor época para poda de certas espécies;
- e) disponibilização de funcionário com dedicação diária exclusiva à operação de, no mínimo, meio turno;
- f) utilizar dos veículos e meios de comunicação da instituição para dar visibilidade e promover o projeto, apresentando indicadores e resultados da compostagem;
- g) utilizar a compostagem e o composto produzido como meio de mobilização e conscientização da comunidade acadêmica, e em eventos técnicos científicos promovidos pela Instituição;

- h) Uso e divulgação da compostagem dos resíduos de poda, capina, varrição e roçada da UFJF como unidade demonstrativa para outros municípios vizinhos e instituições;
- i) usufruir do composto produzido dentro da própria instituição.

Alguns parâmetros analisados, como umidade e temperatura, nem sempre alcançaram valores esperados pela literatura ou recomendados como ideais conforme Instrução Normativa n° 61/2020 e n° 25/2009 do MAPA (BRASIL, 2009; BRASIL, 2020). Assim, recomenda-se também, com relação à manutenção da compostagem no dia a dia da operação, monitoramento dos parâmetros de pH e temperatura, e controle rígido do parâmetro de umidade, e conseqüentemente controle dos revolvimentos, de acordo com metodologia proposta (revolvimentos e umidificação juntos, quando temperatura estiver acima de 65°C, ou a umidade abaixo de 50%).

9 CONCLUSÃO

É emergente a necessidade de implantação de um sistema de gestão ambiental que proponha um correto gerenciamento dos resíduos de poda, capina, varrição e roçada em universidades ou outras instituições de ensino. Isso porque que estas normalmente apresentarem grandes áreas arborizadas que necessitam de adequado gerenciamento, além de serem espaços que, por lidarem com educação, devem apresentar soluções sustentáveis e promover a conscientização e educação ambiental de forma exemplar. Uma alternativa interessante e viável para a solução dos problemas relacionados a estes resíduos sólidos orgânicos é a compostagem, técnica que possibilita a sua reutilização, gerando subprodutos que podem ser utilizados na agricultura, reflorestamento, recuperação de áreas degradadas, entre outros.

Dados e métodos para a realização efetiva da compostagem com resíduos de poda, capina, varrição e roçada ainda são escassos, o que dificulta a elaboração de planos de gestão eficientes pelos gestores públicos e privados. Sendo assim, atingindo os dois primeiros objetivos específicos, de auxiliar no levantamento de indicadores e dados, e realizar uma análise de viabilidade técnica do processo, esse projeto poderá auxiliar empresas, condomínios e até mesmo o setor público, como forma de reaproveitamento dos resíduos sólidos gerados. Assim como auxiliará a gestão dos resíduos sólidos verdes da própria UFJF. Isso porque os resultados obtidos mostraram detalhadamente custos técnicos associados à construção das composteiras, como equipamentos, ferramentas, equipe de funcionários, local, entre outras necessidades da técnica, além de sugestão de coleta, armazenamento e transporte que podem ser adaptadas a cada caso, como a construção de locais de armazenamento temporário (LAT) como forma de economia e praticidade ao processo, e melhorias para futuras instalações como a utilização de composto em fase de semi-maturação como forma de aceleração do processo de degradação da matéria orgânica.

Já com relação aos parâmetros analisados, sugere-se, antes do início do processo de compostagem, trituração dos resíduos e análise da relação carbono/nitrogênio (C/N), visto que os resultados variarão dependendo das espécies das plantas que geram os resíduos de poda, capina e roçada.

Os demais parâmetros analisados nem sempre alcançaram valores recomendados como ideais pela literatura e valores conforme IN n° 61/2020 e n° 25/2009 do MAPA. Sendo assim, com relação à manutenção da compostagem no dia a dia da operação, recomenda-se monitoramento dos parâmetros de pH e temperatura, e controle rígido do parâmetro de umidade (conforme capítulo 8.2.3 e 8.2.4). Com relação ao terceiro objetivo específico, pôde-se concluir que a frequência dos revolvimentos não tem necessariamente que ser executada com grande rigor, já que sua ausência não foi um fator impeditivo para o desenvolvimento do processo. Mesmo assim, recomenda-se o controle dos revolvimentos, de acordo com

metodologia proposta (revolvimentos e umidificação juntos, quando temperatura estiver acima de 65°C, ou a umidade abaixo de 50%) a fim de acelerar o processo de decomposição da matéria orgânica.

Por fim, para atingimento do quarto e último objetivo específico, encontrou-se resultados positivos quanto a qualidade do composto gerado se comparado a terra vegetal, sendo o tratamento 50% composto e tratamento 75% composto os de melhor desempenho em quase todos os parâmetros de germinação e crescimento da plântula analisados, enquanto que o tratamento que obteve piores resultados quanto à germinação e desenvolvimento da biomassa das plântulas foi o que continha 0% composto. Dessa forma, o procedimento de compostagem se expressa como uma alternativa eficiente para o tratamento de resíduos provenientes da arborização e paisagismo urbanos, podendo substituir o uso de substratos comerciais.

Por fim, estudos como este justificam a necessidade de investimentos em pesquisas para um maior conhecimento do tema. Só assim será possível o desenvolvimento de modelos de gestão que integrem ações de prevenção da geração e valorização, com retorno ambiental, econômico e social para os municípios e instituições.

Como recomendação para trabalho futuros, sugere-se estudos mais aprofundados quanto à qualidade microbiológica do composto, além de aspectos relacionados à viabilidade econômica da técnica implantada.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13.591**: Compostagem. Rio de Janeiro. ABNT, 1996. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10.007**: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro. ABNT, 2004. ADAMS, R. C.; MACLEAN, F. S.; DIXON, J. K.; BENNETT, F. M.; MARTIN, G. I.; LOUGH, R. C. The utilization of organic wastes in N.Z.: Second interim report of the interdepartmental committee. **New Zealand Engineering**, [s. l.], v. 15, p. 396-424, 1951. AFONSO, S.; ARROBAS, M.; PEREIRA, E. L.; RODRIGUES, M. Â. Recycling nutrient-rich hop leaves by composting with wheat straw and farmyard manure in suitable mixtures. **Journal of Environmental Management**, [s. l.], v. 284, p. 1-8, 2021. AMORIM, J. R. A. de.; CRUZ, M. A. S.; RESENDE, R. S.; BASSOI, L. H.; SILVA FILHO, J. G. Espacialização da Porcentagem de Sódio Trocável do Solo no Perímetro Irrigado Califórnia, em Canindé de São Francisco, Sergipe. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**. Aracajú: EMBRAPA Tabuleiros Costeiros, 2010. 17 p. AYILARA, M. S.; OLANREWAJU, O. S.; BABALOLA, O. O.; ODEYEMI, O. Waste Management through Composting: Challenges and Potentials. **Sustainability**, [s. l.], v. 12, n. 11, p. 1-12, 2020. AZIM, K.; SOUDI, B.; BOUKHARI, S.; PERISSOL, C.; ROUSSOS, S.; THAMI A. I. Composting parameters and compost quality: a literature review. **Organic Agriculture**, [s. l.], v. 8. n. 2, p. 141–158, 2018. BARATTA JUNIOR, A. P. **Utilização do composto de resíduos da poda da arborização urbana em substratos para produção de mudas**. 2007. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Programa de pós-graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2007. BARROS, J. D. S. Contribuições da matéria orgânica do solo para mitigar as emissões agrícolas de gases de efeito estufa. **Revista Polêmica - Questões Contemporâneas**, [s. l.], v. 12, n. 2, p. 341-351, 2013. BARTHOD, J.; RUMPEL, C.; DIGNAC, M-F. Composting with additives to improve organic amendments. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, [s. l.], v. 38, n. 17, p. 1-23, 2018. BATISTA, M.A.; INOUE, T.T.; ESPER NETO, M.; MUNIZ, A.S. Princípios de fertilidade do solo, adubação e nutrição mineral. In: BRANDÃO FILHO, J.U.T., FREITAS, P.S.L., BERIAN, L.O.S., and GOTO, R., comps. **Hortaliças-fruto [online]**. Maringá: EDUEM, p. 113-162. 2018. BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento/Secretaria da Defesa Agropecuária. **Instrução Normativa N° 61, de 08 de julho de 2020**. Edição 134, Seção 1, p. 5, Publicado em 15 jul. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-61-de-8-7-2020-organicos-e-biofertilizantes-dou-15-7-20.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2023. BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Instrução Normativa N° 25/2009, de 23 de Julho de 2009**. Aprova as Normas sobre as

especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos Fertilizantes Orgânicos Simples, Mistos, Compostos, Organominerais e Biofertilizantes destinados à agricultura, na forma dos anexos à presente Instrução Normativa. Diário Oficial da União, Brasil, 2009. Disponível em:

[https://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?](https://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=recuperarTextoAtoTematicaPortal&codigoTematica=1229186)

[method=recuperarTextoAtoTematicaPortal&codigoTematica=1229186](https://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=recuperarTextoAtoTematicaPortal&codigoTematica=1229186). Acesso em: 17 maio 2022. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 481, de 03 de outubro de 2017**. Estabelece critérios e procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos, e dá outras providências. Diário Oficial da União, 03 de out. 2017. Disponível em:

<<https://agencia.baciaspcj.org.br/docs/resolucoes/resolucao-conama-481-17.pdf>> Acesso em: 17 maio 2022. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 380, de 31 de outubro de 2006**. Retifica Resolução CONAMA nº 375/2006, de 29 de agosto de 2006. Diário Oficial da União, 31 de out. 2006. Disponível em:

<https://incaper.es.gov.br/Media/incaper/PDF/legislacao_biosolido/resolucao_380_2006_atratividade_vetores.pdf> Acesso em: 19 out. 2022. BENITO, M.; Masaguer, A.;

Moliner, A.; ANTÔNIO R. de. Chemical and physical properties of pruning waste compost and their seasonal variability. **Bioresource Technol.**, [s. l.], v. 97, p. 2071-2076, 2006. BIDONE, F. R. A. **Resíduos sólidos provenientes de coletas especiais:**

Eliminação e valorização. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES, 2001. BOHM, F. M. L. Z.; PHILIPPSSEN, A. S.; OLIVEIRA, D. L. de.; GARCETE, L. H. T.; BERTOLA, P. B.; BOHM, P. A. F. Emergência e crescimento de alface (*Lactuca sativa* L.) submetida a substratos orgânicos. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, [s. l.], v. 12, n. 2, p. 348-352, 2017.

BORGES, W. L. **Compostagem orgânica**. [s. l.]: EMBRAPA Amapá, ed. 1, 2018, 2 p.

BORKOWSKI, J. P. **Produção e utilização de composto orgânico de resíduos de poda de Pata-de-vaca em alface**. Monografia (Agronomia), Universidade Federal da Fronteira Sul, Cerro Largo, p. 47. 2022. BORTOLINI, R. L. R. **Composto orgânico de lodo de reator UASB, e casca de café:** qualidade e oportunidades para produção e

uso. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, p. 121. 2018. BRITO, M. Fertilidade do solo, compostagem e fertilização, In: MOURÃO, I. M., **Manual de Horticultura no modo de produção biológico**, Refóios, Portugal, 2007,

p. 53-86. Disponível em:

[https://docplayer.com.br/2821015-Manual-de-horticultura-no-modo-](https://docplayer.com.br/2821015-Manual-de-horticultura-no-modo-de-producao-biologico.html)

[de-producao-biologico.html](https://docplayer.com.br/2821015-Manual-de-horticultura-no-modo-de-producao-biologico.html). Acesso em: 14 mar. 2023. CABRAL, M. B. G.; SANTOS, G. A.; SANCHES, S. B.; LIMA, W. L. de; RODRIGUES, W. N. Avaliação de substratos alternativos para a produção de mudas de alface utilizados no sul do Estado do Espírito Santo. **Revista Verde**. Mossoró – RN. v.5, n. 1, p. 43 – 48, 2011. CAMARGO, O. A. de;

ALLEONI, L. R. F. **Efeitos da compactação em atributos do solo**. Hypertexto: Informativo, São Paulo, 2006. Disponível em: <<http://www.infobibos.com/artigos/compsolo/c4/c4.htm>>. Acesso em: 26 set. 2022.

CENBIO - Centro Nacional de Referência em Biomassa. Projeto de usina piloto de compostagem: manual de instalação, operação e monitoramento. **Relatório Técnico do Projeto P&D Aneel**: “Estudo do Potencial de Utilização da Biomassa Resultante da Poda e Remoção de Árvores na Área de Concessão da AES Eletropaulo”. 2008.

CESTONARO, T.; BARROS, R. T. V.; MATOS, A. T. de; COSTA, M. A. Full scale composting of food waste and tree pruning: How large is the variation on the compost nutrients over time? **Science of The Total Environment**. [s. l.], v. 754, 2021.

CESTONARO, T.; BARROS, R. T. V.; MATOS, A. T. de. Municipal composting facility: Is it possible to produce a compost that complies with legislation over time? **Environmental Technology & Innovation**. [s. l.], v. 26, 2022.

CHIARELOTTO, M.; RESTREPO, J. C. P. S.; LORIN, H. E. F.; DAMACENO, F. M. Composting organic waste from the broiler production chain: A perspective for the circular economy. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 329, p. 1-12, 2021.

CORTEZ, C. L. **Estudo do potencial de utilização da biomassa resultante da poda de árvores urbanas para a geração de energia**: estudo de caso: AES Eletropaulo. Tese (Doutorado em Ciências) - Programa de pós-graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, p. 246. 2011.

COSTA, A. S. V. et al., Alterações na capacidade de retenção de água no solo após a aplicação de resíduo sólido proveniente de uma fábrica de celulose. **Revista Universidade Rural**, Série Ciências da Vida, [s. l.], v. 26, n. 1, p. 1-10, 2006.

COTTA, J. A. O.; CARVALHO, N. L. C.; BRUM, T. S.; REZENDE, MARIA O. O. Compostagem versus vermicompostagem: comparação das técnicas utilizando resíduos vegetais, esterco bovino e serragem. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [s. l.], v. 20, n. 1, p. 65-78, 2015.

COUTO, L.; GONÇALVES, W.; COELHO, A. T.; PAULA, C. C. de; GARCIA, R.; AZEVEDO, R. F.; LOCATELLI, M. V.; ADVÍNCULA, T. G. L.; BRUNETTA, J. M. F. C.; COSTA, C. A. B.; GOMIDE, L. C.; MOTTA, P. H. Técnicas de Bioengenharia para Revegetação de Taludes no Brasil. **Boletim Técnico CBCN**: Centro Brasileiro para Conservação da Natureza e Desenvolvimento Sustentável, n. 1, 118p., 2010.

CRUZ, J.O.; ROCHA, J. B. S. H.; SANTOS, A. K. A. dos; CRUZ, M. P. Composição Química em Espécies do Gênero *Marcetia* DC. (Melastomataceae). **Revista Virtual de Química**, [s. l.], v. 14, n. 4, p. 683 - 691, 2022.

CWMI - CORNELL WASTE MANAGEMENT INSTITUTE. **Composting**. 1996. Disponível em: <<https://cwmi.css.cornell.edu/composting.htm>>. Acesso em 19 out. 2022.

Da SILVA; C. H. C.; ROCHA, F. C.; Da SILVA, L. L. G. G. Production of organic compost from different plant waste generated in the management of a green urban space. **Revista Ciência Agronômica**, [s. l.], v. 49, n. 4, p. 558-565, 2018.

FAGUNDES, P.; CASTRO, F.; SANTOS, L.; CASTRO, S.; LANGE, L. Study of the Nutritional Increase in Organic

Composts Obtained by Aerobic Biostabilization in the Management of Food Wastes. **Journal of Management and Sustainability**, [s. l.], v. 11, n. 1; p. 15-26, 2021.

FAQUIN, V. **Nutrição Mineral de Plantas**. Universidade Federal de Lavras - UFLA - Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão - FAEPE: Curso de Pós-Graduação “Lato Sensu” (Especialização) a Distância: Solos e Meio Ambiente, Lavras – MG, 1994. 186p.

FERNANDES, A. A.; MARTINEZ, H. E. P.; PEREIRA, P. R. G.; FONSECA, M. C. M. Produtividade, acúmulo de nitrato e estado nutricional de cultivares de alface em hidropônia, em função de fontes de nutrientes. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 2, p. 195-200, 2002.

FERNANDES, F.; SILVA, S. M. C. P. da. **Manual prático para a compostagem de biossólidos: lodo**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. 84 p.

FERREIRA, I. J. S.; GONÇALVES, E.; RODRIGUES, H. S.; AMORIM, M. C. C. Caracterização Física dos Resíduos Sólidos Domésticos e Dimensionamento de Área para Aterro Sanitário no Município de Sobradinho-BA. **Tecno-lógica**, [s. l.], v. 23, ed. 1, p. 49-58, 2019.

FIALHO, L. L. **Caracterização da matéria orgânica em processo de compostagem por métodos convencionais e espectroscópicos**. Tese (Doutorado em Ciências - Química Analítica) - Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, p.170, 2007.

FONSECA, C. R. **Diversidade de espécies arbóreas e sua relação com o histórico de perturbação antrópica em uma paisagem urbana da Floresta Atlântica**. Tese (Doutorado em Ecologia) - Programa de pós-graduação em Ecologia Aplicada ao Manejo e Conservação de Recursos Naturais, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, p. 100. 2017.

GOMES, M. A. F. **Importância do solo para a água subterrânea**. EMBRAPA Meio Ambiente, 2015. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/3561194/artigo—importancia-do-solo-para-a-agua-subterranea#:~:text=O%20cidad%C3%A3o%20comum%20normalmente%20n%C3%A3o,subsolo%20e%20das%20camadas%20mais>>. Acesso em: 12 mar. 2021.

GOMES, J. C. Formação de multiplicadores para reciclagem de resíduos orgânicos por meio da compostagem em tempos de pandemia. **Revista ELO - Diálogos em Extensão**, [s. l.], v. 10, p. 1-12, 2021.

GRANDO, D. L.; CAVALHEIRO, J. M.; RHODEN, A. C. Importância da matéria orgânica para a qualidade do solo. In: SIMPÓSIO DE AGRONOMIA E TECNOLOGIA EM ALIMENTOS, 4º, 2017, Itapiranga. **Anais [...]** Itapiranga, 2017. s.p.

GUERRA, A. J. T. O papel da matéria orgânica e dos agregados na erodibilidade dos solos. **Anuário do Instituto de Geociências**, [s. l.], v. 13, p. 43 - 52, 1990.

GUILAYN, F.; ROUEZ, M.; CREST, M.; PATUREAU, D.; JIMENEZ, J. Valorization of digestates from urban or centralized biogas plants: a critical review. **Rev Environmental Sci Biotechnol**, [s. l.], v. 19, p. 419-462, 2020.

HE, Z.; LI, Q.; ZENG, X.; TIAN, K.; KONG, X.; IAN, X. Impacts of peat on nitrogen conservation and fungal community composition dynamics during food waste composting. **Appl Biol Chem**, [s. l.], v. 63, n. 72, p. 1-12, 2020.

HOITINK, H. A. H.; BOEHM, M. J. Biocontrol within the

context of microbial communities: A Substrate-Dependent Phenomenon. **Annual Review of phytopathology**, [s. l.], v. 37, p. 427-446, 1999. IGLESIAS JIMÉNEZ E., PÉREZ GARCIA V. Determination of maturity indices for city refuse composts. **Agric. Ecosyst. Environ.**, [s. l.], v. 38, p. 331-343, 1992. JIN, X.; AI, W.; ZHANG, Y.; DONG, W. Application of functional microbial agent in aerobic composting of wheat straw for waste recycling. **Life Sci. Space Res.**, [s. l.], v. 33, p. 13–20. 2022. JORGE, M. H. A.; MELO, R. A. C.; RESENDE, F. V.; COSTA, E.; SILVA, J. da; GUEDES, I. M. R.

Informações técnicas sobre substratos utilizados na produção de mudas de hortaliças. Documentos, 180. Brasília: EMBRAPA Hortaliças, 2020, p. 1–30. JUIZ DE FORA, MG. **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) Juiz de Fora, MG.** 2020. Disponível em: <https://www.pjf.mg.gov.br/secretarias/sepur/planos_programas/pmgirs/produtos/arquivos/pmgirs_ol16.pdf>. Acesso em: 26 abr. 2022. KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos.** Piracicaba: Editora Agronômica Ceres, 1985. 492p. KLEIN, C.; KLEIN, V. A. Estratégias para potencializar a retenção e disponibilidade de água no solo. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental – ReGet.**, [s. l.], v. 19, n. 1, p.21-29, 2015. KONG, Y.; WANG, G.; CHEN, W.; YANG, Y.; MA, R.; LI, D.; SHEN, Y.; LI, G.; YUAN, J. Phytotoxicity of farm livestock manures in facultative heap composting using the seed germination index as indicator. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, [s. l.], v. 247, n. 114251. 11p., 2022 LEITE, L. F. C.; FERREIRA, J. da S.; VELOSO, M. E. da C.; MOUSINHO, F. E. P.; ROCHA JUNIOR, A. F. Variabilidade espacial das frações da matéria orgânica do solo em área degradada sob recuperação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 4, 2015. LI, M.; LI, F.; ZHOU, J.; YUAN, Q.; HU, N. Fallen leaves are superior to tree pruning as bulking agents in aerobic composting disposing kitchen waste. **Bioresource Technology**, [s. l.], v. 346, 2022. LOSS, A.; COSAT, E. M.; PEREIRA, M. G.; BEUTLER, S. J. Agregação, matéria orgânica leve e carbono mineralizável em agregados do solo. **Revista de la Facultad de Agronomía**, La Plata, v. 113, n. 1, p. 1-8, 2014. MACIEL, J. L. N.; KOVALESKI, M. BONA, F. D. de. Nutrição saudável. **Revista Cultivar - EMBRAPA Trigo**, [s. l.], 2021, p.32- 36. MAGALHÃES, M. C. **Diretrizes para a Elaboração de um Plano de Gerenciamento de Resíduos da Arborização para o Campus de uma Universidade Pública: o Caso da UFJF.** Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído) - Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, p. 121. 2018. MANGUEIRA, R. D.; GOMES, A. F.; SOUSA, W. N. Reaproveitamento dos Resíduos de Poda para Compostagem e Produção de Mudas no Horto Municipal de Fortaleza. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DE RESÍDUOS SÓLIDOS E SUSTENTABILIDADE, 2º, 2019, Foz do Iguaçu. **Anais [...]**, Foz do Iguaçu, 2019, p. 1-10. MANN, H. B.; WHITNEY, D. R. On a Test of Whether one of Two Random Variables is Stochastically Larger than the

Other. **The Annals of Mathematical Statistics**, [s. l.], v. 18, n. 1, p. 50-60, 1947.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Instrução Normativa nº 25/2009, de 23 de Julho de 2009**. Aprova as Normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos Fertilizantes Orgânicos Simples, Mistos, Compostos, Organominerais e Biofertilizantes destinados à agricultura, na forma dos anexos à presente Instrução Normativa. Diário Oficial da União, Brasil, 2009. Disponível em: <https://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=recuperarTextoAtoTematicaPortal&codigoTematica=1229186>. Acesso em: 17 maio 2022.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos**. Brasília: Secretaria de Defesa Agropecuária / Coordenação-Geral de Apoio Laboratorial; Murilo Carlos Muniz Veras (Org.), 2014. 220p.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizante e corretivos**. Brasília: Secretaria de Defesa Agropecuária, 2017. 240p.

MATOS, A. T. de. **Manual de análises de resíduos sólidos e águas residuárias**. Viçosa: Editora UFV, 2015.

MEIRA, A. M. de. **Gestão de resíduos da arborização urbana**. Tese (Doutorado em Ciências) - Recursos Florestais, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, p. 179. 2010.

MIGOT, B. C.; MORETTI, S. M. L.; SILVA, T. L.; PAGOTO, F. C.; BERTONCINI, E. I. Compostagem de lodo de esgoto, resíduos de restaurante e resíduos de granja misturados com poda de árvore e aparas de grama: avaliação dos processos de compostagem em máquina recicladora, em pátio de compostagem e em de ensaio de respirometria. In: CONGRESSO INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA – CIIC 2019, 13º, 2019, Campinas. **Anais [...]**. Campinas: CIIC, 2019. p. 1-13.

MOREIRA, F. M. S., SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. Lavras: Editora UFLA, 2ª ed. 2006, 729 p.

MOREIRA, B., CARVALHO, F. A. A comunidade arbórea de um fragmento urbano de Floresta Atlântica após 40 anos de sucessão secundária (Juiz de Fora, MG, Brasil). **Biotemas**, [s. l.], v. 26, n. 2, p. 59-70, 2013.

MOSER, R. G.; BILCK, A. P.; YAMASHITA, F.; CHIES, L. G.; PRESUMIDO, P. H.; MENESES, R. M. A. O.; MICHELS, R. N.; BOSCO, T. C. D. Biodegradable Material Formulated With Oat Hulls in The Composting Process Of Household Organic Waste And Tree Pruning. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica**, [s. l.], v. 15, n. 2, p. 773-788, 2021.

OLIVEIRA, N. L. C.; PUIATTI, M.; SANTOS, R. H. S.; CECON, P. R.; BHERING, A. S. Efeito da urina de vaca no estado nutricional da alface. **Revista Ceres**, [s. l.], v. 57, n.4, p. 506-515, 2010.

OLIVEIRA, R.C.; SILVA, J.E.R.; AGUILAR, A.S.; LUZ, J.M.Q. Uso de fertilizante organomineral no desenvolvimento de mudas de rúcula. **ACSA**, Patos, v. 14, n. 1, p. 1-6, 2018.

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo: decomposição e liberação

de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, [s. l.], v. 32, n. 3, p. 911-920, 2008. PAIVA, E. P. MAIA, S. S. S.; CUNHA, C. S. M.; COELHO, M. F. B.; SILVA, F. N. da. Composição do substrato para o desenvolvimento de mudas de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.). **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 4, p. 62-67, 2011. PAIVA, C. T. C.; SILVA, J. B.; DAPONT, E. C.; ALVES, C. Z.; CARVALHO, M. A. C. Qualidade fisiológica e sanitária de sementes comerciais de alface e repolho. **Revista de Ciências Agroambientais**, [s. l.], v. 14, n.1, p.53-59, 2016.

PEARSON, K. On the criterion, that a given system of deviations from the probable in the case of a correlated system of variables is such that it can be reasonably supposed to have arisen from random sampling. **Philosophical Magazine Series**, [s. l.], v. 5, n. 50, p. 157-175, 1900. PEIXOTO, R.T.G. Compostagem: Princípios, práticas e perspectivas em sistemas orgânicos de produção In: AQUINO, A. M. de; ASSIS, R. L. de. **Agroecologia princípios e técnicas para uma agricultura orgânica sustentável**. Rio de Janeiro, EMBRAPA Informação Tecnológica, 2005, p.389- 422. PLANARES. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**: Ministério do Meio Ambiente Secretaria de Qualidade Ambiental, 187p., 2020. PMF - Prefeitura Municipal de Florianópolis. **A Coleta de Resíduos Domiciliares**. Disponível em: <<https://www.pmf.sc.gov.br/servicos/index.php?pagina=servpagina&acao=open&id=260>>. Acesso em: 26 abr. 2022. PMF - Prefeitura Municipal de Florianópolis. **Valorização dos Resíduos Sólidos Orgânicos no município de Florianópolis através de Beneficiamento dos Resíduos de Podas**. 2012. Disponível em: <<http://www.pmf.sc.gov.br/arquivos/arquivos/pdf/1608201213.03.51.d5fc44d7dfc02f3564e4f890792ae489.pdf>>. Acesso em: 26 abr. 2022. PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo**: agricultura em regiões tropicais. São Paulo: Nobel, 2002. 542p. QING, W.; JIN, W.; ZHOU, X.; LIANG, S.; TU, R.; HAN, S-F.; FENG, X. C.; CHE, L.; HE, Z.; DING, W. Sequential ‘acid leaching–anion exchange–aerobic composting’ process for recycle of municipal sludge. **Water Sci Technol.**, [s. l.], v. 81, n. 11, p. 2441–2449, 2020. RAZAQ, M.; ZHANG, P.; SHEN, H.-L.; SALAHUDDIN. Influence of nitrogen and phosphorous on the growth and root morphology of *Acer mono*. **PLoS ONE**, [s. l.], v. 12, n. 2. p. 1-13, 2017. RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H.; **Recomendações para o Uso de Corretivos e Fertilizantes em Minas Gerais**. Engenharia Agrônômica Universidade Federal da Paraíba (UFPB) - Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, [s. l.], v. 5, 359p., 1999. RIPP, P. G.; GUSMÃO, A. P.; LORIN, H. E. F.; COSTA, M. S. S. DE M.; EDWIGES, T. Composting Process in the Production of Lettuce Seedling Substrates: Effect of Covering and Turning Frequency. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 40, n. 5, p. 562-570, 2020. ROCHA, A. J. F.; SOUZA, R. L. P de; REDA, A. L. L.; SILVA, G. T. da. **Destinação sustentável do resíduo de poda de árvores urbanas**. In: SAFETY, HEALTH AND ENVIRONMENT WORLD, 15., Porto,

Portugal, p. 137 – 141, 2015. Disponível em:

<https://copec.eu/congresses/shewc2015/proc/works/30.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2023.

RODELLA, A. A. & ALCARDE, J. C. Avaliação de materiais orgânicos empregados como fertilizantes. **Scientia Agricola**, [s. l.], v. 51, n. 3, p. 556-62, 1994 Tradução . . .

Acesso em: 20 out. 2022. RUEDA, M. P.; COMINO, F.; ARANDA, V.;

DOMINGUEZ-VIDAL, A.; AYORA-CAÑADA, M. Analytical pyrolysis (Py-GC-MS) for the assessment of olive mill pomace composting efficiency and the effects of compost thermal treatment. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, [s. l.], v. 168, 2022.

SÁ JÚNIOR, A. de. **Agrupamento de Fabaceae quanto à Composição Química e Classificação de Plântulas de Espécies Florestais**. Tese (Doutorado em Fitotecnia) -

Programa de pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal de Uberlândia,

Uberlândia, p. 69. 2018. SANTANA, M. J. de. **Construção de uma sequência**

didática sobre resíduos orgânicos e compostagem para trabalhar saúde e meio ambiente. Monografia (Ciências Biológicas), Universidade Federal de Pernambuco,

Pernambuco, p. 32. 2022. SÃO PAULO, SP. **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) São Paulo**, São Paulo. 2014. Disponível em:

<<https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/servicos/arquivos/PGIRS-2014.pdf>>. Acesso em: 26 abr. 2022. SCHEER, M. B.; CARNEIRO, C.; BRESSAN, O.

A.; dos SANTOS, K. G. Crescimento inicial de quatro espécies florestais nativas em áreas degradadas com diferentes níveis de calagem de adubação. **Floresta**, Curitiba, v. 47, n. 3, p. 279-287, 2017. SELLAMI, F.; JARBOUI, R.; HACHICHA, K.; MEDHIOUB, E.A.

Co-composting of oil exhausted olive-cake, poultry manure and industrial residues of agro-food activity for soil amendment. **Bioresource Technol.**, [s. l.], v. 99, p. 1177-1188, 2008. SGARBIERI, V. C. **Proteínas em alimentos protéicos: propriedades, degradações, modificações**. São Paulo: Varela, 1996. SILVA, S. S.;

BECKMANN-CAVALCANTE, M. Z.; DULTRA, D. F. S. ; BRITO, L. P. S. Uso de

resíduos decompostos como substrato para produção de mudas de alface: efeito no sistema radicular. **Revista de la Facultad de Agronomía**, La Plata, Argentina, v. 117, p. 245-252, 2018. SILVEIRA, R. S. **Avaliação da Composição Química,**

Atividade Antioxidante e Toxicidade Oral Aguda de Jatropha Gossypifolia L. (Euphorbiaceae). Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) - Programa de

pós-graduação em Ciências Farmacêuticas, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, p. 170. 2017. SLÁVIKOVÁ, M.; BÁREKOVÁ, A.; TÁTOSOVÁ, L.; DUCSAY, L. Phytotoxicity Testing of Composts from Biodegradable Municipal Waste. **Journal of**

Ecological Engineering, [s. l.], v. 23, n. 12, p. 83-88, 2022. SMITH, C. W. Shrinkage and atterberg limits in relation to other properties of principal soil types in Israel. **Geoderma**, [s. l.], v. 35, n. 1, p. 47-65, 1985. SOARES, L. M.; LIMA, J. H.; BOMFIM, N. A. S.; CASAIS, V. O.; ANUNCIAÇÃO, J. L. P. da; MORAIS, M. F.; FERREIRA, A. C. S.; 7, GOMES JUNIOR, W. A.; SOARES, V. R. B.; COUTINHO, J. G. E. Avaliação

de Diferentes Técnicas de Compostagem para Aproveitamento de Resíduos Orgânicos no IFBA Campus de Salvador: Uma Abordagem Multi-Critérios. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v. 7, n. 3, p.74 - 97, 2018. SOARES, G. L. G. Inibição da germinação e do crescimento radicular de alface (cv. Grand Rapids) por extratos aquosos de cinco espécies de Gleicheniaceae. **Floresta e Ambiente**, [s. l.], v.7, n.1, p.190-197, 2000. SOUSA JÚNIOR, F. S. de. **Desenvolvendo e Gerenciando Compostagem de Resíduos Sólidos Urbanos**: para geração de renda e repasse de tecnologia à Acrevi. Dissertação (Mestrado em Química) - Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, p. 130. 2011. SOUZA, F. A. de; AQUINO, A. M. de; RICCI, M. S. F.; FEIDEN, A. Compostagem. **Comunicado Técnico**, 50. Seropédica: EMBRAPA Agrobiologia, 2001. 10 p. SOUZA, L. P. M. de; SOUZA, T. G.; PANATIERI, R. B.; KIKUTI, E. Compostagem: uma proposta ambiental para diminuição do lixo doméstico. **Em Extensão**, Uberlândia, v. 19, n. 2, p.87-100, 2020. STATSOFT. **Statistica (data analysis software system)**, versão 12.0. 2021. SOTO-PAZ, J.; OVIEDO-OCANÃ, R.; TORRES-LOZADA, P.; MARMOLEJO-REBELLÓN, L. F.; MANYOMA-VALÁSQUEZ, P. C. Composting of biowaste: Research trends and relevance in developing countries. **Revista DYNA**, [s. l.], v. 84, n. 203, p. 334-342, December, 2017. TOLEDO, M.; GUTIÉRREZ, M. C.; PENA, A.; SILES, J. A.; MARTÍN, M. A. Co-composting of chicken manure, alperujo, olive leaves/pruning and cereal straw at full-scale: Compost quality assessment and odour emission. **Process Safety and Environmental Protection**, [s. l.], v. 139, p. 362-370, 2020. UFJFa - Universidade Federal de Juiz de Fora. **Apresentação**. Disponível em: <https://www2.ufjf.br/ufjf/sobre/apresentacao/>>. Acesso em: 20 set. 2021. UFJFb - Universidade Federal de Juiz de Fora. **Pró-Reitoria de Infraestrutura e Gestão**: Apresentação. Disponível em: <<https://www2.ufjf.br/proinfra/apresentacao/>>. Acesso em: 05 nov. 2021. UFJFc - Universidade Federal de Juiz de Fora. **Pró-Reitoria de Infraestrutura e Gestão**: Orientação – Requisição de serviço interno. Disponível em: <<https://www2.ufjf.br/proinfra/manutencao/>>. Acesso em: 05 nov. 2021. UFPB – Universidade Federal da Paraíba. CGA – Comissão de Gestão Ambiental: **Compostagem**. 2020 Disponível em: <<https://www.ufpb.br/cga/contents/menu/programas/compostagem>>. Acesso em: 19 set. 2022. UFPB – Universidade Federal da Paraíba. Comissão de Gestão Ambiental e Pró-reitoria de Extensão UFPB. **Manual Compostagem**. 2019 Disponível em: <<https://www.ufpb.br/cga/contents/documentos/manual-de-compostagem.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2022. VALE, V. H. D. do. **Diagnóstico dos resíduos de podas do município de Natal/RN**. Monografia (Engenharia Ambiental), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, p. 43. 2016. VALENTE, B.S.; XAVIER, E.G.; MORSELLI, T.B.G.A.; JAHNKE, D.S., BRUM Jr, B.S.; CABRERA, B.R.; MORAES, P. O.; LOPES, D.C.N. Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos.

Archivos de Zootecnia, Pelotas, v. 58, p. 59-85, 2009. VENTORINO, V.; PASCALE, A.; FAGNANO, M.; ADAMO, P.; FARACO, V.; ROCCO, C.; FIORENTINO, N.; PEPE, O. Soil tillage and compost amendment promote bioremediation and biofertility of polluted area. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 239, p. 1-13, 2019. VIEIRA, A. R. M.; MENDES, C. L. R.; BERALDO, N. C. R.; PIRES, E. C. R.; GUIMARÃES, F. P. Estudo Comparativo do Crescimento de *Allium sativum* em diferentes substratos. **Revista Brasileira de Ciências da Vida**, [s. l.], v. 6, n. especial, 5p., 2018. VILELA, D. M.; PIESANTI, J. L. Gerenciamento de resíduos sólidos orgânicos da UFGD por meio da compostagem. **Revista Ciências em Extensão**, [s. l.], v. 11, n. 3, p.28-39, 2015. WANG, S. P., ZHONG, X. Z., WANG, T. T., SUN, Z. Y., TANG, Y. Q., KIDA, K. Aerobic composting of distilled grain waste eluted from a Chinese spirit-making process: the effects of initial pH adjustment. **Bioresour Technol**, [s. l.], v. 245, p. 778–785, 2017. WANG, G., YANG, Y., KONG, Y., MA, R., YUAN, J., LI, G., Key factors affecting seed germination in phytotoxicity tests during sheep manure composting with carbon additives. **J. Hazard. Mater**, [s. l.], v. 421, n. 126809, 2022a. WANG, G.; KONG, Y.; YANG, Y.; MA, R.; LI, L.; LI, G.; YUAN, J. Composting temperature directly affects the removal of antibiotic resistance genes and mobile genetic elements in livestock manure. **Environ. Pollut.**, [s. l.], v. 303, n. 119174, 2022b. WANG, X.Q.; CUI, H. Y.; SHI, J. H.; ZHAO, X. Y.; ZHAO, Y.; WEI, Z. M. Relationship between bacterial diversity and environmental parameters during composting of different raw materials. **Bioresour Technol**, [s. l.], v. 198, p. 395–402, 2015. WENDLING, I.; FERRARI, M.P.; GROSSI, F. **Curso intensivo de viveiros e produção de mudas**. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2002. 48p. WONG, J. W. C.; FUNG, S. O.; SELVAM, A. Coal fly ash and lime addition enhances the rate and efficiency of decomposition of food waste during composting. **Bioresour Technol**, [s. l.], v. 100, n. 13, p. 3324–3331, 2009. YANG, Y.; WANG, G.; LI, G.; MA, R.; KONG, Y.; YUAN, J. Selection of sensitive seeds for evaluation of compost maturity with the seed germination index. **Waste Management**, [s. l.], v. 136, p. 238–243, 2021. ZHANG, Z., WEI, Z., GUO, W., WEI, Y., LUO, J., SONG, C., LU, Q., ZHAO, Y. Two types nitrogen source supply adjusted interaction patterns of bacterial community to affect humification process of rice straw composting. **Bioresour. Technol.**, [s. l.], v. 332, n. 125129, 2021. ZUCCONI, F., PERA, A., FORTE, M., DEBERTOLDI, M. Evaluating toxicity of immature compost. **Biocycle**, [s. l.], v. 22, n. 2, p. 54–57, 1981.