

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

Jaqueline Sampaio da Costa

**Comparação entre as Técnicas de Compostagem e Vermicompostagem em  
Composteira Unifamiliar de Baixo Custo**

Maceió

2023

Jaqueline Sampaio da Costa

**Comparação entre as Técnicas de Compostagem e Vermicompostagem em Composteira Unifamiliar de Baixo Custo**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharela em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientadora: Professora Dra. Daniele Vital Vich

Coorientador: Professor Dr. Leonardo Mendonça Tenório de Magalhães Oliveira

Maceió

2023

**Catálogo na Fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**  
**Divisão de Tratamento Técnico**

Bibliotecário: Jorge Raimundo da Silva – CRB-4 - 1528

C838c Costa, Jaqueline Sampaio da.

Comparação entre as Técnicas de Compostagem e Vermicompostagem em Composteira Unifamiliar de Baixo Custo / Jaqueline Sampaio da Costa. – Maceió, 2023.

59 f. : il. color.

Orientadora: Daniele Vital Vich.

Coorientadora: Leonardo Mendonça Tenório de Magalhães Oliveira.

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2023.

Bibliografia: f. 52-59.

1. Resíduos alimentares. 2. Compostagem. 3. Vermicompostagem. 4. Composteira compacta. I. Título.

CDU: 631.86

## **AGRADECIMENTOS**

Manifesto minha profunda gratidão ao Senhor por me sustentar ao longo dessa jornada. A bondade de Deus é inigualável.

Com profunda gratidão, desejo expressar meus sinceros agradecimentos à minha amada família: minha mãe, Maria; meu pai, Bertinho; e meus irmãos, Joelma e Joel. O amor incondicional, o apoio emocional e a profunda compreensão que vocês me proporcionaram foram os alicerces que tornaram esta jornada possível.

Agradeço à minha orientadora, Prof<sup>ª</sup>. Dra. Daniele Vital Vich, não apenas pela orientação neste trabalho, mas também por suas valiosas contribuições em artigos e por me introduzir no mundo da pesquisa. Seus ensinamentos desempenharam um papel crucial em minha formação acadêmica.

Agradeço ao Prof. Dr. Leonardo Mendonça Tenório de Magalhães Oliveira, pelas considerações e contribuições ao meu trabalho.

Agradeço à banca pela disponibilidade e pelas valiosas contribuições.

Agradeço a todo o corpo docente do curso por todos os ensinamentos transmitidos ao longo do curso.

Agradeço aos meus amigos de curso por transformarem essa jornada acadêmica em algo leve e descontraído. Evany dos Santos, Igor Farias, Jaine Ribeiro, Arthur Diegues e tantos outros, vocês foram mais do que colegas, foram parceiros de risadas, apoio mútuo e companhia valiosa ao longo dessa caminhada.

Agradeço às minhas amigas Elisa, Itala, Yasmim e Alexandra por tornarem nossas manhãs memoráveis com cafés deliciosos e momentos de pura alegria ao longo desta jornada.

Agradeço ao meu querido pet por todo o amor e companhia que proporcionou durante a jornada de escrita deste trabalho. Sua presença foi um lembrete constante do que realmente importa na vida.

## RESUMO

Desde a década de 1970, inquietações sobre a disposição dos resíduos sólidos ganharam visibilidade. A compostagem de resíduos sólidos orgânicos surgiu como uma alternativa reduzir o volume dos aterros sanitários, que têm impactos ambientais negativos. O processo de compostagem reduz a produção de lixiviado e emissão de gases, e o composto resultante é um adubo rico em nutrientes para as plantas e melhora a qualidade do solo. Para realizar a técnica, é preciso separar os resíduos orgânicos e adicionar um material estruturante. A adição de vermes ao composto, conhecida como vermicompostagem, acelera o processo, tornando os nutrientes mais disponíveis e reduzindo a presença de patógenos, o que beneficia a absorção pelas plantas. O presente estudo buscou comparar as técnicas de compostagem e vermicompostagem em composteira unifamiliar de baixo custo. Para tal finalidade, foi realizada uma busca na base de dados *Web of Science* por trabalhos publicados sobre compostagem e vermicompostagem. A busca resultou em 1725 produções científicas, as quais foram refinadas. Por fim, a leitura dos trabalhos proporcionou a prospecção de conhecimento acerca do tema. A composteira unifamiliar foi construída com dois compartimentos: o superior, contendo folhas e minhocas, totalizando 17 litros, e o segundo, composto apenas por folhas, ocupando 9,4 litros. Ao longo de 38 dias, foram monitorados parâmetros físico-químicos, incluindo temperatura diariamente, umidade e pH em três momentos distintos, além da densidade no início e no final do processo. Também foram conduzidos testes de germinação utilizando o composto e o chorume bruto e diluído. Observou-se que as folhas apresentaram uma densidade final maior em comparação com aquelas em contato com as minhocas. Houve uma redução de 48,1% no volume total de resíduo compostado nos compartimentos durante o processo. A produção de chorume foi de 151 mL. As temperaturas atingiram apenas a faixa mesofílica e, no vigésimo dia, se igualaram à temperatura ambiente, indicando a redução da atividade microbiana e a estabilização do composto. A umidade variou de aproximadamente  $66 \pm 1,4$  a  $69,5 \pm 1,2$  % para a primeira parte da composteira, e para a segunda parte, os valores variaram de  $66 \pm 1,3$  a  $75,6 \pm 0,9$  %. O pH variou entre 5,4 e 7,3, sendo que apenas as folhas atingiram valores de 5,4 a 6,8. O teste de germinação utilizando o composto e o chorume resultou em baixos índices de germinação. Além disso, a análise bibliométrica evidencia uma ampla divulgação global de trabalhos científicos sobre o tema, com o Brasil progressivamente ganhando visibilidade nessa área. Destaca-se que as produções relevantes estão alinhadas com 13 dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. A utilização de resíduos orgânicos domésticos na forma de composto desempenha um papel significativo na promoção da sustentabilidade ambiental, resultando em uma redução de 48,1% no volume total de resíduos que deixa de ser disposto nos aterros sanitários. Ademais, tanto a compostagem quanto a vermicompostagem oferecem oportunidades para a reciclagem de nutrientes e a mitigação dos impactos ambientais adversos decorrentes da disposição inadequada de resíduos sólidos.

**Palavras-chave:** Resíduos alimentares; Compostagem; Vermicompostagem; Composteira compacta.

## ABSTRACT

Since the 1970s, concerns about the management of solid waste have gained visibility. Composting of organic solid waste emerged as an alternative to reduce the volume of landfills, which have negative environmental impacts. The composting process reduces leachate production and gas emissions, and the resulting compost is a nutrient-rich fertilizer for plants, improving soil quality. To carry out the technique, it is necessary to separate organic waste and add a structuring material. The addition of worms to the compost, known as vermicomposting, accelerates the process, making nutrients more readily available and reducing the presence of pathogens, which benefits plant absorption. This present study aimed to compare the techniques of composting and vermicomposting in a low-cost single-family compost bin. For this purpose, a search was conducted in the Web of Science database for published works on composting and vermicomposting. The search yielded 1725 scientific productions, which were refined. Finally, reading the works provided insights into the subject matter. The single-family composter was constructed with two compartments: the upper one containing leaves and worms, totaling 17 liters, and the second one composed solely of leaves, occupying 9.4 liters. Over 38 days, physical-chemical parameters were monitored, including daily temperature, humidity, and pH at three different times, in addition to density at the beginning and end of the process. Germination tests were also conducted using the compost and both raw and diluted leachate. It was observed that the leaves showed a higher final density compared to those in contact with the worms. There was a 48.1% reduction in the total volume of composted waste in the compartments during the process. The leachate production was 151 mL. The temperatures only reached the mesophilic range, and on the twentieth day, they equalized with ambient temperature, indicating a reduction in microbial activity and the stabilization of the compost. Humidity ranged from approximately  $66 \pm 1.4$  to  $69.5 \pm 1.2\%$  for the first part of the composter, and for the second part, values ranged from  $66 \pm 1.3$  to  $75.6 \pm 0.9\%$ . The pH ranged from 5.4 to 7.3, with only the leaves reaching values of 5.4 to 6.8. The germination test using the compost and leachate resulted in low germination rates. Additionally, bibliometric analysis highlights a widespread global dissemination of scientific works on the subject, with Brazil progressively gaining visibility in this area. It is worth noting that relevant productions align with 13 out of 17 Sustainable Development Goals. The use of household organic waste in the form of compost plays a significant role in promoting environmental sustainability, resulting in a 48.1% reduction in the total volume of waste that no longer ends up in landfills. Furthermore, both composting and vermicomposting offer opportunities for nutrient recycling and the mitigation of adverse environmental impacts resulting from improper disposal of solid waste.

**Keywords:** Food waste; Composting; vermicomposting; Compact compost bin.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fases da compostagem e respectivas temperaturas .....	19
Figura 2: Fluxograma com o resumo da metodologia aplicada .....	31
Figura 3: Ilustração da composteira unifamiliar de baixo custo .....	33
Figura 4: Compartimentos da composteira unifamiliar de baixo custo .....	33
Figura 5: Compartimento para coleta do chorume .....	34
Figura 6: Composteira unifamiliar de baixo custo revestida .....	34
Figura 7: Resíduos de alimentos utilizados na compostagem .....	35
Figura 8: Material estruturante utilizado na compostagem .....	35
Figura 9: Minhocas californianas no substrato .....	36
Figura 10: Corte dos resíduos alimentares aplicados ao processo de compostagem .....	36
Figura 11: Incorporação dos materiais nos compartimentos da composteira .....	37
Figura 12: Revolvimento antes de monitorar a temperatura .....	38
Figura 13: Aferição da temperatura utilizando termômetro comercial de baixo custo .....	38
Figura 14: Determinação da densidade .....	39
Figura 15: Amostras utilizadas para determinação da umidade .....	40
Figura 16: Incubação das sementes .....	41
Figura 17: Teste de germinação de sementes utilizando o composto .....	42
Figura 18: Teste de germinação de sementes utilizando o chorume .....	42
Figura 19: Rede de palavras-chaves utilizadas pelos autores nas publicações sobre o tema .....	43
Figura 20: Autores que mais publicaram sobre o tema .....	44
Figura 21: Tipos de documentos .....	44
Figura 22: Composto inicial (a) e final (b) da composteira .....	47
Figura 23: Minhocas que estão contidas no primeiro compartimento da composteira .....	47
Figura 24: Perfil da temperatura nas composteiras ao longo do processo .....	49
Figura 25: Variações da umidade (a) e do pH (b) das composteiras ao longo do processo .....	50

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Os 15 países que mais contribuíram e o número de artigos .....	45
Tabela 2: As cinco instituições que mais publicam sobre o tema .....	46
Tabela 3: Volume reduzido nas composteiras .....	48
Tabela 4: Teste de germinação utilizando o composto final das composteiras .....	50
Tabela 5: Teste de germinação utilizando chorume bruto e diluições: 25%, 50% e 75% .....	51

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

CAFe - Comunidade Acadêmica Federada

C/N - Relação Carbono/Nitrogênio

CTEC - Centro de Tecnologia

pH - Potencial Hidrogeniônico

PNRS - Política Nacional dos Resíduos Sólidos

TCC - Trabalho de Conclusão de Curso

## LISTA DE SÍMBOLOS

C - Carbono

CO<sub>2</sub> - Dióxido de Carbono

K - Potássio

N - Nitrogênio

P - Fósforo

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	OBJETIVOS.....	16
2.1	OBJETIVO GERAL .....	16
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	16
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	17
3.1	COMPOSTAGEM E SEUS BENEFÍCIOS.....	17
3.2	FATORES QUE INTERFEREM NA COMPOSTAGEM.....	18
3.2.1.	Tamanho da Partículas.....	18
3.2.2.	Temperatura.....	19
3.2.3.	Umidade .....	20
3.2.4.	Aeração .....	21
3.2.5.	Potencial Hidrogeniônico .....	21
3.2.6.	Relação Carbono/Nitrogênio.....	22
3.2.7.	Granulometria.....	23
3.2.8.	Microrganismos.....	24
3.3	VERMICOMPOSTAGEM E SEUS BENEFÍCIOS .....	25
3.4	CARACTERÍSTICAS DAS MINHOCAS UTILIZADAS NA VERMICOMPOSTAGEM .....	26
3.5	COMPOSTAGEM EM PEQUENA ESCALA.....	28
3.6	ASPECTOS LEGAIS NO BRASIL RELACIONADO À COMPOSTAGEM....	29
3.6.1.	Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS).....	30
4	MATERIAL E MÉTODO.....	32
4.1	Análise Bibliométrica .....	32
4.2	Montagem da composteira .....	33
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	44
5.1	Resultados da Análise Bibliométrica .....	44
5.2	Resultados dos Parâmetros Monitorados.....	47
6	CONCLUSÕES.....	53
	REFERÊNCIAS.....	55

## 1 INTRODUÇÃO

O crescente aumento populacional juntamente com as mudanças de consumo e produção e a ausência de planejamento urbano têm intensificado a geração de resíduos sólidos, com destaque para os resíduos orgânicos. De acordo com Alexis et al. (2009), os resíduos alimentares representam mais de 50% da massa de resíduos urbanos em países menos desenvolvidos. O descarte inadequado desses resíduos pode atrair vetores de doenças.

A disposição adequada dos resíduos é uma das grandes inquietações atuais, cujo assunto ganhou visibilidade a partir de 1970 na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e os Direitos Humanos, que deliberou que o crescimento econômico sozinho não satisfaz as demandas sociais. Com isto, existe a necessidade urgente de se utilizar um modelo o qual seja baseado no tripé da sustentabilidade, buscando manter interligadas e equilibradas as dimensões econômica, social e ambiental (ALENCASTRO, 2015).

Apesar de uma alternativa ser a disposição em aterros sanitários, a presença destes resíduos pode intensificar fatores prejudiciais ao meio ambiente. Por meio da compostagem, os problemas ambientais decorrentes da disposição dos resíduos orgânicos podem ser mitigados, uma vez que ocorre a redução das emissões de gases de efeito estufa (USEPA, 2015) e a diminuição do volume de lixiviados quando resíduos orgânicos não são descartados em aterros sanitários (ADHIKARI et al., 2009). Além disso, observa-se um aumento do poder calorífico da matéria-prima para gerar mais energia em caso de incineração (ZHOU et al., 2014).

A maioria dos resíduos gerados impactam de maneira negativa o meio ambiente. Porém, os resíduos sólidos são gerados em maiores quantidades quando comparados aos líquidos e gasosos. Além disso, os resíduos sólidos são gerados em grande quantidade em residências e centros comerciais, com destaque para os localizados nas cidades. Desta forma, surge também a necessidade da participação popular, devido à redução do reaproveitamento dos resíduos, quando não existe segregação adequada (DEMAJOROVIC, 1995).

Para Wang et al. (2021), a compostagem é uma alternativa tecnológica que pode ser utilizada com diversos tipos de resíduos orgânicos, além dos resíduos de cozinha, como forma de estabilizar recursos, reduzir impactos ambientais e dissipar nutrientes.

O processo de compostagem requer a prévia separação dos resíduos alimentares na fonte de origem ou através de métodos mecânicos. Em vista do alto teor de umidade e baixa relação carbono/nitrogênio, é incorporado ao processo um material estruturante, como serragem, palha de arroz e outros. O material resultante do processo de compostagem, chamado de composto orgânico, é rico em húmus e apresenta características particulares, como 50% a 70% de matéria orgânica e coloração escura.

São inúmeros os benefícios do adubo orgânico, mas vale ressaltar que o fertilizante não possui somente nutrientes para as plantas, pois suas propriedades físicas, químicas e biológicas têm capacidade de melhorar o solo (LIMA et al., 2004). Corroborando com a temática, Laurent et al. (2014) apontam que o composto pode ser aplicado como fertilizante orgânico ou para corretivos do solo. Segundo Jordão et al. (2006), a aplicação do composto oferece nutrientes para o desenvolvimento das plantas, melhora a estrutura do solo e amplia sua capacidade de armazenamento de água.

Desta forma, a compostagem pode ocorrer em grande e pequena escala, dependendo de sua aplicabilidade e materiais utilizados. O sistema em pequena escala é viável em relação à redução de custos de transporte e amplia o reaproveitamento local da matéria orgânica (BRUNI et al., 2020; WEIDNER et al., 2020). O tempo de decomposição dos resíduos orgânicos e a qualidade do composto dependem do tipo de resíduo e da escala do sistema. Sendo assim, pode-se adotar estratégias a fim de acelerar o processo de compostagem e a maturação do composto.

A adição de vermes ao composto orgânico é conhecida como vermicompostagem e resulta em um composto com melhor qualidade do que o da compostagem (BAJSA et al., 2003). Diversos estudos apontam que a vermicompostagem resulta em níveis mais seguros de patógenos devido à atividade enzimática e microbiana, além de tornar os nutrientes mais solúveis, facilitando a absorção pela planta.

Portanto, este trabalho buscou realizar uma comparação entre as técnicas de compostagem e vermicompostagem em composteira unifamiliar de baixo custo.

No Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, foram conduzidos trabalhos abrangendo técnicas com diferentes resíduos e o desenvolvimento de protótipos de composteiras, dentre eles pode-se citar: Amorim (2017), com o título “Uso da Compostagem e Vermicompostagem como Técnicas de Tratamento de Resíduos Orgânicos Domociliares”; Santos (2020), intitulado como “Destinação

sustentável do lodo de ETE: análise de co-compostagem com resíduos sólidos orgânicos”; Santos (2021), nomeado como “Compostagem de Lodo Biológico e Resíduos Orgânicos: Uma Análise Bibliométrica usando a base de dados Scopus; Santos (2021), com o tema “Equipamento de Baixo Custo para Monitorar Temperatura e Umidade de Forma Contínua e Remota: aplicação na compostagem”.

Diante disso, esse Trabalho de Conclusão de Curso finda por configurar uma continuidade dos estudos mencionados.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Comparar as técnicas de compostagem e vermicompostagem em composteira unifamiliar de baixo custo, avaliando a qualidade final do composto orgânico produzido por/em cada composteira.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Utilizar a base de dados Web of Science a fim de prospectar conhecimentos pertinentes ao tema;
- Confeccionar uma composteira unifamiliar de baixo custo com dois compartimentos;
- Monitorar temperatura, umidade, pH e densidade.
- Comparar a qualidade do composto final gerado nos processos e realizar o teste de germinação para avaliar a toxicidade do composto e do chorume gerado no processo.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 COMPOSTAGEM E SEUS BENEFÍCIOS

A compostagem é um método de tratamento aeróbio aplicado no gerenciamento de resíduos sólidos, possuindo as vantagens de não utilizar produtos químicos e ser capaz de produzir um produto benéfico que pode ser utilizado para melhorar as condições do solo (KULIKOWSKA; BERNAT, 2020).

Para Alves (2008), o tempo do processo de compostagem é uma preocupação para quem o pretende realizar. O tempo pode variar entre 9 a 16 semanas, apesar dos resíduos alimentares serem opções para atender aos princípios sanitários e ecológicos, a reciclagem destes resíduos pode solucionar a questão ambiental e proporcionar insumos orgânicos para a agricultura, o que se torna um dos pontos mais relevantes associados a essa técnica.

Para Awasthi et al. (2016), a compostagem é considerada eficaz na redução dos resíduos sólidos orgânicos mediante beneficiamento, transformando-os em aditivos nutritivos para o solo, sendo essenciais para o desenvolvimento das plantas e para a melhoria do solo. De acordo com Soobhany (2019), o processo de compostagem realiza a reciclagem dos nutrientes nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), os elementos primordiais para a conversão de detritos orgânicos em composto.

Para se obter êxito na compostagem, deve-se dispor de condições equilibradas de relação carbono/ nitrogênio (C/N) e de exposição ao ar (SHAMMAS; WANG, 2009; GIL et al., 2008; SHILEV et al., 2007). A fim de proporcionar as condições necessárias para que os microrganismos deteriore e convertam a matéria orgânica, a massa de compostagem deve possuir uma relação C/N da mistura inicial entre 25 e 30. Em relação ao desenvolvimento dos microrganismos, o teor de umidade dos materiais iniciais deve variar entre 55 e 65% e a presença de oxigênio deve ser garantida nas pilhas de compostagem, com a finalidade de evitar áreas anóxicas durante todo o processo (SHAMMAS; WANG, 2009; SHILEV et al., 2007).

Como aponta Niwagaba et al. (2009), as bactérias patogênicas são eliminadas no processo devido às altas temperaturas. Entretanto, a compostagem estritamente termofílica possui algumas desvantagens, como tempo de duração, necessidade de

verificação, natureza heterogênea dos resíduos orgânicos e a perda de nutrientes ao longo do processo, o que restringe seu uso na agricultura (NDEGWA; THOMPSON, 2001).

O processo de compostagem pode ocorrer de diversas maneiras, a escolha do método depende do local, da quantidade, do tipo de resíduos e da disponibilidade financeira para a implantação e operação do processo. A compostagem pode ocorrer em leiras, silos e covas, feitas no solo ou em reatores, também conhecidos como composteiras, com inúmeros formatos e estratégias de funcionamento (KIEHL, 1985).

Cravo et al., (2003) afirmam que ao executar a compostagem, usufrui-se da natureza, desenvolve-se o solo e reduz a poluição ambiental. Apesar das vantagens enumeradas, a compostagem mostra-se uma prática insuficiente atualmente.

### **3.2 FATORES QUE INTERFEREM NA COMPOSTAGEM**

Para Onwosi et al. (2017), inúmeros fatores interferem na eficiência do processo aeróbio de compostagem de resíduos orgânicos. Dentre eles se destacam temperatura, umidade, aeração, potencial hidrogeniônico, relação carbono/nitrogênio e outros.

#### **3.2.1. Tamanho das Partículas**

De acordo com Pereira Neto (2009), o tamanho da partícula influencia em diversos parâmetros, por exemplo, compactação, porosidade, capacidade de aeração, área superficial e tempo de compostagem. Pelo ponto de vista microbiológico, tem-se que quanto menor o tamanho das partículas a serem degradadas, melhor será a ação dos microrganismos, por possuir maior superfície de ação do substrato.

É importante que durante a montagem da leira ou pilha de compostagem seja mantida uma porosidade de 3 a 5 % em função da aeração, para que ocorra uma compostagem mais rápida. A trituração não é recomendada para resíduos alimentares, pois são materiais de alta decomposição e tendem a perder muita água no processo (INÁCIO; MILLER, 2009). Em relação aos resíduos orgânicos urbanos produzidos em pequena escala, oriundo de espaços domiciliares, não se realiza a trituração. Porém, para a produção em grande escala é recomendável a trituração

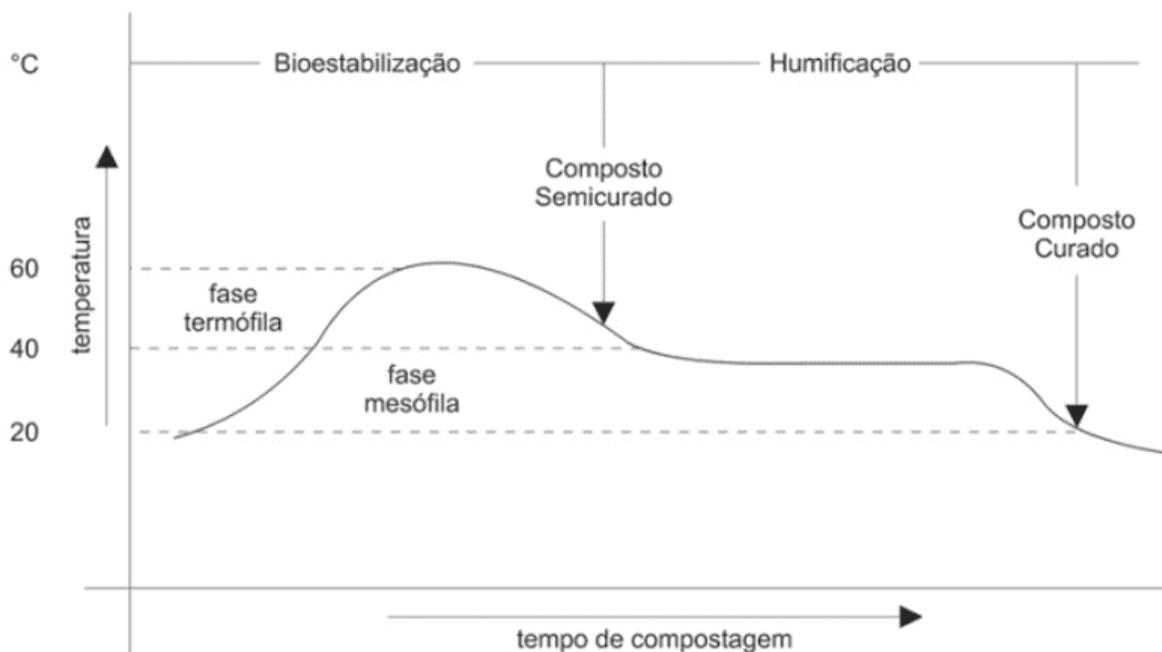
com o intuito de melhorar o desempenho dos microrganismos (ESPINOSA et al., 2014; KIEHL, 1985).

### **3.2.2. Temperatura**

Tiquia et al. (1997), em seus estudos envolvendo a compostagem da mistura de dejetos de suínos e serragem, constataram que a aferição da temperatura é um parâmetro que pode indicar a taxa de decomposição e a maturidade do composto, sendo considerado maduro quando sua temperatura atingir valores próximos à temperatura ambiente.

O comportamento da temperatura em um processo de compostagem típico está ilustrado na Figura 1. Segundo Rodrigues et al. (2006), a decomposição inicial é guiada por microrganismos mesófilos, que fazem uso de componentes solúveis e rapidamente degradáveis da matéria orgânica. Desta forma, como o metabolismo dos microrganismos é exotérmico, parte do calor gerado durante a oxidação da matéria orgânica fica retido no interior da leira (TANG et al., 2004), elevando a temperatura de 25°C para 40-45°C, em um período de 2 a 3 dias (KIEHL, 1985). Porém, quando a temperatura atinge valores acima dos 45°C, a atividade microbiológica mesofílica é suprimida pela implantação de uma comunidade microbiana termofílica (TIQUIA, 2005).

**Figura 1: Fases da compostagem e respectivas temperaturas**



Fonte: D'almeida e Vilhena (2000).

Segundo estudos de Peixoto (1988) e Snell (1991), na fase termófila ocorre a máxima decomposição dos compostos orgânicos. Portanto, é considerada uma fase de degradação ativa de polissacarídeos, como o amido, a celulose e as proteínas, que são transformados em subprodutos que serão utilizados pela microbiota (PEREIRA NETO, 2007). A degradação do substrato, por parte dos microrganismos, ocasiona a diminuição da relação Carbono/Nitrogênio, que ao se encontrar entre 15/1 e 18/1, indicam características de um material bioestabilizado (KIEHL, 2004).

### 3.2.3. Umidade

A umidade é essencial para a atividade metabólica e fisiológica dos microrganismos. Assim, os valores ideais para a compostagem variam entre 50% e 60% (STENTIFORD, 1996; TIQUIA et al., 1998a; RODRIGUES et al., 2006).

Richard et al. (2002) apontam que materiais com 30% de umidade impedem a atividade microbiana, porém, um meio com umidade acima de 65% proporciona uma decomposição lenta, condições de anaerobiose e lixiviação de nutrientes. O excesso de umidade reduz a penetração de oxigênio na leira, pois a matéria orgânica degradada é hidrófila e as moléculas de água se aderem fortemente à superfície das partículas, saturando os seus micros e macro poros (ECOICHEM, 2004), afetando as

propriedades físicas e químicas do composto (TIQUIA et al., 1998b). Além disso, a umidade interfere também imediatamente na temperatura do processo de compostagem, sendo uma consequência da atividade metabólica dos microrganismos, que ocorre na fase aquosa.

#### **3.2.4. Aeração**

De acordo com Peixoto (1998), a aeração é o fator mais importante a ser considerado no processo de decomposição da matéria orgânica, pois é o principal mecanismo que evita altos índices de temperatura durante o processo, aumenta a velocidade de oxidação, diminui a liberação de odores e reduz o excesso de umidade do material em decomposição (PEREIRA NETO, 1994; KIEHL, 2004).

A compostagem pode ser classificada como aeróbia ou anaeróbia, a depender da disponibilidade de oxigênio. O processo aeróbio representa a decomposição do material orgânico na presença de oxigênio, tendo como principal resultado água, dióxido de carbono e energia. Quando se trata do processo anaeróbio, a decomposição do material orgânico ocorre na ausência de oxigênio, resultando em metano e dióxido de carbono, além de produtos intermediários, como ácidos orgânicos de baixo peso molecular (PEREIRA NETO, 1996; KIEHL, 2004).

A presença de oxigênio na massa reduz o tempo de decomposição. Costa (2005) aponta que o aumento dos revolvimentos nas leiras reduz o tempo de compostagem.

#### **3.2.5. Potencial Hidrogeniônico**

O potencial Hidrogeniônico (pH) quando alterado pode ativar ou quase inativar as enzimas presentes nos microrganismos (PRIMAVESI, 1981).

Os principais materiais de origem orgânica, aplicados no processo de compostagem, possuem natureza ácida, por exemplo, sucos vegetais, fezes e outros. Sendo assim, inicialmente, ocorre uma reação ácida. Logo no início do processo ocorre a formação de ácidos orgânicos e a incorporação de carbono orgânico ao protoplasma celular microbiano, deixando o meio mais ácido em relação ao início. Esta fase é caracterizada pela presença de intensa atividade de microrganismos mesófilos, que elevam a temperatura da massa em compostagem à aproximadamente

40- 45°C e, em decorrência de sua atividade, liberam também carbono orgânico na forma de CO<sub>2</sub> para a atmosfera (TUOMELA et al., 2000).

De acordo com Kiehl (2004), no processo também ocorre a formação de ácidos húmicos, que reagem com os elementos químicos básicos, formando humatos alcalinos. Conseqüentemente, o pH do composto aumenta à medida que o processo avança, alcançando muitas vezes valores superiores a 8,0. Corroborando com o tema, Isoldi (1998) diz que as reações do tipo ácido-base e de óxido-redução são essenciais na compostagem.

### **3.2.6. Relação Carbono/Nitrogênio**

A relação Carbono/Nitrogênio C/N é um índice aplicado para estimar os níveis de maturação de substâncias orgânicas e seus efeitos no crescimento microbiológico, uma vez que a atividade dos microrganismos heterotróficos, envolvidos no processo, depende tanto do conteúdo de carbono para fonte de energia, quanto de nitrogênio para síntese de proteínas (SHARMA et al., 1997).

Sendo assim, a relação C/N deve ser estabelecida no material a ser compostado, para efeito de balanço de nutrientes, e no produto final, para efeito de qualidade do composto (MORREL et al., 1985).

A quantidade de N necessária por unidade de C oscila de acordo com os tipos de microrganismos envolvidos no processo (PEIXOTO, 1988). Para Pereira Neto (2007), o tempo necessário para desenvolver a decomposição e a mineralização é, em grande parte, definido pela concentração de N da matéria orgânica.

De acordo com Costa (2005), a qualidade do carbono a ser digerido influencia na velocidade e na quantidade de carbono que será transformado em dióxido de carbono durante a compostagem. Inúmeros pesquisadores apontam que a relação C/N ideal para o início do processo de compostagem está entre 25/1 e 35/1 (ZUCCONI; BERTOLDI, 1986; LOPEZ-REAL, 1994; FONG et al., 1999; KIEHL, 2004), visto que durante a decomposição os microrganismos consomem C e N da matéria orgânica na relação 30/1, sendo que das 30 partes de C assimiladas, 20 são eliminadas na atmosfera na forma de gás carbônico e 10 são imobilizadas e incorporadas ao protoplasma celular (GORGATI, 2001; KIEHL, 2004).

Imbar et al. (1993) e Silva (2005) mostram que além da natureza do material, a condução da compostagem também afeta de maneira considerável a concentração

de carbono total durante o processo de compostagem. Sendo assim, a condução adequada do processo de compostagem, incluindo a regulação da aeração, relação C/N, umidade e temperatura, pode afetar significativamente a concentração de carbono nos materiais em compostagem. Um processo bem gerenciado tende a resultar em uma decomposição eficiente do carbono, convertendo-o em composto rico em nutrientes que pode ser benéfico para a melhoria do solo e redução do desperdício orgânico.

### **3.2.7. Granulometria**

É importante considerar a granulometria, pois a dimensão das partículas, é uma importante característica por influenciar na decomposição. A decomposição da matéria orgânica trata-se de um fenômeno microbiológico ligado diretamente à superfície específica do material a ser degradado, uma vez que quanto menor a granulometria das partículas, maior será a área que poderá ser atacada e digerida pelos microrganismos, acelerando o processo de decomposição (KIEHL, 1985; KEENER; DAS, 1996; FERNANDES; SILVA, 1999). Com isso, pode-se dizer que partículas mais finas são mais apropriadas para o processo. De acordo com Pereira Neto (1996), se as condições como a compactação e a anaerobiose não influenciassem o prosseguimento do processo, o ideal seria ter dimensões microscópicas.

Segundo Rodrigues et al. (2006) os materiais que possuem granulação muito fina geram poucos espaços porosos, com isso dificultam a propagação de oxigênio no interior da leira, levando ao surgimento de condições anaeróbias, que é proporcionada pela presença de uma maior quantidade de microporos, levando a uma compactação e um aumento da densidade do substrato compostado (PRIMAVESI, 1981; KIEHL, 2004).

Para Benito e Masaguer (2006), ao realizarem uma avaliação do composto de resíduos de podas de árvores, foi possível constatar que o melhor substrato foi aquele que apresentou partículas grosseiras, entre 0,25 e 2,5 mm, uma vez que proporcionou uma melhor taxa de umidade e uma adequada aeração. Conforme Pereira Neto (1988) o tamanho ideal das partículas encontra-se entre 20 e 80 mm. Porém, alguns anos depois, Pereira Neto (2007) concluiu que as partículas da massa em compostagem devem possuir dimensões entre 10 e 50 mm.

Sendo assim, manter a granulometria ideal para a compostagem é difícil, pois cada material apresenta singularidades. Uma forma de tentar minimizar a diferença de granulometria é mesclar vários tipos de resíduos, a fim de obter uma massa homogênea.

### **3.2.8. Microrganismos**

Segundo Miller (1992), o processo de compostagem é caracterizado por uma contínua mudança das espécies de microrganismos envolvidos. Estas mudanças ocorrem devido às modificações nas condições do meio, o que torna inviável o reconhecimento de todos contidos.

Para Smith e Paul (1990), é de extrema importância o conhecimento sobre os processos microbianos, uma vez que é necessário o entendimento acerca da ciclagem de nutrientes e da dinâmica da matéria orgânica. Desta forma, a intensidade da atividade dos microrganismos decompositores nos processos de compostagem está diretamente relacionada à diversidade e a concentração de nutrientes (PEREIRA NETO, 2007). A taxa de velocidade do processo de compostagem e a produção da maior parte das modificações químicas e físicas do material são determinadas pela microbiota do composto (MCKINLEY; VESTAL, 1985; TIQUIA; TAM, 2000; MONDINI et al., 2004).

De acordo com Miller (1992), a fase do processo de compostagem é determinada através das espécies determinantes e a sua atividade metabólica desenvolvida. Corroborando com o tema, Corrêa et al. (1982) apontam que na primeira fase de decomposição, ocorre a predominância de bactérias, que degradam a matéria orgânica, acarretando a liberação de calor na massa em compostagem. Os fungos também atuam na fase mesofílica, uma vez que são heterotróficos e fazem uso da matéria orgânica sintetizada anteriormente pelas bactérias e outros microrganismos como fonte de energia (PEREIRA NETO, 2007).

Os microrganismos envolvidos no processo produzem ácidos, que degradam as proteínas, os amidos e os açúcares (TURNER, 2002). Com a elevação da temperatura, ocasionada pela liberação de calor, ocorre a morte de microrganismos mesófilos (PEIXOTO, 1988), proporcionando a multiplicação de actinomicetos, bactérias e fungos termófilos (RIFFALDI et al., 1986). Na fase termófila, as bactérias

deterioram os lipídeos e frações de hemicelulose. A celulose e a lignina são decompostas pelos actinomicetos e fungos (KIEHL, 1985).

Said-Pullicino et al. (2007), Adams (2008), em seus estudos, certificam que a sucessão microbiana, o envolvimento de comunidades microbiológicas e suas atividades durante as fases específicas do processo de compostagem ainda são pouco estudadas.

### **3.3 VERMICOMPOSTAGEM E SEUS BENEFÍCIOS**

A vermicompostagem é um processo natural que transforma resíduos orgânicos em componentes nutritivos e bem estabilizados com o uso de minhocas (RORAT; VANDENBULCKE, 2019). O vermicomposto e o composto são semelhantes, possuem aeração, estrutura, permeabilidade e capacidade de retenção de umidade, que resulta na estimulação do crescimento da planta. O grande diferencial entre os métodos é que o de vermicompostagem carece de uma área menor com condições adequadas de temperatura, para que as minhocas acelerem a decomposição dos resíduos (LEE et al., 2018).

É um processo controlado que conta com uma ação integrada de minhocas e microrganismos, em condições aeróbias, com o intuito de consolidar a matéria orgânica, impossibilitando o grau poluente e contaminante dos resíduos (KIEHL, 1985; LORES et al., 2006; LOURENÇO, 2014). Neste procedimento, grande parte dos compostos orgânicos é degenerada e os resíduos são alterados em compostos ricos em nitrogênio, fósforo, potássio e substâncias húmicas (SONG et al., 2014).

Segundo Karmegam et al. (2019), o processo de vermicompostagem é considerado uma tecnologia verde e limpa, já que apresenta custos de investimentos e manutenção relativamente baixos, além de baixo consumo de energia.

Diversos estudos apontam a capacidade dos sistemas da vermicompostagem em inativar patógenos como coliformes totais, *Salmonella* spp., *Escherichia coli* e *Shigella* spp. (MAINOO et al., 2009; YADAV et al., 2010; AIRA et al., 2011).

Ao utilizar os mesmos resíduos orgânicos, compostos e vermicompostos demonstraram hospedar diferentes comunidades microbianas. (NEHER et al., 2013) e o vermicomposto resulta em maiores rendimentos de plantas quando aplicado como fertilizante (ARANCON et al., 2004; ATIYEH et al., 2000).

Para Torkashvand et al. (2020), ao utilizar o vermicomposto na remediação de solos contaminados por metais pesados, é possível constatar a redução dos níveis de metais pesados e conseqüentemente, melhor desenvolvimento das plantas.

De acordo com Garg et al. (2012) a vermicompostagem depende de alguns fatores, sendo eles: produção de biomassa das minhocas, taxa de reprodução, taxa de conversão, taxa de sobrevivência.

Para a engenharia ecológica, a vermicompostagem com minhocas pode ser aplicada para melhorar a decomposição da matéria orgânica (LAZCANO et al., 2008; PARADELO et al., 2010) além da quantidade de nutrientes no vermicomposto (GHOSH et al., 1999; GARG et al., 2006).

Diversas pesquisas mostraram que as minhocas possuem capacidade de aumentar a mineralização de substâncias não orgânicas, por exemplo, cinzas volantes e fosfato de rocha em composto, revertendo em maior quantidade de nutrientes (BHATTACHARYA; CHATTOPADHYAY, 2002; UNUOFIN; MNKENI, 2014).

Como descrito por Soobhany et al. (2015), em comparação entre a compostagem e a vermicompostagem, tem-se que a segunda resulta em um produto homogêneo, de melhor qualidade com massa reduzida, menor tempo de processamento, alto teor de húmus e fitotoxicidade reduzida.

As minhocas toleram temperaturas entre 0°C a 40°C com pH de 7, mas em condições de temperatura entre 25 e 40°C e valores de umidade em torno de 40 a 45% sua capacidade de regeneração é maior (KALE, 1995; NAGAVALLEMMMA et al., 2004). De acordo com Suthar (2006), os melhores indicadores da vermicompostagem são a sobrevivência, produção de biomassa e a reprodução das minhocas.

### **3.4 CARACTERÍSTICAS DAS MINHOCAS UTILIZADAS NA VERMICOMPOSTAGEM**

As minhocas são seres pertencentes ao Filo *Anelidae* e à Classe *Oligochaeta*, apresentam divisões chamadas de metâmeros que possuem semelhanças a anéis, por isso, a denominação de anelídeos. São animais que possuem o sistema digestivo

completo, o primeiro segmento corporal possui a boca e o último segmento possui o ânus (LOURENÇO, 2014).

De acordo com Lourenço (2014), são animais invertebrados, uma vez que não apresentam esqueleto interno, nem olhos. Seu deslocamento ocorre por contração e distensão da musculatura e possui órgãos de sentido pouco desenvolvidos, com exceção do tato.

Possuem forte sensibilidade à luz, seja natural ou artificial. Apesar de serem seres hermafroditas incompletos, requerem parceiros para acasalamentos. Os casulos expõem coloração amarelada ou esverdeada e são depositados na superfície. O tempo de vida das minhocas das espécies epígeas é de 2 a 3 anos; enquanto as demais espécies podem viver entre 3 a 7 anos (LOURENÇO, 2014).

As minhocas podem ser classificadas em geófagas ou detritívoras, quanto à sua alimentação. As do tipo geófagas alimentam-se no subsolo, logo, em horizontes de maior profundidade, absorvendo frações de matéria orgânica, grande parte dos materiais ingeridos são partículas minerais. As minhocas do tipo detritívoras se alimentam na superfície e optam por resíduos orgânicos, havendo predominância de matéria orgânica no seu trato digestivo (LEE, 1985; LOURENÇO, 2014).

As minhocas podem ser classificadas em 3 grupos: epigéicas, endogéicas e anécicas (BOUCHÉ, 1977; LEE, 1985).

- Epigéicas: Estas minhocas são detritívoras e habitam a camada superficial do solo, geralmente até 10 cm de profundidade. Elas se alimentam de matéria orgânica em diferentes estágios de decomposição. Possuem ciclos de vida curtos, normalmente variando de 2 a 3 anos, o que resulta em crescimento rápido e reprodução acelerada. Seus dejetos contêm uma quantidade significativa de substâncias húmicas. Em termos de aparência, as minhocas epigéicas são geralmente pigmentadas e têm um tamanho menor quando comparadas às espécies endogéicas e anécicas (BOUCHÉ, 1977; JAMES, 2000). Algumas das espécies epigéicas mais notáveis no contexto da vermicompostagem no Brasil são a *Eisenia foetida*, *Eisenia andrei* e a *Eudrilus eugeniae*, também conhecida como Gigante Africana.
- Endogéicas: Estas minhocas são consideradas geófagas, pois habitam os horizontes minerais do solo. São de tamanho maior, menos pigmentadas e

possuem ciclos de vida mais longos, variando geralmente de 3 a 7 anos, em comparação com as espécies epigéicas. Devido aos seus hábitos alimentares, elas excretam dejetos com composição organomineral (JAMES, 2000; LOURENÇO, 2014).

- Anécicas: As minhocas anécicas também são geófagas e constroem galerias verticais permanentes no solo. Elas se alimentam de resíduos em estágios de decomposição na superfície do solo e os transportam para o interior através das galerias, acelerando o processo de decomposição (JAMES, 2000; LOURENÇO, 2014).

Para Lourenço (2014) a espécie que apresenta maior sensibilidade a manipulação e as amplitudes térmicas é a *Eudrilus eugeniae*. Sendo assim, as espécies *Eisenia foetida* e *Eisenia andrei* são denominadas popularmente como vermelha da Califórnia e são as mais utilizadas no processo de vermicompostagem, pois habitam naturalmente inúmeros resíduos orgânicos. As espécies *Eisenia foetida* e *Eisenia andrei* possuem características semelhantes quanto à anatomia externa, peso médio em torno de 0,55g quando atingem a vida adulta, tempo de maturidade sexual 28-30 dias, número de casulos diários 0,35-0,5, tempo de incubação dos casulos 18-26 dias, a viabilidade de nascimento dos casulos é em média 73-80%.

### 3.5 COMPOSTAGEM EM PEQUENA ESCALA

O processo de compostagem pode ser desenvolvido em larga escala ou pequena escala. De acordo com Andersen et al. (2011) a compostagem realizada em pequena escala permite sua utilização em agricultura familiar, espaços urbanos e em pequenas propriedades agrícolas. A compostagem doméstica possui uma grande vantagem em relação à compostagem centralizada, uma vez que a doméstica dispensa coleta e transporte dos resíduos. As duas técnicas podem aplicar o composto como adubo.

Segundo Brito (2008), um ponto favorável da compostagem em pequena escala são as menores chances de contaminação por outros materiais, uma vez que em grande parte os resíduos utilizados são formados no próprio local em que serão aplicados.

Para Guidoni et al. (2013), em decorrência dos baixos riscos ambientais, o processo é apropriado para o tratamento de moderados volumes de resíduos

orgânicos. Além disso, influencia na geração e valorização dos resíduos domésticos. Ademais, a fabricação de uma composteira caseira e seu monitoramento requerem baixos recursos como água e energia, tornando-se acessível a inúmeros usuários.

Vich et al. (2017) apontam que a compostagem em escalas menores pode ser vista como um mecanismo de educação ambiental, uma vez que corrobora com a consciência ambiental e responsabilidade social da população acerca dos resíduos.

Cannon (1996) afirma que a compostagem em pequena escala é uma atividade que a maioria da população poderia desenvolver com o intuito de reduzir o desperdício na origem e minimizar o volume descartado em aterros sanitários e sistemas de coleta, proporcionando vantagens na gestão de resíduos orgânicos nos centros urbanos. Porém, a técnica acaba sendo desenvolvida em grande escala em decorrência da falta de informação e de incentivo.

Até com o conhecimento dos benefícios da compostagem, a sua realização pode apresentar empecilhos no dia a dia. Pode-se dizer que alguns empecilhos são a falta de espaço para abrigar a composteira, exalação de odores, atração de vetores e a demanda de tempo para manuseio.

Em decorrência disto, torna-se imprescindível o conhecimento da técnica para que se obtenha êxito no método. Para obter uso satisfatório se faz necessário incentivos para sua utilização e ações de educação ambiental. No mercado existem vários tipos de composteiras de pequena escala que podem ser utilizadas em domicílios, instituições de ensino e pequenas empresas (COSTA, 2014).

### **3.6 ASPECTOS LEGAIS NO BRASIL RELACIONADO À COMPOSTAGEM**

As condicionantes da gestão de resíduos sólidos no Brasil estão previstas na Constituição Federal de 1988, na Política Nacional do Meio Ambiente (*Lei nº 6.938/1981*) e na *Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010)*. Estes documentos legais preveem o manejo pertinente dos resíduos sólidos, incluindo os orgânicos, de modo a garantir a preservação da qualidade do meio ambiente e o equilíbrio ecológico e ser conciliável ao desenvolvimento econômico-social (BRASIL, 1981; 1988; 2010).

Tem-se o Decreto Nº 8.384, de 29 de Dezembro de 2014, o qual estabelece diretrizes relativas à inspeção e supervisão da produção e comercialização de

fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes voltados para a agricultura. No seu segundo artigo, é abordado o conceito de corretivo, um produto que pode ter origem inorgânica, orgânica ou combinar ambas, com o propósito de aprimorar as características físicas, químicas e biológicas do solo. Vale destacar que seu valor não é considerado como o de um fertilizante e, adicionalmente, não deve apresentar efeitos prejudiciais ao solo e às plantas (BRASIL, 2014).

### **3.6.1. Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS)**

A Política Nacional de Resíduos Sólidos, decretada em 2010, que institui os princípios, objetivos e diretrizes da gestão de resíduos sólidos no Brasil, trouxe a questão da logística reversa, responsabilidade distribuída acerca do ciclo de vida dos produtos, plano de gerenciamento de resíduos sólidos e outros (BRASIL, 2010).

A Lei Federal nº 12.305/2010 que instaura a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010) determina em seu artigo 3º que a coleta seletiva deve ser prioridade, uma vez que a separação adequada dos resíduos é o passo inicial para a reutilização e a reciclagem, desta forma evitando o descarte incorreto.

A política mencionada orienta a gestão de resíduos sólidos por meio de seus termos, e estes citam como alternativa a promoção de compostagem dos resíduos orgânicos a fim de evitar a disposição em aterros sanitários.

Torna-se notório devidos os seguintes princípios:

*Art. 6º São princípios da Política Nacional de Resíduos Sólidos:*

- III. a visão sistêmica na gestão dos resíduos sólidos, que considere as variáveis ambiental, social, cultural, econômica, tecnológica e de saúde pública;
- IV. o desenvolvimento sustentável;
- VII. o reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania (BRASIL, 2010).

A política Nacional dos Resíduos Sólidos aborda a compostagem quando faz uso do termo “compostagem” no capítulo II (definições) - *Art. 3º*, e no capítulo III (responsabilidades dos geradores e do poder público) – *Art. 36*.

Dando ênfase a compostagem em relação ao aterro sanitário, uma vez que define as diretrizes a serem seguidas na gestão de resíduos sólidos da seguinte forma:

*Art. 9º Na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010).*

Desta forma, a lei aponta que a preferência é a reciclagem do que a disposição final, logo é preferível realizar a compostagem que é uma técnica de reciclagem ao invés de destinar aos aterros sanitários.

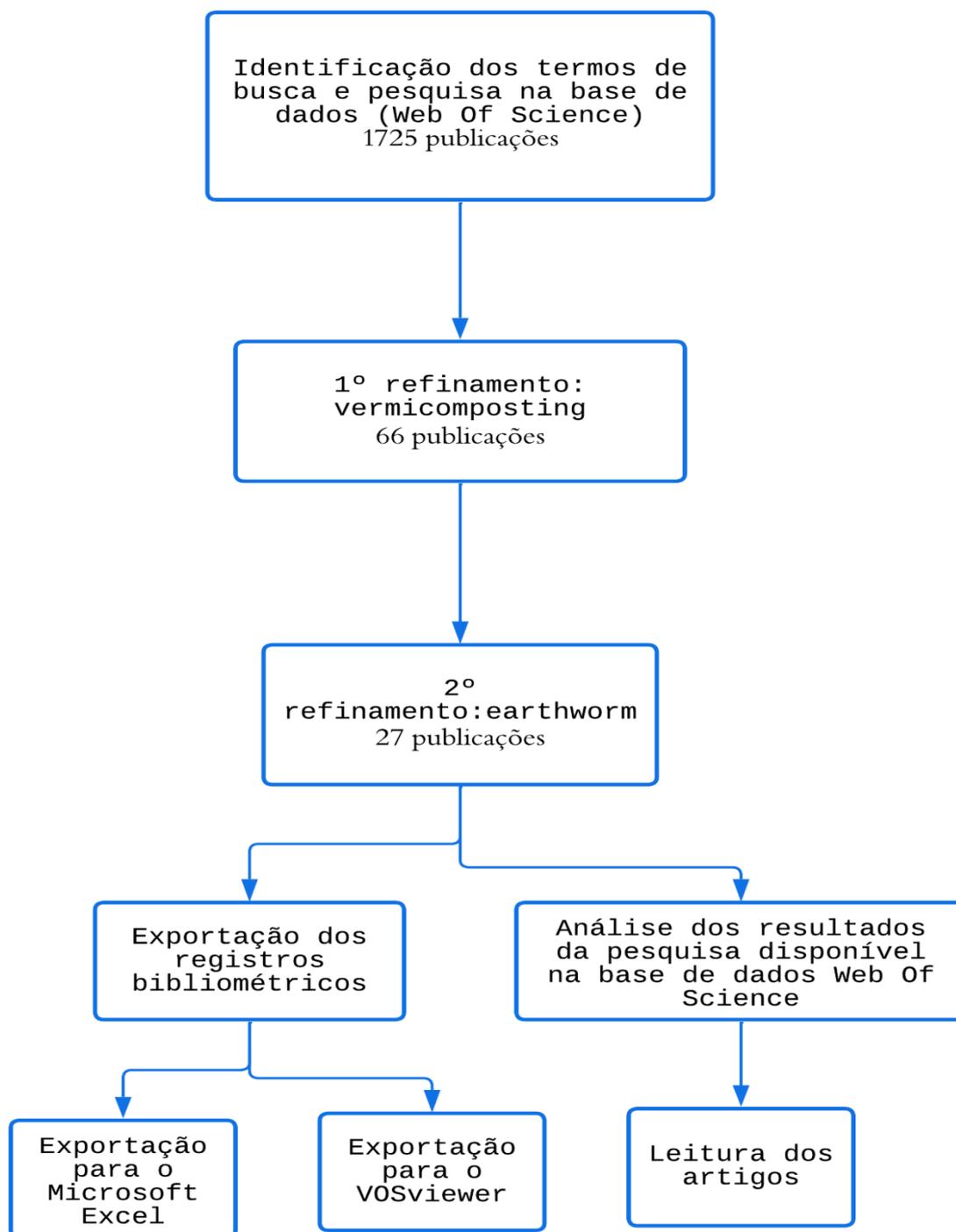
A PNRS permite somente a disposição final em aterros de resíduos que não possuem reuso ou reciclagem. Portanto, a legislação indica que a melhor alternativa é a compostagem dos resíduos orgânicos visto que eles possuem alternativa de recuperação.

## 4 MATERIAL E MÉTODO

### 4.1 Análise Bibliométrica

A Figura 2 apresenta um fluxograma que resume a metodologia aplicada neste trabalho. Os detalhes de cada etapa metodológica serão demonstrados a seguir.

Figura 2: Fluxograma com o resumo da metodologia aplicada



Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Para obtenção dos dados foram utilizadas as palavras-chaves “*Composting*” e “*Food Waste*” ou “*Kitchen Waste*” e “*Composting*” ou “*Composting*” e “*Household*”. Estas palavras deveriam estar contidas no título do artigo, resumo ou palavras-chave. No dia 01/05/2023 foi realizada uma busca na base de dados bibliográficos *Web of Science*. O acesso à base se dá através do Portal de Periódicos via Comunidade Federada (CAFe).

Por meio da metodologia utilizada foram obtidas inicialmente 1725 produções científicas, para o refinamento da busca aplicou-se o termo “*Vermicomposting*” que resultou em 66 estudos. Realizando um novo refinamento aplicando o termo “*Earthworm*” obteve-se 27 resultados. Por último, realizou-se a leitura das produções científicas pertinentes ao tema.

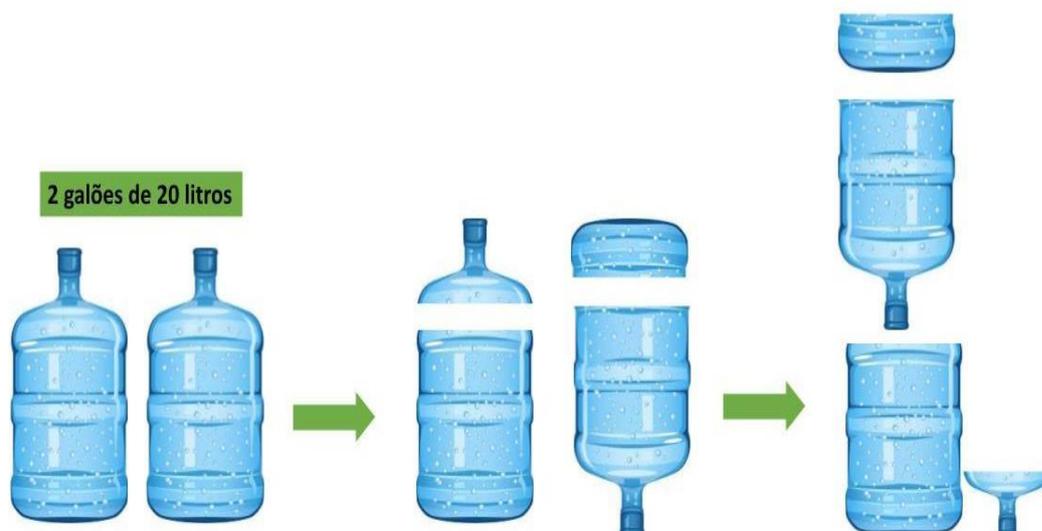
A etapa seguinte foi o uso do programa *Vosviewer* para detalhamento da análise bibliométrica pertinente ao tema.

## **4.2 Montagem da composteira**

Foi confeccionada uma composteira utilizando garrafões de água inservíveis com volume de 20 litros. Foram empilhados dois garrafões, para que se criem dois compartimentos: o superior usado para vermicompostagem e o inferior para a compostagem sem minhocas. Com o intuito de minimizar a entrada de luz, os compartimentos foram revestidos com papel adesivo, enquanto certas áreas receberam uma camada de tinta spray na tonalidade bege. No compartimento superior, as dimensões resultam em um diâmetro de 27 cm e uma altura de 46 cm, enquanto o compartimento inferior tem uma altura de 36,4 cm e um diâmetro de 26 cm.

A construção do primeiro compartimento foi realizada em 4 de agosto de 2023, seguida pela montagem do segundo compartimento em 9 de agosto de 2023. Importante destacar que o último compartimento inclui um espaço destinado à coleta do chorume, enquanto o primeiro apresenta dimensões maiores, devido ao corte, conforme ilustrado nas Figuras 3, 4, 5 e 6.

**Figura 3: Ilustração da composteira unifamiliar de baixo custo**



Fonte: Autora, 2023.

**Figura 4: Compartimentos da composteira unifamiliar de baixo custo**



Fonte: Autora, 2023.

**Figura 5: Compartimento para coleta do chorume**



**Figura 6: Composteira unifamiliar de baixo custo revestida**



Fonte: Autora, 2023.

A relação volumétrica adotada foi de 1:2. Isso implicou no uso de 5 litros de resíduos provenientes do preparo de alimentos, combinados com 10 litros de folhas secas e 2 litros de minhocas californianas, utilizando o substrato específico para a manutenção das minhocas, na montagem do primeiro compartimento. No caso do

segundo compartimento, embora a relação volumétrica tenha sido mantida, acomodou-se um volume ligeiramente menor de 9,4 litros devido às características anatômicas do espaço.

As folhas foram coletadas a partir do pátio do Centro de Tecnologia (CTEC), enquanto os resíduos de alimentos foram obtidos na cantina do mesmo centro. Foi constatada uma ampla diversidade de resíduos alimentares, tais como cascas de ovo, cenoura, batata, banana, manga, cebola, limão, vagens, repolho, tomate, alface, batata doce, berinjela, pimentão, pepino, abobrinha, abacaxi e coentro conforme ilustrados nas Figuras 7, 8 e 9.

**Figura 7: Resíduos de alimentos utilizados na compostagem**



Fonte: Autora, 2023.

**Figura 8: Material estruturante utilizado na compostagem**



Fonte: Autora, 2023.

**Figura 9: Minhocas californianas no substrato**



Fonte: Autora, 2023.

Utilizando uma tesoura, os resíduos alimentares foram cortados em tamanhos comparáveis, visando a sua degradação homogênea, conforme ilustrado na Figura 10.

**Figura 10: Corte dos resíduos alimentares aplicados ao processo de compostagem**



Fonte: Autora, 2023.

Por fim, procedeu-se à incorporação dos materiais na composteira, como representado na Figura 11.

**Figura 11: Incorporação dos materiais nos compartimentos da composteira**



Fonte: Autora, 2023.

### **4.3 Determinações dos parâmetros físico-químicos e teste de germinação**

A composteira foi acompanhada aproximadamente 38 dias, durante os quais foram monitorados parâmetros físico-químicos: temperatura, umidade, densidade e pH. Adicionalmente, será conduzido um teste de germinação. Todas essas análises foram conduzidas no Laboratório de Reúso de Água (LRA), localizado no Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas.

Ao longo do processo, os parâmetros foram monitorados de forma particular: a temperatura foi medida diariamente, enquanto a umidade e o pH foram avaliados em três ocasiões distintas durante o processo, e a densidade foi verificada tanto no início quanto no término do mesmo.

No que tange a determinação da umidade e do pH foi seguida a metodologia de acordo com Tedesco et al. (1995).

A temperatura é monitorada diariamente, no entanto, nos fins de semana, não foi possível realizar essa medição. Para compensar, nos dias em que foi viável, aferições foram realizadas duas ou três vezes ao longo do dia. Para isto, empregou-

se um termômetro digital comercial de baixo custo da marca Uny Gift e modelo UD180102. É importante ressaltar que, antes da medição diária, procedia-se o revolvimento do material com o intuito de torná-lo o mais homogêneo possível, conforme demonstrado nas Figuras 12 e 13.

**Figura 12: Revolvimento antes de monitorar a temperatura**



Fonte: Autora, 2023.

**Figura 13: Aferição da temperatura utilizando termômetro comercial de baixo custo**



Fonte: Autora, 2023.

Para determinar a densidade do material estruturante, foram colocadas folhas secas em um béquer de 1 litro e, em seguida, procedeu-se à pesagem das folhas secas.

Empregou-se a equação 1:

$$Densidade \left( \frac{kg}{m^3} \right) = \frac{Peso \text{ folha seca} + \text{bêquer} - \text{peso bêquer}}{Volume \text{ do bêquer}} \quad \text{Eq. (1)}$$

A utilização da equação 1 estendeu-se à determinação da densidade dos resíduos alimentares e do composto, seguindo o mesmo procedimento adotado para o material estruturante, demonstrado na Figura 14.

**Figura 14: Determinação da densidade**



Fonte: Autora, 2023.

Para calcular a umidade, quatro amostras do material úmido foram coletadas, sendo duas amostras de cada compartimento da composteira, com um peso aproximado de 10g cada, foram retiradas e adicionadas a quatro cápsulas de porcelana, as quais foram previamente pesadas antes do início do procedimento. Em seguida, as cápsulas com as amostras foram colocadas em uma estufa a uma temperatura de 65°C por um período de 24 a 48 horas. Após a secagem, realizou-se a pesagem do material, conforme a Figura 15.

**Figura 15: Amostras utilizadas para determinação da umidade**



Fonte: Autora, 2023.

Desta forma, a umidade de cada amostra foi obtida através da equação 2:

$$\text{Teor de umidade}(\%) = \frac{\text{Peso úmido} - \text{peso seco}}{\text{peso úmido}} \times 100 \quad \text{Eq. (2)}$$

Para a determinação do pH, foram pesados 5g do material de cada compartimento e, posteriormente, adicionados 50 mL de água destilada a cada amostra. Após a adição da água destilada, as amostras foram agitadas por um período de 30 minutos.

O teste de germinação foi conduzido utilizando sementes de alface mimosa (*Lactuca sativa*), com o propósito de verificar a inexistência de qualquer toxicidade dos compostos. O procedimento experimental envolveu a avaliação da germinação de sementes de alface mimosa (*Lactuca sativa*) em extratos aquosos derivados das amostras de compostos orgânicos e do chorume gerado durante o processo. O método adotado foi uma adaptação do protocolo descrito por Tiquia (2010).

Os extratos aquosos empregados para os ensaios de germinação foram preparados na proporção de 1:10 (p/v), em que 5 gramas das amostras foram misturadas em 50 ml de água destilada. Após a agitação das suspensões a 200 rpm em uma incubadora tipo Shaker, por 1 hora, à temperatura ambiente, estas foram submetidas a uma centrifugação a 3000 rpm durante 10 minutos. As frações líquidas resultantes desse processo de centrifugação passaram por filtração utilizando papel

filtro qualitativo de 9 cm de diâmetro, com gramatura de 80g/cm<sup>2</sup> e porosidade de 3 micras.

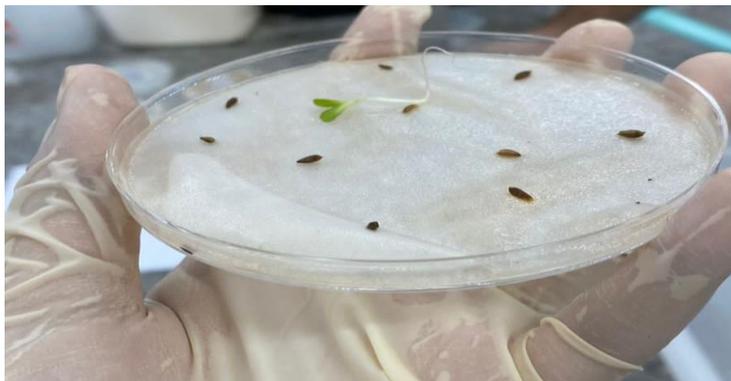
Para conduzir o teste de germinação, um disco de papel filtro qualitativo foi inserido em cada placa de Petri, que serviu como substrato, sendo umedecido com 5 ml do extrato aquoso. Como controle, empregou-se o mesmo volume de água destilada. Em cada placa de Petri, foram distribuídas 10 sementes de *Lactuca sativa*. As placas foram então colocadas em uma estufa do tipo Biochemical Oxygen Demand (BOD), mantida a 20°C ± 2, fotoperíodo de 12 em 12 horas, ao longo de períodos de 5 e 7 dias. Conforme ilustrado pela Figuras 15 e 16.

**Figura 16: Incubação das sementes**



Fonte: Autora, 2023.

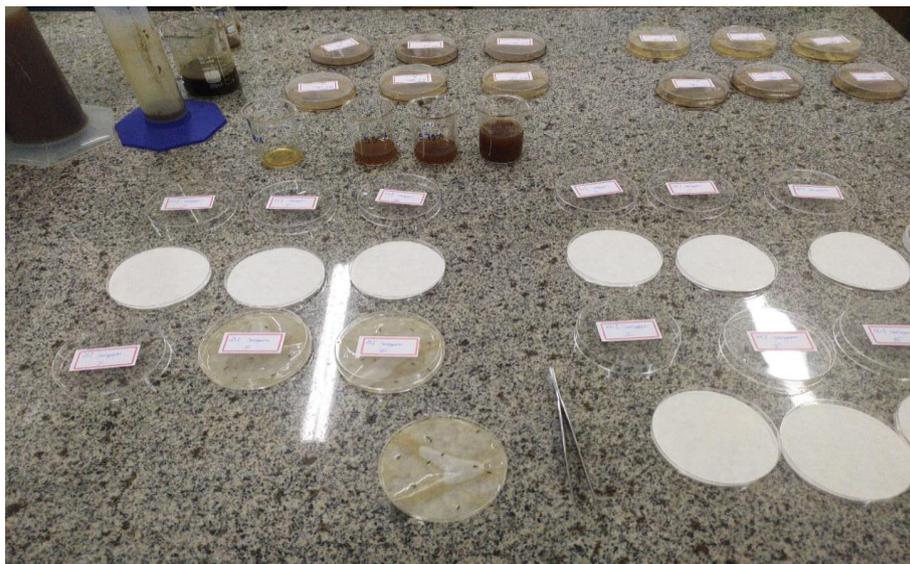
**Figura 17: Teste de germinação de sementes utilizando o composto**



Fonte: Autora, 2023.

Vale destacar que o teste de germinação utilizando o chorume teve a diluição do líquido em água destilada nas proporções de 100% de chorume, 75% de chorume, 50% chorume e 25% de chorume, conforme ilustrado na Figura 18.

**Figura 18: Teste de germinação de sementes utilizando chorume**



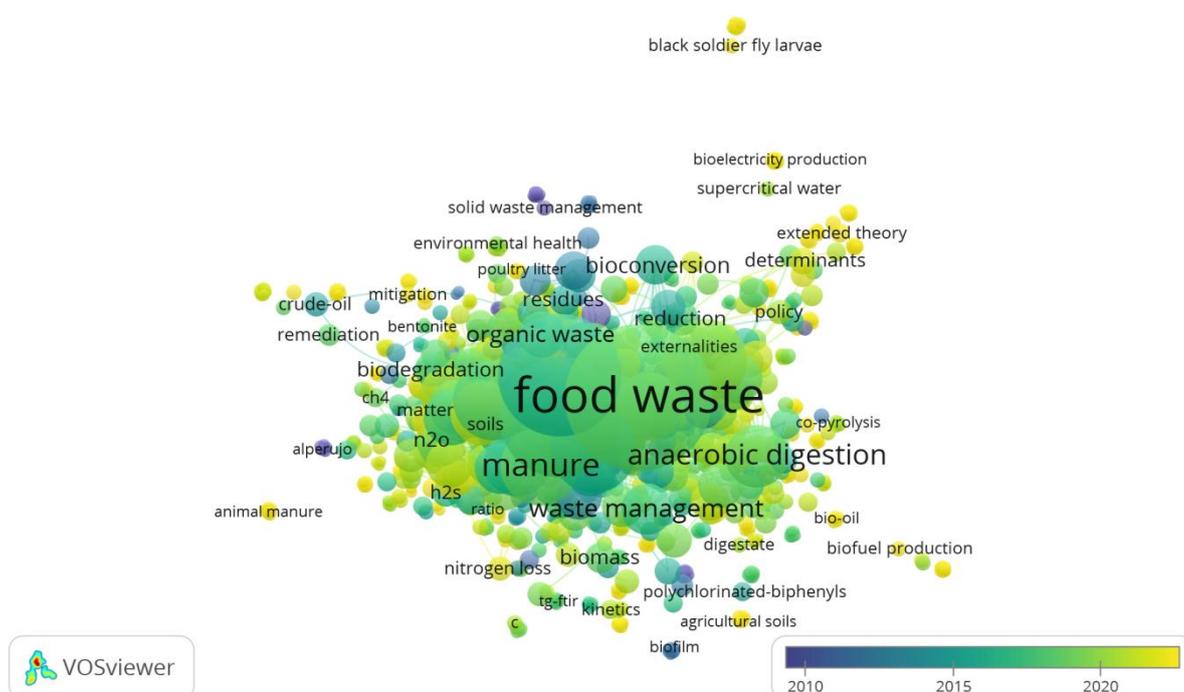
Fonte: Autora, 2023.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Resultados da Análise Bibliométrica

Utilizando a ferramenta Vosviewer, é possível identificar de maneira eficaz as palavras-chave predominantes nas publicações analisadas. Como pode ser observado, o termo "*Food Waste*", assume um papel proeminente nesse contexto. Isso fica evidente pelo tamanho da bolha correspondente, uma vez que a dimensão das bolhas é proporcional a frequência de citação das palavras, conforme Figura 19.

**Figura 19: Rede de palavras-chaves utilizadas pelos autores nas publicações sobre o tema**



Fonte: Elaborada pela autora, 2023.

A Figura 20 apresenta os autores que mais publicaram sobre a temática, destacando-se, em particular, o autor Li Goux, com um total de 37 publicações, vale ressaltar que no ano de 2023 o autor publicou cinco trabalhos.



As publicações pertinentes ao tema estavam relacionadas aos seguintes Objetivos de Desenvolvimento Sustentável- ODS: consumo e produção responsáveis (ODS 12), fome zero e agricultura sustentável (ODS 2), cidades e comunidades sustentáveis (ODS 11), ação contra a mudança global do clima (ODS 13), água potável e saneamento (ODS 6), saúde e bem-estar (ODS 3), vida terrestre (ODS 15), energia limpa e acessível (ODS 7), vida na água (ODS 14), erradicação da pobreza (ODS 1), educação de qualidade (ODS 4), indústria, inovação e infraestrutura (ODS 9), e redução das desigualdades (10).

A tabela 1 exibe a classificação dos 15 países que oferecem a maior contribuição em relação à temática. O Brasil ocupa a 13ª posição, tendo produzido um total de 75 artigos.

**Tabela 1: Os 15 países que mais contribuíram e o número de artigos**

<b>País</b>	<b>Número de artigos</b>
China	585
Estados Unidos	412
Itália	208
Índia	197
Espanha	177
Malásia	135
Canadá	127
Inglaterra	117
Japão	106
Austrália	97
Alemanha	97
Coreia do Sul	95
Taiwan	79
Brasil	75
Polônia	69

Fonte: Elaborada pela autora, 2023.

A tabela 2 apresenta as cinco instituições que mais contribuem sobre o tema.

**Tabela 2: As cinco instituições que mais publicam sobre o tema**

<b>Instituição</b>	<b>Número de publicações</b>
Academia Chinesa de Ciências	69
Universidade Agrícola da China	64
Noroeste Universidade China	48
Sistema da Universidade da Califórnia	42
Sistema do Instituto Indiano de Tecnologia	38

Fonte: Elaborada pela autora, 2023.

## **5.2 Resultados dos Parâmetros Monitorados**

Por meio da aplicação da Equação 1, conforme descrito na metodologia, foram calculados os valores médios de densidade. Como resultado, foi obtida uma densidade média para o material estruturante de aproximadamente 84,11 kg/m<sup>3</sup> e para os resíduos alimentares de cerca de 588,58 kg/m<sup>3</sup>. Portanto, a mistura inserida nos compartimentos possuía uma densidade média inicial de 252,26 kg/m<sup>3</sup>. Ao final do período de monitoramento, foram realizadas medições de densidade, resultando em 269,9 kg/m<sup>3</sup> para as folhas com minhocas e 442,8 kg/m<sup>3</sup> para as folhas.

A Figura 22 evidencia que o composto final da composteira apresenta uma tonalidade mais escura, sinalizando seu estágio de maturação.

**Figura 22: Composto inicial (a) e final (b) da composteira**



Fonte: Autora, 2023.

Nota-se que as folhas exibem uma densidade superior quando comparadas àquelas que estão em contato com minhocas. Essa diferença é atribuída ao aumento do teor de umidade, resultado do escoamento do chorume do primeiro compartimento.

Quanto às minhocas utilizadas na vermicompostagem, observa-se um aumento na população e na taxa de reprodução, indicando que o ambiente oferece condições favoráveis ao seu desenvolvimento, conforme indicado na Figura 23.

**Figura 23: Minhocas que estão contidas no primeiro compartimento da composteira**



Fonte: Autora, 2023.

Através da análise dos volumes iniciais e finais, foi possível calcular a redução de volume ao longo de um período de 38 dias, como demonstrado na Tabela 3. As vantagens significativas das folhas são a rápida degradação, devido sua composição orgânica, e a baixa produção de chorume, associada ao baixo teor de água. Isso fica evidenciado pelo fato de que apenas 151 mL de chorume foram coletadas no compartimento inferior.

Essa ocorrência está relacionada a parte das folhas sofreram degradação junto com o resíduo orgânico.

**Tabela 3: Volume reduzido nas composteiras**

	Volume Inicial	Volume Final	Redução (L)	Redução (%)
Compartimento superior	17,0	9,0	8,0	47,1
Compartimento inferior	9,6	4,8	4,8	50,0
Total	26,6	13,8	12,8	48,1

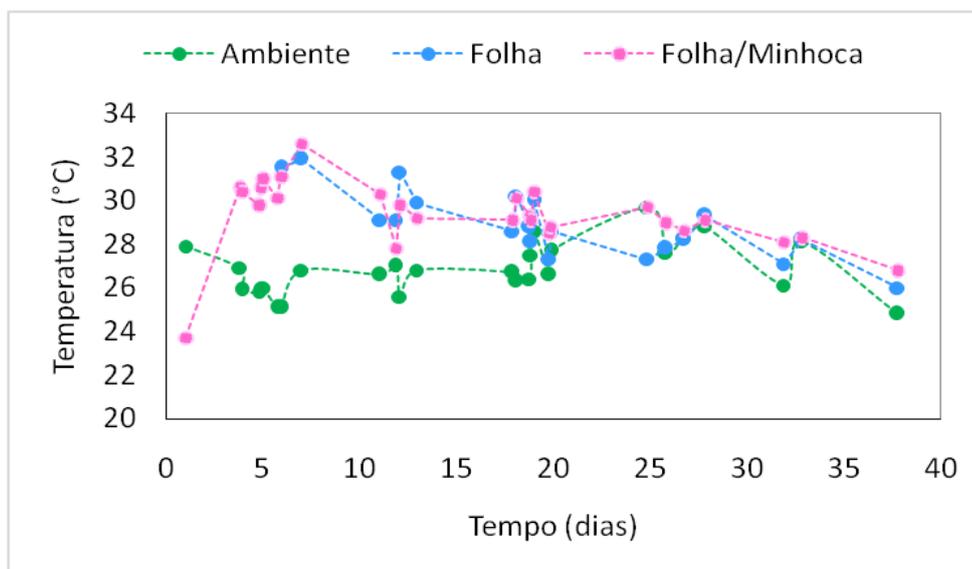
Fonte: Elaborada pela autora, 2023.

É evidente que, no início do processo, ocorre um aumento de temperatura, o que é tanto natural quanto desejável. Esse aumento é impulsionado pela atividade microbiana, reações exotérmicas e crescimento populacional de microrganismos. Nota-se que, a partir do vigésimo dia, as temperaturas se equiparam à temperatura ambiente.

Esse fenômeno é resultado da redução da atividade microbiana, indicando a fase de estabilização do composto. Ao longo do processo de compostagem, não foi detectada a ocorrência da fase termofílica, caracterizada pelo desenvolvimento de temperaturas elevadas na faixa de 45 a 65 °C. Somente, foram registradas temperaturas que se situam na faixa mesofílica, variando entre 20 e 45 °C, como ilustrado na Figura 24.

Conforme observado por Amorim (2017), esse fenômeno ocorre devido à pequena quantidade de material em processo de compostagem.

**Figura 24: Perfil da temperatura nas composteiras ao longo do processo**

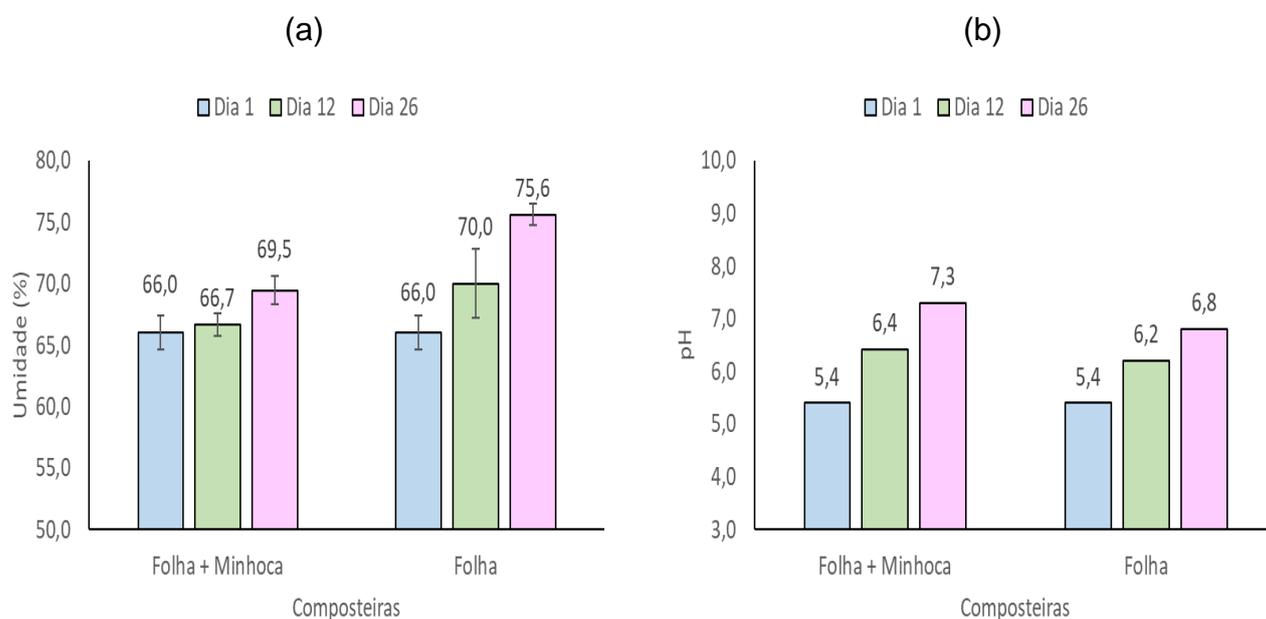


Fonte: Autora, 2023.

Através da Figura 25(a), observam-se variações na umidade. Na primeira verificação, a umidade variou em torno de  $66 \pm 1,4$  %, enquanto na última verificação foi de  $69,5 \pm 1,2$  % para folhas que estavam em contato com minhocas. Vale ressaltar que as folhas apresentaram valores mais elevados, atingindo  $66 \pm 1,43$  na primeira medição e  $75,6 \pm 0,9$  na última. Essa diferença pode ser atribuída ao ambiente fechado do compartimento e ao escoamento do chorume do primeiro compartimento. Os valores ideais para a compostagem variam entre 50% e 60% (STENTIFORD, 1996; TIQUIA et al., 1998a; RODRIGUES et al., 2006). Porém, a estrutura das folhas permite reter a umidade, ocasionando valores acima da literatura.

Em relação ao pH indicado na Figura 25(b), observa-se que as folhas que estão em contato com as minhocas mantêm valores que variam entre 5,4 e 7,3. Essa faixa é considerada ideal para um funcionamento eficaz do processo de compostagem e para o bem-estar das minhocas, uma vez que está dentro da faixa ligeiramente ácida a neutra. Os valores de pH ao longo dos primeiros dias tendem a ser menores devido a degradação da matéria orgânica e, por consequência, geração de substâncias ácidas.

Posteriormente, a medida que a matéria orgânica é estabilizada, os valores tendem a subir. Confirmando a capacidade de correção de solos ácidos através da aplicação do composto.

**Figura 25: Variações da umidade (a) e do pH (b) das composteiras ao longo do processo**

Fonte: Autora, 2023.

O teste de germinação utilizando o composto e o vermicomposto, conforme demonstrado na Tabela 4, mostra que apenas duas sementes germinaram: uma utilizando água destilada e outra com o composto unicamente de folhas. Essa observação pode ser relacionada a potenciais imperfeições nas próprias sementes ou, alternativamente, ao curto período de compostagem, o que poderia resultar na presença de compostos orgânicos não decompostos que afetam a germinação.

**Tabela 4: Teste de germinação utilizando o composto final das composteiras**

Número de sementes germinadas (n=10)		
	Duplicata	
Amostras	i	ii
Controle (água)	1	0
Compartimento superior	0	0
Compartimento inferior	0	1

Fonte: Elaborada pela autora, 2023.

Através da análise da Tabela 5, é possível quantificar o número de sementes germinadas usando o chorume em diferentes proporções. Notavelmente, observa-se que apenas uma semente germinou no grupo de controle que utilizou água destilada. Esse fenômeno pode ser atribuído a possíveis deficiências nas próprias sementes ou

a fatores associados ao chorume, como altos níveis de acidez, alcalinidade ou a presença de compostos fitotóxicos devido ao período de maturação insuficiente.

Essas observações ressaltam a importância de realizar testes de germinação cuidadosos e considerar múltiplos fatores que podem afetar o processo de germinação das sementes, garantindo resultados confiáveis e a identificação precisa de quaisquer problemas que possam surgir durante o cultivo.

**Tabela 5: Teste de germinação utilizando chorume bruto e diluições: 25%, 50% e 75%**

Número de sementes germinadas (n=10)			
Amostras	Triplicata		
	i	ii	iii
Controle (água)	0	1	0
25% chorume	0	0	0
50% chorume	0	0	0
75% chorume	0	0	0
100% chorume	0	0	0

Fonte: Elaborada pela autora, 2023.

## 6 CONCLUSÕES

Após a análise bibliométrica, torna-se evidente que as produções científicas relacionadas ao tema têm uma ampla divulgação global, e no Brasil, essa área está gradualmente ganhando visibilidade. Além disso, é importante destacar que as produções relevantes sobre o tema estão alinhadas com 13 dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.

A utilização de resíduos orgânicos domésticos na forma de composto contribui significativamente para uma maior sustentabilidade ambiental. Durante o processo de compostagem realizado neste estudo, foi possível reduzir o volume total dos resíduos em 48,1%. Além disso, a compostagem e a vermicompostagem oferecem uma oportunidade de reciclar nutrientes e, ao mesmo tempo, atenuar os impactos ambientais prejudiciais decorrentes da disposição inadequada dos resíduos sólidos.

A compostagem doméstica desempenha um papel importante na reciclagem de resíduos alimentares resultantes da preparação de alimentos. Uma das vantagens notáveis é a possibilidade de criar composteiras reutilizando materiais de baixo custo. Além disso, o modelo utilizado neste estudo apresenta a vantagem adicional de reduzir a atração de vetores indesejados. Foi possível identificar as potencialidades e as fragilidades do protótipo funcional, o que contribuirá para aprimorá-lo em trabalhos futuros.

Percebe-se um aumento gradual da temperatura ao longo do período, resultado da atividade metabólica, com a temperatura ambiente sendo alcançada no vigésimo dia do processo. É relevante ressaltar que, até a data de monitoramento, predominaram os microrganismos mesófilos.

Quanto à umidade e ao pH, os valores se mantiveram satisfatórios, sendo resultado do processo natural de decomposição do material estruturante. Foi gerado um volume de chorume de 151 mL, um valor relativamente baixo, o que destaca a eficácia das folhas.

Apesar de terem germinado apenas algumas sementes no teste de germinação para avaliar a toxicidade do composto, do vermicomposto e do chorume, isso sugere que o composto de folhas possui benefícios para as plantas. No entanto, também

destaca a necessidade de realizar estudos adicionais visando melhorar as condições de germinação das sementes e aperfeiçoar seu potencial de crescimento.

Recomenda-se para futuras pesquisas a inclusão de uma torneira na parte inferior da composteira para facilitar a coleta do chorume e o uso de um triturador para facilitar o tritramento das folhas secas.

O monitoramento de outros parâmetros, por exemplo, Coliformes totais e termotolerantes, Relação Carbono/ Nitrogênio, Nitrogênio, Fósforo e Potássio.

## REFERÊNCIAS

- ADAMS, J.D.W.; FORSTICK, L.E. Investigation of microbial activities in compost using mushroom cultivation (*Agaricus bisporus*) as an experimental system. **Bioresource Technology**, 99, p.1097-1102, 2008.
- ADHIKARI, B.K.; BARRINGTON, S.; MARTINEZ, J.; KING, S. Efficacy of three bulking agents for composting food waste. **Waste Management**, v.29, p.197–203, 2009.
- AIRA, M.; GOMEZ-BRANDON, M.; GONZALEZ-PORTO, P.; DOMÍNGUEZ, J. Selection Reduction of the pathogenic load of cattle manure in an industrial-scale continuous feed vermireactor. **Bioresource Technology**, v.102, p.9633-9637, 2011.
- ALENCASTRO, M.S.C.; EBERSPACHER, A.M.G.; KRAETZ, G. B. Sustainable development and conscious consumption: some reflections. **Environment and Sustainability Magazine**, vol. 8, n.4, p.167, Jan – Jun 2015.
- ALEXIS, M.T.; JAMES, R.M. Sustainable recycling of municipal solid waste in developing countries. **Waste Management**, v.29, p. 915–923, 2009.
- ALVES, W.L. **Compostagem e vermicompostagem no tratamento de lixo urbano**. Funep, 5ª edição, p.53, 2008.
- AMORIM, H.J.C.A.L. **Uso da Compostagem e Vermicompostagem como Técnicas de Tratamento de Resíduos Orgânicos Domiciliares**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal de Alagoas. Maceió, AL, 2017.
- ANDERSEN, J. K.; BOLDRIN, A.; CHRISTENSEN, T.H.; SCHEUTZ, C. Mass balances and life cycle inventory of home composting of organic waste. **Waste Management Magazine**, v.31, p. 1934–1942, 2011.
- ARANCON, N.Q.; EDWARDS, C.A.; ATIYEH, R.M.; METZGER, J.D. Effects of vermicomposts produced from food waste on greenhouse peppers. **Bioresource Technology**, v. 93, p. 139–144, 2004.
- AWASTHI, M.K.; WANG, M., CHEN, H.; WANG, Q.; ZHAO, J.; REN, X.; LI, D.; AWASTHI, S.K.; SHEN, F.; LI, R.; ZHANG, Z. Biochar alteration heterogeneity to improve carbon and nitrogen sequestration through reduction of greenhouse gas emissions during sewage sludge composting. **Bioresource Technology**, v.224, p.428- 438,2016.
- BAJSA, O.; NAIR, J.; MATHEW, K.; HO, GE. Vermiculture as a tool for domestic wastewater management. **Water Science and Technology**, v.48, p.125–132, 2003.
- BENITO, M.A. A.; MASAGUER, R. A. M. Chemical and physical properties of pruning waste compost and its seasonal variability. **Bioresource Technology**, v. 97, p. 2071-2076, 2006.
- BHATTACHARYA, S.S.; CHATTOPADHYAY, G.N. Increased bioavailability of phosphorus from fly ash to vermicomposting. **Jornal Environmental**, v. 31, p.2116–2119, 2002.

BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, [2016].

BRASIL. Lei nº 6938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília, DF.

BRASIL. Lei nº 12305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, DF.

BRITO, M. J. C. **Processo de compostagem de resíduos urbanos em pequena escala e potencial de utilização do composto substrato**. 2008. 124 p. Dissertação (Mestrado). Pós-graduação em Engenharia de Processos, Universidade Tiradentes. Aracaju, 2008.

CANNON, C. Balancing Backyard Compost Layering and Benefits. **BioCycle, United States of America**, v.37, n.1, p.83-86, Jan.1996

CORRÊA, D.; PRESSI, F.P.; JACOMETTI, M.L.G.; SPITZNER, P.I. Tecnologia de fabricação de fertilizantes orgânicos. In: Cerri, C.C.; D. Athié. Colóquio regional de estudos da matéria orgânica do solo. **Anais...** São Paulo. p. 217-222, 1982.

COSTA, M.S.S. DE M. **Caracterização dos dejetos de novilhos superprecoces: reciclagem energética e de nutrientes**. 2005. 98p. Tese (Doutorado em Agronomia). Faculdade de Ciências Agrônômicas. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho".

COSTA, M.S.S.M. **Caracterização dos rejeitos de novilhos superprecoces: reciclagem energética e de nutrientes**. 2014. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas da Unesp, Unesp, Botucatu, São Paulo.

CRAVO, M. S.; MURAOKA, T.; GINÉ, M. F. – Poluição e Qualidade Ambiental: Caracterização química de compostos de lixo urbano de algumas usinas brasileiras: **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v.32, n.5, 2003.

D'ALMEIDA, M.L.; VILHENA, A. **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. 2 ed., São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000.

**DECRETO Nº 8384**. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2014/decreto/d8384.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2014/decreto/d8384.htm)>. Acesso em: 17 ago. 2023.

DEMAJOROVIC, J. Da política tradicional de tratamento do lixo, à política de gestão de resíduos sólidos, as novas prioridades, **Revista de Administração de Empresas**, São Paulo v.35 n.3 p.88-93, 1995.

ECOCEM. **Composting process**. 2004.  
[http://www.ecochem.com/t\\_compost\\_faq2.html](http://www.ecochem.com/t_compost_faq2.html). Accessed on: 06/06/2023.

ESPINOSA, V.; TURPIN, S.; POLANCO, G.; DE LATORRE. A.; DELFIN, I.; RAYGOZA, I. **Resource conservation, Mexican Society of Science and Technology applied solid waste**. Mexico, 2014.

FERNANDES, F.; DA SILVA, S.M.C.P. PROSAB - Programa de pesquisa em saneamento básico. Manual prático para a compostagem de biossólidos. **ABES -**

**Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, 1999.

FONG, M.; WONG, J.W.C.; WONG, M.H. Review on assessment of compost maturity and solid waste stability. **Shanghai environment Science**, v.18 p. 91-93, 1999.

GARG V.K.; KAUSHIK P.; DILBAGHI N. Vermicomposition of textile mill wastewater sludge enriched with anaerobically digested biogas plant sludge employing *Eisenia foetida*. **Ecotoxicol. Environment. insurance** v. 65, p.412-419, 2006.

GHOSH, M.; CHATTOPADHYAY, G.N.; BARAL, K. Phosphorous transformation during vermicomposting. **Bioresource Technology**, v. 69, p.149 -154, 1999.

GIL, M.V.; CARBALLO, M.T.; CALVO, L.F. Corn fertilization with bovine manure compost supplemented with additional mineral nutrients. **Waste Management**, v. 28, p. 1432 -1440, 2008.

GORGATI, C.Q. **Resíduos sólidos urbanos em áreas de proteção aos mananciais - município de São Lourenço da Serra - SP: compostagem e impacto ambiental**. 2001. 70p. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Botucatu.

GUIDONI, L.L.C. E OUTROS. **Compostagem domiciliar: implantação e avaliação do processo**. Tecno-lógica, Santa Cruz do Sul, v.17, n.1, p.44-51, jan./jun.2013.

IMBAR, Y.; HADAR, Y.; CHER, Y. Bovine manure recycling: the composting process and maturity characterization. **Journal Environmental**, v. 22, p. 857-863, 1993.

ISOLDI, L.A. **Remoção de nitrogênio de águas residuárias da industrialização de arroz por tecnologias performantes**. 1998. 152p. Tese (Doutorado em Biotecnologia). Centro de Biotecnologia. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas.

JORDÃO, C.P.; NASCENTES, C.C.; CECON, P.R.; FONTES, R.L.F.; PEREIRA, J.L. Availability of heavy metals in soils treated with composted urban solid waste. **Environment Monitor Advisor**, v.112, p.309-326, 2006.

KALE, R.D. Vermicomposting has a brilliant scope. **Indian Silk**, v. 34, p.6–9, 1995.  
KARMEGAM, N.; DANIEL, T. Investigating efficiency of *Lampito mauritti* (Kinberg) and *Perionyx ceylanensis* Michaelsen for vermicomposting of different types of organic substrates. **The Environmentalist**, v.29, n.3, p.287- 300, 2009

KEENER, H.M.; DAS, K. Process control based on dynamic properties in composting: moisture and compaction considerations. In: The science of composting. part 1. **Chapman & Hall**, p.116-125, 1996.

KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. Editora Agronômica Ceres Ltda. Piracicaba. p.492, 1985.

KIEHL, E.J. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. 4ª ed. E. J. Kiehl. Piracicaba. p.173 p, 2004.

KIEHL, J. E. **Fertilizantes orgânicos**, Editora agronômica Ceres Ltda, São Paulo. P. 229- 284, 1985.

KULIKOWSKA, D.; BERNAT, K. **Effect of bio-based products on waste management.** 2020.

LAURENT, A.; BAKAS, I.; LAVREUL, J.; BERNSTAD, A. Review of LCA studies of sound waste management systems – part I: lessons learned and perspectives. **Waste Manage**, v. 34, p. 573-588, 2014.

LAZCANO, C.; GOMEZ-BRANDON, M.; DOMINGUEZ, J. **Comparison of effective species.** v. 1, 2008.

LEE LH, WU TY, PUI K, SHAK Y, LIM SL, NG KY, NGUYEN MN, TEOH WH. Sustainable approach to biotransforming industrial sludge into organic fertilizer via vermicomposting : a mini-review leong Hwee lee , a Ta Yeong Wu , a \* Katrina Pui yee Shak, a, b Su Lin Lim, a. **J.Chem. Technology Biotechnology**, 2018.

LIMA, M. J. H. ; OLIVEIRA, S. N. E.; CAJAZEIRAS, P. J. Uso da compostagem em sistemas agrícolas orgânicos. **Embrapa Agroindústria Tropical**. Fortaleza CE. 2004

LOPEZ-REAL, J. **Composting through the ages.** Down to Earth Composting Conference. Dundee, 1994.

LOURENÇO, N.M.G. **Características da minhoca epígea Eisenia foetida – benefícios, características e mais-valias ambientais decorrentes de sua utilização.** Lisboa, p.5, 2014.

MAINOO, N.O.K.; BARRINGTON, S.; WHALEN, J.K.; SAMPEDRO, L. Pilot-scale wormers composting pineapple waste with native earthworms from Accra, Ghana. **Bioresource Technology**, v.100, p. 5872- 5875, 2009.

MILLER, F. C. Composting as a process based on the control of ecologically selective factors. In: Reunion, F. B. **Microbiologia do Solo Ecology**, v.18, p. 515-543, 1992.

MORREL, J. L.; COLIN,F.; GERMON, J.C.; GODIN, P.; JUSTE, C.; Methods for evaluating the maturity of municipal waste compost. In: Gasser, J.K. Composting of agricultural and other residues. **Elsevier**, p. 56-72, 1985.

NAGAVALLEMMMA, K.P.; WANI, S.P.; LACROIX, S.; PADMAJA, V.V.; VINEELA, C.; BABU, R.A.O.M.; SAHRAWAT, K.L. Vermicomposting: Recycling waste into valuable organic fertilizer. Global Theme on Agroecosystems Report no. 8. **International Cultures Research Institute for Semi-Arid Tropics, Andhra Pradesh (India)**, p. 20, 2004.

NDEGWA, P.M.; THOMPSON, S.A. Integrating composting and vermicomposting in the treatment and bioconversion of biosolids. **Bioresource Technology**, v. 76,p. 107-112, 2001.

NEHER D.A.; WEICHT T.R.; BATES, S.T.; LEFF J.W.; FIERER, N. Changes in bacterial and fungal communities in compost recipes, preparation methods, and compost times. **PLOS ONE 8**, v.79512, 2013.

NIWAGABA C.; NALUBEGA M.; VINNERÅS B.; SUNDBERG C.; JONSSON H. Benchtop composting of source-sorted human faeces for sanitation. **Waste Management**, v. 29, p.585-589, 2009.

- ONWOSI, C.O.; IGBOKWE, V.C.; ODIMBA, J. N.; EKE, I.E.; NWANKWOALA, M. O.; IROH, I.N.; EZEUGU, L. I. Composting technology in waste stabilization: On methods, challenges and future prospects. **Journal of Environmental Management**, v. 190, p. 140-157, 2017.
- PARADELO, R.; MOLDES, AB.; PRIETO, B.; SANDU, R.G.; BARRAL, M.T. Can stability and maturity be evaluated in finished compounds from different sources? *Compost Sci. Useful*, v. 18, p. 22–31, 2010.
- PEIXOTO, R.T. DOS.G. **Compostagem: opção para o manejo orgânico do solo**. IAPAR. Londrina. p.46, 1988.
- PEREIRA NETO, J. T. **Manual de compostagem, processo de baixo custo**. Editora UFV, Universidade de Viçosa , Minas Gerais. Segunda edição, 2010.
- PEREIRA NETO, J.T. **Manual de compostagem**. UNICEF. Belo Horizonte. p.56, 1996.
- PEREIRA NETO, J.T. **Manual de compostagem: processo de baixo custo**. Editora UFV, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, p.81, 2007.
- PEREIRA NETO, J.T. Tratamento, reciclagem e impacto ambiental de dejetos agrícolas. In: Conferência sobre Agricultura e Meio Ambiente, 1., 1992, Viçosa. **Anais...UFV-NEPEMA**. Viçosa. p. 61-74, 1994.
- PEREIRA NETO, J.T. Monitoramento da eliminação de organismos patogênicos durante a compostagem de resíduos urbanos e lodo de esgoto pelo sistema de pilhas estáticas aeradas. **Engenharia Sanitária**, v.2, p.148-152, 1998.
- PRIMAVESI, A. **O manejo ecológico do solo: agricultura em regiões tropicais**. Nobel. São Paulo. p.535, 1981.
- RICHARD, T., N. TRAUTMANN, M. KRASNY, S. FREDENBURG AND C. STUART. 2002. **The science and engineering of composting**. The Cornell Compost Site, Cornell University. [http://www.compost.css.cornell.edu/composting\\_homepage.html](http://www.compost.css.cornell.edu/composting_homepage.html). Acesso em : 06/06/2023.
- RIFFALDI, R.; LEVI-MINZI, R.; PERA, A.; DE BERTOLDI, M. Evaluation of compost maturity through chemical and microbial analysis. **Waste Management**. v. 4, p.96-387, 1986.
- RODRIGUES, M.S.; DA SILVA, F.C.; BARREIRA, L.P.; KOVACS, E.A. Compostagem: reciclagem de resíduos sólidos orgânicos. In: Spadotto, C.A.; Ribeiro, W. **Gestão de Resíduos na agricultura e agroindústria**. FEPAF. Botucatu. p. 63-94, 2006.
- RORAT, A.; VANDENBULCKE, F. Earthworms converting domestic and food industry into biofertilizer. In: Industrial and Municipal Sludge: Emerging Concerns and Scope for Resource Recovery .**Elsevier Inc**, 2019.
- YADAV, S., A. Food industry waste management using vermicomposting technology . **Bioresource Technology**, v. 126, p.437-443, 2012. GAUME, A.; MÄACHLER, F.; FROSSARD, E. Aluminum resistance in two cultivars of Zea mays L.: root exudation of organic acids and influence of phosphate nutrition. **Vegetal Soil** , p.73-81, 2001.

SAID-PULLICINO, D.; ERRIQUENS, F.G.; GIGLIOTTI, G. Changes in chemical characteristics of water-extractable organic matter during composting and their influence on compost stability and maturity. **Bioresource Technology**, v.98, p.1822-1831, 2007.

SANTOS, H.M.N. **Destinação sustentável do lodo de ETE: análise da viabilidade de co-compostagem com resíduos sólidos orgânicos**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) –Universidade Federal de Alagoas. Maceió, AL, 2021.

SANTOS, L. M. dos. **COMPOSTAGEM DE LODO BIOLÓGICO E RESÍDUOS ORGÂNICOS: Uma Análise Bibliométrica usando a base de dados Scopus**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) –Universidade Federal de Alagoas. Maceió, AL, 2021.

SANTOS, W.F. **Equipamento de Baixo Custo para Monitorar Temperatura e Umidade de Forma Contínua e Remota: Aplicação na Compostagem**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal de Alagoas. Maceió, AL, 2021.

SHAMMAS, N.K.; WANG, L.K. Biosolids composting. In: Wang LK, Pereira NC, Hung YT, Shammass NK. (Eds.), Biological treatment processes. **Humana Press Inc**, Totowa, NJ, USA, p. 669-713, 2009.

SHARMA, V.K.; CANDITELLI, M.; FORTUNA, F.; CORNACCHIA, C. Processing of urban and agro-industrial waste by anaerobic composting: review. **Energy Convert Manage**, v.38, p.453-478, 1997.

SILVA, F.A.M. **Qualidade de compostos orgânicos produzidos com resíduos do processamento de plantas medicinais**. 2005.92p. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho".

SMITH, J. L.; PAUL, E.A. The significance of soil microbial biomass estimates. In: Bollog, J.M.; Stotzky, G. (eds.). **Solo**, v. 6, p. 357-396, 1990.

SNELL, J.R. Role of temperature in waste composting. In: The Bicycle's Guide to the Art and Science of Composting. **Journal Great Press Emmaus**, pg. 224-256, 1991.

SONG, X.; LIU, M.; WU, D.; QI, L.; YE, C.; JIAO, J.; HU, F. Heavy metal and nutrient changes during vermicomposting of enriched animal manure with residues of *Tricholoma matsutake* mushrooms. **Waste Management**, v. 34, p.1977-1983, 2014.

SOOBHANY, N. Information on Nutrient Recovery from Organic Solid Waste through Biochemical Conversion Processes for Fertilizer Production: A Review. **Journal Clean**, v. 241, p.118413, 2019.

SOOBHANY, N.; MOHEE, R.; GARG VK. Recovery of nutrients from municipal solid waste by composting and vermicomposting with the earthworm *Eudrilus eugeniae*. **Journal Environmental Chemical Engineering**, v.3, p. 2931- 2942, 2015.

SUTHAR, S. Potential use of industrial guava waste in the production of vermicompost. **Bioresource Technology**, v. 97, p.2474-2477, 2006.

TANG, J.C.; KANAMORI, T.; INQUE, Y. Changes in microbial community structure during thermophilic composting of manure detected by the quinone profile method. **Process Biochemical**, v.39,p.1999-2006, 2004.

TIQUIA, S. M. Microbiological parameters as indicators of compost maturity. **Journal Applicability Microbiology**, v.99, p.816-828, 2005.

TIQUIA, S.M.; TAM, N.F.Y. Co-composting of pig manure and sludge with forced aeration. **Bioresource Technology**, v.72, p.1-7, 2000.

TIQUIA, S.M.; TAM, N.F.Y.; HODGKISS, IJ. Changes in chemical properties during swine litter composting at different moisture contents. **Agriculture Ecosystem Environmental**, v.67, p.79-89, 1998a.

TIQUIA, S.M.; TAM, N.F.Y.; HODGKISS, IJ. Elimination of Salmonella during swine litter composting. **Bioresource Technology**, v.63, p.193-196, 1998b.

TIQUIA, S.M.; TAM, N.F.Y.; HODGKISS, IJ. Effects of turning frequency on pig manure sawdust compost. **Bioresource Technology**, v.62, p. 37-42, 1997.

TORKASHVAND, J.; FARZADKIA, M.; SOBHI, H.R.; ESRAFILI, A. Scattered cigarette butts as a well-known hazardous waste: a comprehensive systematic review. **Journal Hazard Mater**, v.383 p. 121242, 2020.

TUOMELA, M.; M. VIKMAN.; A. HATAKKA. Biodegradation of lignin in a compost environment: a review. **Bioresource Technology**, v.72, p.169-183, 2000.

TURNER, C. Thermal inactivation of E. coli in straw and pig manure. **Bioresource Technology**, v.84, p. 57-61, 2002.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA), 2015. **PROJECT INVENTORY of US Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990–2014** (Chapter 7- Waste), <http://www.epa.gov/climatechange/emissions/usinventoryreport.html> (Acessado em 29 de maio de 2023).

UNUOFIN, F.O.; MNKENI, P.N.S. Optimization of Eisenia fetida stocking density for the bioconversion of rock phosphate-enriched cow dung paper mixtures. **Waste Management**, v.34, p.2000 - 2006, 2014.

VICH, D. V.; MIYAMOTO, H.P.; QUEIROZ, L.M.; ZANTA, V.M. Compostagem doméstica de resíduos alimentares usando um compostor de pequena escala. **Ambiente & Água**, Taubaté, v.12, n.5, set./out.2017.

WANG, M.; LIU, Y.; WANG, S.; WANG, K.; ZHANG, Y. Development of a beneficial microbial agent compound for the composting of Chinese herbal medicinal waste. **Bioresource Technology**, v.330, p.124948, 2021.

WEIDNER, T.; GRAÇA, J.; MACHADO, T.; YANG, A. Comparison of local and centralized biowaste management strategies – an especially sensitive approach for the Porto region. **Waste Management**, v.118, p.552-562, 2020.

YADAV, K.D.; TARE, V.; AHAMMED, M.M. Source-separated vermicomposting in human feces for nutrient recycling. **Waste Management**, v. 30, p.50-56, 2010.

ZHOU, H.; MENG A.H.; LONG, Y.Q.; LI, Q.H.; ZHANG, Y.G. An overview of Municipal solid waste fuel characteristics in China: physical, chemical, composition

and calorific value. *Renew. To sustainability Energy Revista*, v.46, p.107–122, 2014.

ZUCCONI, F.; BERTOLDI, M. Stabilization of organic waste through composting and its compatibility with agricultural uses. In: Wise, D. L. **Global Bioconversions**, p. 109-137, 1986.