



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE BIOCIÊNCIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO
BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS COM ÊNFASE EM CIÊNCIAS
AMBIENTAIS

MARIA EDUARDA ARAÚJO FALCÃO

**PEGADA HÍDRICA DE SISTEMAS DE COMPOSTAGEM: REVISÃO
BIBLIOGRÁFICA E ESTUDO DE CASO**

Recife
2025

MARIA EDUARDA ARAÚJO FALCÃO

**PEGADA HÍDRICA DE SISTEMAS DE COMPOSTAGEM: REVISÃO
BIBLIOGRÁFICA E ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado ao Bacharelado em Ciências Biológicas com ênfase em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel.

Orientador (a): Prof. Dr. Rômulo Simões Cezar Menezes

Coorientador (a): Prof^a. Dr^a. Maria Helena de Sousa

Recife

2025

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Araújo Falcão, Maria Eduarda.

PEGADA HÍDRICA DE SISTEMAS DE COMPOSTAGEM: REVISÃO
BIBLIOGRÁFICA E ESTUDO DE CASO / Maria Eduarda Araújo Falcão. -
Recife, 2025.

45p. : il., tab.

Orientador(a): Rômulo Simões Cezar Menezes

Coorientador(a): Maria Helena de Sousa

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de
Pernambuco, Centro de Biociências, Ciências Biológicas /Ciências
Ambientais - Bacharelado, 2025.

Inclui referências.

1. Compostagem. 2. Pegada hídrica. 3. Resíduo orgânico. I. Simões Cezar
Menezes, Rômulo . (Orientação). II. Sousa, Maria Helena de. (Coorientação). IV.
Título.

570 CDD (22.ed.)

MARIA EDUARDA ARAÚJO FALCÃO

**PEGADA HÍDRICA DE SISTEMAS DE COMPOSTAGEM: REVISÃO
BIBLIOGRÁFICA E ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado ao Bacharelado em Ciências Biológicas com ênfase em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel.

Aprovada em: 17/03/2025

COMISSÃO EXAMINADORA

Profa. Dra. Maria Helena de Sousa (coorientador)
Departamento de Energia Nuclear – UFPE

Profa. Dra. Paula Renata Muniz Araújo (1º titular)
Departamento de Energia Nuclear – UFPE

MSc. Patrícia Barbosa dos Reis (2º titular)
Departamento de Energia Nuclear – UFPE

Recife

2025

A minha amada avó, Maria da Conceição Borges Falcão, in Memoriam.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus, aquele que tem sido porto seguro e âncora da minha vida, aquele sem o qual eu não teria passado por tantos momentos difíceis ao longo desses anos, a Deus toda honra e glória para sempre.

A minha querida família que sempre foi colo em todos os momentos, ao meu amado pai Marcelo que sempre me incentivou e investiu tanto em mim, a minha querida mãe Alessandra que é a minha melhor amiga e me sustenta dia após dia em oração e meu irmão Filipe que é o motivo pelo qual eu quero ser melhor e dar o exemplo de irmã que ele merece. Vocês são tudo pra mim, eu não teria chegado tão longe se não fosse o cuidado, força e investimento de vocês.

Ao meu marido Thiago, o grande amor da minha vida, obrigada por me proporcionar um lar de amor e cuidado, obrigada por se sacrificar tanto por mim, não tenho palavras para agradecer o quanto você tem me sustentado, é tudo por nossa família.

A minha querida Igreja local que sempre foi minha segunda casa, eu amo ser família de Cristo com vocês, obrigada por todas as orações e carinho, vocês são graça do Senhor na minha vida.

A Berso, em especial as pessoas que a compõem, ao Professor Rômulo que me acolheu com tanto carinho e me orientou, a Professora Helena que me orienta e cuida de perto, sendo ouvido e puxando a orelha quando é preciso, mesmo tendo milhões de outras atribuições, eu quero ser você quando crescer.

A todos meus companheiros de jornada, aqueles que passaram e os que permanecem, levo um pouquinho de vocês comigo. A Neto, Patrícia e Inaldo, vocês foram/são verdadeiros amigos, obrigada. Ao projeto da horta inclusiva, vocês me ensinam todos os dias.

E por fim a Universidade Federal de Pernambuco, instituição que sempre foi alvo dos meus maiores sonhos, finalizo uma etapa com a certeza de que é só o começo.

“Tudo tem uma ocasião certa, e há um tempo certo para todo
propósito debaixo do céu.”

Eclesiastes 3:1

RESUMO

A compostagem é uma técnica sustentável para o tratamento de resíduos orgânicos, contribuindo para a redução do volume de resíduos destinados a aterros sanitários e para a mitigação de emissões de gases de efeito estufa. No entanto, o consumo de água durante o processo ainda é pouco explorado na literatura, especialmente em relação à influência da composição dos resíduos e às diferentes fases da compostagem. Portanto, o presente trabalho teve como objetivo analisar a pegada hídrica associada ao processo de compostagem, por meio de uma revisão bibliográfica sistemática e um estudo de caso que monitorou o consumo de água em diferentes fases do processo. A revisão bibliográfica evidenciou uma lacuna significativa em estudos que quantifiquem o consumo de água durante a compostagem, com apenas 4% dos artigos analisados mencionando dados sobre o tema. O estudo de caso realizado na Biorrefinaria Experimental de Resíduos Sólidos Orgânicos (Berso) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) monitorou o consumo de água em dois experimentos, utilizando diferentes combinações de resíduos para cada tratamento. Os resultados mostraram que a composição dos resíduos influencia diretamente o consumo de água, com a maravalha apresentando maior capacidade de retenção de água e, conseqüentemente, maior consumo hídrico. O consumo de água variou ao longo das fases da compostagem, com picos durante a fase termofílica, devido ao aumento da atividade microbiana e da evaporação. A pegada hídrica foi calculada para cada tratamento, revelando que a escolha dos materiais utilizados na compostagem é crucial para a otimização do uso da água, especialmente em regiões com escassez hídrica. Conclui-se que a incorporação da pegada hídrica como métrica de desempenho pode contribuir para a sustentabilidade do processo de compostagem, promovendo práticas mais eficientes e alinhadas aos objetivos de conservação de recursos hídricos.

Palavras-chave: Pegada hídrica; compostagem; resíduo orgânico.

ABSTRACT

Composting is a sustainable technique for the treatment of organic waste, contributing to the reduction of the volume of waste destined for landfills and to the mitigation of greenhouse gas emissions. However, water consumption during the process is still little explored in the literature, especially in relation to the influence of waste composition and the different phases of composting. Therefore, the present study aimed to analyze the water footprint associated with the composting process, through a systematic literature review and a case study that monitored water consumption in different phases of the process. The literature review highlighted a significant gap in studies that quantify water consumption during composting, with only 4% of the articles analyzed mentioning data on the subject. The case study carried out at the Experimental Biorefinery of Organic Solid Waste (Berso) of the Federal University of Pernambuco (UFPE) monitored water consumption in two experiments, using different combinations of waste for each treatment. The results showed that the composition of the waste directly influences water consumption, with wood shavings having a higher water retention capacity and, consequently, higher water consumption. Water consumption varied throughout the composting phases, with peaks during the thermophilic phase, due to increased microbial activity and evaporation. The water footprint was calculated for each treatment, revealing that the choice of materials used in composting is crucial for optimizing water use, especially in regions with water scarcity. It is concluded that incorporating the water footprint as a performance metric can contribute to the sustainability of the composting process, promoting more efficient practices aligned with water resource conservation objectives.

Keywords: Water footprint; composting; organic waste.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Fases da compostagem	18
Figura 2 -	Primeiro experimento montado	23
Figura 3 -	Segundo experimento sendo montado	24
Figura 4 -	Métodos de compostagem	25
Figura 5 -	Tipos de resíduos	26
Figura 6 -	Tratamento 1 do 1º experimento ao longo do tempo	27
Figura 7 -	Tratamento 2 do 1º experimento ao longo do tempo	27
Figura 8 -	Tratamento 3 do 1º experimento ao longo do tempo	28
Figura 9 -	Tratamento 4 do 1º experimento ao longo do tempo	28
Figura 10 -	Tratamento 5 do 1º experimento ao longo do tempo	29
Figura 11 -	Tratamento 1 do 2º experimento ao longo do tempo	30
Figura 12 -	Tratamento 2 do 2º experimento ao longo do tempo	31
Figura 13 -	Tratamento 3 do 2º experimento ao longo do tempo	31
Figura 14 -	Tratamento 4 do 2º experimento ao longo do tempo	32
Figura 15 -	Média de todos os tratamentos do 1º experimento	34
Figura 16 -	Média de todos os tratamentos do 2º experimento	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Tratamentos do primeiro experimento	22
Tabela 2 –	Tratamentos do segundo experimento	23
Tabela 3 –	Total de água consumido por cada tratamento no primeiro experimento	30
Tabela 4 –	Total de água consumido por cada tratamento no segundo experimento	33
Tabela 5 –	Cálculo da pegada hídrica do processo de compostagem	37

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABREMA	Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente
ANA	Agência Nacional de Águas
Berso	Biorrefinaria Experimental de Resíduos Sólidos Orgânicos
DESVI	Sistema captação de água da chuva
DIC	Delineamento inteiramente casualizado
EB	Esterco bovino
FORSU	Fração Orgânica de Resíduos Sólidos Urbanos
IEMA	Instituto de Energia e Meio Ambiente
IFPE	Instituto Federal de Pernambuco
MA	Maravalha
PMGIRS	Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
RA	Resíduo alimentar
RP	Resíduo de poda
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
RU	Restaurante Universitário
SNIS	Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
CH ₄	Metano
kg	Quilograma
ton	Tonelada
L	Litro
L/kg	Litro por quilograma
T	Tratamento

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	15
2.1 Objetivo Geral	15
2.2 Objetivo específico	16
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1 Resíduos Sólidos Urbanos	16
3.2 Compostagem	17
3.2.1 Conceito e aspectos gerais	17
3.2.2 Consumo de água do processo de compostagem	19
4. METODOLOGIA	20
4.1 Revisão bibliográfica	20
4.2 Estudo de caso	20
4.3 Análise de dados	24
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
5.1 Revisão bibliográfica	25
5.2 Estudo de caso: consumo de água nos experimentos de compostagem	27
5.2.1 Primeiro experimento	27
5.2.2 Segundo experimento	30
5.3 Consumo de água quanto ao resíduo utilizado	33
5.3.1 Primeiro experimento	33
5.3.2 Segundo experimento	34
5.3.3 Comparativo	36
6. CONCLUSÃO	38
7. REFERÊNCIAS	40

1. INTRODUÇÃO

O crescimento populacional acelerado traz consigo uma série de desafios que precisam ser enfrentados para garantir um desenvolvimento sustentável. Segundo a Organização das Nações Unidas, a população global deve atingir 9,7 bilhões de pessoas até 2050 (UNITED NATIONS, 2019), o que aumentará significativamente a demanda por recursos naturais, especialmente a água, como ressalta o estudo do Instituto Trata Brasil, intitulado “Demanda Futura por Água Tratada nas Cidades Brasileiras – 2017 a 2040”. Diante desse cenário, o gerenciamento adequado dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) emerge como uma das prioridades para mitigar os impactos ambientais. No Brasil, conforme o Panorama da Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente (ABREMA) de 2023, a geração de RSU alcançou aproximadamente 81 milhões de toneladas, o que equivale a 221 mil toneladas geradas por dia. Esse volume expressivo de resíduos exige soluções eficazes para minimizar os impactos ambientais e promover práticas mais sustentáveis.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010, estabelece em seu artigo 3º, inciso VII, que a destinação final ambientalmente adequada inclui a reutilização, reciclagem, compostagem, recuperação e aproveitamento energético, entre outras alternativas. Dentro desse contexto, a Fração Orgânica dos Resíduos Sólidos Urbanos (FORSU) merece atenção especial. O resultado do estudo da composição gravimétrica dos resíduos presente no Panorama da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) de 2020, apontou que a FORSU representou cerca de 45,3% de todo o resíduo gerado no Brasil.

A compostagem se apresenta como uma alternativa viável e sustentável para mitigar os problemas associados à FORSU (MELO; DUARTE., 2018). Trata-se de um processo biológico que promove a degradação, mineralização e decomposição da matéria orgânica, resultando na produção de composto orgânico e reduzindo em até 40% o volume de resíduos destinados a aterros sanitários (BREITENBECK; SCHELLINGER, 2004). No entanto, para que a compostagem ocorra de maneira eficiente, é imprescindível que algumas condições sejam atendidas, como o controle de aeração, a temperatura e a umidade do material. Souza *et al.* (2020) destacam que o teor de umidade deve ser mantido entre 40% e 60%, garantindo um ambiente

favorável ao desenvolvimento dos microrganismos decompositores e promovendo a decomposição adequada da matéria orgânica.

Apesar da relevância desse tema, ainda há falta de informações detalhadas sobre o impacto do consumo de água no processo de compostagem. Por exemplo, Thuppahige *et al.* (2022) destacam o consumo de 29,1 litros para cada tonelada de resíduo compostado, no entanto, esse valor é apenas um parâmetro obtido a partir de coletas de dados sem que haja um experimento monitorado. Assim também como a pesquisa de Martinez-Blanco *et al.* (2010), que teve o consumo de água, apresentando o total de 51 litros por tonelada de resíduos domésticos e 426,8 litros/ton de resíduos na compostagem industrial, embora o artigo forneça dados quantitativos sobre o consumo, os autores não abordam a pegada hídrica. Embora não tenham explorado o tema de forma aprofundada, esses trabalhos fornecem *insights* iniciais sobre a importância de se avaliar o consumo de água na compostagem.

Nesse sentido, a pegada hídrica, medida do volume total de água consumido direta e indiretamente em um processo (Hoekstra e Hung, 2002), vem como uma métrica essencial para identificar oportunidades de redução do consumo e promover práticas mais sustentáveis. Assim, o presente trabalho se dedicou a avaliar o estado da arte da pegada hídrica no âmbito da compostagem e realizar um estudo de caso, visando compreender de que forma o consumo de água se dá neste processo e como ele pode ser melhorado. Dessa forma, espera-se contribuir para o aprimoramento das técnicas de compostagem e para a promoção de práticas mais sustentáveis na gestão de resíduos orgânicos.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar a pegada hídrica associada ao processo de compostagem, por meio de uma revisão sistemática da literatura e de um estudo de caso com monitoramento detalhado do consumo de água durante o processo de compostagem de resíduos orgânicos de fontes distintas.

2.2 Objetivo específico

- Revisar a literatura científica sobre compostagem, com foco na pegada hídrica, para identificar os principais fatores que influenciam o consumo de água durante o processo;
- Realizar um estudo de caso para monitorar o consumo de água em todas as fases da compostagem, desde a disposição inicial dos resíduos até a fase de maturação do composto;
- Avaliar a eficiência hídrica do processo de compostagem, identificando os fatores que interferem na redução do consumo de água.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Resíduos Sólidos Urbanos

Segundo o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP), em 2020 o mundo gerou 2,1 bilhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos, com projeção de aumento para 3,8 bilhões até 2050, caso não haja mudanças estruturais. No Brasil, esses desafios são ainda mais críticos devido à desigualdade regional na infraestrutura de saneamento.

De acordo com o Panorama de Resíduos Sólidos da ABREMA (2024), cada habitante produz, em média, 1,04 kg de resíduos por dia, o que totaliza 81 milhões de toneladas ao ano no país. Essa quantidade expressiva de resíduos gerados ocasiona uma série de problemáticas, como a geração de Gases de Efeito Estufa (GEE). De acordo com o Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA, 2023), o setor de resíduos foi responsável por 4% das emissões brutas de CO₂ do Brasil em 2022, totalizando 91,12 milhões de toneladas. Além disso, segundo Adhikari, Barrington e Martinez (2006), as emissões do setor de resíduos, especialmente associados à FORSU, são uma das maiores fontes antropogênicas de emissões de metano (CH₄), com aproximadamente 8% das emissões globais. Diante desse cenário, o tratamento de resíduos orgânicos torna-se uma prática indispensável, uma vez que esse processo pode mitigar as emissões de GEE. Estudos demonstram que por

meio da compostagem é possível reduzir as emissões de metano em até 7 vezes (SARDÁ *et al.*, 2010).

Sendo assim, fica evidente a necessidade de mitigar os efeitos da geração de resíduos. A PNRS estabelece em seu artigo 3º, inciso VII, que a destinação ambientalmente adequada deve incluir a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações. Em relação aos resíduos orgânicos, a problemática é ainda mais alarmante frente a dados como o Índice de Desperdício de Alimentos do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), o qual apontam que, aproximadamente, 1,05 bilhão de toneladas de alimentos foram descartados em 2023, provenientes de setores como varejo, serviços de alimentação e residências.

Esse volume expressivo está relacionado a diversas questões, entre as quais destaca a ausência de educação ambiental integrada ao processo de gestão de resíduos, como apontam Zaneti e Mourão (2022). Diante desse cenário, a compostagem é considerada uma alternativa economicamente e ambientalmente viável para a disposição de resíduos orgânicos, conforme destacam Corrente *et al.* (2001).

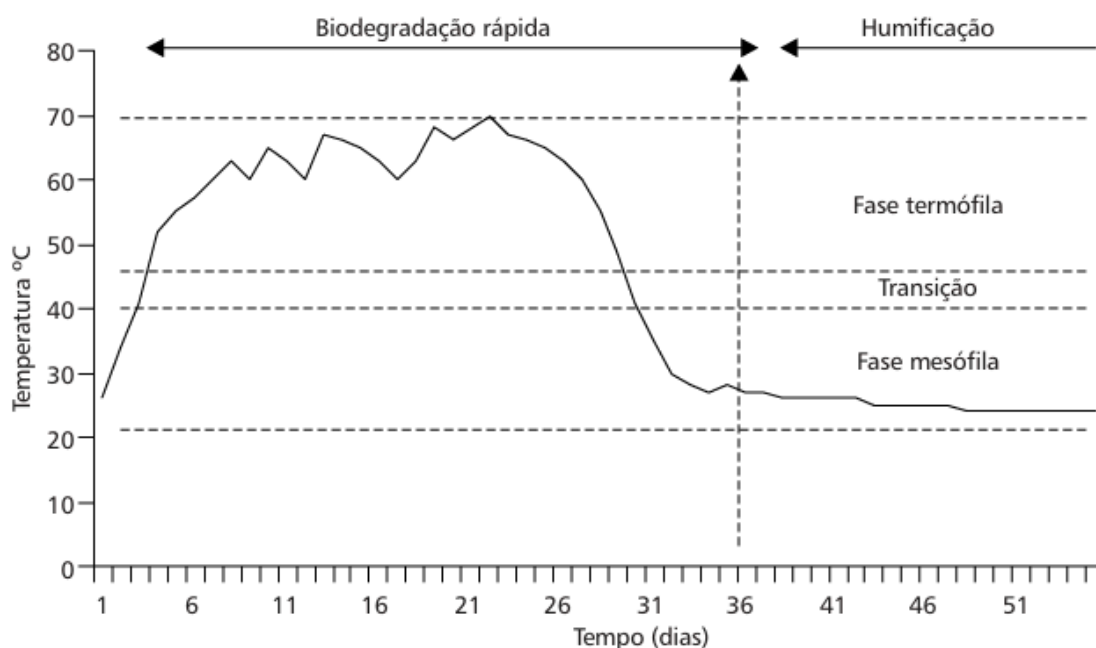
3.2 Compostagem

3.2.1 Conceito e aspectos gerais

A compostagem é um processo biológico de degradação, decomposição e mineralização de resíduos orgânicos, realizado por microrganismos decompositores (CREMENEAC; CARAMAN, 2023). Esse processo ocorre em fases distintas divididas em mesofílica, termofílica e maturação. No decorrer do processo, ocorre a proliferação de populações complexas de diversos grupos de microrganismos (bactérias, fungos e outros), caracterizando a fase mesofílica. Com a elevação gradativa da temperatura, resultante do processo de biodegradação, a população de microrganismos mesófilos diminui, dando lugar a microrganismos termófilos que se proliferam com mais intensidade, elevando ainda mais as temperaturas, o que favorece a degradação de materiais mais resistentes como a lignocelulose e a eliminação de patógenos, caracterizando a segunda fase, a termofílica (Figura 1)(ANDREOLI, 2001). Por fim, após a maior parte do substrato orgânico ser

degradada, a temperatura diminui, resultando em um composto orgânico estável e rico em nutrientes, que pode ser utilizado como fertilizante orgânico (OJAH *et al.*, 2024).

Figura 1 - Fases da compostagem



Fonte: Andreoli (2001)

Para o funcionamento adequado da compostagem, alguns parâmetros são essenciais como a temperatura, umidade, pH, aeração e outros. Esses fatores são de extrema importância, pois a ausência de valores ideais para esses parâmetros pode acarretar na inviabilidade das fases e até na baixa qualidade do composto final (SOUZA *et al.*, 2020).

Estudos indicam que, quando realizada corretamente, a compostagem pode reduzir o volume inicial de resíduos em até 40% (BREITENBECK; SCHELLINGER, 2004), destacando sua relevância para gestões públicas no tratamento de resíduos orgânicos. Segundo Pereira e Gonçalves (2011), há diversas vantagens nesse tipo de tratamento, como a redução de cerca de 50% do lixo destinado à aterros sanitários, a reciclagem de nutrientes para o solo, além de ser um processo ambientalmente seguro.

3.2.2 Consumo de água no processo de compostagem

Fatores como o consumo de água ainda são pouco estudados no processo de compostagem. A manutenção da umidade é indispensável para o processo, uma vez que valores inferiores a 40% reduzem a atividade microbiana, diminuindo a velocidade da degradação, ao passo que valores superiores a 60% proporcionam o desenvolvimento de condições anaeróbias, formando lixiviados, odores e perda de nutrientes (REIS *et al.*, 2004).

A compostagem é um processo bioquímico de tratamento de resíduos orgânicos que vem sendo cada vez mais destacado na literatura mundial (ALCALA JR. *et al.*, 2009; VUAI, 2010; SALDARRIAGA *et al.*, 2019). Geralmente, os artigos encontrados abordam aspectos como fases da compostagem, resíduos utilizados, microbiota existente, emissões decorrentes do processo (BHATTACHARYYA *et al.*, 2007; CADENA *et al.*, 2009; ZHAO *et al.*, 2016). No entanto, o aspecto da pegada hídrica ainda é um parâmetro pouco explorado na literatura, sendo encontrados poucos trabalhos que explorem o consumo de água, a exemplo do estudo de Thuppahige *et al.* (2022) que verificaram o consumo de 29,1 L/ton de água no processo, contudo, esse valor é apenas um parâmetro obtido a partir de coletas de dados, sem monitoramento para mensurar o volume de água ao longo das fases do processo. São estudos insuficientes para regiões áridas, com escassez de água, por exemplo, e até mesmo pouco precisos para estimar a pegada hídrica do processo geral.

A pegada hídrica é um indicador que visa identificar o volume de água necessário durante toda a cadeia produtiva de um determinado processo, medindo o consumo direto e indireto de água (HOEKSTRA, 2003). Esse conceito surge como uma ferramenta importante em resposta aos desafios relacionados com a escassez hídrica. Conforme a Agência Nacional de Águas (ANA), embora o Brasil detenha cerca de 12% de toda água doce do mundo, ainda existem diversas problemáticas ligadas à distribuição desse recurso, como apontado pelo Diagnóstico Temático sobre Serviços de Água e Esgoto do SNIS, no qual revela que cerca de 33 milhões de pessoas ainda não têm acesso à água no Brasil.

Diante desses dados, torna-se fundamental otimizar o consumo de água, permitindo que a compostagem enquanto estratégia de processamento de resíduos

orgânicos, seja viável em todas as regiões, inclusive naquelas onde há escassez hídrica.

4. METODOLOGIA

4.1 Revisão bibliográfica

Para a revisão bibliográfica sobre a pegada hídrica do processo de compostagem, foi realizada uma busca sistemática de artigos científicos na base de dados Scopus, reconhecida internacionalmente por sua abrangência e confiabilidade em publicações de alto impacto. Utilizaram-se as seguintes palavras-chave: *compost*, *water*, e *municipal AND solid AND waste*, com o objetivo de delimitar a seleção de artigos e revisões que abordassem diretamente a temática em questão.

Adicionalmente, foram aplicados filtros para refinar os resultados, como a restrição ao período de publicação entre os anos 2000 e 2024 proposto a fim de garantir que fossem achados trabalhos sobre a temática com maior abrangência, garantindo, assim, que os estudos selecionados estivessem alinhados com as práticas e tecnologias mais recentes. Durante a leitura dos estudos, também foram avaliados fatores como:

- Disponibilidade de acesso dos documentos;
- Dados sobre consumo de água;
- Quantitativo da água utilizada no processo;
- Tipo de sistema de compostagem usado;
- Tipos de resíduos utilizados.

Dessa forma, foi possível entender melhor o cenário do processo de compostagem no mundo e como esses fatores influenciam no consumo de água de cada tratamento usado, suprimindo uma lacuna existente.

4.2 Estudo de caso

Este estudo de caso foi desenvolvido a partir de uma lacuna observada sobre o consumo de água do processo de compostagem no decorrer do mestrado da

pesquisadora Patrícia Barbosa dos Reis, com o título “Aproveitamento da maravalha de biotérios de produção através de co-compostagem com diferentes resíduos orgânicos”, fornecendo base metodológica para o monitoramento da pegada hídrica do processo.

Os experimentos foram realizados na casa de vegetação da Biorrefinaria Experimental de Resíduos Sólidos Orgânicos (Berso), na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Foram realizados dois experimentos: o primeiro experimento foi com resíduos de maravalha (MA) e de poda (RP) (Tabela 1). Para o segundo experimento, utilizou-se resíduos de maravalha (MA), de esterco bovino (EB) e de alimento (RA) (Tabela 2).

A realização de dois experimentos se deu devido à necessidade de avaliação do processo de decomposição da maravalha; após o primeiro experimento ter apresentado um valor baixo de decomposição do resíduo de maravalha, foi constatada a necessidade de um novo experimento de compostagem em forma de pilhas com outras composições de resíduos.

No primeiro experimento foi utilizado resíduo de maravalha (MA), termo usado para denominar as raspas de madeiras oriundas do processamento de madeira de Pinus ou eucalipto. Essa biomassa lignocelulósica é amplamente usada em gaiolas para preservar a higiene de animais usados em laboratório (BLOM, 1996; KAWAKANI, 2007). Para o experimento, foram coletados 221,9 kg de maravalha, proveniente dos biotérios de produção do Departamento de Antibióticos e de Fisiologia da UFPE e também foram utilizadas grandes quantidades de resíduos de poda (RP), como grama, folhas e capim do campus Recife da UFPE.

O experimento consistiu em 5 tratamentos com 4 repetições, totalizando 20 unidades experimentais em formato de pilhas de 20 kg (Tabela 1).

Tabela 1 - Tratamentos do primeiro experimento

Tratamento	Maravalha	Resíduos de Poda
T1	-	100%
T2	25%	75%
T3	50%	50%
T4	75%	25%
T5	100%	-

Fonte: Patrícia Reis (2024).

Para a montagem dos tratamentos, os resíduos foram misturados em caixas d'água de 1000 litros e água foi inserida de acordo com a necessidade de cada tratamento para atingir a umidade de 60%; as pilhas eram observadas à medida que se acrescentava água, para que a mistura dos resíduos não ficasse muito seca, fazendo a pilha desmontar, nem tão úmida a ponto da água escorrer e acumular na base das pilhas, sendo o critério de umidificação a observação da mistura dos resíduos com a água. O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado (DIC) (Figura 2).

As pilhas foram reviradas a cada 7 dias para manter a aeração na fase inicial e, após o primeiro mês, foram realizadas a cada 15 dias até a finalização do processo. A cada revolvimento, as pilhas eram umidificadas, a fim de manter a umidade em cerca de 60% para a continuidade do desenvolvimento da atividade microbiológica. Como pontuado anteriormente, a umidade ideal do processo de compostagem varia entre 40% e 60%, sendo assim, foi realizado o monitoramento e controle constante da água inserida nos tratamentos, fornecida pelo sistema captação de água da chuva (DESVI). A água era depositada em uma caixa d'água de 500 litros e para umidificar as pilhas eram usados regadores de 1 litro, abastecidos com béquero de 500 ml.

Figura 2 - Primeiro experimento montado



Fonte: Patrícia Reis (2024)

Já no segundo experimento, a maravalha utilizada foi coletada nos Departamentos de Nutrição e Fisiologia, os resíduos alimentares foram obtidos do Restaurante Universitário (RU) e, o esterco bovino (EB) foi coletado no Instituto Federal de Pernambuco (IFPE), no campus de Vitória de Santo Antão. O experimento consistiu em 4 tratamentos e 5 repetições, totalizando 20 tratamentos (Tabela 2) em formato de pilhas de 20 kg.

Tabela 2 - Tratamentos do segundo experimento

Tratamento	Resíduo Alimentar	Esterco Bovino	Maravalha
T1	25%	-	75%
T2	50%	-	50%
T3	-	25%	75%
T4	-	50%	50%

Fonte: Patrícia Reis (2024).

Igualmente ao primeiro experimento, os resíduos foram misturados em caixa d'água de 1000 litros, umedecidos de acordo com a necessidade de cada tratamento e dispostos em delineamento inteiramente casualizado (Figura 3). Durante o processo, as pilhas foram umedecidas a cada reviragem com sistema DESVI, controlando a entrada de água pela medida de um béquer de 500 ml.

Figura 3 - Segundo experimento montado



Fonte: Patrícia Reis (2024)

4.3 Análise de dados

Os dados obtidos para o consumo de água foram organizados em planilhas do *Google planilhas*, sendo contabilizados até o final de ambos os experimentos. Os mesmos foram submetidos a cálculos simples para obtenção das médias e posterior comparação quanto aos resíduos utilizados nos dois experimentos. Também foram criados gráficos com o somatório total em litros, com o intuito de visualizar o consumo de água de acordo com cada fase da compostagem.

Por fim, para calcular a pegada hídrica dos dois experimentos, foram utilizados o consumo de água final (L), o quantitativo inicial de resíduos (kg) e o

quantitativo de composto obtido ao final de cada experimento (kg). Para isso, foi utilizada a Equação 1:

$$\text{Pegada hídrica (L/kg)} = \frac{\text{Consumo de água (L)}}{\text{Composto final (kg)}}$$

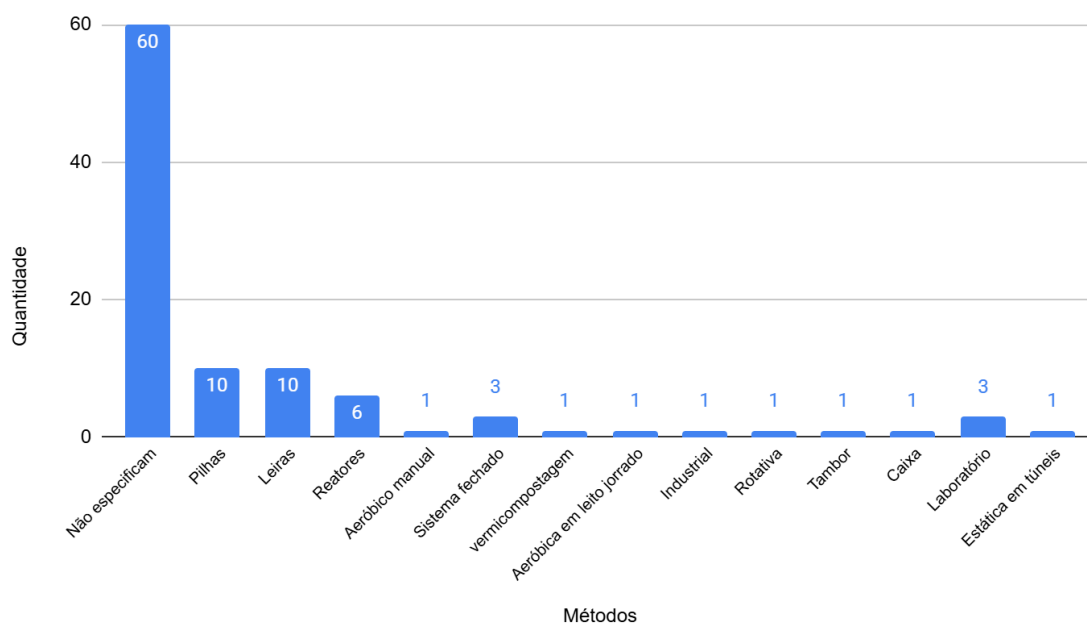
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Revisão bibliográfica

A busca inicial da revisão bibliográfica resultou em 317 documentos, dos quais os 100 primeiros, ordenados por relevância, foram selecionados para análise. A partir da leitura desses artigos, observou-se que os dados sobre o consumo de água no processo de compostagem são escassos e apenas 4 artigos mencionaram algum registro do consumo de água durante as fases de degradação dos resíduos (CARDENA *et al.*, 2009; KOMILIS *et al.*, 2011; MARTÍNEZ-BLANCO *et al.*, 2010; THUPPAHIGE *et al.*, 2022).

Apenas 34 artigos apresentaram informações sobre a porcentagem ideal de umidade, indicando que na maioria dos estudos a umidade ideal é em torno de 60%, podendo variar até 40%. Outro aspecto relevante identificado foi a falta de detalhamento sobre os métodos de compostagem utilizados nos estudos (Figura 4).

Figura 4 - Métodos de compostagem mais utilizados

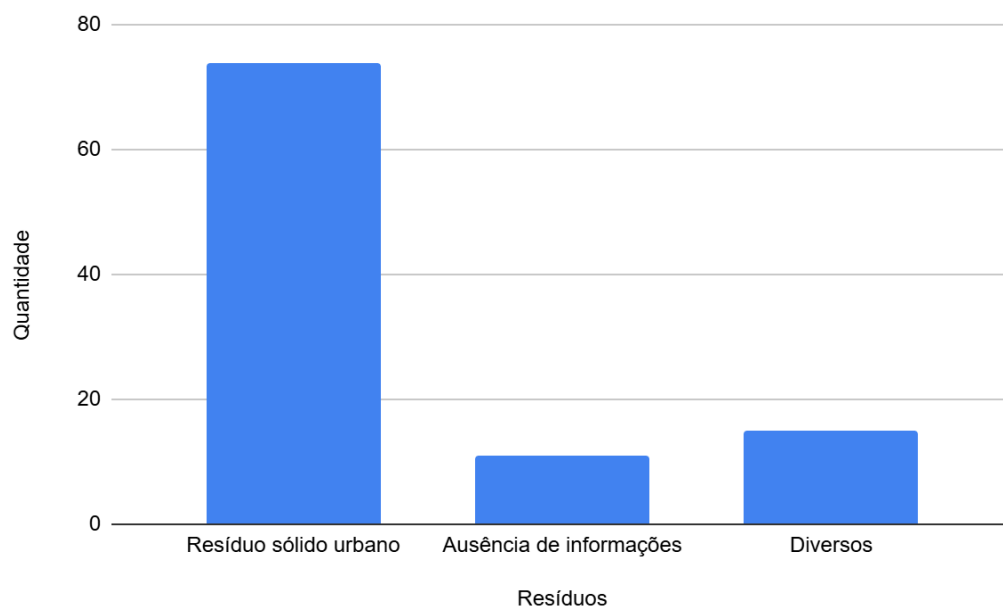


Fonte: A Autora (2025)

De acordo com os documentos selecionados para revisão, a maior parte dos artigos não detalham o método específico utilizado, o que pode indicar uma falta de padronização ou descrição detalhada nos relatórios. Em segundo lugar, os métodos de pilhas e de leiras com 10 ocorrências cada, se destacam, sugerindo sua adoção devido à simplicidade do processo de montagem.

Quanto aos resíduos utilizados, os resíduos sólidos urbanos (RSU) destacaram-se como os mais frequentes, o que pode ser atribuído ao grande volume gerado globalmente; é também bastante comum o uso de diferentes tipos de resíduos combinados (Figura 5).

Figura 5 - Tipos de resíduos mais utilizados



Fonte: A Autora (2025)

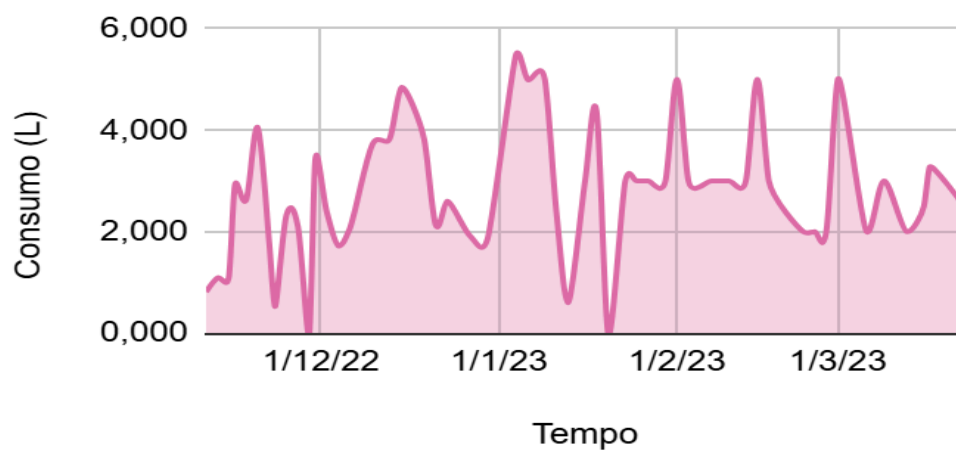
A partir dos dados obtidos na análise desses artigos, foi possível chegar a conclusão de que se faz necessário estudos mais detalhados sobre a pegada hídrica do processo de compostagem, tendo em vista o iminente enfrentamento de questões associadas à escassez hídrica.

5.2 Estudo de caso: consumo de água nos experimentos de compostagem

5.2.1 Primeiro experimento

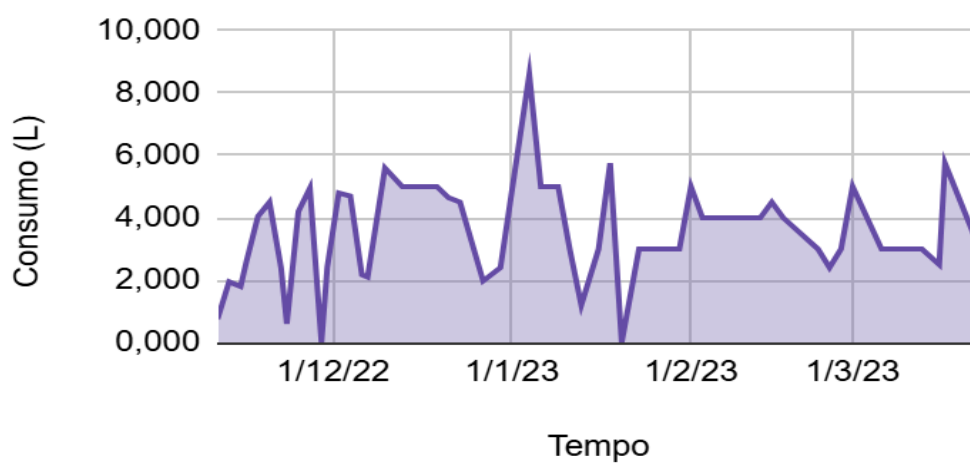
O percentual de água utilizado durante o processo foi contabilizado durante o tempo (Figuras 6-10).

Figura 6 - Aplicação de água no T1 do 1º experimento ao longo do tempo



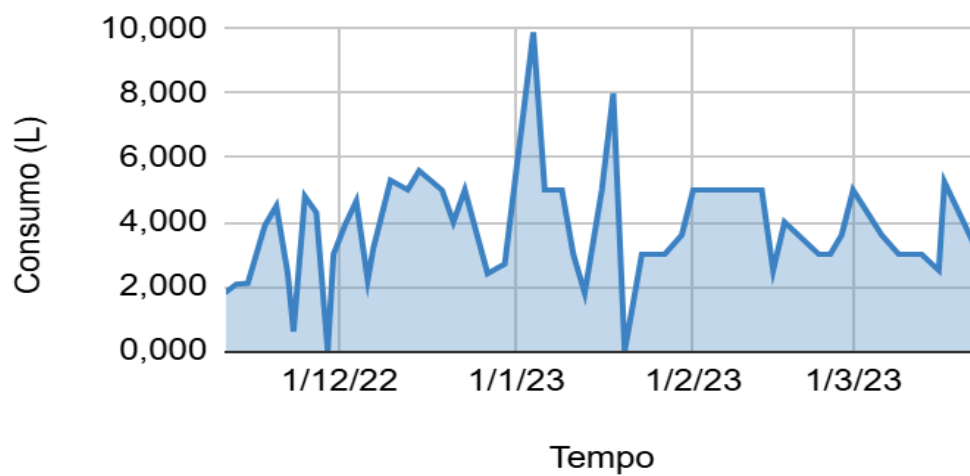
Fonte: A Autora (2025)

Figura 7 -Aplicação de água no T2 do 1º experimento ao longo do tempo



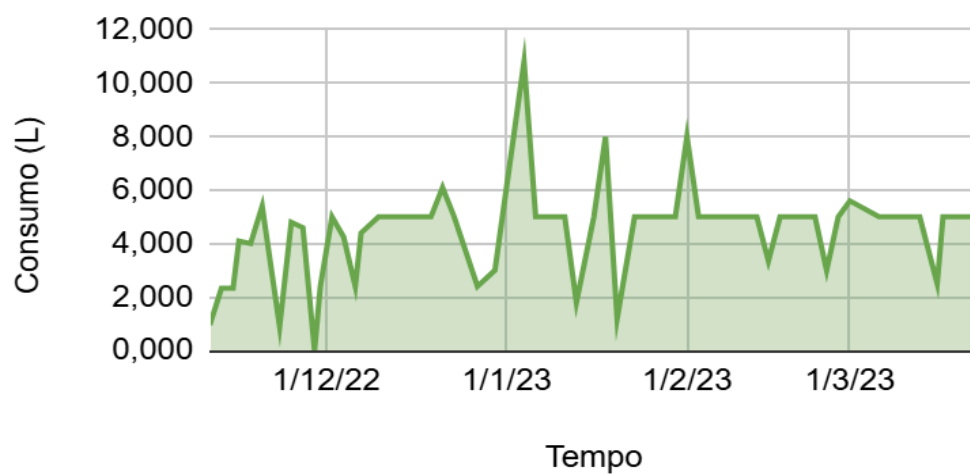
Fonte: A Autora (2025)

Figura 8 - Aplicação de água no T3 do 1º experimento ao longo do tempo



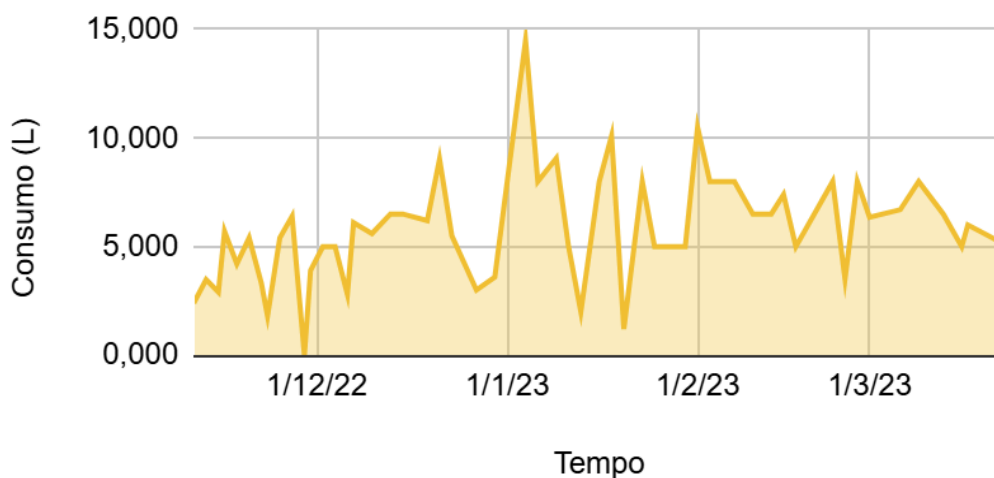
Fonte: A Autora (2025)

Figura 9 - Aplicação de água no T4 do 1º experimento ao longo do tempo



Fonte: A Autora (2025)

Figura 10 - Aplicação de água no T5 do 1º experimento ao longo do tempo



Fonte: A Autora (2025)

No primeiro experimento, o consumo de água foi monitorado ao longo do tempo, e os gráficos mostram que houveram picos de consumo. Neste sentido, é indispensável atrelar as oscilações de consumo com as fases do processo de compostagem. No início dos tratamentos (dezembro de 2022), o consumo foi relativamente baixo, como é esperado na fase mesofílica, pois os resíduos ainda estavam começando a se decompor e a atividade microbiana não estava no seu ápice. Conforme o processo avançou, a atividade microbiana aumentou, elevando a temperatura das pilhas e, conseqüentemente, a necessidade de mais água para manter a microbiota do sistema, caracterizando a fase termofílica. Por fim, a maturação, que é a mais longa do processo, teve seu consumo alto, justamente por ser um período que demanda mais água até a estabilização completa do composto.

Outra informação importante foi o elevado índice do consumo de água em todos os tratamentos no mês de janeiro. Isso pode ser explicado pelas altas temperaturas típicas dessa época do ano na região Nordeste do Brasil, onde o experimento foi realizado. A temperatura ambiente elevada pode ter aumentado a taxa de evaporação da água, exigindo mais água para manter a umidade ideal do processo de compostagem, que deve variar entre 40% e 60%. Além disso, o revolvimento das pilhas, que ocorreu a cada 7 dias na fase inicial e a cada 15 dias após o primeiro mês, pode ter contribuído para a perda de umidade e, conseqüentemente, houve a necessidade de maior quantidade de água para repor a umidade perdida.

Tabela 3 - Total de água consumida (em L) por cada tratamento no primeiro experimento

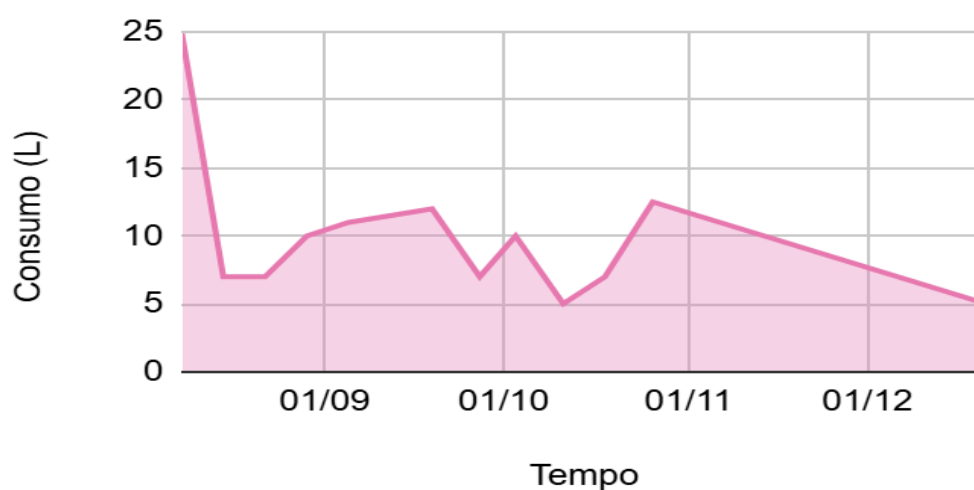
Tratamentos	T1	T2	T3	T4	T5
Água consumida	519	724	794	933	1.253

Fonte: Patrícia Reis (2024)

5.2.2 Segundo experimento

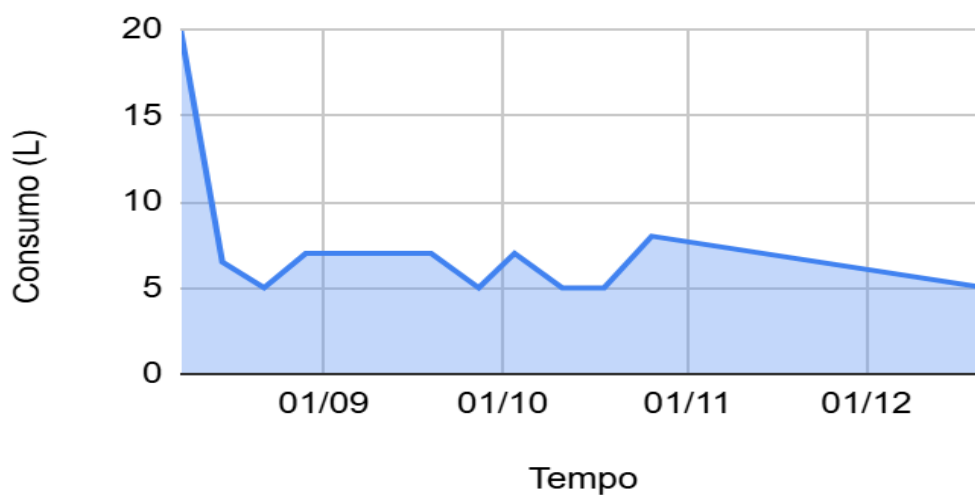
O segundo experimento foi realizado entre 08/08/25 e 21/12/25, com medições regulares do consumo de água. Os dados mostram que o consumo de água variou ao longo do tempo, com padrões que podem ser associados às fases do processo de compostagem e às condições climáticas (Figura 11-14).

Figura 11 - Aplicação de água no T1 do 2º experimento ao longo do tempo



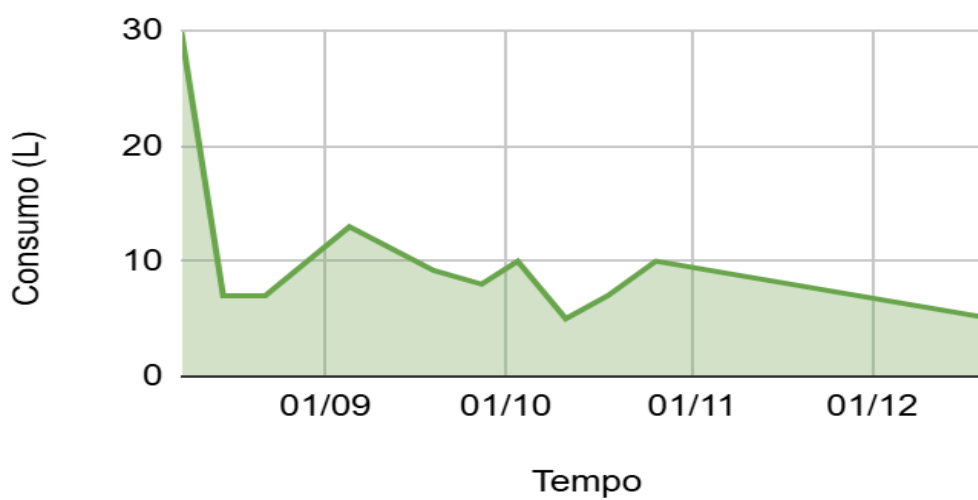
Fonte: A Autora (2025)

Figura 12 - Aplicação de água no T2 do 2º experimento ao longo do tempo



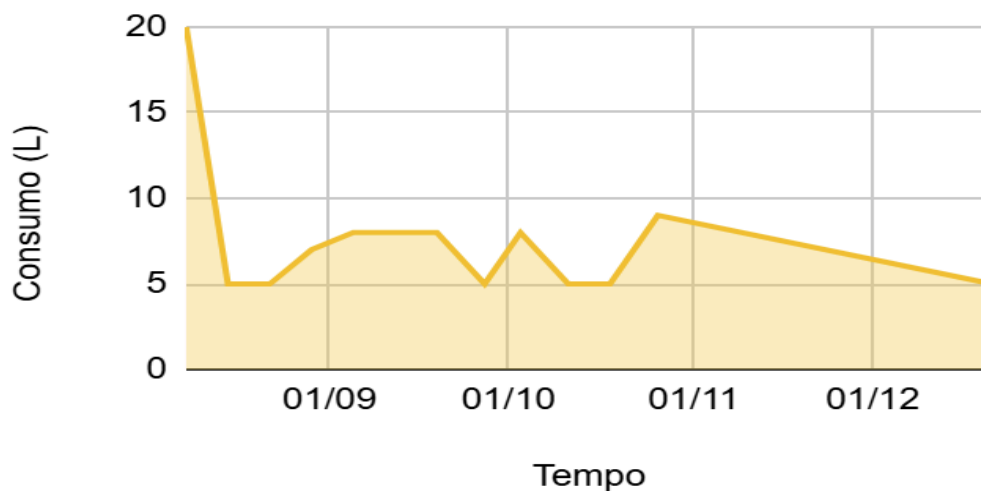
Fonte: A Autora (2025)

Figura 13 - Aplicação de água no T3 do 2º experimento ao longo do tempo



Fonte: A Autora (2025)

Figura 14 - Aplicação de água no T4 do 2º experimento ao longo do tempo



Fonte: A Autora (2025)

No início do experimento o consumo de água foi relativamente alto, especialmente nos tratamentos T1 e T3, que apresentaram médias de 25 L e 30 L, respectivamente, na fase inicial. Esse alto consumo está relacionado à necessidade de umedecer os resíduos para iniciar o processo de compostagem, garantindo a umidade ideal para a atividade microbiana. Ao longo da primeira fase da compostagem, o consumo diminuiu, indicando que os resíduos já estavam umedecidos e o processo estava em andamento, o que é mais característico da primeira fase, a mesofílica.

Na fase termofílica, o consumo de água aumentou novamente, especialmente os tratamentos T1 e T3, que atingiram médias de 10 L e 13 L respectivamente, esse aumento está diretamente ligado à maior proporção da maravalha. Esse aumento está relacionado com a atividade microbiana mais intensa nessa fase, gerando calor e aumentando a evaporação de água. Além disso, o revolvimento das pilhas contribuiu para a perda de umidade, exigindo maiores quantidades de água para manutenção das condições ideais.

A partir da última fase, a maturação, o consumo diminuiu gradativamente, indicando a diminuição da atividade microbiana e a redução da necessidade de umidade. Ao final do experimento, todos os tratamentos apresentaram consumo de água em torno de 5 L, indicando, juntamente com outros parâmetros, que o composto estava estável e pronto para uso.

Tabela 4 - Total de água consumido (em L) por cada tratamento no segundo experimento

Tratamentos	T1	T2	T3	T4
Água consumida	509	391	506	407

Fonte: Patrícia Reis (2024)

Ao final do segundo experimento, os tratamentos T1 e T3 apresentaram os maiores consumos de água ao longo do tempo, atrelado a uma maior porcentagem de maravalha nos tratamentos, enquanto o T2 e T4 tiveram consumos menores e consequentemente foram os tratamentos com menores porcentagem do resíduo de maravalha.

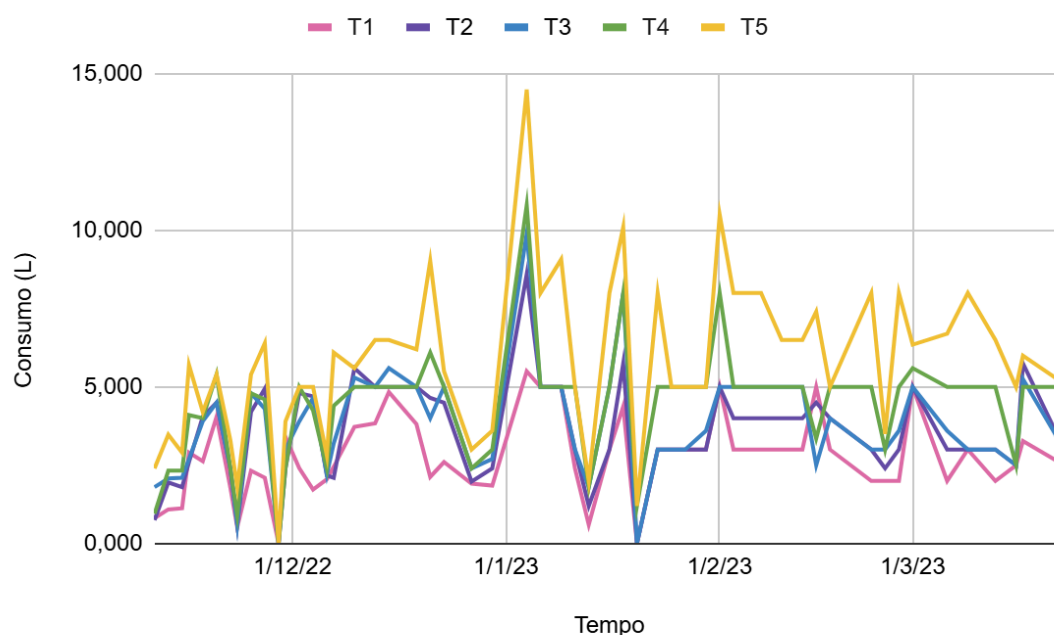
5.3 Consumo de água quanto ao resíduo utilizado

5.3.1 Primeiro experimento

Com base no primeiro experimento, pode-se observar uma tendência clara no consumo de água entre tratamentos. O tratamento 1 com 100% de resíduo de poda apresentou menor consumo médio de água, com 144,95 litros, o que representou um total de 519 L ao total. Enquanto o tratamento 5 com 100% maravalha registrou maior consumo, com cerca de 313,64 litros, totalizando 1.253 L.

Os tratamentos intermediários que combinam diferentes proporções de resíduos de poda e maravalha, mostram um aumento gradual no consumo de água à medida que a proporção de maravalha aumenta. O tratamento 2 (75% poda e 25% maravalha) teve um consumo médio de 181,04 L, o T3 (50% poda e 50% maravalha) consumiu em torno de 198,55 L e o T4 (25% poda e 75% maravalha) teve a média de 233,18 L (Figura 15):

Figura 15 - Média de todos os tratamentos do 1º experimento



Fonte: A Autora (2025)

Os resultados sugerem que a maravalha tem uma maior capacidade de retenção de água em comparação com o resíduo de poda que apresentou o menor consumo de água, liberando a água mais rapidamente para o sistema. Essa característica pode ser uma vantagem, uma vez que o objetivo é a otimização do uso da água.

Sendo assim, o uso da proporção de 100% maravalha no tratamento 5 implica em um consumo significativamente maior de água, o que é geralmente inviável, especialmente em regiões com escassez hídrica. Já os tratamentos intermediários (T2, T3 e T4) oferecem um equilíbrio entre o consumo de água e a retenção de umidade, permitindo ajustes conforme a necessidade, sendo uma melhor opção para aplicação.

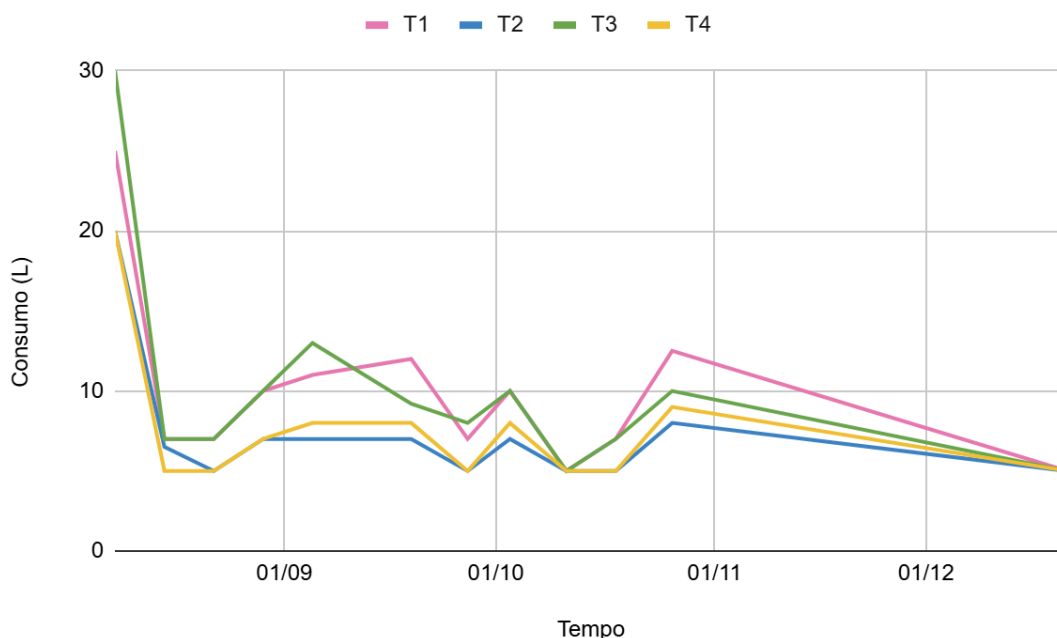
5.3.2 Segundo experimento

Os diferentes tipos de resíduos utilizados tiveram influência sobre o consumo de água (Figura 16). O tratamento 1 (25% RA e 75% MA) apresentou um consumo médio de água de 10 litros, totalizando 509 L. Esse tratamento com proporção maior

de maravalha, teve um consumo mais elevado, o que sugere, assim como o primeiro experimento, que a maravalha tem uma alta capacidade de retenção de água. Por outro lado, o tratamento 2 (50% RA e 50% MA) mostrou um consumo médio mais baixo, com 7 litros, totalizando 391 L. A redução da proporção de maravalha e a inserção do resíduo de poda contribuíram para uma menor retenção de água, resultando em um consumo menor em comparação ao T1.

Já o tratamento 3 (25% EB e 75% MA) apresentou um consumo médio semelhante ao T1, com média de 10 litros de água e um total de 506 L, o que sugere que o esterco bovino, em menor proporção, não tem impacto significativo na redução do consumo de água em comparação com o resíduo alimentar, mantendo um consumo relativamente alto devido à maior proporção de maravalha. Por fim, o tratamento 4 (50% EB e 50% MA) teve um consumo médio de 8 litros e um total de 407 L. Com o aumento do esterco bovino para 50%, o consumo de água foi equilibrado, reduzindo-o em comparação com o T3 e, consequentemente, mantendo um nível moderado de retenção de umidade (Figura 16).

Figura 16 - Média de todos os tratamentos do 2º experimento



Fonte: A Autora (2025)

Os resultados indicam que a maravalha tem um impacto significativo no consumo de água, como observado também no primeiro experimento. Assim, tanto o

tratamento 2, quanto o tratamento 4, que contém uma proporção menor proporção de maravalha e a mistura com outros resíduo úmidos são mais indicados para reduzir o consumo e reter a umidade no processo.

5.3.3 Comparativo

Os resultados obtidos neste estudo corroboram e expandem as descobertas de pesquisas sobre o consumo de água no processo de compostagem. Por exemplo, Thuppahige *et al.* (2022) relataram um consumo de 29,1 litros de água por tonelada de resíduo, enquanto Martinez-Blanco *et al.* (2010) observaram valores de 51 litros/ton em compostagem doméstica e 426,8 litros/ton em compostagem industrial. No entanto, esses estudos não detalharam o consumo de água ao longo das diferentes fases da compostagem, não explorando também a influência da composição dos resíduos no consumo hídrico.

Em contraste, o presente estudo monitorou o consumo de água em todas as fases do processo (mesofílica, termofílica e maturação), além de avaliar como diferentes combinações de resíduos (maravalha, resíduos de poda, resíduos alimentares e esterco bovino) impactam a demanda hídrica. Além disso, comparando com os 100 artigos selecionados na revisão de literatura, observou-se uma lacuna significativa em relação à eficiência dos diferentes tipos de resíduos no consumo de água durante a compostagem. A maioria dos estudos analisados, como os de Cadena *et al.* (2009) e Komilis *et al.* (2011), focou em aspectos como emissões de gases, redução de volume e eficiência geral do processo, mas não forneceu dados comparativos sobre como a composição dos resíduos influencia o consumo hídrico.

Para uma análise mais detalhada da pegada hídrica de cada tratamento, a Tabela 5, permite visualizar como a composição dos resíduos influencia diretamente a demanda hídrica, fornecendo dados concretos para a otimização do processo em diferentes contextos, especialmente em regiões com escassez de água que utilizem os resíduos avaliados no presente trabalho.

Tabela 5 - Cálculo da pegada hídrica do processo de compostagem

Primeiro experimento	T1	T2	T3	T4	T5
Consumo de água (L)	519	724	794	933	1.253
Entrada de resíduo (Kg)	20	20	20	20	20
Composto final (Kg)	15,0	12,9	12,0	10,8	12,7
Pegada hídrica (L/kg)	34,6	56,1	66,16	86,38	98,66
Segundo experimento	T1	T2	T3	T4	-
Consumo de água(L)	509	391	506	407	-
Entrada de resíduo (Kg)	20	20	20	20	-
Composto final (Kg)	6,1	3,5	6,1	3,6	-
Pegada hídrica (L/kg)	83,4	111,7	82,9	113,05	-

Fonte: A Autora (2025)

Apesar de a tabela citar o resultado do primeiro experimento como “composto final”, os tratamentos realizados não atingiram a maturação completa. Isto ocorreu principalmente nas pilhas que continham maiores teores de maravalha, onde o processo de degradação ocorreu com maior dificuldade. O cálculo da pegada hídrica foi realizado, mas, neste caso, não será representativo pois o produto final não se caracteriza como composto. Já no segundo experimento, em que a maturação foi atingida, pode-se concluir que os tratamentos T1 e T3 obtiveram maior eficiência.

A análise da pegada hídrica nos diferentes tratamentos de compostagem evidenciou que a composição dos resíduos tem um impacto significativo no consumo de água. Isso reforça a importância de se considerar a pegada hídrica como uma métrica essencial para a otimização do processo de compostagem, especialmente em regiões onde a escassez de água é uma preocupação crítica. A pegada hídrica não apenas quantifica o volume de água consumido, mas também permite identificar oportunidades de redução do consumo, contribuindo para a sustentabilidade do processo.

Além disso, a compreensão detalhada da pegada hídrica em diferentes fases da compostagem, oferece oportunidades valiosas para o desenvolvimento de estratégias de manejo hídrico mais eficientes. Portanto, a incorporação da pegada hídrica como um indicador de desempenho na compostagem pode não apenas melhorar a eficiência do processo, mas também promover práticas mais sustentáveis na gestão de resíduos orgânicos.

6. CONCLUSÃO

A revisão bibliográfica evidenciou uma lacuna significativa na literatura científica quanto ao consumo de água durante a compostagem, com poucos estudos abordando de forma quantitativa e detalhada a demanda hídrica ao longo das diferentes fases do processo. Além disso, a maioria dos estudos existentes não explora a influência da composição dos resíduos no consumo de água, o que limita a compreensão de como diferentes materiais podem impactar a eficiência hídrica do processo.

Os resultados do trabalho indicam que a compostagem pode ser realizada em todas as regiões, inclusive as que sofrem com a escassez hídrica, desde que sejam adotadas práticas que minimizem o consumo de água, como a seleção de resíduos com menor capacidade de retenção e a implementação de sistemas de captação e reúso de água. O estudo de caso realizado demonstrou que a composição dos resíduos utilizados na compostagem tem um impacto significativo no consumo de água. A maravalha, por exemplo, apresentou uma maior capacidade de retenção de água, resultando em um consumo hídrico mais elevado em comparação com outros resíduos, como os de poda e de alimento. Isso sugere que a escolha dos materiais utilizados na compostagem deve ser cuidadosamente considerada, especialmente em regiões com escassez hídrica, onde a otimização do uso da água é essencial.

Os resultados também indicaram que o consumo de água varia ao longo das fases da compostagem, com picos de demanda durante a fase termofílica, devido ao aumento da atividade microbiana e da evaporação. Esse entendimento é fundamental para o desenvolvimento de estratégias de manejo hídrico mais eficientes, permitindo a redução do consumo de água sem comprometer a qualidade do composto final.

Em síntese, este estudo contribui para o aprimoramento das técnicas de compostagem, destacando a importância da pegada hídrica como uma métrica essencial para a gestão sustentável de resíduos orgânicos. A incorporação desse indicador no planejamento e execução de processos de compostagem pode não apenas melhorar a eficiência do uso da água, mas também promover práticas mais sustentáveis, alinhadas aos objetivos de conservação de recursos hídricos e redução de impactos ambientais. Portanto, recomenda-se a realização de mais estudos que explorem a relação entre a composição dos resíduos e o consumo de água, visando a otimização do processo de compostagem em diferentes contextos e regiões.

7. REFERÊNCIAS

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, 2022**. São Paulo, 2020. Disponível em: <https://www.abrema.org.br/panorama/>.

ABREMA – Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, 2022. São Paulo, 2022. Disponível em: <https://www.abrema.org.br/panorama/>.

ABREMA. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, 2024. Rio de Janeiro: ABREMA, 2024. Disponível em: <https://www.abrema.org.br/panorama/>.

ADHIKARI, B. K.; BARRINGTON, S.; MARTINEZ, J. **Predicted growth of world urban food waste and methane production**. Waste Management & Research, v. 24, n. 5, p. 421-433, 2006.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **ANA aborda gestão de recursos hídricos no Brasil em reunião da Plataforma Ação pela Água e Oceano do Pacto Global da ONU**. [s. l.], 2023. Disponível em: <https://acesse.one/1c4MA>. Acesso em: 06 mar. 2025.

ALCALA JR., M.; JONES, K. D.; REN, J.; ANDREASSEN, T. E. **Compost product optimization for surface water nitrate treatment in biofiltration applications**. Bioresource Technology, v. 100, n. 15, p. 3991–3996, 2009.

ANDREOLI, C. V. **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**/ Cleverson Vitório Andreoli (coordenador). – Rio de Janeiro: RiMa, ABES, 282p.: il. Projeto PROSAB, 2001.

BHATTACHARYYA, P. et al. **Municipal waste compost as an alternative to cattle manure for supplying potassium to lowland rice**. Chemosphere, v. 66, n. 9, p. 1789–1793, 2007. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2006.07.062.

BLOM, H. J. M.; VAN TINTELEN, G.; VAN VORSTENBOSCH, C. J. A. H. V.; BAUMAS, V.; BEYNEN, A.C. **Preferences of mice and rats for types of bedding material.** *Lab Anim.* 1996; 30: 234-244.

BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Estabelece o Novo Marco Legal do Saneamento Básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 15 jul. 2020. Disponível em: <https://l1nk.dev/p8l82>. Acesso em: 24 fev. 25.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento. **Diagnóstico Temático: Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos.** Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), 2022. Disponível em: <https://l1nk.dev/sHPJW>. Acesso em: 24 fev. 25.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos.** Brasília 2022. Disponível em: https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/agendaambientalurbana/lixaozero/plano_nacional_de_residuos_solidos-1.pdf.

BREITENBECK, Gary A.; SCHELLINGER, David. **Calculating the reduction in material mass and volume during composting.** *Compost Science & Utilization*, v. 12, n. 4, p. 365-371, 2004.

CADENA, Erasmo et al. **A methodology to determine gaseous emissions in a composting plant.** *Waste Management*, v. 29, n. 11, p. 2799–2807, 2009.

CHADAR, Santosh Narayan; CHADAR, Keerti; SINGH, Manju. **Composting as an Eco-Friendly Method to Recycle Organic Waste.** *Progress in Petrochemical Science*, v. 2, n. 5, p. 252-254, 2018.

CORRENTE, J.E.; NOGUEIRA, M.C.S.; COSTA, B.M. **Contrastes ortogonais na análise do controle de volatilização de amônia em compostagem.** *Scientia Agrícola*, v. 58, n. 2, p. 407-412, 2001.

CREMENEAC, Larisa; CARAMAN, Mariana. **Particularitățile unor metode de compostare utilizate în procesul managementului deșeurilor organice**. Instituto Științifico-Practic de Biotehnologii în Zootehnie și Medicină Veterinară, [s.l.], v. 1, p. 1-10, 2023.

EX ANTE CONSULTORIA ECONÔMICA. **Demanda futura por água tratada nas cidades brasileiras: 2017 a 2040**. São Paulo: Instituto Trata Brasil, 2020.

HOEKSTRA, A.Y.; HUNG, P.Q. **Virtual water trade: a quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade**. Delft: IHE Delft, 2002. (Research Report Series No. 11).

HOEKSTRA, A. Y. (ed) (2003) '**Virtual water trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade**', 12–13 December 2002, Value of Water Research Report Series No 12, UNESCO-IHE, Delft, Netherlands, www.waterfootprint.org/Reports/Report12.pdf.

INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE (IEMA). **Relatório SEEG 2023: Gases de Efeito Estufa no Brasil**. São Paulo, 2023.

KAWAKANI, K.; SHIMOSAKI, S.; TONGU, M.; KOBAYASHI, Y.; NABIKA, T.; NOMURA, M. Y. T. **Evaluation of bedding and nesting materials for laboratory mice by preference tests**. Exp Anim. 2007; 56(5): 363-368.

MARTÍNEZ-BLANCO, Júlia; COLÓN, Joana; GABARRELL, Xavier; FONTE, Xavier; SÁNCHEZ, Antoni; ARTOLA, Adriana; RIERADEVALL, Joana. **O uso da avaliação do ciclo de vida para a comparação da compostagem de biorresíduos em casa e em escala real**. Gestão de Resíduos, v. 30, n. 6, p. 983-994, 2010

MELO, Catarina Xavier de; DUARTE, Sibeles Thaíse Viana Guimarães. **Análise da compostagem como técnica sustentável no gerenciamento dos resíduos sólidos**. Latin American Journal of Business Management, v. 9, n. 2, p. 64-79, jul-dez 2018.

OJAH, Ipsita et al. Composting with additives to improve organic amendments: A review. International Journal of Advanced Biochemistry Research, [S. l.], v. 8, n. 1, p. 438-442, 2024.

PEREIRA, Adolfo Plínio; GONÇALVES, Mônica Maria. **Compostagem doméstica de resíduos alimentares.** Pensamento Plural: Revista Científica do UNIFAE, São João da Boa Vista, v. 5, n. 2, p. 12-17, 2011.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE (UNEP). **Food Waste Index Report 2024.** Nairobi: UNEP, 2024. Disponível em: <https://www.unep.org/resources/publication/food-waste-index-report-2024>. Acesso em: 26 fev. 25.

REIS, R.A. et al. **Teores de compostos nitrogenados do capim Marandu (Brachiaria brizantha, cv. Marandu) ensilado com polpa cítrica peletizada.** In: Reunião anual da sociedade brasileira de zootecnia, 2004, Campo Grande. Anais. Campo Grande: Sociedade Brasileira de Zootecnia. 2004.

SALDARRIAGA, Juan F. et al. **Selecting Monitoring Variables in the Manual Composting of Municipal Solid Waste Based on Principal Component Analysis.** Waste and Biomass Valorization, v. 10, n. 6, p. 1811–1819, 2019.

Sardá, L. G., Muller, S., Oliveira, P. A., & Comin, J. J. (2010). **Redução da emissão de CO₂, CH₄ e H₂S através da compostagem de dejetos suínos.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 14(9), 1008–1013.

SOUZA, L. A.; CARMO, D. F.; SILVA, F. C.; PAIVA, W. M. L. **Análise dos principais parâmetros que influenciam a compostagem de resíduos sólidos urbanos.** Revista Brasileira de Meio Ambiente, v. 8, n. 3, p. 194-212, 2020.

SOUZA, L. A.; DO CARMO, D. F.; DA SILVA, F. C.; PAIVA, W. M. L. **Análise dos principais parâmetros que influenciam a compostagem de resíduos sólidos urbanos.** Revista Brasileira de Meio Ambiente, v. 8, n. 3, p. 194-212, 2020.

THUPPAHIGE, Rasangika Thathsaranee Weligama; GHEEWALA, Shabbir H.; BABEL, Sandhya. **Impacto ambiental da fração orgânica do tratamento de resíduos sólidos urbanos por compostagem no Sri Lanka**. Journal of Material Cycles and Waste Management, v. 24, p. 189.

TRIBUNAL DE CONTAS DO ESTADO DE PERNAMBUCO. **Atuação do TCE Pernambuco consegue zerar número de lixões no estado**. 2023. Disponível em: <https://www.tcepe.tc.br/internet/index.php/noticias/415-2023/marco/6941-atuacao-do-tce-pernambuco-consegue-zerar-numero-de-lixoes-no-estado>. Acesso em: 24 fev. 25.

UNEP. **Beyond an Age of Waste - Global Waste Management Outlook 2024**. Nairobi: United Nations Environment Programme, 2024.

UNITED NATIONS. **Department of Economic and Social Affairs, Population Division. World Population Prospects 2019: Highlights**. New York: United Nations, 2019.

VUAI, Said Ali Hamad. **Characterization of MSW and related waste-derived compost in Zanzibar municipality**. Waste Management & Research, v. 28, n. 2, p. 177-184, 2010.

ZANETI, Izabel Cristina Bruno Bacellar; MOURÃO SÁ, Lais. A educação ambiental como instrumento de mudança na concepção de gestão dos resíduos sólidos domiciliares e na preservação do meio ambiente. 2022. 10 p. Texto não publicado.

ZHAO, Xinyu; HE, Xiaosong; XI, Beidou; GAO, Rutai; TAN, Wenbing; ZHANG, Hui; LI, Dan. **A evolução da matéria orgânica extraível da água e sua associação com a dinâmica da comunidade microbiana durante a compostagem de resíduos sólidos urbanos**. Waste Management, v. 56, p. 79-87, 2016.