

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

**DAVID BRITO NEGRISOLI
NATIELLY PEREIRA OCHOA**

**VIABILIDADE AMBIENTAL DO USO DE RESÍDUOS DE TABACO EM
SUBSTITUIÇÃO AOS RESÍDUOS DE PODA E CAPINA COMO AGENTE DE
VOLUME NA COMPOSTAGEM**

MEDIANEIRA

2025

**DAVID BRITO NEGRISOLI
NATIELLY PEREIRA OCHOA**

**VIABILIDADE AMBIENTAL DO USO DE RESÍDUOS DE TABACO EM
SUBSTITUIÇÃO AOS RESÍDUOS DE PODA E CAPINA COMO AGENTE DE
VOLUME NA COMPOSTAGEM**

**Environmental Viability of Using Tobacco Waste as a Substitute for Pruning
and Weeding Waste as a Volume Agent in Composting**

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Ambiental apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr^a. Cristhiane Rohde

Co-orientador: Prof. Dr. Thiago Edwiges

MEDIANEIRA

2025



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**DAVID BRITO NEGRISOLI
NATIELLY PEREIRA OCHOA**

**VIABILIDADE AMBIENTAL DO USO DE RESÍDUOS DE TABACO EM
SUBSTITUIÇÃO AOS RESÍDUOS DE PODA E CAPINA COMO AGENTE DE
VOLUME NA COMPOSTAGEM**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Ambiental, da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Data de aprovação: 16 de junho de 2025

Cristiane Rohde
Doutora em Agronomia
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Medianeira

Giovana Clarice Poggere
Doutora em Ciência do Solo
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Medianeira

Márcia Antonia Bartolomeu Agustini
Doutora em Agronomia
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Medianeira

MEDIANEIRA

2025

RESUMO

O presente estudo avaliou a viabilidade técnica da compostagem de resíduos orgânicos, com ênfase no uso de resíduos de tabaco (TA) como agente estruturante. Foram caracterizados resíduos alimentares (RA) do Restaurante Universitário da UTFPR-Medianeira e de uma cooperativa agroindustrial, dejetos bovinos (DB) de uma propriedade leiteira local, aparas de grama (AP) da UTFPR e TA fornecido pela Receita Federal. As leiras de compostagem foram montadas com diferentes proporções desses materiais e monitoradas quanto a parâmetros físico-químicos (pH, condutividade elétrica, relação C/N) e microbiológicos durante 60 dias. A qualidade dos compostos foi avaliada por meio de testes de fitotoxicidade e germinação com sementes de alface (*Lactuca sativa*), cultivadas em estufa sob condições controladas (19°C, fotoperíodo de 16h). Os resultados demonstraram que as leiras contendo AP apresentaram os melhores índices de qualidade, com compostos finais que promoveram maior vigor nas plantas (altura da parte aérea: 12,3 cm; massa seca: 0,45 g; Índice de Qualidade de Dickson: 0,005–0,006). Em contraste, os tratamentos com TA exibiram fitotoxicidade, refletida em menores valores de IQD (0,001–0,003) e desenvolvimento radicular prejudicado. As misturas contendo TA e AP em proporções equilibradas apresentaram resultados intermediários, sugerindo que a grama pode atenuar parcialmente os efeitos negativos do tabaco. Conclui-se que, embora o TA possa ser incorporado em processos de compostagem, seu uso requer cuidados na dosagem e combinação com outros materiais para evitar comprometer a qualidade agronômica do composto final. Os resultados reforçam o potencial de resíduos como AP e RA na produção de fertilizantes orgânicos de alta qualidade, enquanto o TA demanda estudos adicionais de manejo para sua utilização segura.

Palavras-chave: Fertilidade do solo; Biodegradação; Microbiologia; Sustentabilidade.

ABSTRACT

The present study evaluated the technical feasibility of composting organic waste, with an emphasis on the use of tobacco waste (TA) as a structuring agent. Food waste (FW) from the UTFPR-Medianeira University Restaurant and an agro-industrial cooperative, cattle manure (CM) from a local dairy farm, grass clippings (GC) from UTFPR, and TA provided by the Federal Revenue Service were characterized. The composting piles were set up with different proportions of these materials and monitored for physicochemical (pH, electrical conductivity, C/N ratio) and microbiological parameters over 60 days. The quality of the composts was assessed through phytotoxicity and germination tests using lettuce seeds (*Lactuca sativa*), grown in a greenhouse under controlled conditions (19°C, 16-hour photoperiod). The results showed that the piles containing GC exhibited the best quality indices, with final composts that promoted greater plant vigor (shoot height: 12.3 cm; dry mass: 0.45 g; Dickson Quality Index: 0.005–0.006). In contrast, treatments with TA exhibited phytotoxicity, reflected in lower DQI values (0.001–0.003) and impaired root development. Mixtures containing TA and GC in balanced proportions showed intermediate results, suggesting that grass clippings may partially mitigate the negative effects of tobacco. It is concluded that although TA can be incorporated into composting processes, its use requires careful dosage and combination with other materials to avoid compromising the agronomic quality of the final compost. The results reinforce the potential of waste materials such as GC and FW in the production of high-quality organic fertilizers, while TA requires further management studies for its safe use.

Keywords: Soil Fertility; Biodegradation; Microbiology; Sustainability.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	OBJETIVOS	10
2.1	Objetivo Geral	10
2.2	Objetivos Específicos	10
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
3.1	Resíduos Sólidos Urbanos - RSU	11
3.1.1	Descarte dos RSU	12
3.1.2	Compostagem	13
3.2	Compostagem na estabilização dos resíduos orgânicos	15
3.2.1	Parâmetros físico-químicos que interferem no processo de compostagem	15
<u>3.2.1.1</u>	<u>Temperatura</u>	<u>15</u>
<u>3.2.1.2</u>	<u>pH</u>	<u>17</u>
<u>3.2.1.3</u>	<u>Condutividade Elétrica</u>	<u>17</u>
<u>3.2.1.4</u>	<u>Sólidos Totais e Voláteis</u>	<u>17</u>
<u>3.2.1.5</u>	<u>Umidade</u>	<u>18</u>
<u>3.2.1.6</u>	<u>Relação C/N</u>	<u>18</u>
<u>3.2.1.7</u>	<u>Densidade</u>	<u>18</u>
<u>3.2.1.8</u>	<u>Fitotoxicidade</u>	<u>19</u>
<u>3.2.1.9</u>	<u>Germinação</u>	<u>20</u>
<u>3.2.1.10</u>	<u>Patógenos</u>	<u>20</u>
3.3	Tabaco como resíduo orgânico	21
4	MATERIAL E MÉTODOS	22
4.1	Local de pesquisa	22
4.2	Fontes de resíduos	22
4.3	Caracterização dos resíduos	23
4.4	Compostagem	24
4.5	Métodos analíticos	26

4.5.1	Coleta de amostra	26
4.5.2	Temperatura	26
4.5.3	pH e CE	26
4.5.4	Sólidos Totais e Voláteis	27
4.5.5	Densidade	27
4.5.6	Nitrogênio Total Kjeldahl	28
4.5.7	Análises Microbiológicas	28
4.5.8	Ensaio de fitotoxicidade	31
4.5.9	Ensaio de germinação	32
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	33
5.1	Caracterização dos substratos	33
5.1.1	Temperatura	33
5.1.2	pH E CE	34
5.1.3	Sólidos Totais e Voláteis	36
5.1.4	Densidade	39
5.1.5	Nitrogênio Total Kjeldahl	40
5.1.6	Análises Microbiológicas	41
5.2	Discussões	43
5.3	Ensaio de fitotoxicidade e seus efeitos	46
5.4	Ensaio de germinação e seus efeitos	48
	CONCLUSÕES	51
	REFERÊNCIAS	53

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o Brasil tem enfrentado desafios crescentes na gestão dos resíduos sólidos urbanos (RSU). O crescimento populacional e a expansão industrial e urbana têm agravado esse cenário. Em 2023, o país gerou aproximadamente 83,6 milhões de toneladas de RSU. Desse total, cerca de 60% foram destinados a aterros sanitários, enquanto mais de 20% ainda tiveram como destino lixões ou locais inadequados (ABRELPE, 2023). Apenas 4% dos resíduos foram reciclados, o que evidencia a urgência por uma gestão mais eficiente e sustentável.

A falta de infraestrutura para coleta e tratamento, somada à escassez de políticas públicas eficazes, agrava o problema. Além disso, a conscientização da população ainda é baixa. Isso resulta em práticas de descarte inadequadas, que comprometem o meio ambiente. Entre as consequências estão a degradação do solo, a poluição da água e a emissão de gases de efeito estufa. Diante disso, é essencial a colaboração entre governos, empresas e sociedade civil. A adoção de estratégias que priorizem a redução, reutilização e reciclagem dos resíduos é fundamental para um futuro mais sustentável.

No oeste do Paraná, a forte presença da agropecuária traz outro desafio: o manejo dos resíduos orgânicos gerados. A produção de dejetos bovinos tem crescido. Cada animal pode gerar entre 30 e 40 kg de resíduos por dia. Com um rebanho de cerca de 5 milhões de bovinos, estima-se uma produção diária de 150 mil toneladas de dejetos (IPARDES, 2023).

Esses resíduos contêm, em sua maioria, água (cerca de 90%), matéria orgânica, nitrogênio e fósforo. Se não manejados corretamente, podem contaminar o solo e os aquíferos. A decomposição anaeróbica também libera metano, um potente gás de efeito estufa. Assim, o manejo adequado dos dejetos é essencial tanto para a saúde ambiental quanto para a viabilidade econômica da atividade. Essa questão exige soluções técnicas, econômicas e sociais integradas. É preciso tratar a relação entre agropecuária e gestão de resíduos de forma holística.

Outro problema ambiental da região envolve o descarte de cigarros contrabandeados. A proximidade com países vizinhos facilita o comércio ilegal. Os produtos apreendidos são frequentemente incinerados ou enviados a aterros. Esses métodos, no entanto, causam impactos negativos, como a liberação de

poluentes e a contaminação do solo e da água. De acordo com a Receita Federal (2022), em 2021 foram apreendidos cerca de 307 milhões de maços de cigarros, o que corresponde a um volume de aproximadamente 42 mil metros cúbicos. A gestão inadequada desses resíduos compromete a sustentabilidade e representa riscos à saúde pública.

Nesse cenário, a compostagem se destaca como alternativa promissora. Essa técnica permite transformar os resíduos de tabaco em adubo orgânico estável. Isso reduz o impacto ambiental e oferece uma solução economicamente viável para uso na agricultura e paisagismo.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a viabilidade da compostagem, utilizando resíduos de tabaco na mistura como agente estruturante.

2.2 Objetivos Específicos

- Coletar e caracterizar os resíduos orgânicos utilizados no estudo;
- Estruturar leiras de compostagem com diferentes proporções de agentes estruturantes, visando reduzir a heterogeneidade dos resíduos e promover a eliminação de patógenos;
- Monitorar os parâmetros físico-químicos e microbiológicos ao longo do processo de compostagem;
- Avaliar o potencial agronômico do composto final com teste de fitotoxicidade e ensaio de germinação.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Resíduos Sólidos Urbanos - RSU

De acordo com a Lei nº 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), no art. 3º, inciso XVI, resíduos sólidos são definidos como:

“material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível” (BRASIL, 2010).

Os resíduos sólidos urbanos (RSU) referem-se, principalmente, àqueles gerados por residências, comércios, instituições públicas e serviços de limpeza urbana. Esses resíduos podem ser classificados com base em três critérios principais: origem, composição e periculosidade. Quanto à origem, os resíduos podem ser domiciliares, comerciais, industriais, da construção civil, de serviços de saúde, agrícolas e de serviços públicos. Em relação à composição, são geralmente divididos em resíduos orgânicos e inorgânicos. Já a periculosidade é tratada na norma ABNT NBR 10004/2004, que classifica os resíduos em perigosos (Classe I) e não perigosos (Classe II), sendo estes últimos subdivididos em não inertes (II-A) e inertes (II-B).

Dentre os resíduos sólidos urbanos, os resíduos orgânicos representam uma fração expressiva, sendo compostos majoritariamente por restos de alimentos, cascas de frutas e legumes, folhas, resíduos de jardinagem, entre outros de origem biológica. Esse tipo de resíduo é altamente biodegradável, o que o torna ideal para tratamentos como a compostagem, processo que permite sua transformação em adubo, contribuindo para a agricultura sustentável e a recuperação de solos degradados.

Apesar do potencial de reaproveitamento, grande parte dos resíduos orgânicos no Brasil ainda é descartada em aterros sanitários ou, em muitos casos,

em lixões a céu aberto. Essa destinação inadequada não apenas agrava os impactos ambientais — como a emissão de gases de efeito estufa e a contaminação do solo e da água —, mas também representa uma perda de recursos valiosos que poderiam ser reciclados biologicamente.

O Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PLANARES), em seu art. 3º, inciso VII, define como destinação final ambientalmente adequada:

“a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes” (PLANARES, 2022).

Dessa forma, fomentar a valorização dos resíduos orgânicos é fundamental para uma gestão de resíduos mais eficiente e alinhada aos princípios da sustentabilidade. Tecnologias como a compostagem não apenas reduzem a quantidade de resíduos enviados a aterros, mas também promovem a economia circular e o reaproveitamento de matéria orgânica.

3.1.1 Descarte dos RSU

O descarte inadequado de resíduos sólidos representa um desafio significativo para o meio ambiente. A Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), foi um marco no Brasil. Ela tem como objetivo oferecer soluções para o descarte inadequado, como o uso de lixões a céu aberto. Resíduos sólidos podem contaminar o ar, o solo e a água, especialmente devido à produção de chorume.

O gerenciamento de resíduos sólidos, conforme definido pela PNRS, envolve uma série de ações, desde a geração até a disposição final dos resíduos. Isso inclui a redução, reutilização e reciclagem. A adoção de práticas eficientes de gestão é essencial para minimizar os impactos ambientais e sociais causados pelo descarte inadequado.

A PNRS estabelece que a utilização de lixões e aterros controlados é uma forma inadequada de destinação final dos resíduos. Com a implementação dessa política, houve uma tentativa de erradicar práticas prejudiciais ao meio ambiente, promovendo alternativas sustentáveis de gestão.

No Brasil, a geração de resíduos sólidos tem aumentado significativamente, o que tem gerado grande preocupação ambiental. De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (2019), cerca de 50% dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) gerados no Brasil são compostos por matéria orgânica. Esse alto teor de matéria orgânica exige estratégias adequadas de gestão, como compostagem e reciclagem.

A Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2020) aponta que o Brasil ainda enfrenta desafios significativos, como a falta de infraestrutura adequada e a escassez de investimentos em tecnologias de tratamento. A conscientização da população e a capacitação dos gestores são fundamentais para garantir a eficácia das políticas estabelecidas pela PNRS.

A composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos é crucial para o planejamento e execução de estratégias de gestão. Estudos mostram que a composição dos RSU no Brasil é predominantemente composta por matéria orgânica, papel, plásticos e metais. A fração orgânica representa cerca de 50% do total de resíduos gerados (Ministério do Meio Ambiente, 2019).

Essa alta proporção de resíduos orgânicos torna imprescindível a adoção de estratégias como compostagem e recuperação de energia. Esses processos não só ajudam a reduzir o volume de resíduos destinados a aterros, mas também podem transformar esses resíduos em recursos valiosos.

Além disso, a análise da composição gravimétrica dos RSU permite identificar frações passíveis de reciclagem ou reutilização, o que contribui para a diminuição da quantidade de resíduos enviados a aterros sanitários. A compreensão detalhada da composição dos resíduos sólidos urbanos é, portanto, essencial para o desenvolvimento de políticas públicas mais eficazes e para a promoção de práticas sustentáveis de manejo de resíduos.

3.1.2 Compostagem

A compostagem é um processo biológico, aeróbico e controlado, no qual a matéria orgânica presente nos resíduos é decomposta por microrganismos, transformando-se em composto orgânico, um adubo natural e nutritivo. Esse processo é fundamental para a gestão sustentável de resíduos sólidos urbanos e

agroindustriais, especialmente os resíduos orgânicos, como restos de alimentos, folhas e podas de jardinagem.

A compostagem traz uma série de benefícios ambientais e sociais. Entre os principais, destaca-se a redução de resíduos: ao ser destinada para compostagem, a matéria orgânica deixa de ocupar espaços em aterros, reduzindo a sobrecarga desses locais. Além disso, o processo de compostagem melhora a qualidade do solo, já que o composto orgânico gerado é rico em nutrientes que favorecem o desenvolvimento de plantas. O uso do composto orgânico também substitui adubos químicos, o que contribui para a diminuição do impacto ambiental causado pela utilização desses produtos, que podem contaminar solos e águas (ABRELPE, 2020).

Além disso, a compostagem é um processo de baixo custo, que pode ser realizado tanto em pequena quanto em larga escala, e gera um produto que tem valor econômico. Em áreas como Medianeira, município localizado no oeste do Paraná, que possuem muitas cooperativas agroindustriais e geram grandes quantidades de resíduos orgânicos, a compostagem surge como uma alternativa ideal para o descarte e reaproveitamento desses resíduos. Muitos desses resíduos, como cascas de alimentos e restos de frutas e vegetais, podem ser transformados em adubo de alta qualidade, que pode ser utilizado na própria agricultura local ou até comercializado, gerando um retorno econômico para os produtores (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2019).

O método de compostagem também contribui para a redução das emissões de gases de efeito estufa, uma vez que evita a decomposição anaeróbica dos resíduos em aterros, processo que libera metano, um gás altamente poluente. A adoção dessa prática pode ser uma estratégia importante para os municípios brasileiros no cumprimento das metas climáticas estabelecidas por acordos internacionais, como o Acordo de Paris (SANTOS *et al.*, 2018).

Em resumo, a compostagem é uma alternativa eficiente e ecologicamente viável para a destinação final dos resíduos sólidos, oferecendo uma solução sustentável que beneficia o meio ambiente, a economia e a sociedade. Além disso, permite transformar resíduos orgânicos em um recurso valioso para a agricultura e o paisagismo, alinhando-se aos princípios da economia circular (ARAÚJO *et al.*, 2015).

3.2 Compostagem na estabilização dos resíduos orgânicos

Conforme definido na Resolução nº 481, de 03 de outubro de 2017, do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), que estipula critérios e procedimentos para assegurar o controle e qualidade ambiental no processo de compostagem de resíduos orgânicos, a compostagem é um

[...] processo de decomposição biológica controlada dos resíduos orgânicos, efetuado por uma população diversificada de organismos, em condições aeróbias e termofílicas, resultando em material estabilizado, com propriedades e características completamente diferentes daqueles que lhe deram origem (CONAMA, 20217, p. 1)

3.2.1 Parâmetros físico-químicos que interferem no processo de compostagem

A compostagem é um processo biológico que depende de fatores que contribuem para a geração de um composto maturado e de qualidade, esses parâmetros devem ser monitorados ao longo do processo de compostagem para mais indicadores e melhor interpretação da atividade microbiana.

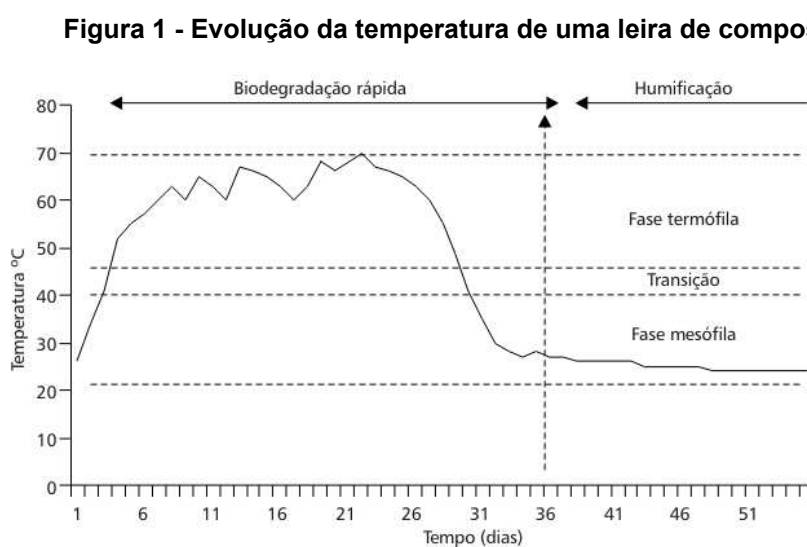
Esses parâmetros são fundamentais para garantir a eficiência do processo de compostagem, pois influenciam diretamente a atividade dos microrganismos responsáveis pela decomposição da matéria orgânica. Quando bem controlados, esses parâmetros aceleram o processo, evita maus odores e garantem um composto de qualidade, livre de agentes patógenos e rico em nutrientes.

3.2.1.1 Temperatura

De acordo com Andreoli *et al.* (2001), Kiehl (2002) e Costa *et al.* (2009), em todas as etapas do processo de compostagem, a temperatura exerce um papel fundamental, especialmente no que diz respeito à velocidade da biodegradação do material compostado, principalmente de origem orgânica, e à eliminação de possíveis patógenos, que ocorre quando a compostagem atinge temperaturas elevadas (entre 55 °C e 70 °C) muitos microrganismos patogênicos — como bactérias (ex.: *Salmonella ssp.*, *Escherichia coli*), vírus, fungos e ovos de parasitas — não resistem a esse calor e são destruídos. Essas temperaturas desnaturam

proteínas, rompem membranas celulares e inativam enzimas vitais dos patógenos, levando à sua morte.

Miller (2009) afirma que o processo de compostagem tem quatro principais fases, a fase mesofílica de aquecimento, a fase termofílica de degradação ativa e a fase mesofílica de resfriamento e a fase de maturação. A Figura 1 demonstra a variação da temperatura, evidenciando o aumento e a queda, durante as fases do processo de compostagem ao longo do tempo.



Fonte: Andreoli *et al.* (2001)

A primeira fase dura poucos dias e é uma etapa onde os microrganismos tendem a se adaptar ao meio, fazendo com que a temperatura chegue até a 40 °C (Valente *et al.*, 2009). Na fase termofílica, os microrganismos já estão adaptados e com sua atividade acelerada, consequentemente a temperatura do processo chega até 70 °C ou mais (Trautmann e Olynciw, 2005). Ao chegar na fase de resfriamento, a atuação dos microrganismos já começam a diminuir até que na última fase o composto se torna maturado, onde a temperatura se iguala quase à ambiente e visualmente o composto apresenta uma tonalidade mais escura (Kiehl, 2002).

3.2.1.2 pH

O pH é indispensável para proporcionar o melhor ambiente possível para os microrganismos. Segundo Wang (2019) o valor de pH entre 7,5 e 8,5 é o ideal para a compostagem.

De acordo com Costa *et al.* (2016) no começo do processo, o ambiente se torna ácido por conta dos fungos e bactérias, que ao digerirem a matéria orgânica liberam ácidos que são decompostos até a completa oxidação. Valores abaixo de 4,5 de pH são indicativos de falta de maturação/estabilização e acabam por limitar a atividade dos microrganismos, isso ocorre pois cada grupo de microrganismos tem uma faixa ideal de pH em que suas enzimas e processos metabólicos funcionam corretamente.

3.2.1.3 Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica dita o nível de salinidade do composto, servindo como indicador da quantidade total de sais e assim refletindo a sua qualidade como fertilizante (Onwosi, 2017).

Ao começo do processo de compostagem, a condutividade elétrica sobe exponencialmente, até que venha um posterior decréscimo, causado pela quantidade de sais solúveis na massa de compostagem. Isso ocorre devido a mineralização de nutrientes, resultando no aumento de íons durante a fase de degradação ativa do processo de compostagem (Mendonça, 2017).

Após um certo nível de maturação do processo, a condutividade elétrica irá subir enquanto o pH abaixa, indicando fim do processo ao atingir essa disparidade crescente (Mendonça, 2017).

3.2.1.4 Sólidos Totais e Voláteis

De acordo com Leite *et al.* (1999), os sólidos totais (ST) indicam a quantidade de material sólido presente no resíduo, sendo divididos em duas categorias: sólidos voláteis (SV) e sólidos fixos (SF). Os SV correspondem à fração orgânica que gera biogás, enquanto os SF são compostos inorgânicos. Resíduos com maior proporção de SV são mais adequados para tratamentos biológicos, como a digestão anaeróbia, que se mostra eficaz em resíduos ricos em SV.

Os sólidos totais (ST) correspondem à fração seca das amostras, ou seja, o material que permanece após a evaporação da água nas condições específicas utilizadas (Figura 7). Eles são classificados em duas categorias: sólidos voláteis (SV), que representam a matéria orgânica, e sólidos fixos (SF), que se referem à matéria mineral.

3.2.1.5 Umidade

A umidade desempenha um papel fundamental durante o processo de compostagem, pois é essencial para que haja atividade microbiana, sendo o teor ótimo de umidade situado entre 50% a 60%. Elevados teores de umidade, podem criar um ambiente anaeróbio, visto que a água ocuparia os espaços vazios, impedindo a passagem de oxigênio. Por outro lado, o baixo teor de umidade, inibiria a atividade microbiana, afetando a velocidade de degradação do material compostado (Andreoli *et al.* 2001).

3.2.1.6 Relação C/N

A relação C/N, para o controle do processo de compostagem e na determinação do grau de maturação é um dos parâmetros mais importantes. A atividade dos microrganismos heterotróficos depende tanto do carbono quanto do nitrogênio, onde o carbono é responsável por fornecer energia e o nitrogênio é utilizado para síntese de proteínas (Sharma *et al.*, 1997).

De acordo com Oliveira *et al.* (2019), ao longo do processo há um constante declínio, onde as taxas de decomposição subirão, indicando mineralização, o que para a compostagem se trata de um indicador de fonte de nutrientes para o solo, em especial o nitrogênio orgânico.

3.2.1.7 Densidade

De acordo com Rocha (2005), é essencial compreender aspectos como a quantidade de resíduos gerados por pessoa e a sua composição físico-química para desenvolver projetos eficazes de gestão de resíduos. Além disso, a densidade aparente, que se define como a razão entre a massa (em kg) e o volume (em m³), é uma variável crucial, pois permite planejar os métodos de coleta, tratamento e destinação final dos resíduos.

Rocha *et al.* (2017) apresenta as diferentes abordagens metodológicas empregadas por vários autores para o dimensionamento de pátios de compostagem. No caso do estudo realizado, foram necessários alguns pressupostos, incluindo a densidade da mistura de resíduos orgânicos, o formato das leiras e as medidas de base e altura dessas estruturas.

A densidade é um parâmetro importante a ser considerado em projeto de compostagem, já que define o espaço necessário para armazenar o material (Marques, 2022).

De acordo com Moreira *et al.* (2014), os agentes estruturantes, ou resíduos estruturantes, têm a função de conferir integridade estrutural à mistura a ser compostada. A grama é o principal agente estruturante usado como responsável por dar volume às leiras de compostagem por se tratar de um resíduo pouco denso e com baixo teor de nitrogênio, sendo assim favorável à mistura.

O tabaco foi escolhido para fazer a função estrutural da grama, com ajustes na quantidade a ser usada, por ter um teor de nitrogênio diferente da grama (Moreira *et al.*, 2014).

3.2.1.8 Fitotoxicidade

Um requisito importante para que os tratamentos de resíduos orgânicos sejam usados como fertilizantes é o seu alto grau de maturidade, um indicativo que vem sendo usado para esta finalidade é a fitotoxicidade (RIPP *et al.*, 2016). O digestato utilizado nos ensaios de fitotoxicidade refere-se ao extrato líquido ou solução obtida a partir da diluição do composto orgânico em água destilada. Esse digestato contém os compostos solúveis presentes no material, como sais minerais, ácidos orgânicos e possíveis resíduos de substâncias tóxicas. Ele é aplicado em sementes ou plântulas, como as de alface, para avaliar efeitos inibitórios na germinação e no crescimento, sendo um importante indicativo da maturidade e segurança do composto final antes de seu uso como fertilizante.

De acordo com um estudo de Müller *et al.* (2018), a aplicação de digestato em solo pode ter efeitos variáveis dependendo da sua composição e concentração. Os pesquisadores observaram que, em concentrações elevadas, o digestato apresentou efeitos fitotóxicos, como a redução da germinação e crescimento das plântulas de alface, enquanto em concentrações adequadas, promovia um efeito fitoestimulante, favorecendo o desenvolvimento radicular e a biomassa da planta.

Esses resultados indicam que a utilização do digestato deve ser cuidadosamente monitorada, considerando a relação entre a concentração do material aplicado e a resposta das plantas, para garantir que os benefícios superem os potenciais efeitos adversos.

3.2.1.9 Germinação

A germinação é um processo fundamental no ciclo de vida das plantas, marcando o início do desenvolvimento de uma nova planta a partir da semente. Esse fenômeno biológico envolve uma série de eventos fisiológicos e bioquímicos que são desencadeados por condições ambientais favoráveis, como disponibilidade de água, temperatura adequada e presença de oxigênio (Bewley, 1997). A compreensão dos mecanismos que regulam a germinação é essencial para a agricultura, a ecologia e a conservação de espécies vegetais.

A germinação pode ser dividida em três fases principais: absorção de água (fase I), ativação metabólica (fase II) e alongamento do embrião (fase III). Durante a fase I, a semente absorve água rapidamente, o que desencadeia a reidratação das células e a ativação de enzimas. Na fase II, ocorre a mobilização de reservas nutricionais, como amido, proteínas e lipídios, para fornecer energia e materiais para o crescimento do embrião. Finalmente, na fase III, o embrião alonga-se e rompe o tegumento da semente, dando origem à radícula (Nonogaki *et al.*, 2010).

O ensaio de germinação, por sua vez, se concentra unicamente na habilidade das sementes de brotar e se desenvolver. Esse ensaio avalia a proporção de germinação e o vigor das mudas quando submetidas ao composto ou seu extrato. É uma forma direta de verificar se o composto contém elementos que podem impedir ou estimular a germinação das sementes (Monteiro *et al.*, 2015).

3.2.1.10 Patógenos

A Resolução CEMA N° 90 de 03/12/2013 estabelece as condições, critérios e outras providências para empreendimentos de compostagem de resíduos sólidos de origem urbana e de grandes geradores, assim como para o uso do composto gerado. Para o uso agrícola, é necessário seguir o Decreto Federal nº 4954/2004, enquanto para outros usos que não sejam agrícolas, é preciso respeitar os limites máximos de contaminantes permitidos no composto final.

Sendo assim, é crucial garantir que o composto não contenha microrganismos nocivos, como *Salmonella spp.* e coliformes termotolerantes. Esses agentes podem oferecer sérios riscos à saúde de pessoas e animais presentes no produto final. Técnicas de análises microbiológicas, incluindo a contagem de coliformes e a identificação de *Salmonella spp.*, serão feitas para acompanhar e assegurar a higienização dos resíduos no final do processo de compostagem.

3.3 Tabaco como resíduo orgânico

O tabaco (*Nicotiana tabacum*) é amplamente cultivado para fins industriais, com destaque para a produção de cigarros. Durante o ciclo produtivo, geram-se resíduos como folhas, talos e pó vegetal. Além disso, o Brasil enfrenta o desafio do manejo de grandes volumes de tabaco provenientes da apreensão de cigarros contrabandeados, especialmente nas regiões fronteiriças. O destino mais comum desses resíduos é a incineração ou o envio a aterros sanitários, práticas que, embora regulamentadas, podem gerar impactos ambientais como emissão de gases poluentes e contaminação do solo e das águas por chorume e cinzas (PAULETTI, 2022; CAMPOS; SILVA; ZITTEL, 2020).

Os resíduos de tabaco apresentam alto teor de compostos nitrogenados e alcalóides, como a nicotina, que possuem potencial fitotóxico e biocida, podendo afetar negativamente a germinação de sementes, o desenvolvimento de mudas e a microbiota do solo (ROEHRS, 2012). A nicotina pode persistir no ambiente, causando riscos se não degradada adequadamente.

Por outro lado, o tabaco tem potencial como fonte de matéria orgânica e nutrientes, especialmente nitrogênio, podendo atuar como agente estruturante na compostagem quando associado a materiais ricos em carbono, como serragem ou restos vegetais. Estudos apontam que o processo de compostagem, quando conduzido de forma adequada, favorece a degradação de compostos tóxicos como a nicotina e a estabilização do material, reduzindo o risco ambiental e permitindo o uso seguro do composto final como fertilizante orgânico (CAMPOS; SILVA; ZITTEL, 2020; ROEHRS, 2012).

Além disso, o uso de resíduos de tabaco na compostagem exige monitoramento rigoroso de parâmetros como pH, condutividade elétrica e relação C/N, além de ensaios de fitotoxicidade, para assegurar a qualidade do composto

final e seu uso seguro na agricultura. O aproveitamento desses resíduos contribui para a redução do volume enviado a aterros e para a mitigação de impactos ambientais associados ao descarte inadequado, alinhando-se aos princípios da economia circular e da gestão sustentável de resíduos (PAULETTI, 2022).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Local de pesquisa

O local de estudo está localizado no oeste do Paraná, no município de Medianeira, que conta com uma área territorial de 328,732 km² e uma população de 54.369 habitantes e está a 580 km da capital Curitiba (IBGE, 2022).

Em 2024, Medianeira apresentou um padrão de temperaturas médias que refletiu a variação climática típica da região. Os meses de dezembro a fevereiro registram os índices mais elevados, frequentemente ultrapassando os 30°C durante o dia. Por outro lado, os meses de junho e julho mostraram um leve declínio, com médias em torno de 15°C a 18°C, indicando a presença do inverno.

No que diz respeito à precipitação e umidade ao longo de 2024, Medianeira apresentou um padrão característico de chuvas concentradas, especialmente nos meses de verão. Dados do Climatempo (2024) indicam que os meses de janeiro e fevereiro foram os mais chuvosos, com precipitações que ultrapassaram 200 mm em alguns períodos, contribuindo para a umidade relativa do ar que frequentemente alcançou níveis acima de 80%. No entanto, durante os meses de junho e julho, a precipitação foi significativamente reduzida, resultando em períodos de seca e umidade abaixo de 50%.

4.2 Fontes de resíduos

Para a compostagem foram utilizadas quatro fontes de resíduos, sendo elas resíduos alimentares (RA), dejetos bovinos (DB), aparas de grama (AP) e tabaco (TA).

Os resíduos alimentares foram coletados no Restaurante Universitário da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), em Medianeira/PR, enquanto a outra parte foi coletada em uma cooperativa agroindustrial, também em Medianeira/PR.

Os resíduos eram formados em sua maior parte por verduras, legumes e cascas, como arroz, alface, cenoura, beterraba, casca de batata e de cebola. O dejetos bovinos foi coletado em uma propriedade rural de produção leiteira, em Medianeira/PR. As aparas de grama foram coletadas na UTFPR, em

Medianeira/PR e o tabaco foi fornecido pela Receita Federal para a realização desta pesquisa (Fotografia 1).

Fotografia 1 - Amostras dos resíduos utilizados para a montagem da leira de compostagem, onde AP (aparas de grama), DB (dejeito bovino), TA (tabaco) e RA (resíduos alimentares)



Fonte: A autoria própria (2024).

4.3 Caracterização dos resíduos

Antes do início da compostagem, foi realizada a caracterização físico-química dos resíduos orgânicos utilizados no experimento. As análises foram conduzidas nos laboratórios da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus Medianeira, e abrangeram parâmetros essenciais como pH, condutividade elétrica (CE), sólidos totais e voláteis (ST e SV), Carbono Orgânico Total (COT) e teor de nitrogênio total (NTK), junto da relação carbono/nitrogênio (C/N) (Tabela 1).

Tabela 1 - Caracterização físico-química dos resíduos orgânicos usados para compostagem

Substrato	pH	CE		ST (%)	SV (%bs)	SV (%bu)	COT (%ST)	NTK (%ST)	C/N
		(mS/cm)	Umidade						
Tabaco	5,5	6,4	10,5	89,5	83,1	74,3	46,1	1,88	25
Dejeito bovino	9,5	3,6	77	23	69,6	16	38,6	1,35	29

Alimentar	4,6	3,3	72,9	27,1	94,7	25,7	52,6	1,7	31
Gramma	-	-	5,1	94,9	90,4	85,8	50,2	1,58	32

Fonte: Autoria própria (2024).

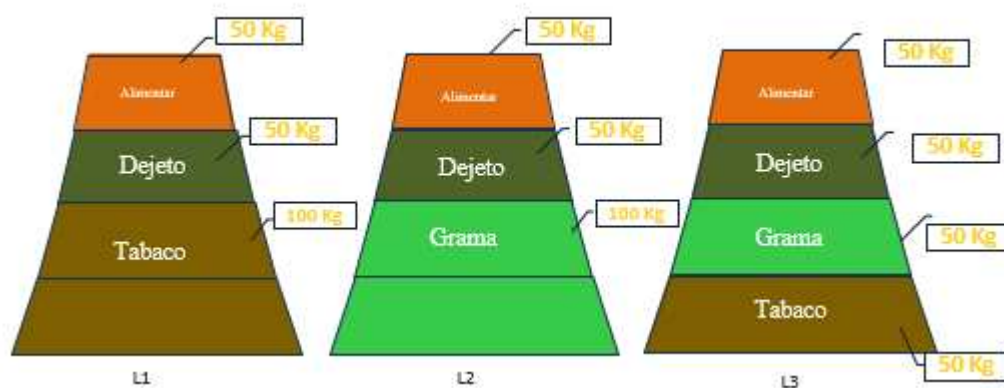
Segundo Sharma (1997) um dos principais indicadores considerados foi a relação Carbono/Nitrogênio (C/N), obtida através das análises de sólidos totais e teor de nitrogênio total, fator determinante para a eficiência do processo de compostagem, cuja faixa ideal situa-se entre 25:1 e 30:1. Essa avaliação permitiu o ajuste adequado das proporções dos resíduos na formação das leiras, otimizando as condições para a decomposição da matéria orgânica.

4.4 Compostagem

Após a caracterização dos resíduos foram montadas as leiras para a compostagem criando três delas com proporções diferentes de resíduos (Figura 2). As dimensões da leira variaram o comprimento de 2 a 2,5 metros, largura 1,2 a 1,5 metros e altura de 1,0 a 1,2 metros. A primeira leira (L1) composta de tabaco, restos de comida e dejetos. A segunda leira (L2) grama, restos de comida e dejetos, enquanto a terceira leira (L3) combinou tabaco, grama, restos de comida e dejetos (Figura 2).

As leiras foram montadas no pátio de compostagem da UTFPR, sendo uma área coberta, com piso impermeável e sob uma lona plástica (Fotografia 2). O revolvimento durante as primeiras duas semanas ocorreram três vezes semanais, para outras duas semanas o processo de revolvimento foi reduzido para duas vezes e em seguida uma vez semanal até a temperatura se estabilizar em relação à temperatura ambiente. A umidade era corrigida um dia após o revolvimento a partir dos resultados obtidos com o monitoramento de Sólidos Totais e Voláteis.

A massa total inicial das 3 leiras foi de 200 kg, adicionando-se água no início do processo para garantir teor de umidade de 60% visando promover adequada atividade biológica. Conforme a decomposição da matéria orgânica ocorreu, as leiras se tornaram mais densas e escuras, enquanto os parâmetros físico-químicos de monitoramento serviram como indicadores de etapa do processo.

Figura 2 - Composição das leiras de compostagem

Fonte: Autoria própria (2024).

Fotografia 2 - Leiras 1, 2 e 3 de compostagem após montagem e primeiro revolvimento

Fonte: Autoria própria (2024).

Fotografia 3 - Leiras 1, 2 e 3 de compostagem após 15 dias de revolvimento



Fonte: Aatoria própria (2024).

4.5 Métodos analíticos

4.5.1 Coleta de amostra

Para as análises, as amostras de composto foram coletadas antes de cada revolvimento de cinco pontos diferentes das três leiras, a fim de se obter uma amostra mais representativa da composição das mesmas, que foram armazenadas em sacos plásticos zip-lock e posteriormente triturados com auxílio de uma tesoura e de um liquidificador.

4.5.2 Temperatura

A temperatura foi aferida por um período de 60 dias após a montagem das leiras até que foi avaliado a estabilização da mesma utilizando termômetro digital do tipo espeto que foi inserido em 6 pontos diferentes ao redor das Leiras e 1 no meio onde foi calculada a média das temperaturas com a intenção de se obter um valor mais preciso da temperatura.

4.5.3 pH e CE

Para análise de pH foi utilizado um pHmetro de bancada com eletrodo de vidro, previamente calibrado com as soluções padrão de pH 4, pH 7 e pH 10. Para análise de CE foi usado um medidor de condutividade previamente calibrado com solução padrão.

Seguindo a metodologia proposta por Karanja *et al.* (2019) foi usado 10g de composto previamente triturado, que foram adicionados em um becker de vidro de 250ml contendo 90ml de água destilada, onde foram submetidos a agitação, por um agitador magnético, pelo período de 20 minutos e seguida de repouso de 15 a 20 minutos para que a parte sólida decante. Posteriormente, passados por uma peneira para retirar toda amostra sólida e então realizadas 3 leituras de pH e CE para cada amostra, onde entre uma leitura e outra os eletrodos foram lavados com água destilada, que por fim foi feito a média das leituras realizadas.

4.5.4 Sólidos Totais e Voláteis

A análise de Sólidos foi feita com o intuito de monitorar Sólidos Totais e a Umidade, seguindo a metodologia da APHA (2005). Levando em consideração que são 3 Leiras e o experimento feito em triplicata, inicialmente foram calcinados 9 cadinhos em mufla à 550 °C por 1h30, em seguida colocados no dessecador até resfriarem. Posteriormente os cadinhos foram pesados em balança analítica, peso o qual representa o P0, em seguida adicionado a amostra até que se preencha metade do cadinho e assim anotando o peso que representa o P1. Os cadinhos então colocados em estufa a 105 °C por um tempo de 8 à 12 horas, que após esse período foram retirados e colocados em dessecador, até que esfriaram até serem pesados, peso o qual representa P2. Por fim, os cadinhos foram levados até a mufla a 550 °C por 2h30, que finalizado o tempo foram transferidos para o dessecador novamente, até esfriar e então serem pesados novamente para se obter o P3.

Esse método foi realizado toda vez que as leiras foram revolvidas, mas feito em duplicata. Importante ressaltar, que todo esse processo foi feito fazendo o uso de uma pinça, para evitar o contato dos cadinhos com superfícies úmidas e assim impedindo que absorvam umidade.

4.5.5 Densidade

Após coletar as amostras das leiras em zip-locks, foi realizado um teste da relação peso (kg) por volume, preenchendo um becker de 500 mL de volume por análise. Avaliando assim o aumento da densidade de cada leira individualmente ao longo do processo.

4.5.6 Nitrogênio Total Kjeldahl

Para NTK foi pesado 0.2 g de amostra seca a 50°C em balança analítica e transferida para tubo Kjeldahl, em sequência pesado 0,6g de mistura catalítica (sulfato de potasio (K_2SO_4) p.a. + sulfato de cobre penta hidratado ($CuSO_{4.5}H_2O$) p.a.), 4 mL de H_2SO_4 p.a e agitado. Aquecendo o tubo em bloco digestor em rampa até atingir uma coloração esverdeada clara, em seguida resfriados por 15 minutos e jogando um pouquinho de água destilada para não cristalizar.

Após a etapa da digestão, vem a de destilação, onde foi preparado um erlenmeyer com 15 mL de solução ácido bórico de 4%. Adaptando o tubo Kjeldahl no destilador e adicionando 25 mL da solução de hidróxido de sódio 40% até que a mesma se tornou negra, por fim titulado com solução de ácido clorídrico 0,1 N (0,1 mol/L) até a viragem do indicador (verde à leve tom róseo - avermelhado) e anotando o volume gasto do titulante. Processo esse que foi repetido para cada amostra em triplicata.

4.5.7 Análises Microbiológicas

Para as análises microbiológicas, foi utilizado o método do Número Mais Provável (NMP), o qual o monitoramento foi realizado no momento de início e ao final da compostagem.

No primeiro passo do processo, foi preparado os meios de cultura para a realização das análises. As coletas foram realizadas após o revolvimento, em 6 pontos diferentes de cada leira, a fim de se obter uma amostra homogênea. Armazenados em saco ziplock, foram levadas para laboratório, onde triturados e pesados 25g de amostra, em seguida adicionada a frasco contendo 225mL de Água Peptonada Tamponada (ATP) e incubada a 37°C por 24 horas, conforme apresentado na Fotografia 5.

Fotografia 5 - Preparo da incubação de amostra em Água Peptonada Tamponada utilizado para as análises microbiológicas.



Fonte: Autoria própria (2024)

Para quantificação de *Salmonella* spp. foram utilizados 12 tubos de ensaio contendo 3 mL de caldo Rappaport para cada amostra analisada, onde os três primeiros tubos receberam cada um 20 uL de amostra contida no frasco de ATP, após agitar, foi coletado 20 uL desses primeiros tubos e passado para os três tubos de ensaio seguintes e assim sucessivamente, após isso foram incubados a 41 °C por 24h, conforme metodologia recomendada pela ISO 6579/2002 para detecção de *Salmonella* em alimentos e amostras ambientais (ISO, 2002).

Após esse período, foi analisado a mudança de coloração, podendo ser identificado cor branca ou azul claro, sendo estas um indicativo de crescimento bacteriano, então realizado a semeadura em placas de petri contendo *Ágar Salmonella Shigella* (SS) para a confirmação de presença ou ausência de *Salmonella* spp. que foi submetido à incubação a 37 °C por 24h e após isso verificado a formação de colônias na coloração preta.

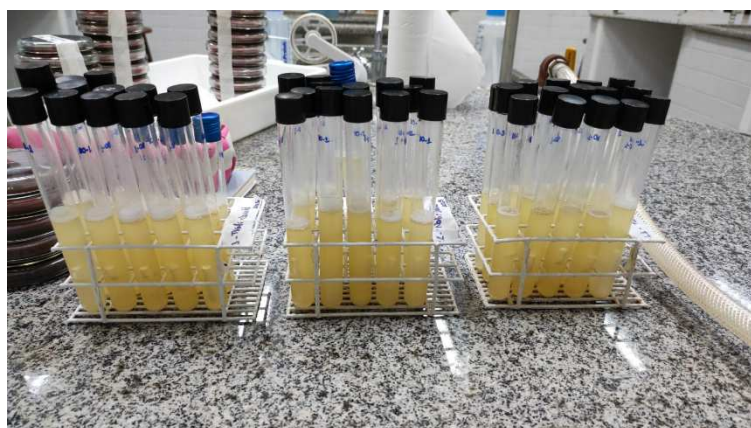
Para a quantificação de coliformes termotolerantes foi utilizado método da APHA (2021), que detalha a técnica do número mais provável (NMP/g), e a técnica dos tubos múltiplos de acordo com Standard methods for the examination of water and wastewater.

A análise foi iniciada pela etapa presuntiva, onde para cada amostra foram utilizados 15 tubos contendo 10 mL de caldo Lauril Sulfato Triptose (LST) e tubos

de durham, que foram pipetados a quantidade de 1000 uL, 100 uL e 10 uL em 5 tubos, totalizando os 15, sendo então incubados a 35 °C por 24h.

Após esse período, foram verificados os tubos que apresentavam formação de gás e alteração na turbidez, parâmetros indicativos de microrganismos fermentadores de lactose, conforme apresentado na Fotografia 6.

Fotografia 6 - Tubos de ensaio com Caldo EC positivos para provar a eficiência da redução de coliformes através da compostagem.



Fonte: Autoria própria (2024)

Em seguida foi realizada então a etapa de confirmação de coliformes termotolerantes, onde os tubos de LST positivos foram repicados para tubos contendo 10 mL de caldo *Escherichia coli* (EC) e incubados a 45 °C por 24h.

Posteriormente, foram então analisados os tubos que apresentaram formação de gás e alteração na turbidez, a partir desses tubos foi realizado a etapa de confirmação de *Escherichia coli*, onde foi feito o esgotamento em estrias em placas contendo meio de cultura Eosina Azul Metileno (EMB), que foram submetidas a incubação a 37° por 24h. Por fim, foi verificada a formação de colônias verde metalizadas, as quais confirmam presença de *Escherichia coli*, conforme a Fotografia 7.

Fotografia 7 - Placas de Eosina Azul Metileno (EMB) antes e após o período de incubação



Fonte: Aatoria própria (2024).

4.5.8 Ensaio de fitotoxicidade

Para a avaliação da fitotoxicidade, foi utilizado o método baseado na germinação de sementes de alface (*Lactuca sativa L.*). Inicialmente, cerca de 1 kg de amostra de cada leira foi triturada com o auxílio de um liquidificador. O material triturado foi peneirado em duas malhas, com aberturas de 20 mm e 3,5 mm, respectivamente.

A seguir, 5 g das amostras foram pesadas e transferidas para um béquer, adicionando-se 50 mL de água destilada. A mistura foi agitada por 30 minutos em um agitador magnético. Após esse tempo, o material foi filtrado utilizando funil acoplado a um frasco Erlenmeyer, contendo algodão no fundo e papel filtro.

O filtrado obtido foi diluído em balão volumétrico com água destilada, nas proporções de 100:0, 10:90 e 1:99 (digestato:água).

O ensaio foi realizado em placas de Petri, onde foi preparado o ambiente para germinação. A bancada utilizada para o preparo das placas foi higienizada com álcool e água sanitária. Cada placa foi montada com papel filtro umedecido com 3 mL da diluição correspondente do digestato, e posteriormente foram adicionadas 10 sementes de alface por placa.

As placas foram então encaminhadas para incubação em câmara de crescimento do tipo BOD, sob temperatura de 25 °C, com fotoperíodo de 12 horas de luz e 12 horas de escuro, durante um período de 72 horas.

Finalizado o período estipulado para germinação, os tratamentos foram avaliados. Para as medições, foram selecionadas de maneira aleatória cinco

plântulas germinadas de cada tratamento, nas quais se determinou o comprimento do hipocótilo e da radícula utilizando um paquímetro digital.

As medições foram registradas considerando o ponto de transição entre o hipocótilo e a radícula, ou seja, do coleto até a ponta da raiz, conforme descrito por Silva e Mattiolo (2010). Após o registro dos dados, foi realizado o cálculo do índice de germinação (IG).

Seguindo a metodologia descrita por Belo (2011), os resultados puderam ser comparados a uma escala qualitativa de fitotoxicidade utilizada para indicar o grau de maturação do substrato.

4.5.9 Ensaio de germinação

Para avaliar a qualidade agronômica dos compostos foram preparados digestatos da mesma forma que foi realizado no ensaio de fitotoxicidade, diferenciando apenas que não foram realizadas diluições.

O experimento foi conduzido em bandejas plásticas utilizadas para produção de mudas de hortaliças, cujas células possuem orifícios na base. Esses orifícios foram vedados para impedir a perda de material sólido ou líquido. Utilizou-se areia como substrato, cada célula da bandeja, com capacidade de 22,5 mL, foi preenchida com a areia e recebeu duas sementes de alface enterradas a aproximadamente 0,5 cm de profundidade. Cada tratamento foi montado com cinco repetições.

Após a sementeira, as células foram irrigadas com os respectivos digestatos, e as bandejas foram acondicionadas em estufa tipo B.O.D. (modelo SOLAB/SL-225), mantida a 19 °C, com fotoperíodo de 16 horas de luz e 8 horas de escuro. Durante o período experimental de 30 dias, as bandejas foram rotacionadas diariamente para garantir uniformidade na exposição à luz.

A irrigação foi realizada três vezes por semana com 3 mL de água destilada e uma vez por semana com a diluição correspondente do digestato, de forma a manter condições adequadas para germinação e crescimento das mudas.

Ao final dos 30 dias, foram avaliados os seguintes parâmetros fitométricos: altura da parte aérea (HPA), altura da raiz (HR), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa fresca da raiz (MFR), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR) e diâmetro do coleto (DC). As alturas da parte aérea e da raiz foram medidas com régua milimetrada, do colo até o ápice da planta e da base do

colo até a extremidade da raiz, respectivamente. O diâmetro do coleto foi determinado com paquímetro digital com precisão de 0,01 mm. Em seguida, a parte aérea e a raiz foram separadas por corte na base do colo, lavadas em água corrente e acondicionadas em sacos de papel kraft. As amostras foram então secas em estufa com circulação de ar forçado a 60 °C por 24 horas ou até atingirem massa constante.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

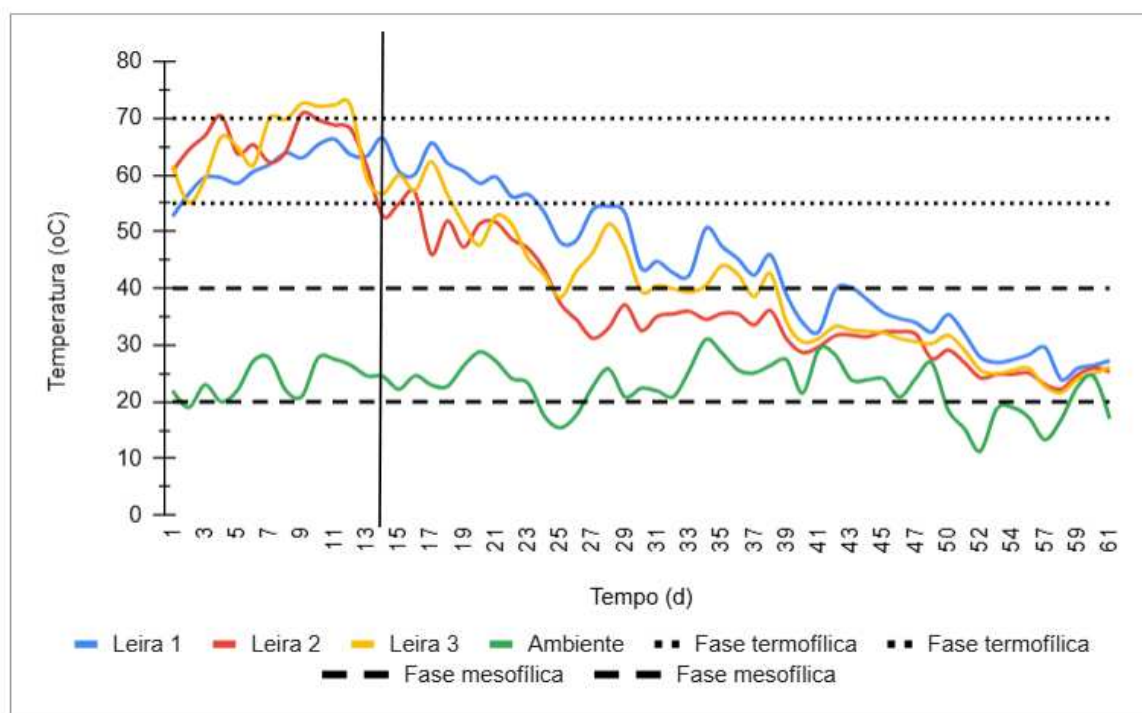
5.1 Caracterização dos substratos

O resíduo de tabaco apresentou um pH de 5,5 e uma relação carbono/nitrogênio (C/N) de 25. Em contraste, o dejetos bovino teve um pH de 9,5 e uma relação C/N de 29. O resíduo alimentar apresentou um pH similar ao do tabaco, mas com uma relação C/N de 31. Em relação ao resíduo de aparas de grama, não foi possível medir o pH, devido à sua consistência física, que dificultou a dissolução em água e a leitura no pHmetro, já a relação C/N obtida foi de 32. Esses dados foram fundamentais para estabelecer a composição e manejo das leiras, garantindo um equilíbrio nos parâmetros.

5.1.1 Temperatura

No início do processo até cerca do dia 25 de operação, as temperaturas das leiras L1, L2 e L3 variaram entre 50°C e 70°C (Gráfico 1).

Gráfico 1 - Temperatura das leiras de compostagem como indicador de maturação e fim de atividade biológica

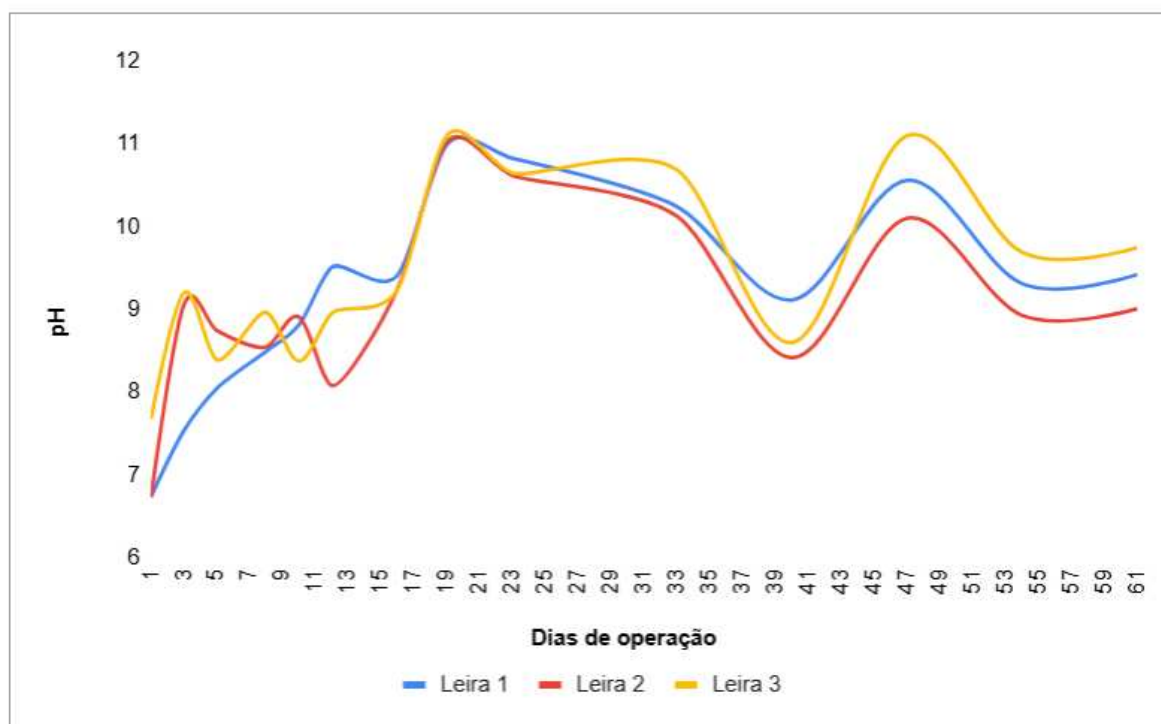


Fonte: Aatoria própria (2025).

5.1.2 pH E CE

No início do processo de compostagem (Gráfico 2), os valores de pH foram de 6,74 (L1), 6,73 (L2) e 7,67 (L3). Após 19 dias de operação, as leiras alcançaram um pico de 10,99 (L1), 11,02 (L2) e 11,10 (L3).

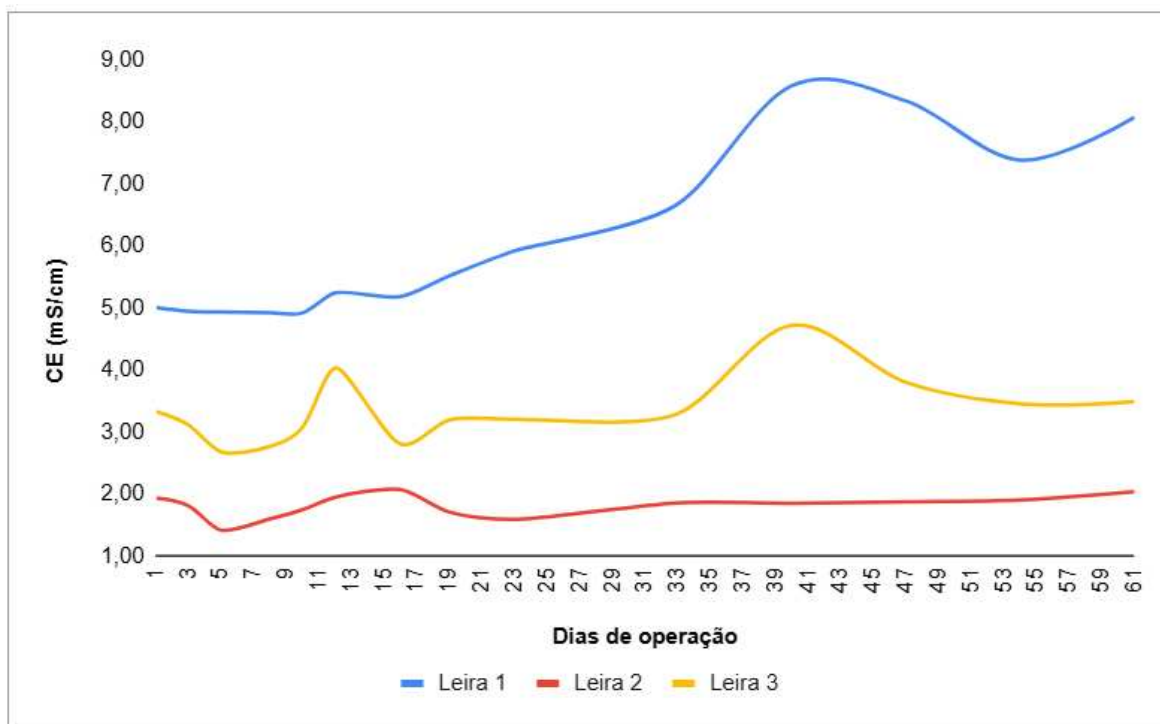
Gráfico 2 - pH ao longo do processo de compostagem indicando maturação e estabilização das leiras



Fonte: Autoria própria (2025).

Ao começo do processo de compostagem, a CE da leira 1 estava em 5,00 mS/cm, da leira 2 estava em 1,95 mS/cm e da leira 3 em 3,20 mS/cm e ao 60º dia a CE da leira 1 estava em 8,00 mS/cm, da leira 2 em 2,10 mS/cm e da leira 3 em 3,55 mS/cm (Gráfico 3).

Gráfico 3 - Leitura de Condutividade Elétrica ao longo do processo de compostagem indicando a salinidade excessiva do resíduo de tabaco

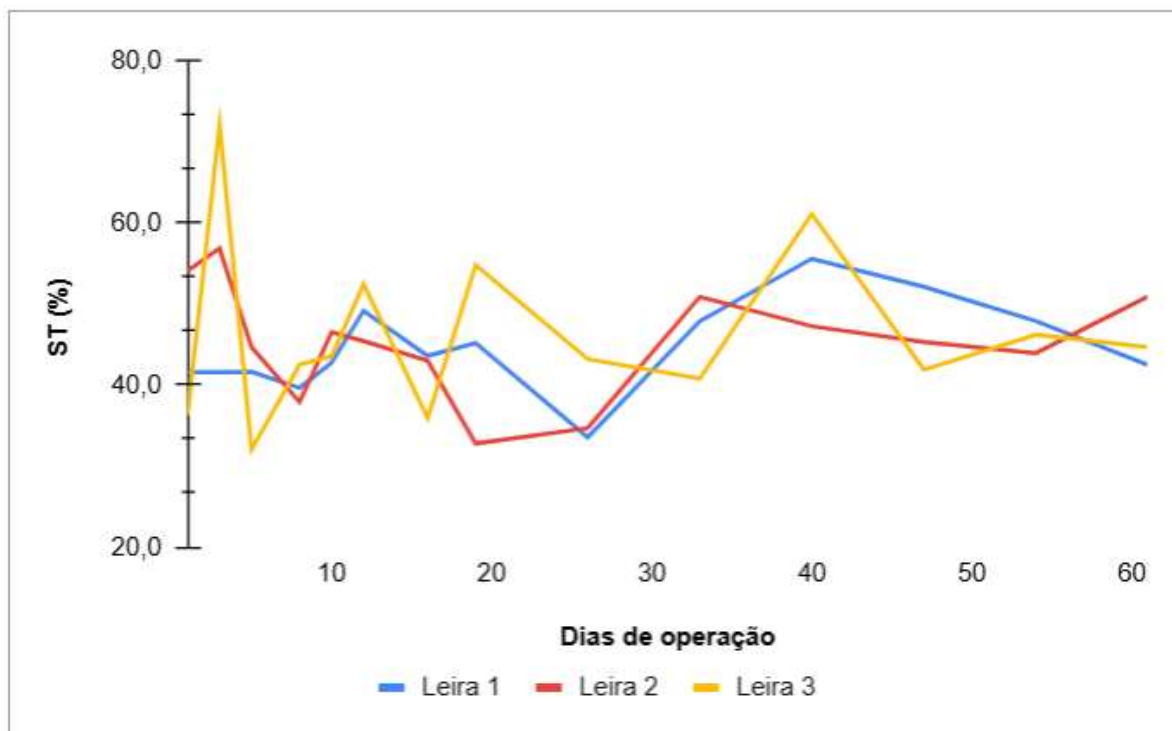


Fonte: Autoria própria (2025).

5.1.3 Sólidos Totais e Voláteis

Quanto aos Sólidos Totais (Gráfico 4), ao começo do processo (1º dia) a leira 1 obteve a média de 41,6%, enquanto a leira 2 54,1% e a leira 3 36,3%. Já ao fim do processo (61º dia) os valores obtidos foram de 42,5% para leira 1, 50,9% para leira 2 e 44,7% para leira 3.

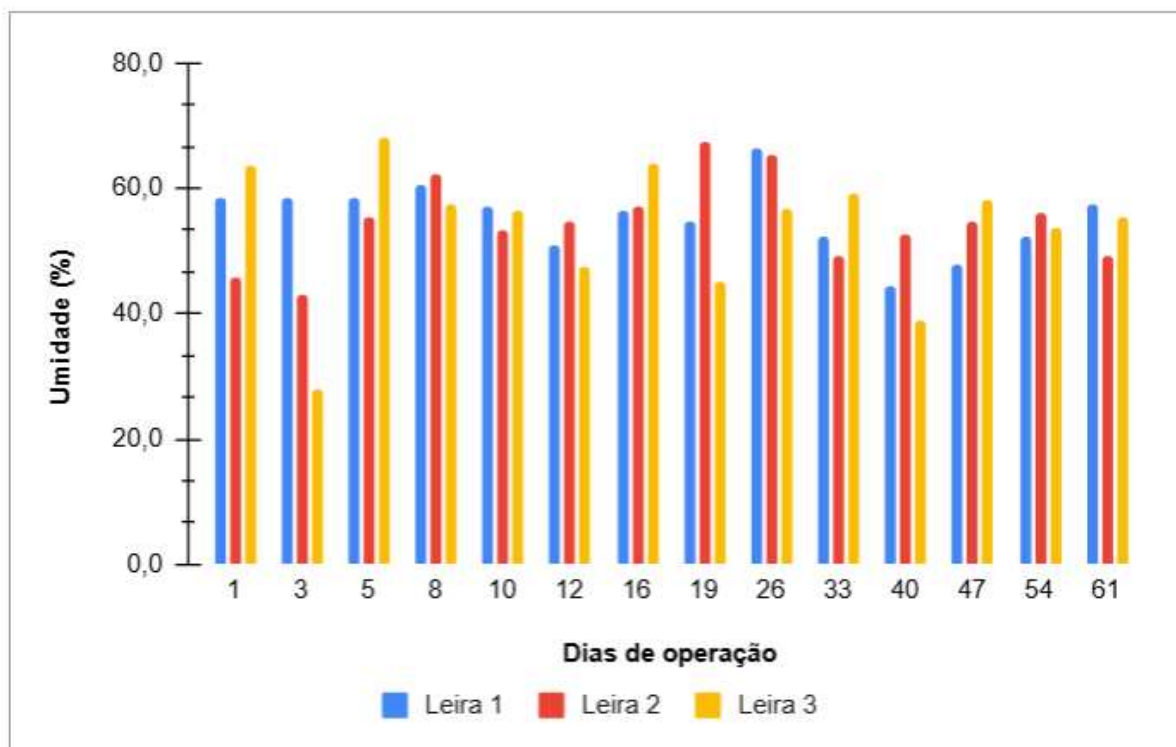
Gráfico 4 - Monitoramento de sólidos totais (ST) ao longo do processo de compostagem indicando estabilização das leiras



Fonte: Autoria própria (2025).

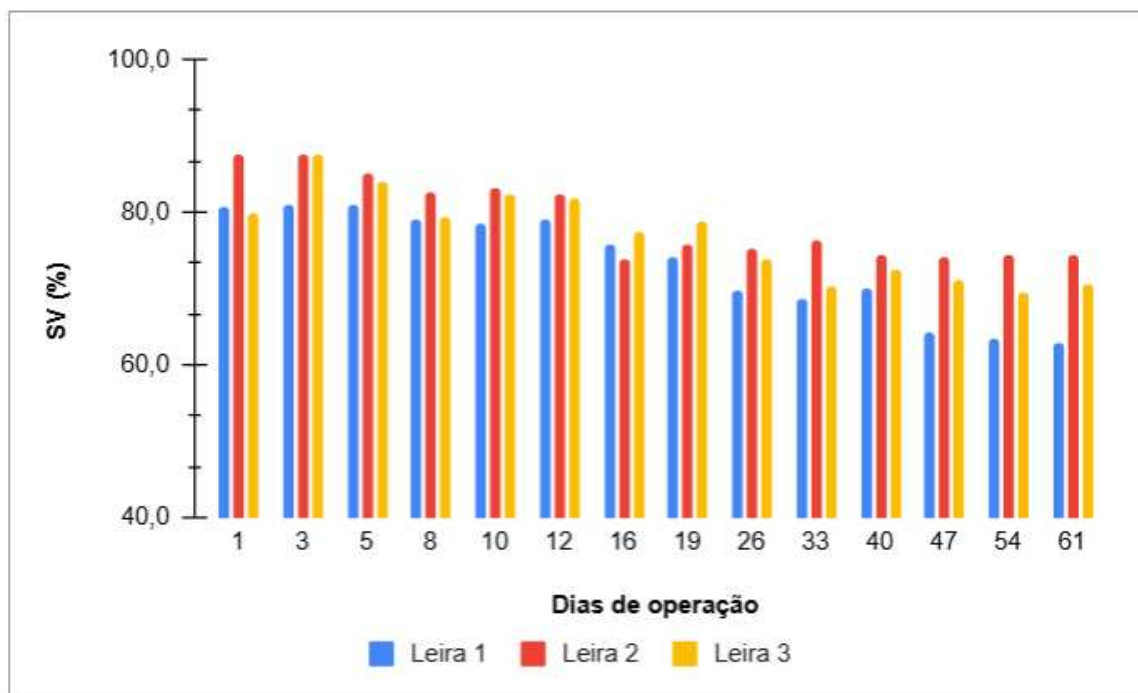
No início do processo de compostagem, a umidade das leiras estava em L1 58,4%, L2 45,9% e L3 63,7% no 1º dia. Durante o processo de compostagem, foi realizado o monitoramento da umidade, a qual foi corrigida para que se mantivesse na faixa de 50 a 60% até que se estabilizasse, pois à medida que a temperatura da leira aumentava progressivamente, a água evapora e é consumida, resultando em uma umidade ao final do processo de L1 57,5%, L2 49,1 e L3 55,3% no 61º dia (Gráfico 5).

Gráfico 5 - Monitoramento da umidade ao longo do processo da compostagem demonstrando que foi devidamente controlado ao longo do processo para obtenção dos melhores dados possíveis



Fonte: Autoria própria (2025).

Gráfico 6 - Monitoramento de sólidos voláteis (SV) ao longo do processo de compostagem indicando estabilização das leiras

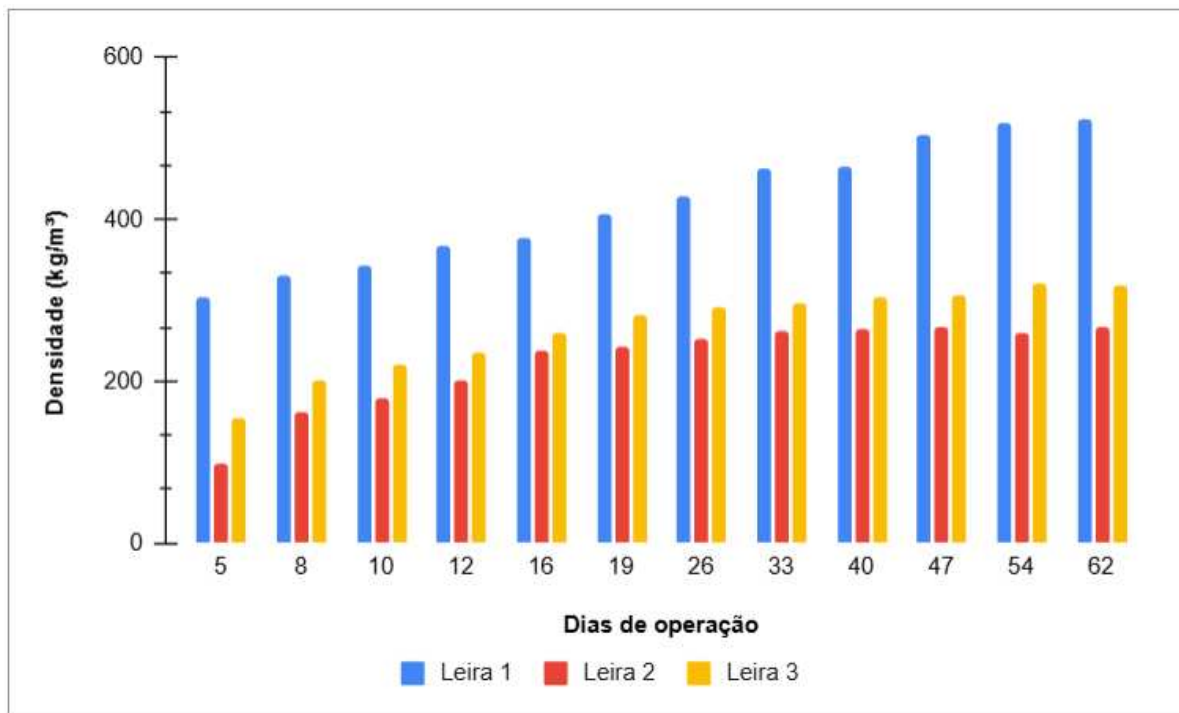


Fonte: Autoria própria (2025).

5.1.4 Densidade

No 5º dia de operação, a leira 1 (tabaco como agente estruturante) mostrou-se mais densa por conta do tabaco, enquanto a leira 2 (grama como agente estruturante) menos densa por causa da grama, e como esperado a leira 3 (mistura de tabaco e grama como agentes estruturantes) se encontrando em um meio-termo entre as duas (Gráfico 7). Conforme chegou ao fim do processo no 62º dia a leira 1 e 3 tiveram seus valores de densidade (kg/m^3) quase duplicados enquanto a leira 2 praticamente triplicou.

Gráfico 7 - Aumento da densidade das leiras ao longo do processo de compostagem provando que com o tempo a estabilização das leiras deixa os resíduos mais densos

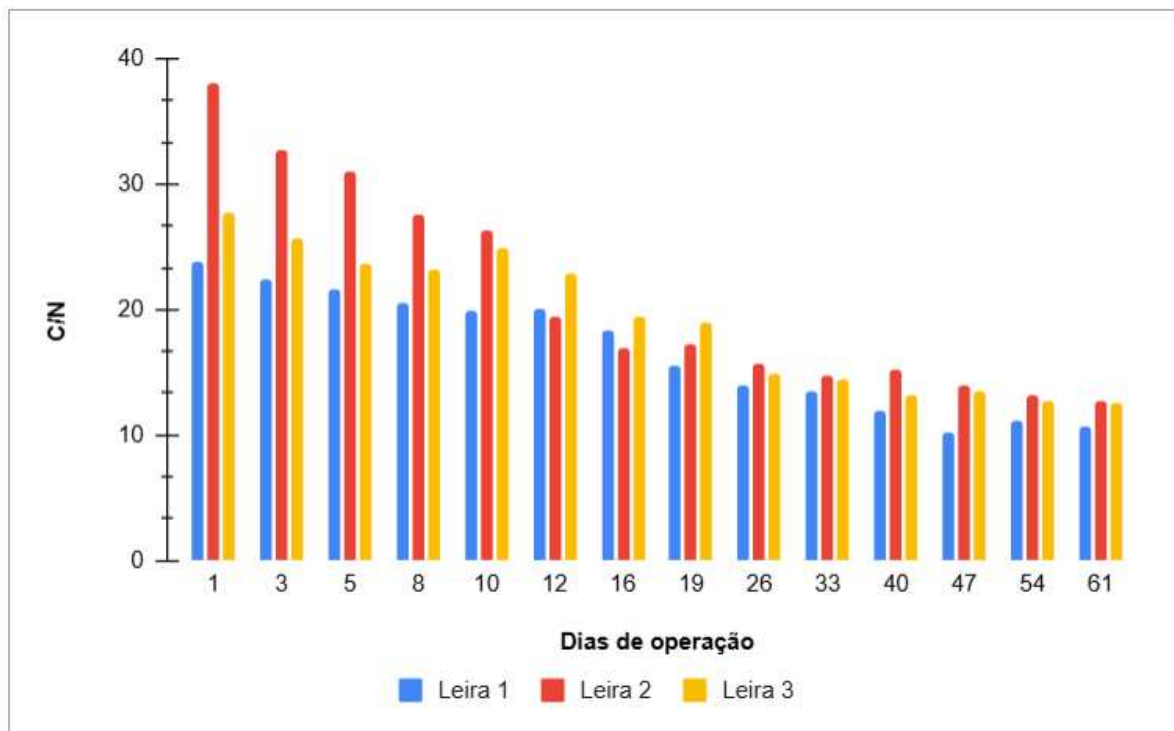


Fonte: Autoria própria (2025).

5.1.5 Nitrogênio Total Kjeldahl

A avaliação de NTK e o cálculo de COT foram realizados com o objetivo de usar a relação C/N como um parâmetro indicativo do equilíbrio dos substratos na leira (Pedroso, 2019). O valor de NTK começou em 1,89%ST (L1), 1,28%ST (L2) e 1,61%ST (L3), alcançando 2,85%ST (L1), 2,86%ST (L2) e 2,70%ST (L3) no 33º dia. A relação C/N da leira 1 começou em 24 e caiu para 11 no 54º dia, enquanto a leira 2 começou em 38 e reduziu para 13 no mesmo dia, e a leira 3 passou de 28 para 13 (Gráfico 8).

Gráfico 8 - Declínio da relação C/N ao longo do processo de compostagem



Fonte: Autoria própria (2025).

5.1.6 Análises Microbiológicas

Na primeira coleta, realizada no início da montagem das leiras, foram analisadas amostras para Coliformes Termotolerantes e *Salmonella* spp. Observou-se uma alteração de coloração em todos os 12 tubos das amostras L1, L2 e L3. Após o esgotamento em estrias, todos os 12 tubos também apresentaram evidências da presença de *Salmonella* spp., devido a formação de colônias negras visíveis nas Placas de Petri (Fotografia 8).

Fotografia 8 - Placa de petri sugestivas a presença de *Salmonella* spp



Fonte: Aatoria própria (2025).

Após um período de 60 dias, um novo teste foi realizado, e não foram observadas alterações de coloração em nenhum dos tubos das três amostras, indicando a ausência de *Salmonella* spp. Esse resultado está em conformidade com a legislação vigente, a Resolução CEMA N° 90, que exige que o composto final esteja livre de *Salmonella* spp. para uso em substratos para plantas, condicionadores de solo e fertilizantes orgânicos.

Nos testes para Coliformes Termotolerantes, foi confirmada a presença de *Escherichia coli*. Para as amostras L1, L2 e L3, o valor inicial foi superior a $1,6 \times 10^5$ NMP/g de massa seca. Após os 60 dias, um novo teste revelou uma significativa redução nos níveis de Coliformes: 1600 NMP/g para L1, 24 NMP/g para L2 e 48 NMP/g para L3. De acordo com a Resolução CEMA N° 90, que estabelece o limite máximo de Coliformes Termotolerantes (NMP/gMS) para uso em substratos para plantas, condicionadores de solo e fertilizantes orgânicos, o valor deve ser superior a 1000 NMP/g. Assim, apenas a amostra L1 não atende aos requisitos da legislação, o que indica que o processo de sanitização foi insuficiente para eliminar microrganismos indicadores de contaminação.

Tabela 2 - Resultados de C. Termotolerantes no início e ao final do processo de compostagem

Amostra	Coliformes Termotolerantes Início (1º dia) (NMP/gMS)	Coliformes Termotolerantes Final (60º dia) (NMP/gMS)
L1	>1600	1600
L2	>1600	24
L3	>1600	48

Fonte: Autoria própria (2025).

5.2 Discussões

A compostagem é um processo biológico que promove a degradação controlada da matéria orgânica, transformando resíduos em um material estabilizado, rico em nutrientes e adequado para uso como fertilizante. O sucesso desse processo depende da combinação equilibrada dos materiais utilizados, pois cada tipo de resíduo contribui com características específicas que influenciam a decomposição e a qualidade do composto final.

O tabaco, por exemplo, é rico em nitrogênio e pode ajudar a acelerar a decomposição, além de fornecer nutrientes essenciais ao solo. Os dejetos bovinos são uma excelente fonte de matéria orgânica, contribuindo para a aeração do composto e enriquecendo-o com fósforo e potássio, elementos fundamentais para o crescimento das plantas. Já os resíduos alimentares, compostos por restos de frutas e verduras, são ricos em nutrientes e auxiliam na manutenção da umidade, favorecendo a atividade microbiana durante o processo. A grama cortada atua como uma importante fonte de carbono, equilibrando a relação carbono-nitrogênio e melhorando a estrutura física do material, o que resulta em maior aeração e drenagem.

Segundo Heck (2009), a faixa ideal para a compostagem é de 60°C a 70°C após favorecer o desenvolvimento dos microrganismos e a degradação aeróbica, como bactérias do gênero *Bacillus* e actinobactérias, além de alguns fungos resistentes ao calor. Esses microrganismos são responsáveis pela degradação intensa da matéria orgânica e pela sanitização do material. Ao término do

processo, as temperaturas ambiente e do núcleo da leira se igualaram, sinalizando o término da atividade biológica.

O aumento do pH pode ter ocorrido devido ao rápido consumo de ácidos orgânicos de fácil degradação, provenientes principalmente dos resíduos alimentares, juntamente com a mineralização dos nutrientes. A mineralização é mais evidente em resíduos específicos, como o tabaco, pois gera uma quantidade maior de amônia, que é crucial para transformar os nutrientes disponíveis no composto final e aprimorar sua qualidade como fertilizante. Segundo Costa (2009), a matéria orgânica com pH variando entre 3 e 11 é passível de compostagem. Contudo, valores próximos à neutralidade, como entre 5,5 e 8,0, são considerados ideais, pois é a faixa que favorece os microrganismos que atuam na decomposição.

Kiehl (1998) afirma que a CE é um indicador de maturação de compostagem, sendo que esta não deve ultrapassar 4 mS/cm (Pereira, 2021). Os resultados obtidos foram consistentes com as expectativas: a leira com tabaco (L1) apresentou condutividade elétrica (CE) bastante elevada, enquanto a leira com grama como agente estruturante (L2) mostrou uma CE ideal. Já a leira com a mistura dos dois materiais (L3) registrou um valor intermediário.

É evidente que os níveis de sólidos voláteis (SV) diminuíram conforme a degradação da matéria orgânica progrediu, em razão da liberação de CO₂ e água (Figura 9). Isso resultou em um aumento na proporção de sólidos fixos (SF) na massa em decomposição. Esse processo é significativo, pois permite a concentração de micronutrientes minerais, que podem agregar valor ao composto final.

Os resultados de NTK eram previsíveis, pois o carbono foi liberado da leira na forma de CO₂, enquanto o nitrogênio se tornou mais concentrado, aumentando o valor agrônômico do composto gerado. A diminuição do carbono orgânico total (COT) apresentou um padrão semelhante ao da redução dos sólidos voláteis (SV), uma vez que esse valor foi obtido a partir da relação com os resultados dos SV, conforme a metodologia utilizada.

De acordo com Oliveira (2019), a relação C/N de uma leira está diretamente ligada ao seu processo de decomposição e mineralização. Essa contínua diminuição do valor indica que as taxas de decomposição aumentaram, o que sugere mineralização, sendo benéfico para a leira, pois representa um indicador de fonte de nutrientes para o solo, especialmente em relação ao nitrogênio orgânico.

Durante a fase mesofílica da compostagem, observou-se a decomposição dos resíduos orgânicos, com aumento da atividade microbiana e elevação gradual da temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$ para $45 \pm 3^\circ\text{C}$. Na fase termofílica, a temperatura atingiu valores entre 55 e 75°C (Figura 4), favorecendo a degradação de moléculas complexas e a eliminação de patógenos. Durante a maturação, a temperatura declinou para $30 \pm 2^\circ\text{C}$, indicando o término da atividade biológica e estabilização do material orgânico. A variação térmica é influenciada por fatores locais, como a proximidade de áreas verdes e corpos d'água, que ajudam a moderar as temperaturas extremas. O monitoramento contínuo das temperaturas é essencial para entender as tendências climáticas e suas implicações para a agricultura e a saúde pública na região.

O pH aumentou de uma faixa de 8 a 10 para 10 a 12 até se estabilizar novamente em 8 a 10 (Figura 5), devido ao consumo de ácidos orgânicos e mineralização de nutrientes. Este incremento foi particularmente acentuado em resíduos de tabaco, que liberam maiores quantidades de amônia, contribuindo para a disponibilidade de nutrientes no composto final. A relação C/N reduziu-se de 28:1 para 11:1, atendendo aos valores recomendados pela legislação vigente.

Após o começo do processo de compostagem registrou-se aumento da densidade da leira 2 e 3 que foram de uma faixa de 100 a 150 kg/m^3 para 150 a 200 kg/m^3 (Figura 10), facilitando o manejo e comercialização do produto. Paralelamente, observou-se a redução de 80 a 85% para 63 a 75% nos voláteis (Figura 9), refletindo a fixação de carbono. O monitoramento contínuo manteve a umidade entre 50 - 60% (Figura 8), evitando comprometer a eficiência do processo.

As análises microbiológicas confirmaram que o processo de compostagem, quando adequadamente conduzido, é eficaz na sanitização dos resíduos orgânicos. A completa eliminação de *Salmonella* spp. ao final do processo em todas as leiras está diretamente relacionada à manutenção de temperaturas superiores a 55°C por tempo suficiente durante a fase termofílica, conforme preconizado por Haug (1993) e validado por Andreoli et al. (2001). Essa elevação térmica é essencial para a desnaturação de proteínas e destruição de patógenos, o que indica que o manejo adotado — revolvimentos regulares e correções de umidade — foi eficiente na promoção da degradação aeróbia.

A persistência de coliformes termotolerantes na L1 (1600 NMP/g), embora menor do que no início, sugere que a composição inicial rica em tabaco pode ter

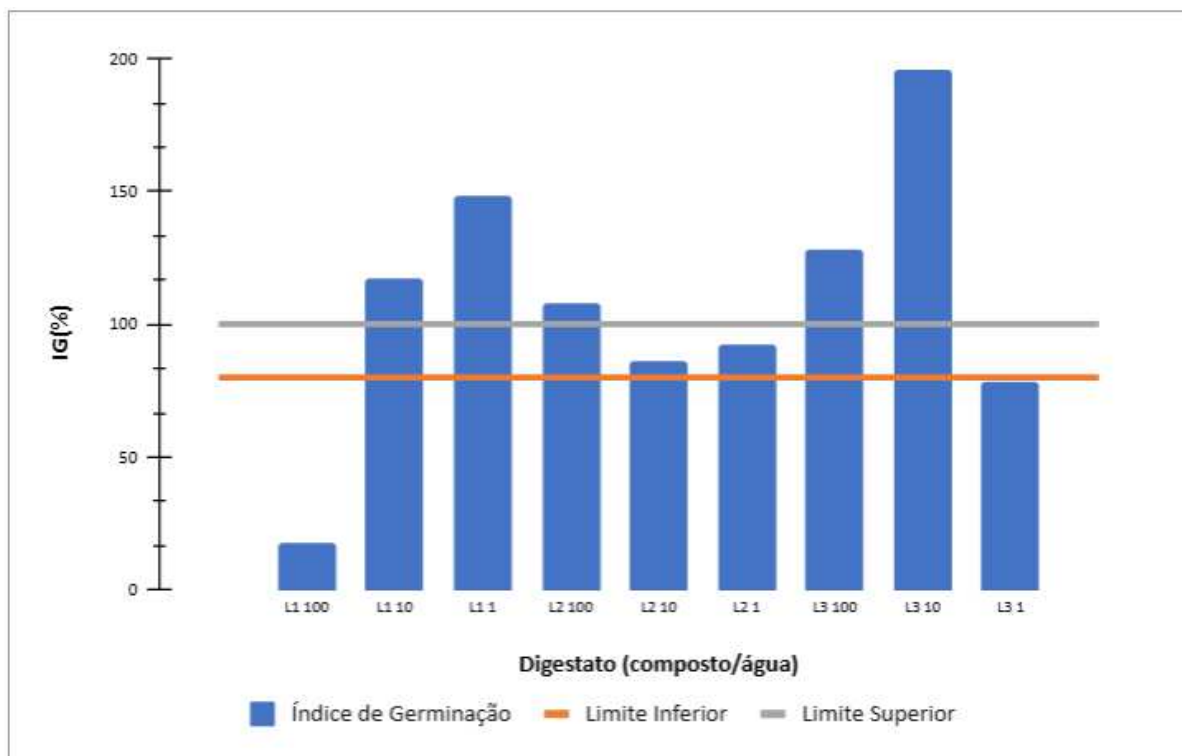
interferido na eficiência da sanitização. Essa hipótese é reforçada pelo fato de que o tabaco, apesar de apresentar alto teor de nitrogênio, também contém alcaloides como a nicotina, que podem afetar negativamente a atividade de microrganismos benéficos e comprometer o equilíbrio microbiano do processo (ROEHRS, 2012). Já nas leiras L2 e L3, compostas com grama como agente estruturante — rica em carbono e com boa relação C/N —, a redução dos coliformes foi mais acentuada, demonstrando que o equilíbrio entre carbono e nitrogênio favoreceu a atividade microbiana desejável e, por consequência, uma sanitização mais eficaz.

A queda da relação C/N ao longo do tempo também indica intensa mineralização da matéria orgânica, o que está associado à alta atividade microbiana aeróbica, um fator que contribui para a eliminação de patógenos (Oliveira et al., 2019). Dessa forma, os resultados microbiológicos reforçam que a eficácia sanitária da compostagem depende não apenas do tempo e temperatura, mas também da natureza e proporção dos materiais utilizados, sendo o uso exclusivo de resíduos como o tabaco uma limitação potencial ao sucesso do processo se não houver associação com fontes estruturantes ricas em carbono.

5.3 Ensaio de fitotoxicidade e seus efeitos

Os resultados mostraram que, em concentrações adequadas (1-10%), os digestatos apresentaram efeitos positivos, estimulando a germinação e promovendo um crescimento vigoroso das plântulas (Gráfico 9). No entanto, em concentrações elevadas (20-100%), o digestato demonstrou efeitos fitotóxicos, resultando em redução da taxa de germinação e desenvolvimento das raízes. A análise dos dados sugere que a aplicação controlada de digestato pode ser benéfica, mas deve ser monitorada para evitar efeitos adversos nas culturas.

Gráfico 9 - Potencial fitoestimulante do digestato demonstrando eficiência com base no limite inferior e superior do índice de germinação ideal



Fonte: Autoria própria (2025).

Os ensaios de fitotoxicidade indicaram que os digestatos da leira 2 se enquadram melhor dentro do limite inferior e superior da análise com o potencial fitoestimulante em cerca de 30%, enquanto as da leira 1 e 3 de sementes de alface (*Lactuca sativa*) ficaram fora desses limites e quanto comprimento radicular em comparação ao grupo controle os dados obtidos de maior significância foram da leira 2, enquanto a leira 1 e 3 germinaram menos (Tabela 3).

Tabela 3 - Média das folhas, raízes, parte aérea e diâmetro das amostras da Leira 1, Leira 2, Leira 3, Controle com Fertilizante e Controle com Água submetidas ao Ensaio de Germinação

Amostra	Folhas (un)	Raiz (mm)	Aérea (mm)	Diâmetro (mm)
L1	4,2	17,8	28,8	0,9
L2	5,4	29,4	50,6	1
L3	4,6	23	47,6	1
CTF	4	15	43	1
CTA	4,2	22,4	47,4	1

Fonte: Autoria própria, (2025).

Nota: L1 = leira 1, L2 = leira 2, L3= leira 3, CTF= Controle com fertilizante, CTA= Controle com água destilada.

5.4 Ensaio de germinação e seus efeitos

O tratamento com grama (L2) se destacou, apresentando o maior número médio de folhas, entre 5 e 6 por plântula (Tabela 3), o que indica um crescimento foliar vigoroso. Além disso, as raízes das plântulas tratadas com grama foram as mais longas, variando de 19 mm a 40 mm, sugerindo que elas têm um sistema radicular bem desenvolvido.

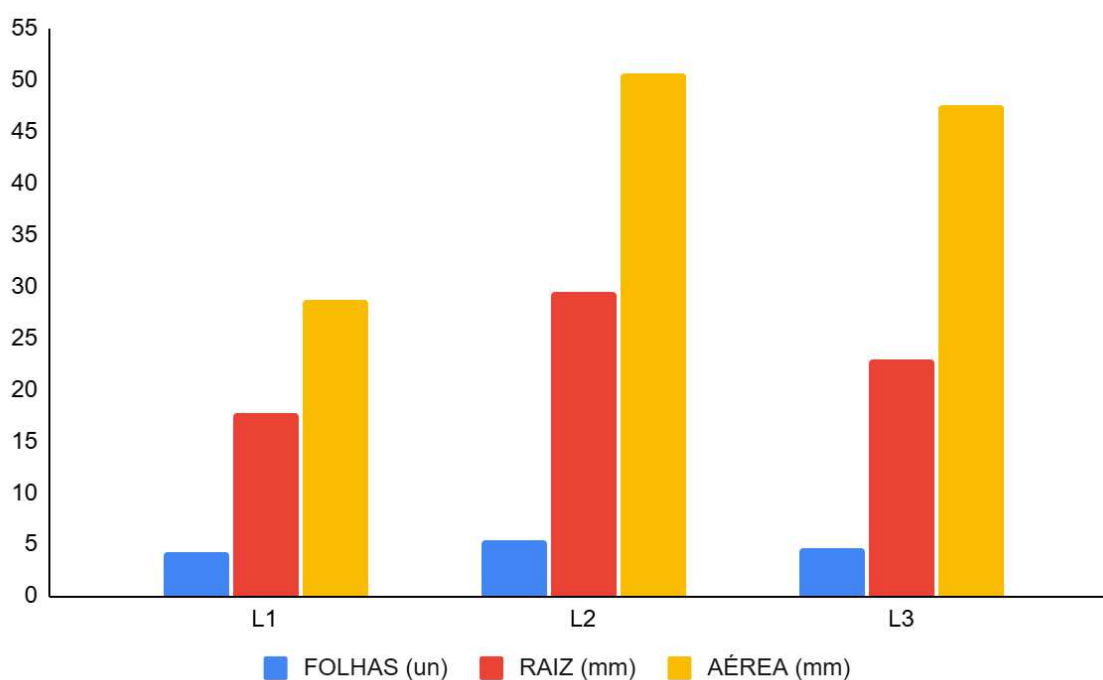
A parte aérea também se destacou, com alturas entre 46 mm e 55 mm, mostrando um crescimento vertical robusto. O diâmetro do caule foi consistentemente maior, com uma média de 1 mm, reforçando que a grama oferece um ambiente rico em nutrientes, ideal para o desenvolvimento das plantas. Esse bom desempenho pode ser explicado pelo fato de a grama cortada ser rica em nitrogênio, um nutriente essencial para o crescimento das plantas, pois participa da formação de aminoácidos, proteínas e clorofila, além de estimular o crescimento vegetativo, favorecendo a produção de folhas e o vigor geral das plântulas.

Em contraste, o tratamento com tabaco (L1) apresentou resultados menos expressivos. O número de folhas variou entre 3 e 5, indicando um crescimento foliar menos vigoroso. As raízes foram mais curtas, com comprimentos entre 13 mm e 23 mm, e a parte aérea variou entre 12 mm e 42 mm, sugerindo um

desenvolvimento menos robusto. O diâmetro do caule também foi menor, variando de 0,5 mm a 1 mm, o que pode estar relacionado a compostos no tabaco que inibem o crescimento inicial das plântulas.

A mistura de tabaco e grama (L3) apresentou resultados intermediários. O número de folhas variou entre 4 e 5, e as raízes tiveram comprimentos entre 15mm a 30mm, indicando um sistema radicular moderadamente desenvolvido. A parte aérea variou entre 36 mm e 62 mm, mostrando um crescimento vertical aceitável. O diâmetro do caule foi consistente, com 1 mm, sugerindo que a combinação dos dois materiais pode amenizar parcialmente os efeitos negativos do tabaco, embora ainda não supere os benefícios da grama sozinha (Figura 13).

Figura 13 - Média dos dados amostrais da germinação da Leira 1, Leira 2 e Leira 3



Fonte: Autoria própria, (2025).

As plantas cresceram saudáveis, com raízes bem desenvolvidas e uma boa proporção de biomassa. Esses resultados se alinham com os dados de germinação, que mostraram plântulas mais altas, com raízes longas e um número maior de folhas. Por outro lado, a leira com tabaco não teve um desempenho tão bom, refletindo os problemas observados em testes de fitotoxicidade e germinação. Os compostos presentes no tabaco parecem dificultar a absorção de nutrientes e

prejudicar o desenvolvimento das raízes. A mistura de tabaco e grama, embora tenha apresentado resultados intermediários, indica que a grama pode ajudar a reduzir um pouco os impactos negativos do tabaco, mas ainda assim não consegue eliminar completamente seus efeitos prejudiciais (Fotografia 9).

Fotografia 9 - Resultado de germinação das amostras de L1, L2 e L3

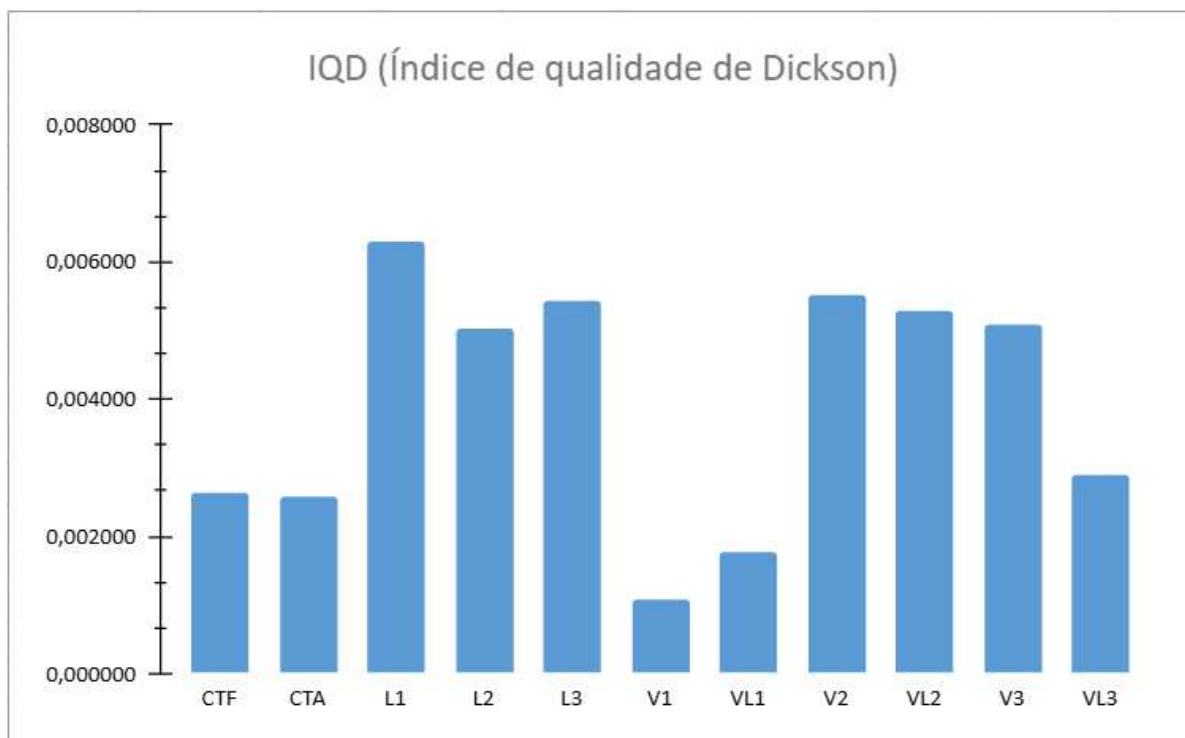


Fonte: Autoria própria, (2025).

Nota: L1 = leira 1, L2 = leira 2, L3= leira 3.

Os dados mostram que a compostagem com grama (L2) é o tratamento mais eficaz para ajudar na germinação das plantas, seguindo o índice de qualidade de Dickson obtido entre 0,005 e 0,006 (Gráfico 10). Por outro lado, o tabaco (L1) não teve resultados tão bons, com o valor obtido no índice de qualidade de Dickson entre 0,001 e 0,003. A mistura de tabaco e grama (L3) apresentou um desempenho intermediário, o que indica que a grama pode amenizar alguns dos efeitos negativos do tabaco, mas ainda assim não é suficiente para superar os benefícios da grama sozinha. Portanto, a grama como agente estruturante da compostagem é a melhor opção para melhorar a germinação em bandejas.

Gráfico 10 - Índice de qualidade de Dickson como indicador de qualidade do composto gerado no processo de compostagem realizado



Fonte: Autoria própria, (2025).

6 CONCLUSÕES

Os resultados mostraram que o tabaco, apesar de ser fonte de nitrogênio e matéria orgânica, apresentou limitações significativas. O composto gerado apresentou alta salinidade, condutividade elétrica acima do recomendado (8,0 mS/cm) e toxicidade. Por outro lado, a grama se destacou como o melhor agente estruturante, resultando em compostos com condutividade elétrica ideal (2,1 mS/cm), boa relação C/N (13:1), ausência de toxicidade e superior desempenho nos ensaios de germinação e fitotoxicidade, com plântulas mais vigorosas e bem desenvolvidas.

A análise microbiológica confirmou a eliminação de *Salmonella* spp. em todos os tratamentos após 60 dias, mas apenas a leira com grama apresentou níveis seguros de coliformes termotolerantes, reforçando sua superioridade quanto à segurança sanitária do composto final.

Em resumo, a grama se mostrou superior ao tabaco em todos os aspectos: estabilidade do composto, segurança microbiológica e promoção do crescimento das plantas. Embora o tabaco possa ser usado em misturas, seu uso isolado não é recomendado devido aos riscos associados. A compostagem se apresenta como uma alternativa sustentável para a gestão de resíduos orgânicos, sendo assim fortalecendo a ideia de destino final dessa classe de resíduos para promover a circularidade de resíduos.

Para futuros trabalhos que darão continuidade à pesquisa realizada, a principal sugestão seria adequar as quantidades de resíduos usadas mas mantendo os mesmos tipos de resíduos.

REFERÊNCIAS

- ABRELPE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2023**. São Paulo: ABRELPE, 2024. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama/>. Acesso em: 11 maio 2025.
- ARAÚJO, T. M.; SILVA, R. F.; COSTA, A. L. Compostagem de resíduos sólidos urbanos: princípios, práticas e perspectivas no Brasil. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 5, n. 3, p. 85-98, 2015.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Diagnóstico dos resíduos sólidos no Brasil**. Brasília: MMA, 2019. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/>. Acesso em: 11 maio 2025.
- SANTOS, L. F.; PEREIRA, M. A.; LIMA, J. C. **Sustentabilidade e Compostagem: Benefícios Ambientais e Econômicos**. Revista de Sustentabilidade Ambiental, v. 12, p. 42-58, 2018.
- IPARDES – INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Síntese de Indicadores Agropecuários do Paraná 2023**. Curitiba: IPARDES, 2023. Disponível em: <https://www.ipardes.pr.gov.br/>. Acesso em: 11 maio 2025.
- BRASIL. SECRETARIA DA RECEITA FEDERAL. **Balço de Apreensões de Cigarros Contrabandeados – 2021**. Brasília: Receita Federal, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/receitafederal/>. Acesso em: 11 maio 2025.
- ANDREOLI, Cleverson Vítório. (Coord.) **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Rio de Janeiro, RJ: RiMa/ABES, 2001.
- Bewley, J. D. (1997). **Seed germination and dormancy**. The Plant Cell, 9(7), 1055-1066. Disponível em: <https://doi.org/10.1105/tpc.9.7.1055>.
- BRASIL. Paraná. Conselho Estadual do Meio Ambiente do Paraná (CEMA). **Resolução nº 90, de 3 de dezembro de 2013**. Estabelece condições, critérios e dá outras providências, para empreendimentos de compostagem de resíduos sólidos de origem urbana e de grandes geradores e para o uso do composto gerado. Paraná: Diário Oficial nº 9.130, 22 jan. 2014. Disponível em: <http://www.legislacao.pr.gov.br/legislacao/listarAtosAno.do?action=exibir&codAto=128402&indice=1&totalRegistros=7&anoSpan=2014&anoSelecionado=2013&mesSelecionado=0&isPaginado=true>. Acesso em: 29 jun. 2024.
- BRASIL, **Secretaria da Receita Federal**. Disponível em: <https://www.gov.br/receitafederal/pt-br/assuntos/noticias/2022/janeiro/receita-federal-registra-recorde-historico-na-destruicao-de-cigarros-apreendidos#:~:text=A%20apreens%C3%A3o%20e%20a%20destrui%C3%A7%C3%A3o,utilizados%20para%20o%20financiamento%20do>. Acesso em 14 mai. 2024

APHA. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21st ed. Washington: American Water Works Association, 2005.

APHA. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. Washington: UEA, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10004: Resíduos Sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

BRASIL. **Instrução Normativa SDA nº 25, de 23 de Julho de 2009**. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Brasília.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Qualidade Ambiental. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos – Planares**. Coordenação de André Luiz Felisberto França. Carlos Roberto Vieira da Silva Filho, Brasília, DF. MMA, 2022. Disponível em: <https://portal-api.sinir.gov.br/wp-content/uploads/2022/07/Planares-B.pdf>. Acesso em: 29 de abr. 2024.

BRASIL. Presidência da República. **Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Brasília, DF: CC, 2010.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 481, de outubro de 2017**. Estabelece critérios e procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos, e dá outras providências.

COSTA, Mônica S.S. M.; COSTA, Luiz A. D.; DECARLI, Léo D.; PELÁ, Adilson; SILVA, César, J.; MATTER, Uilson F.; OLIBONE, Dácio. Compostagem de resíduos sólidos de frigorífico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.1, p. 100-7, 2009.

COSTA, M. S. S. DE M.; LORIN, H. E. F.; COSTA, L. A. DE M.; CESTONARO, T.; PEREIRA, D. C.; BERNARDI, F. H. Performance of four stabilization bioprocesses of beef cattle feedlot manure. **Journal of Environmental Management**, p. 443-448, 2016.

HECK, K., MARCO, É., HAHN, A., KLUGE, M., SPILKI, F., SAND, S. Temperatura de degradação de resíduos em processo de compostagem e qualidade microbiológica do composto final. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 1, p. 54–59, 2013.

IBGE | Cidades@ | Paraná | Medianeira | **Panorama**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/medianeira/panorama>. Acesso em: 29 abr. 2024.

INÁCIO, C. T.; MILLER, P. R. M. **Compostagem: ciência e prática para gestão de resíduos orgânicos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.

KARANJA, A.W.; NJERU, E.M.; MAINGI, J.M. Assessment of physicochemical changes during composting rice straw with chicken and donkey manure. **Int J Recycl Org Waste Agricult 8 (Suppl 1)**, 65–72 (2019).

<https://doi.org/10.1007/s40093-019-0270-x>. Acesso em: 23 de mar. 2024.

KIEHL, E. J. **Manual de compostagem: Maturação e qualidade do composto**. 3ª edição do autor. Piracicaba, 2002.

MARQUES, Jonatas Fernandes. **Avaliação da viabilidade da compostagem de resíduos sólidos urbanos e de lodo de esgoto para a produção de fertilizantes orgânicos no município de São Carlos**, 2022. Disponível em:

<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-15062022-153103/publico/DissertacaoJonatasFernandesMarquesVersaoCorrigida.pdf> Acesso em: 23 mai. 2023.

MENDONÇA, Luiz Felipe Pinto. **Aditivos biológicos na compostagem de resíduos para produção de mudas de alface**, 2017. Disponível em:

<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/19425/3/AditivosBiologicosCompostagem.pdf>. Acesso em: 23 mai. 2024.

MONTEIRO, M.C.H.; CARNEIRO, J.P.; ÁGUAS, P.M.P.; BATISTA, M.S.; ANTUNES, A.; MARTINS, H.; DIOGO, M.G. (2015) - Avaliação do efeito fertilizante de um composto. **In Jornadas Potencial Técnico e Científico do IPCB**, 3, Castelo Branco, 25 de Novembro. Castelo Branco: IPCB. ESACB.

MOREIRA, Marcela de Felício. Produção de adubo orgânico empregando diferentes concentrações de resíduos de rúmen bovino/cascas de café. **Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal**, 2014.

MÜLLER, M. M., et al. (2018). Fitotoxicidade de digestatos de diferentes origens em plântulas de alface. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 42 n°3, p. 1-11. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcsol/article/view/180694>. Acesso em: 04 fev. 2025.

Nonogaki, H., Bassel, G. W., & Bewley, J. D. (2010). **Germination—Still a mystery**. *Plant Science*, 179(6), 574-581. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.02.010>

OLIVEIRA, A. B. de; LEITE, R. M. V. B. de C.; JUNIOR, A. A. B.; SEIXAS, C. D. S.; KERN, H. S. Coleção 500 perguntas, 500 respostas. **Embrapa**, 1ª ed. Brasília, 2019.

PANTANO, Glaucia; GROSSELLI, Guilherme M.; MOZETO, Antonio A.; FADINI, Pedro S. Sustentabilidade no uso do fósforo: Uma questão de segurança hídrica e alimentar. **Quim. Nova**, Vol. 39, 2016.

PAVAN, M. A. et al. **Manual de análise química do solo e controle de qualidade**. Londrina: IAPAR, 1992.

PEDROSO, Renan Souza. **Uso da compostagem na recuperação de resíduos de laticínios**, 2019. Disponível em: https://sistemas.ifgoiano.edu.br/sgcursos/uploads/anexos_8/2020-10-27-12-43-20di ssertação_Renan%20Souza%20Pedroso.pdf. Acesso em: 11 jul. 2024.

PEREIRA, Cleber da Mota. **Avaliação de composto orgânico proveniente de resíduos de agroindústria de banana e palha de café**, 2021. Disponível em: <https://tede.ufrrj.br/jspui/bitstream/jspui/5515/2/2021%20-%20Cleber%20da%20Mota%20Pereira.pdf>. Acesso em: 06 jan. 2025.

IPARDES. Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. Dados sobre a Agropecuária no Paraná, 2023. Disponível em: <https://www.ipardes.pr.gov.br/Pagina/Agropecuaria-Paranaense> Acesso em: 04 fev. 2025.

RIPP, P. G.; GUSMÃO, A. P. **Utilização de compostos orgânicos para produção de mudas**, 2016. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/12598/1/utilizaçãocompostorgânicoproduçãomudas.pdf>. Acesso em: 23 mai. 2024.

ROCHA, E. A. P. **Estudo de Fatores Sócio Econômicos na Geração e Características do Resíduo Sólido Doméstico da Cidade de Vitória - ES**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.

ROCHA, T. A. L. C. G.; DINIZ, M. J.; BATISTA, R. O. **Proposição de pátio de compostagem em área do semi-árido do Rio Grande do Norte**. Fórum Internacional de Resíduos Sólidos. Universidade Federal Rural do Semi-árido. Rio Grande do Norte, 2017.

SHARMA, V.K.; CANDITELLI, M.; FORTUNA, F.; CORNACCHIA, G. Processing of urban and agroindustrial residues by anaerobic composting: review. **Energ. Convers. Manage.**, 1997.

TRAUTMANN, N.; OLYNCIW, E. **Compost Microorganisms – The Phases of Composting**. In: Cornell Composting, Science & Engineering. 2005. Disponível em: <http://compost.css.cornell.edu/microorg.html>. Acesso em 20 de mai. 2024.

VALENTE, B. S.; XAVIER, E.G.; MORSELLI, T. B. G. A.; JAHNKE, D. S.; BRUM, B. de S. Jr.; CABRERA, B. R.; MORAES, P. de O.; LOPES, D. C. N. Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. **Arquivos de Zootecnia**. p.60-76, 2009.

VILELA, D. M.; PIESANTI, J. L. Gerenciamento de resíduos sólidos orgânicos da UFGD por meio da compostagem. **Rev. Ciência. Ext.** v.11, n.3, p.28-39, 2015.
WANG, Q.; AWASTHI, M. K.; ZHANG, Z.; WONG, J. W.C. **Sustainable Composting and Its Environmental Implications. Sustainable Resource Recovery and Zero Waste Approaches**. p. 115–132, 2019.

LEITE, V. D.; POVINELLI, J. **Comportamento dos sólidos totais no processo de digestão anaeróbia de resíduos sólidos urbanos e industriais**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 3, n. 2, p. 229-232, 1999.

CAMPOS, Sandro Xavier de; SILVA, Cleber Pinto; ZITTEL, Rosimara. **Compostagem em reator de tabaco de cigarro contrabandeado e resíduo orgânico doméstico: estudo físico, químico e espectroscópico**. Revista Tecnologia e Sociedade, Curitiba, v. 16, n. 41, p. 171-186, 2020. DOI: 10.3895/rts.v16n41.11806.

PAULETTI, Lucas Ornelas. **Tratamento de tabaco de cigarros contrabandeados a partir da compostagem em baias**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2022.

ROEHRS, Dione Dinael. **Tratamento de resíduo de tabaco por compostagem e vermicompostagem**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

BELO, Sara Rodrigues Santos. **Avaliação de fitotoxicidade através de *Lepidium sativum* no âmbito de processos de compostagem**. 2011. 79 f. Dissertação (Mestre em Engenharia do Ambiente) - Faculdade de Ciências e Tecnologias, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2011.

HAUG, R. T. **The Practical Handbook of Compost Engineering**. Boca Raton: CRC Press, 1993.