

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

WILLIAN DE SEIXAS TESTOLIN

COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS DA FILETAGEM DE TILÁPIA E PODA URBANA

FRANCISCO BELTRÃO

2023

WILLIAN DE SEIXAS TESTOLIN

COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS DA FILETAGEM DE TILÁPIA E PODA URBANA

Composting waste from tilapia filletting and urban pruning

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).

Orientador(a): Prof.^a Dr.^a. Priscila Soraia da Conceição

Coorientador(a): Prof.^a Dr.^a Naimara Vieira do Prado

FRANCISCO BELTRÃO

2023



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

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

WILLIAN DE SEIXAS TESTOLIN

COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS DA FILETAGEM DE TILÁPIA E PODA URBANA

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: 03 de julho de 2023

Priscila Soraia da Conceição
Doutora
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Denise Andréia Szymczak
Doutora
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Maico Chiarelto
Doutor
Universidade Federal do Oeste da Bahia

FRANCISCO BELTRÃO

2023

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a minha família, meu pai Jair Testolin e a minha mãe Elizange Britto de Seixas e meu irmão Victor Testolin pelo apoio, incentivo, auxílio e amor em todas as etapas da minha vida, sem vocês esse trabalho não seria possível.

Aos meus bons amigos, em especial a Turma do funil S/A que fizeram os anos de graduação mais alegres, tivemos ótimos momentos juntos na universidade, e fora dela. Sem vocês eu não chegaria aqui, obrigado também, pelos auxílios nas montagens dos experimentos.

Agradeço a Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Francisco Beltrão pelos anos de graduação em uma universidade pública, gratuita e de qualidade, em qual alcancei um nível de maturidade e de conhecimentos que serão diferenciais em minha vida profissional.

A minha orientadora Dr^a. Priscila Soraia da Conceição, pelo auxílio na elaboração deste trabalho e pelos conhecimentos passados no decorrer deste.

A minha coorientadora Dr^a. Naimara Vieira do Prado pela paciência e auxílio na elaboração desse trabalho, em especial na parte estatística.

Aos professores Dr^a Denise Andréia Szymczak e Dr. Maico Chiarelotto, por terem aceitado fazer parte desta banca e pelas contribuições e apontamentos prestados tanto no pré-projeto quanto no projeto final.

A todos os professores, colegas e funcionários do campus, que de certa forma contribuíram para que esse momento fosse possível.

RESUMO

TESTOLIN, Willian de Seixas. **Compostagem de resíduos da filetagem de tilápia e poda urbana**, 51 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Francisco Beltrão, Brasil, 2021.

Os resíduos de peixes, quando descartados de maneira incorreta, geram um sério problema ambiental. Neste contexto, a compostagem pode ser uma alternativa para o tratamento desses resíduos, agregando valor a esse material. Este trabalho teve como objetivo testar a compostagem de resíduos oriundos da filetagem de tilápia utilizando poda urbana como fonte de carbono em diferentes proporções. A pesquisa foi conduzida na área experimental do Campus da UTFPR, no município de Francisco Beltrão – PR. O experimento foi organizado em um delineamento inteiramente casualizado (DIC), com três tratamentos e quatro repetições. As proporções dos resíduos em cada tratamentos foram: T1: 10 kg carcaça para 70 kg de poda urbana, T2: 16 kg carcaça para 70 kg e T 35 kg carcaça para 70 kg. Sendo conduzidas análises de temperatura, pH, teor de água, teor de sólidos e estimado o valor COT para o monitoramento do experimento. A temperatura máxima registrada no T1 foi 60°C, no 19º dia de compostagem, nos tratamentos T2 e T3 esse pico ocorreu no 15º dia, alcançando 61°C e 62°C respectivamente. O teor de água da compostagem se manteve acima de 50% nos três tratamentos com semanas em que seu teor se manteve acima dos 60%, o pH final de T1, T2 e T3 foram 8,39, 8,34 e 8,38, respectivamente. Os sólidos voláteis apresentaram um decaimento de 27,6% para T1, 31,3% para T2 e 22,1% para T3 e o carbono orgânico total (COT) apresentou um decaimento de 15,32, 17,32 e 12,27% para os tratamentos T1, T2 e T3, respectivamente. O teste de *Tukey* para comparação das médias dos tratamentos, com nível de significância 5%, indicou não haver uma diferença entre os resultados, os quais foram considerados estatisticamente iguais. A compostagem combinada de carcaça de tilápia e resíduos urbanos resultou em um composto final maturado, com estabilização da matéria orgânica em 70 dias, independentemente das composições dos tratamentos, permitindo um tratamento eficiente para diferentes proporções de resíduo em um mesmo intervalo de tempo.

Palavras-chave: Tratamento orgânico de resíduo; resíduo agrossilvopastoril; resíduo da indústria de pescado; resíduo de limpeza urbana.

ABSTRACT

TESTOLIN, Willian de Seixas. **Composting waste from tilapia filletting and urban pruning**, 51 p. Course Conclusion work (Bachelor of Environmental Engineering). - Environmental Engineering Graduation, Federal Technological University of Parana (UTFPR) Francisco Beltrão, Brasil, 2021.

Fish waste, when disposed of incorrectly, generates a serious environmental problem. In this context, composting can be an alternative for the treatment of this waste, adding value to this material. This work aimed to test the composting of waste from tilapia filletting using urban pruning as a source of carbon in different proportions. The research was conducted in the experimental area of the UTFPR Campus, in the municipality of Francisco Beltrão - PR. The experiment was organized in a completely randomized design (DIC), with three treatments and four replications. The residue proportions in each treatment were: T1: 10kg carcass for 70kg of urban pruning, T2: 16kg carcass for 70kg and T 35kg carcass for 70kg. Analyzes of temperature, pH, water content, solids content was conducted, and the TOC value was estimated for monitoring the experiment. The maximum temperature recorded in T1 was 60.1°C, on the 19th day of composting, in treatments T2 and T3 this peak occurred on the 15th day, reaching 61.3°C and 62.3 respectively. The water content of the compost remained above 50% in the three treatments with weeks in which its content remained above 60%, the final pH of T1, T2 and T3 were 8.39, 8.34 and 8.38, respectively. Volatile solids showed a decay of 27.6% for T1, 31.3% for T2 and 22.1% for T3 and total organic carbon (TOC) showed a decay of 15.32, 17.32 and 12.27 % for treatments T1, T2 and T3, respectively. Tukey's test for comparing the means of the treatments, with a significance level of 5%, indicated that there was no difference between the results, which were considered statistically equal. The combined composting of tilapia carcass and urban waste resulted in a mature final compost, with stabilization of organic matter in 70 days, regardless of the treatment compositions, allowing efficient treatment for different proportions of waste in the same time interval.

Keywords: Organic waste treatment; Agrosilvopastoral waste; fish industry waste; urban cleaning waste.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Área experimental.....	24
Figura 2 – Distribuição dos tratamentos.....	25
Figura 3 – Montagem das composteiras.....	26
Figura 4 – Distribuição dos tratamentos.....	26
Figura 5 – Aferição da temperatura no topo da pilha de compostagem.....	27
Figura 6 – Pesagem da amostra.....	29
Figura 7 – Amostras no forno tipo mufla.....	30
Figura 8 – Fatores indesejados encontrados durante o processo.....	32
Figura 9– Valores médios de temperatura para cada tratamento ao longo da idade da pilha de compostagem.....	33
Figura 10 – Valores médios do teor de água para cada tratamento ao longo da idade da pilha de compostagem.....	35
Figura 11 – Valores médios do pH para cada tratamento ao longo da idade da pilha de compostagem.....	37
Figura 12 – Comportamento dos teores de COT, sólidos fixos e voláteis no tratamento 1.....	39
Figura 13 – Comportamento dos teores de COT, sólidos fixos e voláteis no tratamento 2.....	39
Figura 14 – Comportamento dos teores de COT, sólidos fixos e voláteis no tratamento 3.....	40
Figura 15 – Pedacos aparentes de material não decomposto.....	42
Figura 16 – Comparação entre o início e o final das pilhas de compostagem....	43
Figura 17 – Composto final Peneirado.....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores médios do teor de água para cada tratamento ao longo da idade da pilha de compostagem	36
Tabela 2 – Valores médios do pH para cada tratamento ao longo da idade da pilha de compostagem	38
Tabela 3 – Valores médios de sólidos voláteis (SV), sólidos fixos (SF) e COT para cada tratamento ao longo da idade da pilha de compostagem	41

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	15
2.1	Objetivo geral	15
2.2	Objetivos específicos	15
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1	Compostagem	17
3.1.1	Descrição da Compostagem	17
3.1.2	Parâmetros físico-químicos fundamentais para a compostagem	17
3.2	Resíduo da filetagem de tilápia e seus impactos	20
3.3	Poda urbana e seus impactos	21
3.4	Compostagem de resíduos de peixes	22
4	MATERIAL E MÉTODOS	24
4.1	Montagem do experimento	24
4.2	Monitoramento do experimento	26
4.3	Análise estatística dos dados	30
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	31
5.1	Compostagem	31
5.2	Temperatura	32
5.3	Teor de água	34
5.4	pH	36
5.5	Teor de Sólidos e COT	38
5.6	CARACTERÍSTICAS DOS COMPOSTOS FINAIS	42
6	CONCLUSÃO	45
	REFERÊNCIAS	46

1 INTRODUÇÃO

Os resíduos sólidos, que são gerados em todas as atividades antrópicas, quando não gerenciados de forma correta, podem causar diversos malefícios à saúde e ao meio ambiente. Em função disso, diversas pesquisas são realizadas com o objetivo de minimizar os impactos resultantes das diferentes características desses materiais. Dentre os resíduos que se destacam, tem-se os resíduos orgânicos que, devido ao seu potencial de biodegradabilidade, podem ser tratados por meio da compostagem.

A compostagem, um tratamento biológico dos resíduos orgânicos, possui como vantagem, além da geração de um subproduto de valor agrônômico, a possibilidade de combinar diferentes tipos de resíduos orgânicos, gerados em diferentes atividades, para otimização do processo, como é o caso da piscicultura e da poda urbana.

O setor de piscicultura no Brasil, que cresceu 45,7% entre os anos de 2014 e 2021, é influenciado pela produção de tilápia que representa 63,5% da produção nacional de pescados. Esse aumento contribui para uma maior geração de resíduos no setor (PEIXE BR, 2022).

O resíduo sólido proveniente do beneficiamento da tilápia é a carcaça do peixe, que engloba cabeça, vísceras, nadadeiras e escamas, e é gerado no processo de filetagem. Nesse processo, a quantidade de resíduo pode variar de 50 à 70% do peso total do peixe (FELTES *et al.*, 2010; VALENTE *et al.*, 2014; VIEIRA E SILVA *et al.*, 2009). Devido ao volume e às características desse material, torna-se necessário buscar formas de tratamento e/ou disposição final adequadas, a fim de mitigar os impactos ambientais que ele pode gerar.

Ainda sobre a necessidade de um gerenciamento adequado dos resíduos sólidos orgânicos, inclui-se a poda urbana, que é constituída por galhos, frutos e folhagens. Em função de ser um material com alta relação C/N (Carbono/Nitrogênio) próxima a 41:1 (Meira, 2010), pode ser utilizado como fonte de carbono para a compostagem de materiais com baixa relação C/N.

Sendo assim, existe a possibilidade de aplicar um tratamento dos resíduos da carcaça de peixes e da poda urbana de forma combinada, evitando o descarte

incorreto desses materiais (LOPES, 2020). Essa necessidade se justifica para transformar esses resíduos em um subproduto com valor agregado, favorecendo a economia circular.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a eficiência do processo de compostagem de resíduos oriundos da filetagem da tilápia (*Oreochromis niloticus*) e poda urbana

2.2 Objetivos específicos

- Comparar diferentes proporções de resíduos da filetagem da tilápia e poda urbana no desenvolvimento da compostagem.
- Monitorar o desenvolvimento da compostagem.
- Avaliar a qualidade final do composto produzido nos diferentes tratamentos.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A geração de resíduos sólidos tem se mostrado como um grave problema ambiental, devido a sua crescente produção (DOS ANJOS, 2020). Pois esse material quando não tratado e/ou disposto de forma inadequada, pode resultar na poluição do solo, chegando a afetar o lençol freático e, conseqüentemente, os mananciais de águas subterrâneas (GOUVEIA, 2012). O mesmo autor destaca ainda, que pode acarretar impactos no ar, liberando partículas e outros poluentes atmosféricos, por meio da decomposição anaeróbica da sua componente orgânica, gerando gases de efeito estufa, os quais incluem o metano.

Com o intuito de minimizar os impactos que esses resíduos causam, no ano de 2010, foi sancionada a Lei Federal nº 12.305, que instituiu a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS). A qual dispõe sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, desde a geração, até a disposição final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010).

No Brasil diferentes formas de produção agroindustrial funcionam paralelamente à produção agrícola para o beneficiamento da matéria-prima. Os resíduos produzidos nessas atividades são denominados como agrossilvopastoris e englobam resíduos das atividades agropecuárias e silviculturais (MMA, 2022). O tratamento desse material se mostra uma oportunidade de agregar valor, além de propor uma alternativa para a gestão adequada desse resíduo (COSTA FILHO et al., 2017).

Exposto isso, a compostagem, que é um tratamento ambientalmente adequado de acordo a Lei Federal nº 12.305, apresenta-se como alternativa viável técnica e economicamente para reaproveitar a matéria orgânica. A compostagem combina, pode incluir resíduos dos mais diversos processos produtivos, como é o exemplo da carcaça de tilápia e da poda urbana (SPADOTTO et al., 2006).

Neste contexto, nessa revisão será apresentado a compostagem, os resíduos de filetagem da tilápia, poda urbana e o tratamento desses resíduos de maneira combinada.

3.1 Compostagem

3.1.1 Descrição da Compostagem

A compostagem é um processo de tratamento do resíduo sólido orgânico por meio da decomposição biológica em condições aeróbias, termofilias e mesófilas dos resíduos (PETRUCCIOLI et al., 2011). Para Cerri et al. (2008), é um processo de oxidação biológica por meio do qual os microrganismos decompõem os compostos constituintes dos materiais. Esse tratamento converte os resíduos orgânicos em um composto estabilizado, que pode ser utilizado como condicionador de solo (GABHANE et al., 2012; BERNSTAD, 2016).

Para otimizar o processo de compostagem, é comum a utilização de dois substratos distintos a fim de ajustar a relação C/N inicial, essa mistura é composta por um material rico em carbono e outro rico em nitrogênio. O carbono é degradado para fornecer a energia para os microrganismos, enquanto o nitrogênio contribui para o crescimento dos microrganismos, fornecendo condições adequadas para seu metabolismo (CERRI et al., 2008).

A compostagem demonstra ser uma ótima alternativa para o tratamento de resíduos sólidos orgânicos, pois o processo permite o controle de microrganismos patogênicos por meio da temperatura e a redução do volume de resíduo, pela degradação da matéria orgânica (COSTA et al., 2005). Dessa maneira, se utilizado na agricultura, pode beneficiar os solos com material orgânico e mineral, sem risco de prejuízo ao agricultor, que não terá problemas de contaminação ambiental (CERRI et al., 2008).

O tratamento de resíduos por meio da compostagem, tem a eficiência influenciada por fatores como temperatura, aeração, teor de umidade, pH, relação C/N, granulometria e grau de compactação (LI et al., 2013). Dessa maneira, é indispensável o controle e gerenciamento desses parâmetros para o correto desenvolvimento do processo.

3.1.2 Parâmetros físico-químicos fundamentais para a compostagem

O teor de água é um parâmetro fundamental na compostagem, o qual deve permanecer na faixa de 50 a 70% (KIEHL, 2001). O excesso de água pode impedir a circulação de ar, pois a água ocupa os poros e impede passagem de oxigênio, ainda pode atrair vetores e gerar percolado. Por outro lado, o baixo teor de água desacelera a atividade biológica e diminui a velocidade de decomposição (INÁCIO, 2015).

Para equilibrar o teor de água no início do processo, é necessário conhecer as características de cada resíduo, caso possua um teor elevado de água deve-se adicionar um material seco para promover o equilíbrio e evitar a formação de percolado. Quando esse valor for baixo é necessário um material com um teor de água elevado, ou a adição de água na compostagem (PEREIRA NETO, 2007).

Durante o processo, faz-se necessário o controle da temperatura para evitar desequilíbrios na compostagem. Esse parâmetro, também pode ser influenciado a depender das condições de precipitação, incidência de sol e temperatura ambiente (INÁCIO; MILLER, 2009).

A temperatura é outro parâmetro que influencia a compostagem e pode ser utilizada como referencial da evolução e qualidade do processo. Existem três faixas distintas de temperatura em função da atividade dos microrganismos, as quais são denominadas como mesófila, termofilia e de maturação (KIEHL, 1998).

Na fase mesófila, os microrganismos mesofílicos consomem as fontes de carbono lábil, produzindo calor, dessa maneira as temperaturas aumentam e variam na faixa de 40 a 45°C, em um período de 2 a 3 dias (CONCEIÇÃO, 2012).

Na fase termófila, os microrganismos termofílicos começam a degradar a matéria orgânica, isso libera energia e favorece o aumento da temperatura. A qual pode chegar a 70°C, mas deve-se manter na faixa de 55 e 65°C para garantir uma máxima intensidade da atividade microbiana (Valente *et al.*, 2009). Em casos que a temperatura estiver fora dessa faixa é necessário um revolvimento completo dos materiais, a fim de regular esse parâmetro, juntamente com adição de água ao processo se necessário (LOPES, 2020).

Na última etapa, fungos mesófilos e actinomicetos colonizam o composto para a quebra e transformação das substâncias húmicas e lignina (FARRELL; JONES, 2009). Durante a fase de maturação, ocorre a estabilização e humificação da matéria orgânica, produzindo um composto maduro com características húmicas (BERNAL, 2009).

O aumento de temperatura é fundamental para a sanitização do composto, esse aumento favorece a eliminação de organismos patogênicos. Dessa maneira, é importante o revolvimento do composto a fim de promover a correta sanitização de todo o material (FORNES; MENDOZA-HERNANDEZ; BELDA, 2013).

O revolvimento também auxilia na aeração do processo, pois a presença de oxigênio na compostagem contribui para a aceleração da decomposição e consequentemente a elevação da temperatura. Também é necessário a aeração da pilha de compostagem para o desenvolvimento dos microrganismos (COSTA et al., 2005). Nesse sentido, a taxa de aeração afeta a qualidade do composto e a atividade microbiana no processo de compostagem (CERDA et al., 2018).

A ausência de oxigênio torna o processo anaeróbio, favorece a geração de subprodutos com odores desagradáveis, diminui a atividade microbiana e consequentemente, torna o processo de decomposição da matéria orgânica mais lento. O revolvimento do composto pode ser uma alternativa para o controle da aeração, principalmente no início do processo em que a degradação do material é mais ativa, é fundamental para promover a oxigenação do material (FERNANDES, 1999). A determinação da relação C/N no início do processo é extremamente importante na compostagem para efeito do balanço de nutrientes (VALENTE et al., 2009). Esse fator também é responsável pela velocidade de decomposição do processo. Uma baixa relação C/N acarreta a perda de nitrogênio pela volatilização da amônia, e uma relação elevada inibe o desenvolvimento dos organismos (CONCEIÇÃO, 2012).

De acordo com Pereira Neto (2007), a relação inicial C/N ideal encontra-se entre 30:1 e 40:1; para Wang et al. (2019) uma proporção entre 20:1 e 30:1 é assumida como um ambiente ótimo para microrganismos na compostagem. Isso ocorre pois os microrganismos necessitam de duas partes de carbono para obter energia e a outra parte do carbono e nitrogênio é utilizado para constituir as células microbianas (CERRI et al., 2008).

A relação C/N do composto maturado aproxima-se de um valor entre 10:1 e 20:1. Essa redução acontece devido a oxidação da matéria orgânica pelos microrganismos. Deste modo, o parâmetro pode ser considerado um indicativo de qualidade do composto (CONCEIÇÃO, 2012; VALENTE et al., 2009).

No entanto, devido à grande variedade de resíduos orgânicos e condições desses resíduos no momento da montagem das pilhas de compostagem, alcançar

essa relação não é algo simples. Porém, a relação C/N inicial da compostagem pode ser estimada a partir de valor médio da pesagem dos resíduos relacionando com a concentração C/N de cada material (LOPES, 2020).

O pH é outro fator importante, Rodrigues et al. (2006) destacam um valor ideal para o início compostagem entre 5,5 e 8,5, devido às enzimas ativas nesta faixa. Os resíduos oriundos de animais têm seu pH neutro, o que facilita o trabalho dos microrganismos degradantes, neste caso, o controle do pH não apresenta dificuldades (CERRI, 2008).

A formação de ácidos orgânicos no início do processo torna o composto com caráter ácido, apresentando um valor de pH próximo a 5 (VALENTE, 2009). Com o desenvolvimento da compostagem, o valor de pH tende ao neutro, próximo de 7, e ao final do processo é esperado um valor de pH próximo a 8,5 (HOLANDA, 2013).

Valores de pH muito elevados podem trazer prejuízos ao processo, como a perda de nitrogênio, por meio da liberação de amônia por volatilização (ANDREOLI et al., 2001). Quando o pH for muito baixo, a atividade microbiana é reduzida, isso dificulta o aumento da temperatura, podendo não alcançar a fase termofilia (MASSUKADO, 2008).

Outro fator que deve ser considerado para compostagem é o tamanho das partículas, sendo ideal entre 2,5 e 7,5 cm (FERNANDES, SILVA, 1999). Como as partículas pequenas possuem uma maior superfície específica, estas serão decompostas mais rapidamente desde que exista arejamento adequado (CERRI et al., 2008).

Apesar de partículas muito pequenas degradarem de forma mais rápida, podem afetar outros fatores, como a aeração, pois diminui os espaços vazios. Isso favorece a compactação e dificulta a oxigenação do processo. Partículas grandes, podem retardar a decomposição do material, pois apresentam menor superfície de contato com os microrganismos (CERRI et al., 2008; ZHANG; SUN, 2014).

3.2 Resíduo da filetagem de tilápia e seus impactos

A produção de peixes em ambientes controlados, denominada de piscicultura é uma atividade aquícola que vem crescendo rapidamente no Brasil, com um aumento de 45,7% entre os anos de 2014 e 2021 (PEIXE BR, 2022). Um dos principais

impactos ambientais relacionados com essa atividade, refere-se à geração de resíduos orgânicos nas diferentes etapas produtivas (OLIVEIRA et al., 2012).

Na etapa de beneficiamento da tilápia, denominado de filetagem, que se trata da retirada do filé, o qual corresponde à parte de carne sem espinhos, ocorre o descarte da carcaça de peixe. Resíduo sólido orgânico que, em função de suas características de biodegradabilidade, é classificado como resíduo classe II A de acordo com a NBR 10.004/2004 e resíduo agrossilvopastoril pela Lei Federal nº 12.305 (BRASIL, 2010).

Na filetagem da tilápia, Vieira et al. (2010) encontraram uma geração média de resíduo que correspondem a 59% do peso total do peixe; Valente et al. (2014) destacam que a geração de resíduo é cerca 65% do peso total, sendo que 68% desse material é encaminhado as indústrias de farinha de pescado, 23% a aterros sanitários e 9% é despejado diretamente nos rios.

A destinação dos resíduos sólidos gerados na filetagem da tilápia é um desafio para o setor da piscicultura, visto que cerca de 60% do volume processado diariamente é um material com baixo valor agregado (PINTO, 2017). Dessa maneira é necessário propor uma destinação final ambientalmente adequada, mitigando o impacto ambiental associado a essa atividade (LOPES, 2020).

Assim, é nítida a importância de desenvolver e testar tecnologias alternativas para o tratamento desses materiais, objetivando padronizar e disponibilizar uma metodologia técnica e economicamente viável. Dessa maneira os empreendimentos de filetagem podem aplicar essas técnicas e tratar seus resíduos de forma sustentável, para a garantia de processos mais econômicos e com menor impacto ambiental (DE LIMA, 2013).

3.3 Poda urbana e seus impactos

O resíduo de poda é gerado no manejo da arborização urbana, esse material é constituído de galhos, troncos e folhas (CORTEZ, 2011). Sendo classificado em função da sua biodegradabilidade como resíduo classe II A de acordo com a NBR 10.004/2004 e resíduo de limpeza urbana pela Lei Federal nº 12.305, se agregados aos resíduos domiciliares, passam a ser classificados como resíduos sólidos urbanos.

Apesar de existir a classificação desses resíduos, a maior parte dos municípios brasileiros não possuem políticas públicas relacionadas à arborização urbana. O que faz com que a disposição final do resíduo de poda, torne-se um problema para as gestões municipais (TORQUATI et al., 2016).

Ainda relacionado com a dificuldade da gestão dos resíduos da poda urbana, alguns autores citam que esse processo é caro, devido a custos com coleta, transporte, armazenagem, manuseio e trituração, além da variação do volume gerado de acordo com a estação do ano (SPINELLI; MAGAGNOTTI; NATI, 2010; TORQUATI et al., 2016). Esse material possui um potencial de aproveitamento energético promissor, porém, muitas vezes inviável devido a aspectos econômicos (MACCARINI; BESSA; ERRERA, 2020).

Outra maneira de reaproveitar a poda urbana é a compostagem. Por se tratar de um material seco, rico em carbono e possuir granulometria variada, pode ser incorporada como um material estruturante (FERNANDES; SILVA, 1999). Porém, por possuir uma alta relação C/N, cerca de 41:1 faz necessário a mistura com um material rico em nitrogênio para otimizar o processo (MEIRA, 2010), como é o exemplo da carcaça de peixe (LOPES, 2020).

3.4 Compostagem de resíduos de peixes

O tratamento dos resíduos de peixes por meio da compostagem, pode ser uma alternativa ambientalmente adequada para destinação desse material (NASCIMENTO et al., 2018). Porém como descrito por Machado (2022), o resíduo de peixe tem uma baixa relação C/N, cerca de 11:1. Sendo necessário a incorporação de uma fonte de carbono ao processo, para que a relação C/N esteja na faixa considerada ideal para o seu desenvolvimento.

Lopes (2020) realizou a compostagem de resíduos de aquicultura utilizando maravalha e cascas de amendoim como fonte de carbono, neste experimento foram necessários 53 dias para a compostagem dos resíduos de aquicultura e maravalha, e 37 dias para o tratamento com resíduos de aquicultura e casca de amendoim. O processo foi considerado finalizado quando, mesmo após revolvimentos e ajustes no teor de água, a temperatura não se alterou.

Os autores Laos et al. (2002) utilizaram uma mistura de serragem e aparas de madeira como fonte de carbono, para compostagem de vísceras de peixes. Nascimento et al. (2018) acompanhando o processo de compostagem durante 40 dias, seguindo a metodologia aplicada pelo autor supracitado, utilizou maravalha, aparas de grama e poda de árvore como fonte de carbono na compostagem de resíduos de peixes (cabeça, vísceras, nadadeiras e escamas). Em ambos os trabalhos, o processo foi considerado encerrado quando o composto atingiu uma temperatura próxima a ambiente e concluiu-se que a compostagem foi adequada para garantir a redução de patógenos e a estabilidade da matéria orgânica.

Os autores Radziemska et al. (2019) estudaram os efeitos de um composto orgânico produzido com casca de pinheiro e resíduos de pescados no crescimento de alface (*Lactuca sativa L.*) e na germinação de sementes de mostarda branca (*Sinapis alba L.*), com o objetivo de avaliar se o composto produzido era fitotóxico. Os autores observaram grande acumulação de nutrientes nas plantas e concluíram que o composto não apresentava fitotoxicidade. Além disso, o composto foi considerado maturado, estável e adequado para uso na agricultura.

Portanto, a compostagem pode ser uma alternativa viável para o tratamento da fração sólida de resíduos de peixes (VALENTE et al., 2014). Porém, a carcaça de tilápia é um material com baixa relação C/N, cerca de 7:1, dessa maneira faz-se necessário uma compostagem associada a um material rico em carbono, como é o exemplo da poda urbana (OLIVEIRA et al., 2012). Assim, transformando em um material com valor agregado, mitigando o impacto ambiental (SANTOS, 2016).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Montagem do experimento

A pesquisa foi realizada na área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Francisco Beltrão (Figura 1). O município de Francisco Beltrão, está localizado no Sudoeste do Estado do Paraná ($26^{\circ}04'20''S$, $53^{\circ}03'20''W$). O clima da região é classificado como Cfa, possuindo uma precipitação média anual entre 2000mm e 2200mm, com uma temperatura média anual de $18,1^{\circ}$ a $19^{\circ}C$ (IAPAR, 2019; KÖPPEN & GEIGER, 1928).

Figura 1 – Área experimental



Fonte: Autoria própria (2023).

Para a montagem dos experimentos, foram utilizadas carcaças de tilápia provenientes de uma piscicultura na zona rural de Francisco Beltrão e podas de árvores trituradas, provenientes do manejo da arborização do município, fornecida pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente.

Os resíduos foram dispostos em pilhas de compostagem com três diferentes proporções, denominados de Tratamento 1 (T1), Tratamento 2 (T2) e Tratamento 3 (T3). A construção das pilhas de compostagem se deu alternando uma camada de poda urbana e uma camada de carcaça de peixe (Figura 2), até a última camada com poda urbana (Figura 3), seguindo o método utilizado por Lopes (2020).

Figura 2 – Montagem da composteira



Fonte: Autoria própria (2023).

As pilhas foram preparadas nas seguintes proporções (com base no peso fresco), T1 foi composto por uma proporção de 10 kg de carcaça de peixe para 70 kg de poda urbana. O T2 foi composto na proporção de 16 kg de carcaça de tilápia para 70 kg de poda urbana. Por fim, o T3, composto em uma proporção de 35 kg de poda urbana para 70 kg de poda urbana, obtendo uma relação de massa.

A definição das proporções foi definida com base na relação C/N do material, que foi estimada para T1 de 30:1; T2, 25:1; e T3 de 20:1. Desta maneira permanecendo na faixa de 20 a 40 partes de carbono para uma de nitrogênio, sendo esses os valores iniciais considerados ideais para compostagem (PEREIRA NETO, 2007; WANG et al. 2019).

Os tratamentos foram realizados por meio de delineamento inteiramente casualizado (DIC) com quatro repetições, resultando em doze pilhas (Figura 4), dispostas aleatoriamente na área experimental (Figura 3).

Figura 3 – Montagem das composteiras



Fonte: Autoria própria (2023).

, Figura 4 – Distribuição dos tratamentos

T2	T1	T3
T1	T1	T3
T2	T3	T2
T3	T2	T1

Fonte: Autoria própria (2023).

4.2 Monitoramento do experimento

O monitoramento do experimento foi realizado por meio de análises físico-químicas. Durante o desenvolvimento da compostagem, as pilhas foram revolvidas semanalmente com o intuito de homogeneizar e aerar o material, sendo adicionado água quando necessário.

As análises físico-químicas foram realizadas para determinação da temperatura, pH, teor de água, COT e teor de sólidos (sólidos fixos e sólidos voláteis) e conduzidas no Laboratório de Águas e Efluentes da UTFPR, Campus Francisco Beltrão. As quais foram realizadas ao passo de 14 dias, em que não foi possível determinar os valores do teor de sólidos e COT no dia 1, devido a problemas de amostragem.

A obtenção das amostras utilizadas para análises laboratoriais seguiu a NBR 10.007/2004, com amostragem realizada em diferentes partes das pilhas, a fim de manter uma amostra representativa das reais condições do andamento do processo de compostagem (ABNT, 2004).

A temperatura das pilhas foi aferida diariamente, com exceção dos domingos em três pontos da pilha: parte inferior, meio e parte superior (Figura 5). Os dados da temperatura ambiente foram coletados da estação meteorológica da UTFPR de Francisco Beltrão (e-CLIMA).

Figura 5 – Aferição da temperatura no topo da pilha de compostagem



Fonte: Autoria própria (2023).

A análise do pH ocorreu segundo a metodologia de Tedesco et al. (1995), por meio de um pHmetro de bancada com eletrodo de vidro, devidamente calibrado. Em

que eram pesadas 10 g de massa natural e adicionado em um becker com 100 mL de água destilada, essa mistura era agitada por 30 minutos e, após isso, determinado o pH.

As análises de teor de água e teor de sólidos foram realizadas seguindo o procedimento descrito pela *American Public Health Association* – APHA (2012). Para determinação do teor de água, eram pesadas 20 gramas de amostra (Figura 5) e levadas à estufa por um período de 24 horas a uma temperatura de 105°C. O teor de água na amostra, foi obtido pela equação 1.

$$U(\%) = \frac{(A0-A1)}{A0} * 100 \quad (1)$$

Em que:

U = teor de água na amostra (%);

A0 = peso inicial da amostra (g);

A1 = peso final da amostra após secagem (g);

Figura 5 – Pesagem da amostra



Fonte: Autoria própria (2023).

Para a determinação dos sólidos voláteis (SV) e sólidos fixos (SF), a amostra seca em estufa foi colocada em forno tipo mufla e mantida à temperatura de 580°C, por duas horas (Figura 6). Assim, era obtida a massa da amostra calcinada. Calculou-se os sólidos voláteis e fixos a partir das equações 2 e 3.

$$SV(\%) = \frac{(mP0 - mP1)}{mP0} * 100 \quad (2)$$

$$SF(\%) = 100 - SV(\%) \quad (3)$$

Em que:

SV = sólidos voláteis (%);

SF = sólidos fixos (%);

mP0 = Massa de amostra seca (g);

mP1 = Massa de amostra calcinada (g).

Figura 7 – Amostras no forno tipo mufla



Fonte: Autoria própria (2023).

Para determinação da qualidade final do composto e acompanhamento do processo de decomposição, foram realizadas análises de carbono orgânico total (COT). A análise de COT foi realizada a partir dos dados obtidos de sólidos voláteis, pois este parâmetro apresenta uma estimativa da matéria orgânica biodegradável no resíduo (PEREIRA; FIALHO, 2013). O COT foi obtido por meio da equação 4, que foi proposta por Carmo e Silva (2012).

$$COT = \frac{SV}{1,8}(4)$$

4.3 Análise estatística dos dados

Os resultados obtidos durante o desenvolvimento da compostagem e os dados da qualidade final do composto foram submetidos a análises de variância (ANOVA) e o teste de *Tukey* para comparação das médias dos tratamentos, com nível de significância 5%. As análises foram realizadas no *software R* (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2021).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Desenvolvimento da compostagem

Durante a condução do experimento, foram compostados 1090 kg de resíduos úmidos, sendo 840 kg de poda urbana e 250 kg de carcaças de tilápia, distribuídos nos três tratamentos, com concentrações entre carcaça/poda de 10/70, 16/70 e 35/70 (kg/kg) de massa úmida, nos tratamentos T1, T2 e T3 respectivamente.

Observou-se um aumento da umidade e escurecimento no topo das leiras após 5 a 7 dias do início do experimento (Figura 8A). Posteriormente a este escurecimento dos materiais, algumas carcaças estavam parcialmente expostas (Figura 8B), causando a atração de animais indesejados, como moscas, cachorros e pequenos pássaros.

A atração de animais foi observada em quase todas as leiras ao longo do experimento. O aparecimento de moscas se deu entre os dias 3 e 7 do processo. Como forma de atenuar esses fatores, foi reestruturada a pilha de compostagem, adicionando pequenas quantidades de material da base em seu topo.

Em seguida, surgiram larvas de mosca no topo das leiras, as quais podem ter consumido parte dos materiais orgânicos dispostos, como sugerido por Lashley et al. (2018). Porém, após o revolvimento no dia 7 de compostagem, o aumento da temperatura foi suficiente para eliminar esses organismos indesejados.

Figura 8 – Fatores indesejados encontrados durante o processo

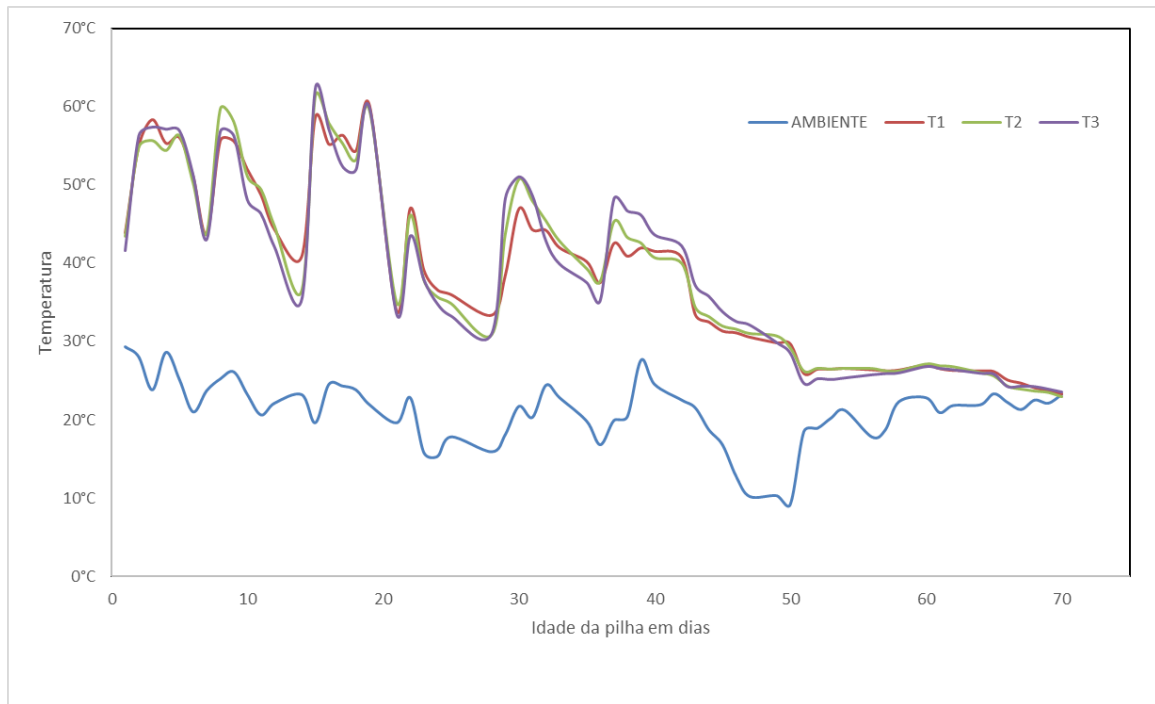


Fonte: Autoria própria (2023).

5.2 Temperatura

O Tratamento 1 iniciou rapidamente sua fase termofilia, cerca de 24 horas após a montagem do experimento (Figura 9), demonstrado por um aumento significativo da temperatura; a fase termofilia durou 43 dias e a temperatura máxima registrada foi de 60°C, no decimo nono dia de processo.

Figura 9– Valores médios de temperatura para cada tratamento ao longo da idade da pilha de compostagem



Fonte: Autoria própria (2023).

Quanto ao Tratamento 2, a fase termofilia também se iniciou no primeiro dia após a montagem do experimento, essa mesma fase permaneceu até o 43º dia do processo (Figura 9), atingindo um pico de 61 °C quinze dias após o início do tratamento.

Para o Tratamento 3, o comportamento foi similar a T1 e T2 (Figura 9), com início da fase termofilia um dia após a montagem e o fim no 43º dia de compostagem, alcançando um pico de temperatura 62°C aos quinze dias.

Esses picos de temperatura se devem ao fato da correção de fatores teor de água e aeração, os quais eram realizados semanalmente, com a adição de água e revolvimento do resíduo. Em condições adequadas ocorre um aumento da atividade metabólica dos microrganismos que consomem a matéria orgânica (VALENTE et al., 2009; PUYUELO et al., 2010).

A elevação da temperatura nos primeiros dias se deve as condições adequadas do processo, alcançando a temperatura de 40 a 50 °C dentro de dois a três dias, podendo atingir 60 a 70 °C em 15 dias (KIEHL, 1985; FORTES NETO, 1992). Esse comportamento também foi observado por Lopes (2020), durante o tratamento

de resíduos de aquicultura, registrando temperaturas superiores a 40 °C em seus primeiros dias de compostagem.

Com o fim da fase de degradação ativa, ocorreu a diminuição da temperatura nos três tratamentos, o que denota o início da fase mesófila, que durou 27 dias até a temperatura atingir médias próximas de 23°C. Dessa maneira, ambos os tratamentos levaram 70 dias até a estabilização e o processo ser considerado encerrado.

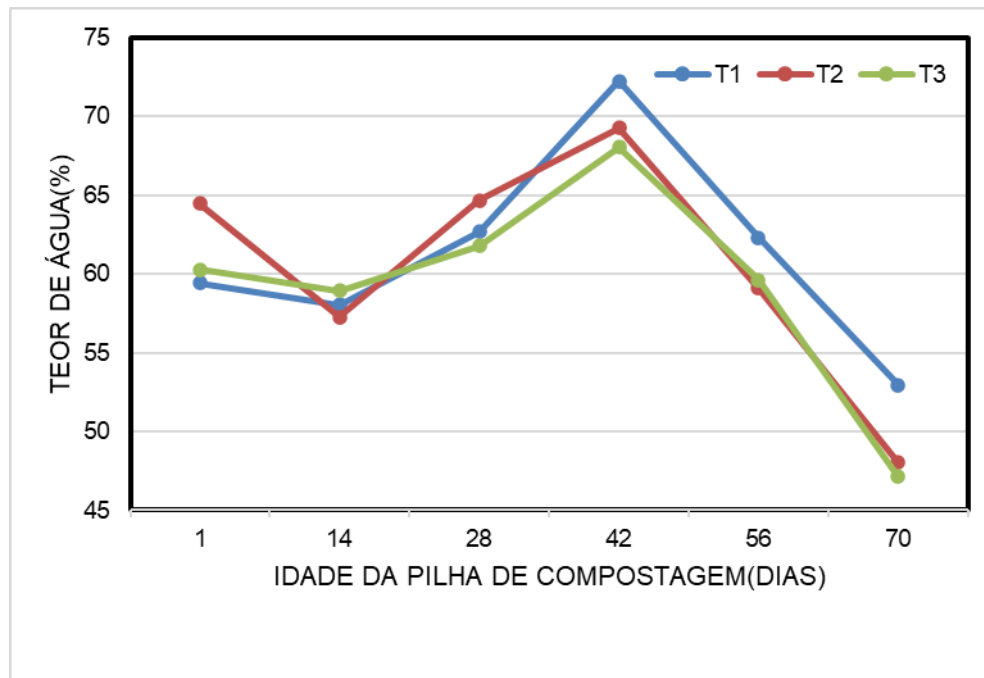
Vale destacar que, a fase final de temperaturas mesófilas não significa que a atividade microbiana cessou, mas sim que os microrganismos ativos naquele momento são diferentes e agem mais na mineralização dos compostos (Frankel e Bazylinski, 2003).

5.3 Teor de água

Ao longo do processo de decomposição, foi possível observar que o teor de água das leiras variava significativamente, o qual foi observado visualmente e pelo teste da mão. As altas temperaturas do processo, verificadas na fase termofilia, influenciaram para uma redução do teor de água no processo, pois promovem a evaporação, dificultando manter esse fator no início da compostagem na faixa considerada ideal na faixa dos 55%, necessitando adição de água todas as semanas (KIEHL, 1985).

O teor de água é imprescindível para o metabolismo dos microrganismos. Na Figura 10, observa-se a comparação dos valores médios do teor de água nos tratamentos ao longo dos 70 dias de compostagem.

Figura 10 – Valores médios do teor de água para cada tratamento ao longo da idade da pilha de compostagem



Fonte: Autoria própria (2023).

Nos eventos de revolvimento do material, a água foi adicionada de maneira homogênea até que o aspecto dos materiais estivesse visualmente úmido e aplicando o teste da mão. Em que o volume de água adicionado, variou entre 10 e 15L durante os revolvimentos nos três tratamentos.

A eficiência da adição de água foi visualizada nos dias subsequentes por meio da elevação das temperaturas. Esse comportamento foi observado até o dia 42 que, mesmo após a correção do teor de água e revolvimento, não foram notadas alterações.

Devido à adição de água, os valores do teor foram estatisticamente iguais nos diferentes tratamentos (Tabela 1). Nos dias 1, 14 e 28 os resultados foram considerados iguais, mostrando que a correção de fator estava sendo realizada corretamente.

A adição de água foi realizada semanalmente até o dia 42 do processo, por esse fato é possível verificar um decaimento do teor de água entre os dias 42, 56 e 70.

Tabela 1 – Valores médios do teor de água para cada tratamento ao longo da idade da pilha de compostagem

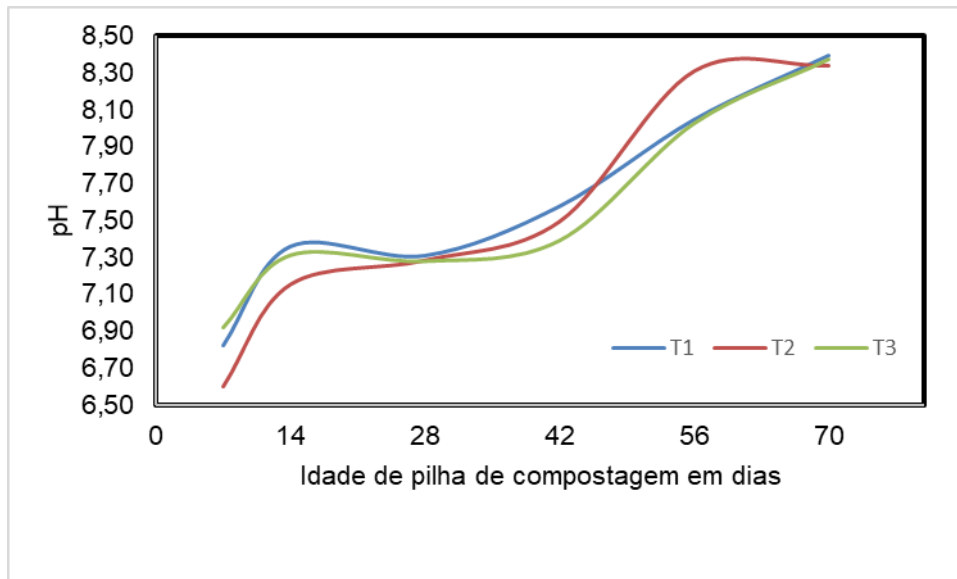
Idade da leira	Tratamentos			Média
	T1	T2	T3	
1	59,41	64,47	60,26	61,38 ± 2,71 b
14	58,05	57,25	58,95	58,08 ± 0,85 b
28	62,67	64,67	61,80	63,05 ± 1,47 b
42	72,21	69,25	68,05	69,84 ± 2,14 a
56	62,30	59,10	59,64	60,35 ± 1,71 b
70	52,94	48,05	47,73	49,57 ± 2,92 c
Média	61,26 ± 6,42 A	60,47 ± 7,45 A	59,41 ± 6,60 A	60,38 ± 6,47

Letras diferentes maiúsculas indicam diferenças estatística entre os tratamentos. Letras diferentes minúsculas indicam diferenças estatísticas entre os dias de análise. Ambos com 5% de significância pelo teste de *Tukey*.

5.4 pH

O valor do pH da mistura de resíduos mostrou-se levemente ácido sete dias após o início do processo, alcançando valores médios de 6,82, 6,60 e 6,92 em T1, T2 e T3, respectivamente (Figura 11). Esses valores iniciais são característicos da compostagem, isso deve-se a alta atividade microbiana, que leva à produção de ácidos orgânicos, o que resulta na acidificação do ambiente (BERNAL, 2009).

Figura 11 – Valores médios do pH para cada tratamento ao longo da idade da pilha de compostagem



Fonte: Autoria própria (2023).

Gradativamente, com o andamento do processo, os teores foram oscilando demonstrando pequenos aumentos. Essa oscilação nos valores do pH das pilhas também foi observada no estudo de Machado (2022). Após 28 dias do início do experimento, foi observado um aumento no pH em T1, o que pode ser justificado pelas reações dos ácidos orgânicos com as bases liberadas pela matéria orgânica (BRASIL, 2009), já nos em T2 e T3 esse aumento ocorre após o dia 42.

Quanto aos diferentes tratamentos, observou-se que o pH do composto aumenta à medida que o processo se desenvolve, atingindo níveis superiores a 8,0, atingindo um valor final de 8,05 em T1, 8,31 em T2 e 8,03 em T3.

As diferentes composições entre as massas de resíduos não influenciaram nos valores de pH (Tabela 2). Sendo o tempo o único fator que diferiu as variações de pH ao longo da compostagem.

Tabela 2 – Valores médios do pH para cada tratamento ao longo da idade da pilha de compostagem

Idade da leira	Tratamentos			Média
	T1	T2	T3	
7	6,82	6,60	6,92	6,78 ± 0,16 c
14	7,35	7,15	7,31	7,27 ± 0,10 b
28	7,30	7,28	7,28	7,29 ± 0,12 b
42	7,57	7,49	7,39	7,48 ± 0,09 b
56	8,04	8,30	8,02	8,12 ± 0,16 a
70	8,39	8,33	8,37	8,36 ± 0,03 a
Média	7,58 ± 0,56 A	7,53 ± 0,68 A	7,55 ± 0,54A	7,55 ± 9,78

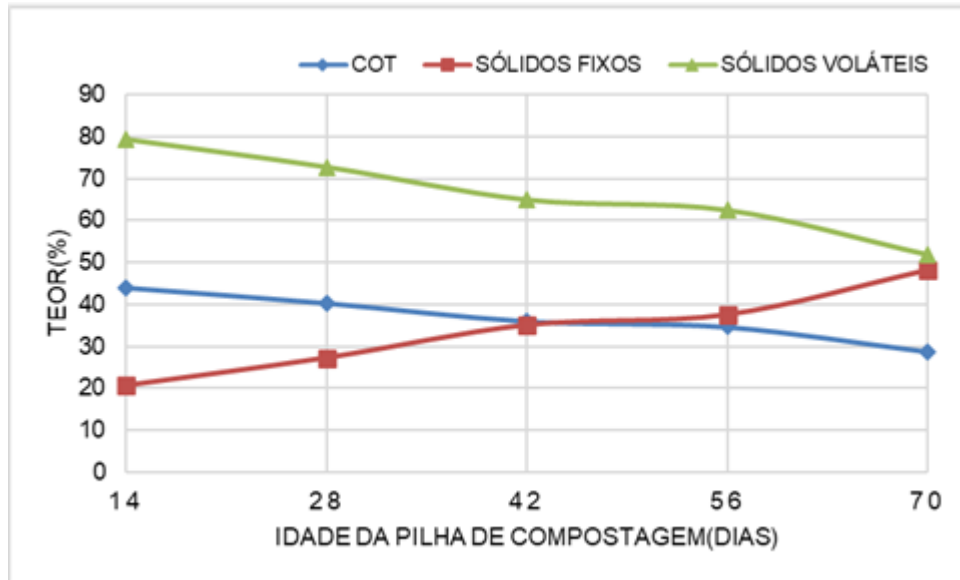
Letras diferentes maiúsculas indicam diferenças estatística entre os tratamentos. Letras diferentes minúsculas indicam diferenças estatísticas entre os dias de análise. Ambos com 5% de significância pelo teste de Tukey.

Durante o processo, o pH permaneceu na faixa de 6,5 e 8,5 (Figura 11), faixa considerada ótima para o desenvolvimento das bactérias, uma vez que a maioria das enzimas se encontram ativas nesta faixa de pH (Rodrigues et al., 2006). Segundo Pereira Neto (2004), esse comportamento contribui para uma degradação acelerada do material orgânico e favorece a compostagem.

5.5 Teor de Sólidos e COT

Os três tratamentos apresentação redução de sólidos voláteis, pois com a degradação da matéria orgânica a fração de sólidos voláteis diminuiu e, inversamente a isso, o percentual de sólidos fixos aumentou (Figura 12), desta forma, o decréscimo dos sólidos voláteis em T1 foi de 27,58% entre os dias 14 e 70 da compostagem, tendo o mesmo resultado para o crescimento dos sólidos fixos.

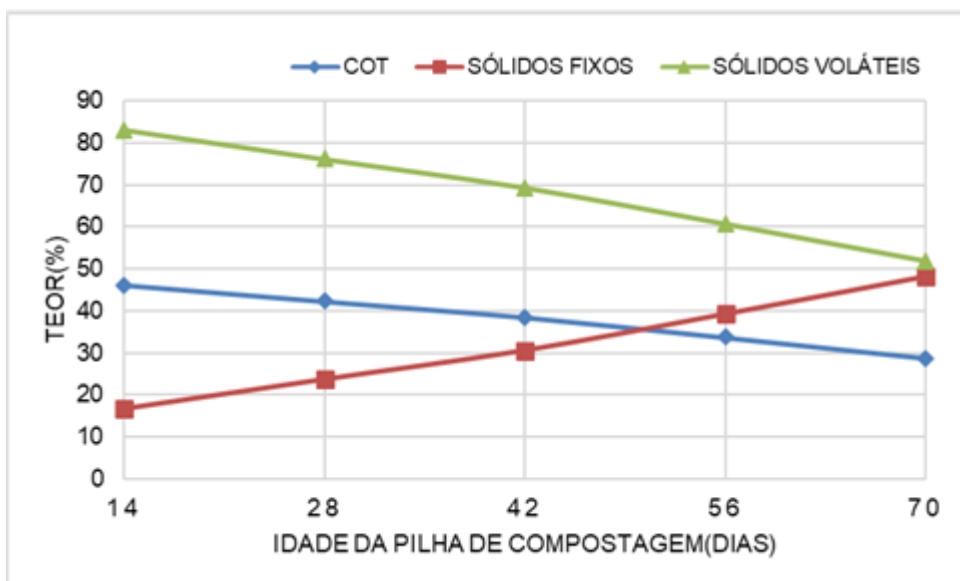
Figura 12 – Comportamento dos teores de COT, sólidos fixos e voláteis no tratamento1



Fonte: A autoria própria (2023).

Observou-se que o comportamento do COT apresentou uma variação semelhante à dos sólidos voláteis nas pilhas de compostagem. Isso se deve ao fato do método empregado para realização do cálculo, o qual tem como base os sólidos voláteis. Houve uma redução de 15,32% nos teores de COT, indicando uma taxa satisfatória de degradação do composto, pois durante a fase ativa do processo, o C-orgânico diminui no material devido à decomposição da matéria orgânica (BERNAL, 2009).

Figura 13 – Comportamento dos teores de COT, sólidos fixos e voláteis no tratamento 2

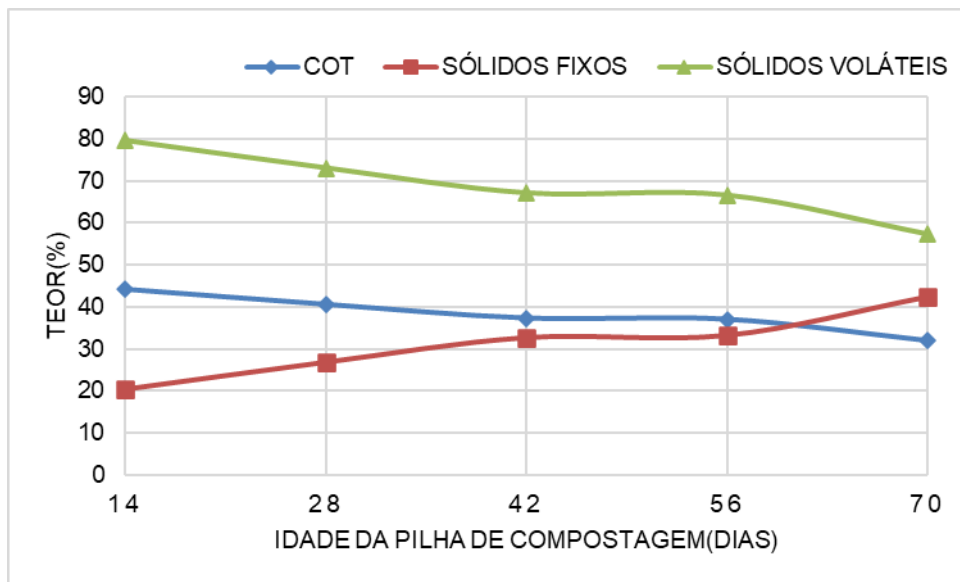


Fonte: A autoria própria (2023).

No tratamento 2, demonstrado no Figura 13, os teores de sólidos voláteis apresentaram uma redução de 31,30% entre os dias 14 e 70 do processo, sendo esse decaimento mais linear em comparação a T1. O comportamento do COT apresentou uma variação semelhante à T1, resultando em uma redução de 17,39%.

Em T3 (Figura 14), também foi possível observar uma redução dos sólidos voláteis e o aumento dos sólidos fixos, os quais resultaram em uma diferença de 22,09% no mesmo período que os tratamentos T1 e T2.

Figura 14 – Comportamento dos teores de COT, sólidos fixos e voláteis no tratamento 3



Fonte: Autoria própria (2023).

Porém, na tabela 3, observa-se que as diferentes composições de resíduos não influenciaram nos sólidos voláteis, sólidos fixos e COT. Sendo esses considerados estatisticamente iguais, em que o único fator que influenciou foi a idade da pilha de compostagem.

Tabela 3 – Valores médios de sólidos voláteis (SV), sólidos fixos (SF) e COT para cada tratamento ao longo da idade da pilha de compostagem

SV		Tratamentos			
Idade da leira	T1	T2	T3	Média	
14	79,4	83,2	79,6	80,72 ± 2,15 a	
28	72,8	76,2	73,1	74,01 ± 1,90 b	
42	64,9	69,4	67,2	67,17 ± 2,22 c	
56	62,4	60,8	66,7	63,30 ± 3,05 c	
70	51,8	51,9	57,5	53,73 ± 3,25 d	
Média	66,27 ± 10,86 A	68,30 ± 9,90 A	68,81 ± 8,21 A	67,79 ± 9,78	
SF		Tratamentos			
Idade da leira	T1	T2	T3	Média	
14	20,61	16,80	20,43	19,28 ± 2,15 a	
28	27,23	23,78	26,90	25,97 ± 1,90 b	
42	35,06	30,62	32,80	32,83 ± 2,22 c	
56	37,55	39,28	33,32	36,83 ± 3,05 c	
70	48,19	48,09	42,52	46,27 ± 3,25 d	
Média	33,73 ± 10,49 A	31,71 ± 12,37 A	31,19 ± 8,21 A	32,21 ± 9,78	
COT		Tratamentos			
Idade da leira	T1	T2	T3	Média	
14	44,11	46,22	44,20	44,84 ± 1,19 a	
28	40,43	42,34	40,61	41,13 ± 1,05 b	
42	36,08	38,54	37,33	37,32 ± 1,23 c	
56	34,69	33,76	37,04	35,16 ± 1,69 c	
70	28,78	28,84	31,93	29,85 ± 1,80d	
Média	36,82 ± 5,83 A	37,94 ± 6,87 A	38,22 ± 4,56 A	37,66 ± 5,43	

Letras diferentes maiúsculas indicam diferenças estatística entre os tratamentos. Letras diferentes minúsculas indicam diferenças estatísticas entre os dias de análise. Ambos com 5% de significância pelo teste de Tukey.

O ideal, segundo Pereira Neto (2007), é que os valores de SV iniciais estejam próximos a 80%, e que ao decorrer do processo ocorra uma redução na faixa de 40 % do valor inicial. Em que, os três tratamentos apresentaram valores iniciais dentro dessa faixa, porém os valores finais permaneceram na faixa de 50 a 57%.

Este fator sugere que a relação C/N inicial estimada pode ter sido adequada, especialmente considerando o uso de materiais frescos na montagem do experimento, o que deu início ao processo de degradação com o material já nas composteiras.

5.6 CARACTERÍSTICAS DOS COMPOSTOS FINAIS

O processo de compostagem apresentou eficiência na decomposição dos resíduos combinados nos três tratamentos, resultando em um composto final homogêneo, uniforme e livre de forte odor.

Durante o peneiramento do material, alguns pedaços de material não decomposto ficaram retidos na peneira (Figura 4). Uma vez que a poda de árvores apresenta uma diferente granulometria, e é um material rico em lignina, de difícil decomposição por microrganismos (CHIARELOTTO, 2019), e as espinhas de peixes que são rígidas e tem uma decomposição lenta.

Figura 15 – Pedacos aparentes de material não decomposto



Fonte: Autoria própria (2023).

Durante o desenvolvimento, foi possível observar a redução do volume do material (Figura 16). Porém, não foram realizados cálculos para determinar a redução do volume e da massa dos resíduos.

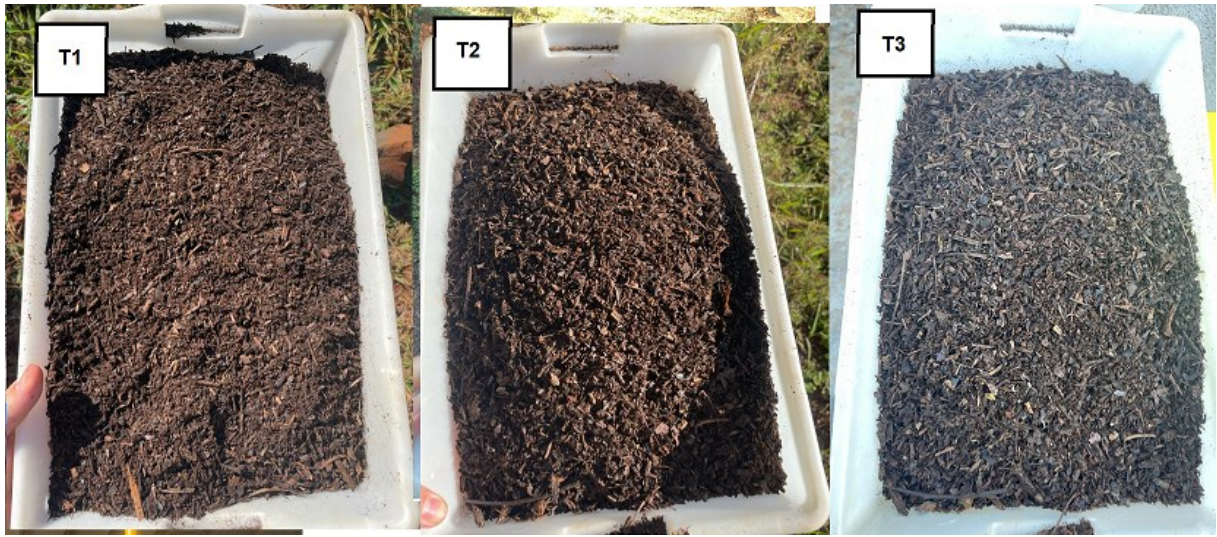
Figura 16 – Comparação entre os dia 1 e 70 das pilhas de compostagem



Fonte: Autoria própria (2023).

A aparência dos compostos finais dos três tratamentos (Figura 17), sendo eles de cor escura e sem forte odor, pode indicar que houve uma similaridade nos resultados alcançados. No entanto, é importante ressaltar que as observações da aparência e do odor não são suficientes para tirar conclusões definitivas sobre a composição ou eficácia dos tratamentos.

Figura 17 – Composto final Peneirado nos três tratamentos



Fonte: Autoria própria (2023).

6 CONCLUSÃO

A compostagem de maneira combinada entre carcaça de tilápia e poda urbana se mostrou um tratamento eficaz, resultando em um composto final maturado em todos os tratamentos. A interação entre esses dois tipos de resíduos proporcionou condições ideais para a decomposição e transformação dos materiais em um composto final de alta qualidade.

Foram necessários 70 dias para estabilização da matéria orgânica, independente das diferentes composições dos tratamentos. Sendo que os resultados indicaram que os tratamentos foram considerados estatisticamente iguais.

Para uma análise mais completa e precisa, é necessário realizar testes laboratoriais ou análises químicas que possam identificar os componentes específicos presentes em cada composto. Essas análises forneceriam informações mais detalhadas sobre a composição química e possíveis diferenças entre os tratamentos.

Portanto, a compostagem combinada entre a carcaça de tilápia e a poda urbana mostrou-se uma prática promissora e sustentável, contribuindo para a gestão adequada de resíduos orgânicos e a produção de um composto de alta qualidade.

REFERÊNCIAS

- ANDREOLI, C. V. Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final. **Rio de Janeiro: RiMa/ABES**, 2001.
- APHA. AWWA, WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22 ed. Washington: American Public Health Association, 2012.
- BERNAL, M. P.; ALBURQUERQUE, J. A.; MORAL, Raúl. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. **Bioresource technology**, v. 100, n. 22, p. 5444-5453, 2009.
- BERNSTAD, A; LA COUR JANSEN, J. Review of comparative LCAs of food waste management systems—current status and potential improvements. **Waste management**, v. 32, n. 12, p. 2439-2455, 2012.
- BOSCOLO, W. R., FEIDEN, A., SIGNOR, A. A., KLEIN, S., BITTENCOURT, F., & CORRÊIA, A. F. Resíduos da indústria de filetagem de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) na forma de farinhas e silagem para a alimentação de lambari (*Astianax bimaculatus*). **Revista Acadêmica Ciência Animal**, v. 10, n. 2, p. 189-195, 2012.
- BOSCOLO, W. R.; SIGNOR, A.; FEIDEN, A.; SIGNOR, A.A.; SCHAEFER, A.; REIDEL, A. Farinha de Resíduos da Filetagem de Tilápia em Rações para Alevinos de Piauçu (*Leporinus macrocephalus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.6, p.1819- 1827, 2005.
- BOSCOLO, W., HAYASHI, C., MEURER, F., FEIDEN, A., & BOMBARDELLI, R. Digestibilidade aparente da energia e proteína das farinhas de resíduo da filetagem da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) e da corvina (*Plagioscion squamosissimus*) e farinha integral do camarão canela (*Macrobrachium amazonicum*) para a tilápia do Nilo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, p. 8-13, 2004.
- BRASIL. Lei no 12.305, de 02 de agosto de 2010. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília, DF, 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.html. Acesso em: 13 mar. 2022;
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos**. Brasília: MAPA/DAS/CGAL, 2014. 220p.
- BRASIL. Norma Brasileira no 10.004 de 31 de maio de 2004. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**. Rio de Janeiro, RJ, 2004;
- CARMO, D. L; SILVA, C. A. Métodos de quantificação de carbono e matéria orgânica em resíduos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 4, p. 1211-1220, 2012. *Cartas Climáticas: precipitação, Londrina – Paraná*. 2019;
- CARVALHO, M., ARAÚJO, Y. R. V., GÓIS, M. L. D., & COELHO JUNIOR, L. M. Urban pruning waste: carbon footprint associated with energy generation and prospects for clean development mechanisms. **Revista Árvore**, v. 43, 2019.

CERDA, A., ARTOLA, A., FONT, X., BARRENA, R., GEA, T., & SÁNCHEZ, A. Composting of food wastes: Status and challenges. **Bioresource technology**, v. 248, p. 57-67, 2018.

CERRI, C. E. P.; OLIVEIRA, E. C. A.; SARTORI, R. H.; GARCEZ, T. B. Compostagem. Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas. Piracicaba: USP. 19p. 2008. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Compostagem_000fhc8nfqz02wyiv80efhb2adn37yaw.pdf Acesso em 5 maio. 2022.

CHIARELOTTO, M., DAMACENO, F. M., LORIN, H. E. F., TONIAL, L. M. S., DE MENDONÇA COSTA, L. A., BUSTAMANTE, M. A., ... & COSTA, M. S. S. D. M. Reducing the composting time of broiler agro-industrial wastes: The effect of process monitoring parameters and agronomic quality. **Waste Management**, v. 96, p. 25-35, 2019.

CONCEIÇÃO, P. S. da. Avaliação da tratabilidade da cama de frango por processos aeróbios de compostagem visando sua reutilização. 2012. **Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)** – Universidade Federal de Viçosa - UFV, Viçosa, MG, 2012;

CORTEZ, C. L. **Estudo do potencial de utilização da biomassa resultante da poda de árvores urbanas para a geração de energia-estudo de caso: AES Eletropaulo**. 2011. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

CORTEZ, C. L.; C, SUANI. T.; GRISOLI, R.; GRISOLI, F. **Compostagem de resíduos de poda urbana**. CENBIO – Centro Nacional de Referência em Biomassa. São Paulo, março. 2008.

COSTA FILHO, D. V., SILVA, A. J., SILVA, P. A. P., & SOUSA, F. C. Aproveitamento de resíduos agroindustriais na elaboração de subprodutos. In: **II Congresso Internacional das Ciências Agrárias–COINTER–PDVAgro**. 2017.

COSTA, M. S. D. M., COSTA, L. A. D. M., SESTAK, M., OLIBONE, D., SESTAK, D., KAUFMANN, A. V., & ROTTA, S. R. Compostagem de resíduos da indústria de desfibração de algodão. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 2, p. 540-548, 2005.

DE LIMA, L. K. F. Reaproveitamento de resíduos sólidos na cadeia agroindustrial do pescado. **Embrapa Pesca e Aquicultura-Documentos (INFOTECA-E)**, 2013.

DOS ANJOS, E. D. O., BUENO, D., DOS ANJOS, A. C. P., PINHEIRO, J. K., & JARDIM, G. N. Estudo de caso dos resíduos sólidos e a percepção dos habitantes urbanos e catadores na cidade de Mundo Novo-Mato Grosso do Sul. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 9, n. 1, p. 16218, 2020.

FARRELL, M.; JONES, D. L. Critical evaluation of municipal solid waste composting and potential compost markets. **Bioresource Technology**, v. 100, n. 19, p. 4301–4310, 1 out. 2009.

FELTES, M., CORREIA, J. F., BEIRÃO, L. H., BLOCK, J. M., NINOW, J. L., & SPILLER, V. R. Alternativas para a agregação de valor aos resíduos da industrialização de peixe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 669-677, 2010.

FERNANDES, F. Manual prático para a compostagem de Biossólidos. **Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação**, p. 84, 1999.

FONSECA, C. **Potencial bioquímico de biogás de resíduo de filetagem de tilápia Oreochromis nilóticos**. 2018. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

FORNES, F., MENDOZA-HERNÁNDEZ, D., GARCÍA-DE-LA-FUENTE, R., ABAD, M., & BELDA, R. M. Composting versus vermicomposting: a comparative study of organic matter evolution through straight and combined processes. **Bioresource technology**, v. 118, p. 296-305, 2012.

FORNES, F.; MENDOZA-HERNANDEZ, D.; BELDA, R. M. Compost versus vermicompost as substrate constituents for rooting shrub cuttings. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 2, p. 518–528, 2013.

FRANKEL, R. B.; BAZYLINSKI, D. A. Biologically induced mineralization by bacteria. **Reviews in mineralogy and geochemistry**, v. 54, n. 1, p. 95-114, 2003.

FRANKEL, R. B.; BAZYLINSKI, D. A. Biologically induced mineralization by bacteria. **Reviews in mineralogy and geochemistry**, v. 54, n. 1, p. 95-114, 2003.

GABHANE, J., WILLIAM, S. P., BIDYADHAR, R., BHILAWA, P., ANAND, D., VAIDYA, A. N., & WATE, S. R. Additives aided composting of green waste: Effects on organic matter degradation, compost maturity, and quality of the finished compost. **Bioresource Technology**, v. 114, p. 382–388, 2012.

GOUVEIA, N. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. **Ciência & saúde coletiva**, v. 17, n. 6, p. 1503-1510, 2012.

HECK, K., DE MARCO, É. G., HAHN, A. B., KLUGE, M., SPILKI, F. R., & VAN DER SAND, S. T. Evaluation of degradation temperature of compounds in a composting process and microbiological quality of the compost. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 1, p. 54–59, 2012.

HERBETS, R. A., COELHO, C. D. A., MILETTI, L. C., & MENDONÇA, M. D. Compostagem de resíduos sólidos orgânicos: aspectos biotecnológicos. **Revista Saúde e Ambiente**, v. 6, n. 1, p. 41-50, 2005.

HOLANDA, P. C. **Compostagem e Minhocultura**. Fortaleza. P. 13 – 22. Fundação Demócrito Rocha; Instituto Centro Ensino Tecnológico – CENTEC, 2013.

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

INÁCIO, C. T. Compostagem – curso prático e teórico. Circular Técnica 48. **Embrapa**. Rio de Janeiro, 2015.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ - IAPAR. **Classificação Climática. Cartas Climáticas: precipitação**, Londrina – Paraná. 2019;

- JORGE, M. M. P. **Avaliação da fitotoxicidade de compostos orgânicos e da desintegração de materiais-contributo para aferição das normas técnicas: em 16086-1 e iso 20200**. 2018. Tese de Doutorado.
- KIEHL, E. J. Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto. Piracicaba: [s.n.], 1998. 171p.
- KÖPPEN, W.; GEIGER, R. *Klimate der Erde*. **Gotha: Verlag Justus Perthes**. 1928. Wall-map 150cmx200cm.
- LAOS, F., MAZZARINO, M. J., WALTER, I., ROSELLI, L., SATTI, P., & MOYANO, S. Composting of fish offal and biosolids in northwestern Patagonia. **Bioresource Technology**, v. 81, n. 3, p. 179-186, 2002.
- LI, Z., LU, H., REN, L., & HE, L. Experimental and modeling approaches for food waste composting: A review. **Chemosphere**, v. 93, n. 7, p. 1247–1257, 2013.
- LOPES, I. G. **Tratamento de resíduos da aquicultura: compostagem e uso de mosca soldado negro**. 2020. Tese de doutorado. Universidade Estadual Paulista.
- MACCARINI, A. C.; BESSA, M. R.; ERRERA, M. R. Energy valuation of urban pruning residues feasibility assessment. **Biomass and Bioenergy**, v. 142, p. 105763, 2020.
- MACHADO, É. A. P. C. **Compostagem de resíduos orgânicos oriundos da piscicultura e comércio de tilápias (*Oreochomis niloticus*) em pesqueiros: uma alternativa sustentável**. 2022. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira de Potassa e do Fósforo, 1997. 319 p.
- MASSUKADO, L. M. **Desenvolvimento do processo de compostagem em unidade descentralizada e proposta de software livre para o gerenciamento municipal dos resíduos sólidos domiciliares**. 2008. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- MEIRA, A. M. **Gestão de resíduos da arborização urbana**. 2010. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- Ministério do Meio Ambiente - MMA. **Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos, SINIR**. Disponível em: <<https://www.sinir.gov.br/web/guest/sobre-o-sinir-detalhes>>. Acesso em: 10 de junho de 2022.
- Ministério do Meio Ambiente- MMA. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília, 2022. Disponível em: <<http://www.sinir.gov.br/web/guest/plano-nacional-de-residuossolidos>>. Acesso em 5 maio. 2022.
- OLIVEIRA, A. L. T. DE *et al.* Alternativa sustentável para descarte de resíduos de pescado em Fortaleza. **Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal**, v. 6, n. 2, p. 1–16, 2012.

PASCHOALIN FILHO, J. A., SILVEIRA, F. F., DA LUZ, E. G., & DE OLIVEIRA, R. B. Comparação entre as massas de resíduos sólidos urbanos coletadas na cidade de São Paulo por meio de coleta seletiva e domiciliar. **Revista de Gestão Ambiental e da Sustentabilidade**, v. 3, n. 3, p. 19-34, 2014.

PEIXE BR. Associação Brasileira da Piscicultura. **Anuário PeixeBR da Piscicultura 2022**. São Paulo (SP): Edição Texto Comunicação Corporativa;153 p. 2022.

PEREIRA NETO, João T. Manual de Compostagem: processo de baixo custo. Viçosa, Minas Gerais. 81 f. 2011.

PETRUCCIOLI, M., RAVIV, M., DI SILVESTRO, R., & DINELLI, G. Agriculture and Agro-Industrial Wastes, Byproducts, and Wastewaters: Origin, Characteristics, and Potential in Bio-Based-Compounds Production. **Comprehensive Biotechnology, Second Edition**, v. 6, p. 531–545, 2011.

PINTO, B. V. V. P. V., BEZERRA, A. E., VALADÃO, R. C., & OLIVEIRA, G. M. O resíduo de pescado e o uso sustentável na elaboração de coprodutos. **Revista Mundi Meio Ambiente e Agrárias (ISSN: 2525-4790)**, v. 2, n. 2, 2017.

PUYUELO, B., GEA, T., & SÁNCHEZ, A. A new control strategy for the composting process based on the oxygen uptake rate. **Chemical Engineering Journal**, v. 165, n. 1, p. 161-169, 2010.

QUEIROZ, F. F. **Avaliação do aproveitamento de resíduos vegetais por meio da compostagem em leiras revolvidas**. Estudo de caso de Londrina. 2007. 66 (Dissertação de pós-graduação) – Universidade Estadual de Londrina. Londrina, 2007.

R DEVELOPMENT CORE TEAM (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL: <http://www.R-project.org>. Acesso em 04 de jun 2022;

RADZIEMSKA, M., VAVERKOVÁ, M. D., ADAMCOVÁ, D., BRTNICKÝ, M., & MAZUR, Z. Valorization of fish waste compost as a fertilizer for agricultural use. **Waste and Biomass Valorization**, v. 10, n. 9, p. 2537-2545, 2019.

SAID-PULLICINO, D.; ERRIQUENS, F. G.; GIGLIOTTI, G. Changes in the chemical characteristics of water-extractable organic matter during composting and their influence on compost stability and maturity. **Bioresource Technology**, v. 98, n. 9, p. 1822-1831, 2007.

SANES, F. S. M., STRASSBURGER, A. S., ARAUJO, F. B., & MEDEIROS, C. A. B. Waste composting and proving fish for production the organic fertilizers. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 3, p. 1241–1251, 1 maio 2015.

SANTOS, W. M. Aproveitamento de subprodutos de resíduos de pesca para a produção de farinha. **Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental e Sanitária) Universidade Federal de Pelotas–UFPEL**, 2016.

SILVA, F. V., SARMENTO, N. L. D. A. F., VIEIRA, J. S., TESSITORE, A. J. D. A., OLIVEIRA, L. L. D. S., & SARAIVA, E. P. Características morfológicas, rendimentos de carcaça, filé, vísceras e resíduos em tilápias-do-nylo em diferentes faixas de peso. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 8, p. 1407-1412, 2009.

SPADOTTO, C. A., RIBEIRO, W. C., CLAUDIO APARECIDO SPADOTTO, S. G. T. E., & WAGNER, C. R. **Gestão de resíduos na agricultura e agroindústria**. Botucatu: FEPAF, 2006.

SPINELLI, R.; MAGAGNOTTI, N.; NATI, C. Harvesting vineyard pruning residues for energy use. **Biosystems Engineering**, v. 105, n. 3, p. 316–322, 2010.

TORQUATI, B., MARINO, D., VENANZI, S., PORCEDDU, P., & CHIORRI, M. Using tree crop pruning residues for energy purposes: A spatial analysis and an evaluation of the economic and environmental sustainability. **Biomass and Bioenergy**, v. 95, p. 124–131, 2016.

VALENTE, B. S., ANDREAZZA, R., XAVIER, E. G., GOMES, M. C., PEREIRA, H. D. S., & ÁVILA, F. D. D. Composting for valuation of marine fish waste. **Revista Brasileira de Saude e Producao Animal**, v. 18, n. 4, p. 594–603, 2017.

VALENTE, B. S., XAVIER, E. G., MORSELLI, T. B. T. G. A., JAHNKE, D. S., BRUM JR, B., CABRERA, B. R., ... & LOPES, D. C. N. FATORES QUE AFETAM O DESENVOLVIMENTO DA COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS ORGÂNICOS. **7th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, WiCOM 2011**, v. 58, p. 59–85, 2009.

VALENTE, B. S., XAVIER, E. G., PEREIRA, H. D. S., & PILOTTO, M. V. T. Composting in residues management of freshwater fish. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 40, n. 1, p. 95–103, 2014.

WANG, L., LI, Y., PRASHER, S. O., YAN, B., OU, Y., CUI, H., & CUI, Y. Organic matter, a critical factor to immobilize phosphorus, copper, and zinc during composting under various initial C/N ratios. **Bioresource Technology**, v. 289, p. 121745, 2019.

WANG, Y., HUANG, G., ZHANG, A., HAN, L., & GE, J. Estimating thermal balance during composting of swine manure and wheat straw: A simulation method. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, v. 75, p. 362-367, 2014.

ZHANG, L.; SUN, X. Effects of rhamnolipid and initial compost particle size on the two-stage composting of green waste. **Bioresource Technology**, v. 163, p. 112–122, 2014.