DIFERENTES FONTES DE CARBONO NA COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS DA FILETAGEM DE TILÁPIA PARA PRODUÇÃO DE ADUBO ORGÂNICO

Davi Lustosa Santunioni[1]; José Carlos Venâncio Da Páschoa[1]; Maria Verônica Pachêco [1]; Ana Amélia Caprioli[1]; José Geraldo de Vargas Junior[2]; Pedro Pierro Mendonça[1]

[1] Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, Campus de Alegre, BR 482, Alegre x Cachoeiro de Itapemerim, km 11, distrito de Rive – 29520-000, município de Alegre, ES, Brasil, davilustosa40@gmail.com, limjclim@gmail.com , mariaveronicapacheco23@gmail.com, anaameliacaprioli@gmail.com , ppierrom@gmail.com.

[2] Universidade Federal do Espírito Santo, Alto Universitário, S/N - Guararema - 29500-000, Alegre, ES, Brasil, jose.vargas@ufes.br

Resumo

A piscicultura tem aumentado a geração de resíduos oriundos da filetagem de tilápias, tornando necessária a adoção de alternativas para o aproveitamento. O objetivo deste estudo foi avaliar diferentes fontes vegetais associadas aos resíduos da filetagem de tilápia para produção de composto orgânico. O experimento foi conduzido no Instituto Federal do Espírito Santo, Campus de Alegre, durante o período de setembro de 2021 a janeiro de 2022, utilizando resíduos de poda de árvores, aparas de grama e palha de café combinados com resíduos de pescado na proporção de 1:2. Foram monitoradas temperatura, umidade, redução de massa e volume, além de análises químicas do composto final. Os tratamentos atingiram temperaturas entre 65,0 e 68,5 °C, indicando adequada atividade microbiológica. Após 113 dias de compostagem, os compostos apresentaram valores satisfatórios de pH, matéria orgânica, relação carbono/nitrogênio e teores de macro e micronutrientes. Conclui-se que a compostagem de resíduos da filetagem de tilápias associada a diferentes resíduos vegetais é uma alternativa eficiente para reciclagem de nutrientes e produção de fertilizante orgânico.

Palavras-chave: Tilapicultura. Compostagem aeróbica. Resíduos orgânicos. Fertilizante orgânico. Agroecologia.

Área do Conhecimento: Ciências Agrárias – Agroecologia.

Introdução

O pescado é a carne de origem animal mais demandada mundialmente, e o consumo per capita atingiu o recorde de 20,5 kg/hab/ano (FAO, 2020). No Brasil, a piscicultura encontra-se em pleno crescimento, impulsionada por políticas públicas e pelo aumento de investimentos em propriedades rurais . Contudo, esse avanço gera um passivo ambiental significativo, uma vez que cerca de 65% do peso vivo do peixe é descartado durante a filetagem (Valente *et al.*, 2014). O descarte inadequado desses resíduos em corpos hídricos provoca a diminuição do oxigênio dissolvido e riscos à saúde pública, classificando-os como resíduos Classe II (Não Inertes), que possuem alto potencial para reciclagem (ABNT, 2004; Sucasas, 2011).

A compostagem surge como uma tecnologia de baixo custo para o tratamento desses resíduos, promovendo a decomposição biológica aeróbia e convertendo a matéria orgânica em um fertilizante estável e rico em nutrientes . Para que o processo seja eficiente, é fundamental o ajuste da relação carbono/nitrogênio (C/N), idealmente entre 25:1 e 30:1, o que exige a adição de fontes de carbono, como resíduos vegetais, para balancear o alto teor de nitrogênio presente nos resíduos de pescado (Kiehl, 2004; Inácio; Miller, 2009).

Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o uso de diferentes resíduos vegetais (poda de árvores, aparas de grama e palha de café) associados aos resíduos da filetagem de tilápia, para produzir composto orgânico com potencial para adubação, oferecendo uma alternativa sustentável para o manejo desses subprodutos na agricultura familiar.

Metodologia

O experimento foi conduzido de setembro de 2021 a janeiro de 2022 no setor de Aquicultura do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, Campus de Alegre, em delineamento inteiramente casualizado, com três tratamentos e quatro repetições: T1, resíduo de filetagem de tilápia + poda de árvores (RP+PA); T2, resíduo de filetagem de tilápia + aparas de grama (RP+AG); e T3, resíduo de filetagem de tilápia + palha de café (RP+PC). Os resíduos de pescado foram moídos em matriz de 5 mm e os vegetais triturados em partículas de 2 a 5 cm. As misturas foram preparadas na proporção de 1:2 (resíduo de pescado:resíduo vegetal) e acondicionadas em composteiras de 100 L, obtidas de bombonas de 200 L cortadas ao meio, com 0,5 kg de cal hidratada por unidade experimental. A temperatura e a umidade foram monitoradas diariamente nos primeiros 30 dias e, posteriormente, a cada três dias, até o término do processo, aos 113 dias; os reviramentos foram realizados a cada 15 dias. Ao final, determinaram-se umidade, redução de massa e volume, pH, matéria orgânica, carbono orgânico, relação C/N e macro e micronutrientes. Os dados foram submetidos à ANOVA e ao teste de Tukey a 10% de probabilidade.

Figura 1: Configuração dos tratamentos 1, 2 e 3, (T1, T2 e T3) e repetições 1, 2, 3 e 4, (R1, R2, R3 e R4)



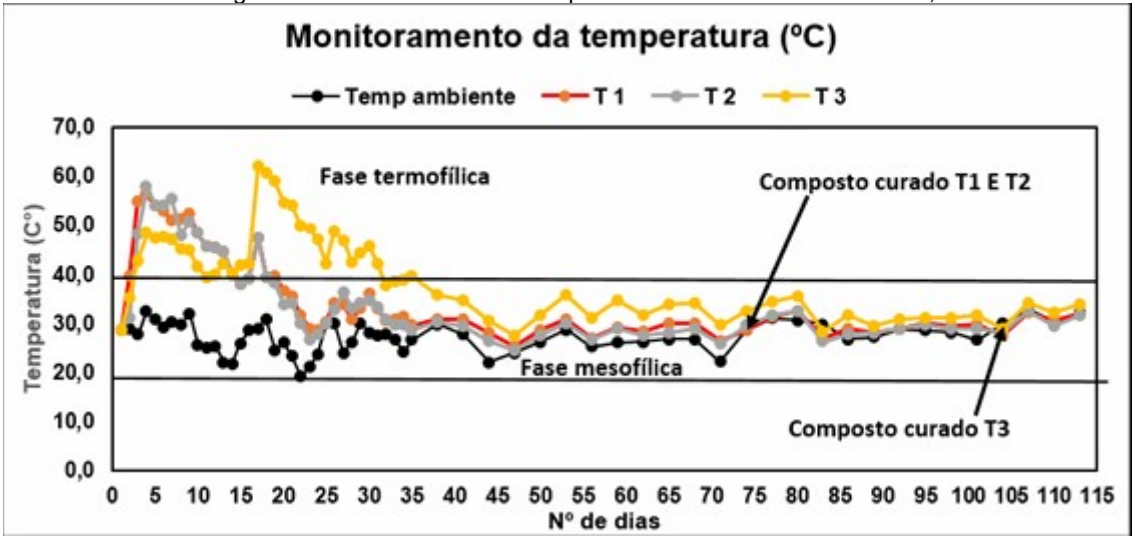
Fonte: elaborado pelo próprio autor.

Resultados

A fase mesofílica (20 a 40 °C), começa com a decomposição da matéria orgânica, liberando calor e vapor d'água, com formação de ácidos e toxinas de curta duração. A fase termofílica, é a fase com degradação ativa, quando o material atinge a temperatura máxima, superior à 40 ºC e onde as reações bioquímicas são mais intensas. A fase de maturação é o período de estabilização que produz um composto maturado, estabilizado e humificado, podendo durar entre 30 a 60 dias. Se realizada de maneira correta, o composto ao final apresentará coloração escura e odor similar ao de terra .

Se as condições forem adequadas alcança-se a temperatura de 40 a 50 °C dentro de dois a três dias, podendo atingir 60 a 70 °C em 15 dias. A temperatura é um fator importante, pois está relacionada à rapidez do processo de biodegradação e à eliminação de patógenos. Quando a temperatura da pilha for menor ou igual à temperatura ambiente, o processo de compostagem terminou e o composto está pronto. A evolução do processo de compostagem foi conduzida por fatores limitantes do mesmo, sendo a temperatura um dos mais importantes. A temperatura média da leira de compostagem variou entre 28,6 °C no início do processo, alcançando a temperatura de no máximo 68,5 °C durante a fase termofílica e retornando ao mesmo valor da temperatura ambiente no final do processo. Temperatura média nos Tratamentos: T1 (resíduo de filetagem de tilápias com resíduo de poda de árvores), T2 (resíduo de filetagem de tilápias com resíduo de aparas de grama) e T3 (resíduo de filetagem de tilápias com palha de café

Figura 3 – Monitoramento da temperatura média nos tratamentos 1, 2 e 3.



Fonte: elaborado pelo próprio autor.

O processo da compostagem resultou na redução do volume do composto produzido em relação à quantidade de resíduos utilizados na mistura inicial, porém não resultou em variação da umidade relativa, conforme apresentado na tabela 1. Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2009), o teor de umidade do fertilizante orgânico deve ficar entre 30 e 40 %.

Tabela 1 - Valores médios de umidade e percentual de redução dos compostos.

Variáveis	Tratamentos		
	T_1 = RP+PA	T_2 = RP+AG	T_3 = RP+PC
Umidade (%)	35,08	34,48	35,78
Redução de massa (%)	25,79^b	70,26^a	19,39^b
Redução em volume (%)	47,86^b	79,17^a	37,86^c

Fonte: elaborado pelo próprio autor.

Os resultados das análises químicas realizadas no laboratório LABOMINAS dos seguintes parâmetros: potencial hidrogeniônico (pH), matéria orgânica (MO), carbono orgânico (CO) e relação carbono/nitrogênio (C/N). Os resultados foram em porcentagem média dos tratamentos (Tabela 2).

Tabela 2: Resultados médios das análises químicas de pH, MO, CO e relação C/N.

Variáveis	Tratamentos		
	T_1 = RP+PA	T_2 = RP+AG	T_3 = RP+PC
pH	8,1^b	8,1^b	8,8^a
MO (%)	71,99^a	60,74^b	70,00^a
CO (%)	32,8^a	27,57^b	31,36^a
Relação C/N	14,3^a	10,5^b	9,80^b

Fonte: elaborado pelo próprio autor.

Os resultados a seguir são das análises químicas do composto orgânico, realizadas no laboratório LABOMINAS, dos seguintes parâmetros: macro e micronutrientes (Tabelas 3 e 4).

Tabela 3: Médias dos resultados de macro nutrientes obtidos para os diferentes tratamentos.

Variáveis	Tratamentos		
	T_1 = RP+PA	T_2 = RP+AG	T_3 = RP+PC
N (%)	2,29^{c}	2,63^{b}	3,26^{a}
P (%)	0,86^{b}	1,03^{a}	0,85^{b}
K (%)	1,17^{b}	1,61^{b}	4,07^{a}
S (%)	3,25^{c}	5,30^{a}	3,98^{b}
Ca (%)	4,59^{ab}	5,07^{a}	3,61^{b}
Mg (%)	1,00^{ab}	1,15^{a}	0,71^{b}

Fonte: elaborado pelo próprio autor.

Tabela 4: Médias dos resultados de micronutrientes obtidos para os diferentes tratamentos.

Variáveis	Tratamentos		
	T_1 = RP+PA	T_2 = RP+AG	T_3 = RP+PC
Cu (ppm)	0,33	0,33	0,23
Fe (ppm)	9,88^{a}	11,12^{a}	5,85^{b}
Mn (ppm	1,67^{b}	3,00^{a}	0,80^{c}
Zn (ppm)	0,38^{b}	0,90^{a}	0,26^{c}
B (ppm)	0,35^{a}	0,09^{b}	0,36^{a}

Fonte: elaborado pelo próprio autor.

Discussão

O perfil térmico confirma que as três misturas sustentaram atividade microbiológica intensa. A elevação da temperatura decorre do metabolismo aeróbio durante a oxidação da matéria orgânica facilmente degradável; por isso, a temperatura funciona como indicador indireto da intensidade do processo. Faixas termofílicas são esperadas quando umidade, disponibilidade de substrato e aeração são adequadas e contribuem para a higienização do material. Kiehl (1985) e Fortes Neto (1992) descrevem que sistemas bem conduzidos podem atingir 60–70 °C, enquanto Bettiol e Camargo (2000) relacionam a elevação térmica à velocidade de biodegradação e à redução de organismos indesejáveis. Assim, os picos de 65,0–68,5 °C observados no experimento são coerentes com um processo biologicamente ativo, sem necessidade de interpretar a maior temperatura, isoladamente, como superioridade agronômica de um tratamento.

A diferença mais evidente no comportamento térmico foi o prolongamento da estabilização de T3. A palha de café apresentou relação C/N inicial elevada (83,44:1), informação registrada no estudo, e materiais com excesso relativo de carbono tendem a limitar temporariamente a disponibilidade de nitrogênio para a biomassa microbiana. Kiehl (2004) destaca que relações C/N muito elevadas retardam a decomposição, pois o nitrogênio passa a ser fator limitante para síntese celular. Isso oferece uma explicação consistente para a permanência de T3 por mais tempo antes de igualar-se à temperatura

ambiente. Ao mesmo tempo, a relação C/N final de 9,80 em T3 mostra que, apesar da estabilização mais lenta, houve intensa transformação do material ao longo dos 113 dias. Oliveira, Sartori e Garcez (2008) associam a maturação à estabilização da matéria orgânica e ao declínio da atividade térmica, reforçando a utilidade da combinação entre temperatura e relação C/N para avaliar o estágio final do processo.

A umidade final, próxima de 35% nos três tratamentos, situa-se dentro da faixa de 30–40% indicada para fertilizantes orgânicos na Instrução Normativa nº 25/2009 (Mapa, 2009). A proximidade entre os valores sugere que a fonte vegetal não produziu diferenças relevantes nesse parâmetro ao término do ensaio. Em contrapartida, T2 apresentou redução de massa e volume muito superior às de T1 e T3. A interpretação deve considerar a estrutura física das matérias-primas: aparas de grama possuem grande proporção de folhas, baixa densidade aparente e elevado volume inicial, enquanto resíduos de poda contêm frações lenhosas e a palha de café apresenta estrutura seca distinta. Durante a compostagem, parte do carbono é mineralizada e liberada como CO_2, simultaneamente à perda de água, processos que reduzem massa e volume (Inácio; Miller, 2009). Portanto, a maior redução em T2 pode refletir tanto maior degradabilidade quanto diferenças físicas do material inicial; os dados disponíveis não permitem atribuir o efeito a um único mecanismo.

Os indicadores químicos apontam compostos com características de maturação, mas também evidenciam efeito da fonte de carbono. O pH alcalino variou de 8,1 a 8,8; a matéria orgânica permaneceu acima de 60%; e o carbono orgânico, acima de 27%. Durante a estabilização, compostos orgânicos de rápida decomposição são mineralizados, enquanto frações mais resistentes participam da humificação, de modo que a perda de carbono como CO_2 é parte esperada do processo (Do Nascimento *et al.*, 2005; Cooper *et al.*, 2010). As relações C/N finais de 9,80 a 14,30 estão próximas da faixa de 10:1 a 15:1 descrita como característica de composto maturado (Kiehl, 2004; Oliveira; Sartori; Garcez, 2008). A interpretação conjunta desses indicadores é mais robusta do que o uso isolado do pH ou da matéria orgânica, pois a maturidade resulta de transformações físicas, químicas e biológicas simultâneas.

A composição mineral reforça o potencial de reciclagem de nutrientes presente nos resíduos de pescado. Todos os tratamentos apresentaram N acima de 2%, com maior valor em T3, enquanto P, K, S, Ca e Mg responderam de forma distinta às fontes vegetais. O destaque do K em T3 (4,07%) indica contribuição específica da combinação com palha de café, ao passo que T2 concentrou os maiores valores de P, S, Ca e Mg. A presença de Ca pode ser relacionada, em parte, às estruturas ósseas dos resíduos de pescado e ao uso de cal hidratada informado no estudo. Para N, P e K, os valores observados demonstram que o composto final não representa apenas uma forma de estabilização do resíduo, mas também um reservatório de elementos essenciais às plantas. Sanes *et al.* (2015), ao estudarem fertilizantes orgânicos derivados de pescado, também demonstraram a capacidade desses resíduos de originar produtos com valor nutricional, o que sustenta sua valorização em vez do descarte.

Entre os micronutrientes, o Fe foi o elemento de maior concentração nos três tratamentos, especialmente em T1 e T2, resultado compatível com observações de Sanes *et al.* (2015) para compostagem de resíduos de pescado. Souza *et al.* (2016) relacionam a presença de ferro nesses compostos ao sangue residual do processamento, além de ressaltarem sua importância no metabolismo vegetal. As diferenças de Mn, Zn e B entre tratamentos mostram que a matéria-prima vegetal também participa da composição final. Contudo, concentração química não equivale automaticamente à disponibilidade para as plantas: pH, formas químicas dos elementos e interação com o solo condicionam a eficiência agronômica. Por isso, embora os parâmetros finais atendam a referências de qualidade para fertilizantes orgânicos e indiquem potencial de uso (Mapa, 2020), a recomendação agronômica deve ser confirmada por ensaios de cultivo e avaliação do solo. Essa distinção evita extrapolar análises laboratoriais para desempenho em campo e delimita adequadamente o alcance dos resultados.

Conclusão

A associação de resíduos da filetagem de tilápia com poda de árvores, aparas de grama ou palha de café, na proporção 1:2, permitiu conduzir a compostagem aeróbia e obter, após 113 dias, materiais com umidade, pH, matéria orgânica, relação C/N e composição mineral compatíveis com o aproveitamento como composto orgânico. As fontes vegetais, entretanto, produziram respostas distintas: T2 apresentou as maiores reduções de massa e volume e maiores valores para vários nutrientes, enquanto T3 apresentou maior teor de N e K e estabilização térmica mais tardia. Assim, a

escolha da fonte de carbono influencia a dinâmica do processo e a composição final. Estudos posteriores devem avaliar o desempenho agronômico dos compostos e seus efeitos sobre atributos do solo, sem extrapolar os resultados laboratoriais aqui obtidos.

Referências

ABNT. NBR 10004: **Resíduos sólidos** — Classificação. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (ed.). **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. 312 p.

CARVALHO, C. R. B. **Compostagem de resíduos verdes e orgânicos alimentares**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

COOPER, M. *et al.* **Compostagem e reaproveitamento de resíduos orgânicos agroindustriais: teórico e prático**. Piracicaba: ESALQ, 2010.

DO NASCIMENTO, A. M. *et al.* **Química e Meio Ambiente: Reciclagem de lixo e química verde**. Secretaria de Educação: Curso Formação Continuada Ciências da Natureza, 2005.

FAO. **Situação Mundial da Pesca e da Aquicultura: sustentabilidade em ação**. Roma: FAO, 2020.

FORTES NETO, P. **Monitoramento da compostagem de lixo em leiras estáticas e revolvidas**. 1992. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola e do Ambiente) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1992.

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

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

KIEHL, E. J. **Manual de compostagem: maturação e qualidade de composto**. 4. ed. São Paulo: Editora EMBRAPA, 2004.

MAPA. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 25**, de 23 de julho de 2009. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2009.

MAPA. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 61**, de 08 de julho de 2020. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2020.

OLIVEIRA, E. C. A.; SARTORI, R. H.; GARCEZ, T. B. **Compostagem**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2008. 19 f.

SANES, F. S. M. *et al.* Compostagem e fermentação de resíduos de pescado para produção de fertilizantes orgânicos. **Sem.: Ciên. Agrá.**, Londrina, v. 36, n. 3, p. 1241-1252, 2015.

SOUZA, W. L. *et al.* Aplicação do composto orgânico produzido a partir de resíduos de pescados e vegetais no cultivo do feijão caupi. **Rev. Bras. de Hig. e Sani. Ani.**, v. 10, n. 2, p. 252-270, 2016.

SUCASAS, L. F. A. **Avaliação do resíduo do processamento de pescado para o desenvolvimento de co-produtos visando o incremento da sustentabilidade na cadeia produtiva**. 2011. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

VALENTE, B. S. *et al.* Compostagem na gestão de resíduos de pescado de água doce. **Bol. do Inst. de Pesc.**, São Paulo, v. 40, p. 95-103, 2014.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Código de Financiamento 001, e da Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES). Os autores agradecem à Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) e ao Instituto

Federal do Espírito Santo (IFES) pelo apoio institucional e infraestrutura concedidos ao Laboratório de Nutrição e Produção de Espécies Ornamentais para a execução desta pesquisa.