

Rio de Janeiro, RJ / Agosto, 2024

Compostos orgânicos obtidos a partir de resíduos de hortaliças

Olívia da Silva Ribeiro⁽¹⁾, Marco Antonio de Almeida Leal⁽²⁾

⁽¹⁾ Bolsista PIBIC da Embrapa Agrobiologia e aluna de graduação em Agronomia na UFRRJ, silolivia222@gmail.com. ⁽²⁾ Pesquisador Embrapa Agrobiologia, BR 465, km 7, CEP 23851-970, Seropédica-RJ, marco.leal@cnpab.embrapa.br.

Resumo – A utilização de resíduos de composição orgânica é uma alternativa para suprir a crescente demanda por fertilizantes, além de reduzir os custos e eventuais impactos ambientais negativos decorrentes do seu descarte. É comum que sistemas orgânicos ou em transição agroecológica de produção de hortaliças orgânicas cultivem uma grande variedade de espécies, gerando diferentes resíduos ricos em nutrientes que podem ser utilizados em processos de compostagem. Este trabalho de pesquisa teve como objetivo avaliar a utilização de três diferentes resíduos de hortaliças: folhas de alface, folhas de cenoura e folhas de brócolis, visando obter fertilizantes orgânicos por meio da sua compostagem em misturas com capim elefante, sendo realizado um experimento para cada tipo de resíduo. Todas as matérias-primas utilizadas nos experimentos foram obtidas dentro do Sistema Integrado de Produção Agroecológica (SIPA), também conhecido como “Fazendinha Agroecológica Km 47”, localizada em Seropédica-RJ, que pode ser caracterizado como um sistema agrobiodiverso de produção de hortaliças devido à grande variedade de espécies cultivadas. As misturas dos resíduos de hortaliças com o capim elefante foram realizadas em proporções próximas de 1:1 com base no volume e a compostagem foi realizada durante 90 dias. Foram avaliadas diversas características durante a compostagem, incluindo a quantificação de alguns índices de eficiência e caracterização dos compostos obtidos ao final do processo. Foram obtidos três fertilizantes orgânicos com elevado potencial para serem utilizados como condicionadores de solo e como fornecedores de nutrientes por meio da compostagem de misturas de capim elefante com folhas de alface, cenoura e brócolis. A utilização de resíduos de hortaliças como principais fornecedores de N na compostagem de misturas contendo capim elefante pode proporcionar uma redução no custo de produção dos compostos orgânicos obtidos.

Termos para indexação: fertilizantes, condicionadores de solo, sistemas agrobiodiversos, aproveitamento de resíduos.

Organic compostings carried out with vegetable wastes

Abstract – The use of organic residues is an alternative to meet the growing demand for fertilizers, in addition to reducing costs and possible negative environmental impacts resulting from their disposal. It is common for organic

Embrapa Agrobiologia
Rodovia BR 465, km 7
CEP 23891-000 Seropédica, RJ
Caixa Postal 74.505
Fone: (21) 3441-1500
Fax: (21) 2682-1230
www.embrapa.br/agrobiologia
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações

Presidente

Bruno José Rodrigues Alves

Secretário-executivo

Carmelita do Espírito Santo

Membros

*Ana Cristina Siewert Garofolo,
Janaina Ribeiro Costa Rouws,
Luc Felicianus Marie Rouws,
Luis Cláudio Marques de Oliveira,
Luiz Fernando Duarte de Moraes,
Márcia Reed Rodrigues Coelho,
Marta dos Santos Freire Ricci de
Azevedo e Nátia Élen Auras*

Edição executiva

Ana Cristina Siewert Garofolo

Revisão de texto

Luis Cláudio Marques de Oliveira

Normalização bibliográfica

Carmelita do Espírito Santo

(CRB-7/5043)

Projeto gráfico

Leandro Sousa Fazio

Diagramação

Maria Christine Saraiva Barbosa

Publicação digital: PDF

Todos os direitos reservados à Embrapa.

systems or those in agroecological transition to produce organic vegetables to cultivate a wide variety of species, generating different residues rich in nutrients that can be used in composting processes. This research work aimed to evaluate the use of three different vegetable residues: lettuce leaves, carrot leaves and broccoli leaves, aiming to obtain organic fertilizers through their composting in mixtures with elephant grass, with an experiment being carried out for each residue. All raw materials used in the experiments were obtained within the Integrated Agroecological Production System (SIPA), also known as “Fazendinha Agroecológica Km 47”, located in Seropédica-RJ, which can be characterized as an agrobiodiverse vegetable production system due to the wide variety of cultivated species. Mixtures of vegetable waste with elephant grass were made in proportions close to 1:1 based on volume and composting was carried out for 90 days. Several characteristics were evaluated during composting, including the quantification of some efficiency indices, and the characterization of the compounds obtained at the end of the process. Where obtained three organic fertilizers with high potential for use as soil conditioners and nutrient suppliers by composting mixtures of elephant grass with lettuce, carrot and broccoli leaves. The use of vegetable waste as the main supplier of N in composting mixtures containing elephant grass can provide a reduction in the production cost of the organic compounds obtained.

Index terms: fertilizers, soil conditioners, agrobiodiverse systems, use of waste.

Introdução

O expressivo crescimento da produção agropecuária brasileira verificado nas últimas décadas e o incremento de seu nível tecnológico aumentaram a demanda por insumos agropecuários, principalmente fertilizantes. A produção agropecuária procedente de sistemas orgânicos ou em transição agroecológica também apresentou grande aumento no mesmo período, não só em valor absoluto, mas também proporcionalmente em relação ao manejo convencional. Nos últimos 12 anos, o número de produtores orgânicos cadastrados no Brasil cresceu 450%, de acordo com dados do Cadastro Nacional de Produtores Orgânicos (AGÊNCIA BRASIL, 2022).

Sistemas de produção agrobiodiversos de hortaliças são caracterizados pelo elevado número de espécies cultivadas concomitantemente ou em

sucessão. Esta é uma forma de produção muito comum em sistemas orgânicos ou em transição agroecológica, pois além de aumentar o número de hortaliças produzidas visando atender às demandas dos consumidores, é uma forma de aumentar a diversidade vegetal do sistema, contribuindo para ampliar a obtenção de serviços ecossistêmicos. É grande o potencial de aproveitamento dos resíduos gerados nesses sistemas visando a produção de insumos agrícolas, como fertilizantes e condicionadores, considerando a diversidade das fontes disponíveis, de forma a favorecer processos que valorizam a economia circular em contraposição à destinação como passivos ambientais.

Grande parte dos resíduos e subprodutos de composição orgânica precisa passar por algum processamento visando torná-los adequados para o uso agrícola, podendo ser utilizadas para este fim técnicas mediadas por processos biológicos, como a compostagem e a fermentação. A compostagem pode ser definida como um processo aeróbico controlado, termofílico, realizado por microrganismos e que proporciona a obtenção de matéria orgânica estabilizada (Sharma *et al.*, 1997; Zapata, 2009; Fülekey; Benedek, 2010). Zucconi e De Bertoldi (1987) acrescentam que na compostagem a matéria orgânica é mineralizada e parcialmente humificada, gerando um produto final estabilizado, livre de fitotoxicidade e de patógenos.

A fim de otimizar a obtenção de fertilizantes e condicionadores de solo a partir de resíduos agrícolas, é necessário que o processo de compostagem ocorra de forma adequada, sem apresentar condições prejudiciais, como anaerobiose, pH muito elevado ou muito reduzido, carência ou excesso de nutrientes, entre outras. Além disto, é recomendável caracterizar adequadamente o composto obtido visando verificar se ele apresenta as garantias de eficiência necessárias e determinar, com base nestas características, qual sua melhor forma de utilização. Segundo Leal *et al.* (2013) índices de eficiência da compostagem, como redução de massa e de volume, além de perdas de nutrientes que ocorrem ao longo do processo, devem ser determinadas visando estabelecer os coeficientes técnicos necessários para que esta técnica seja realizada de forma criteriosa.

A qualidade agronômica dos fertilizantes orgânicos é regulamentada por meio da Instrução Normativa Nº 61 do MAPA, de 08 de julho de 2020 (BRASIL, 2020), que estabelece as regras sobre definições, exigências, especificações, garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos fertilizantes

orgânicos e dos biofertilizantes destinados à agricultura. Para os fertilizantes orgânicos mistos e orgânicos composto sólidos, são exigidas garantias para umidade, teor total de nitrogênio (N), teor de carbono orgânico e relação C/N. São características que asseguram a adequação do composto para o uso agrícola. Porém, outras características podem ser avaliadas visando uma melhor caracterização do potencial do composto para o seu uso como condicionador de solo e como fornecedor de nutrientes. Os teores totais de N, Ca, Mg, P e K são indicativos da capacidade do composto em fornecer estes nutrientes em médio e longo prazos, enquanto que sua disponibilização no curto prazo é melhor caracterizada por meio da quantificação da fração disponível destes nutrientes. O nível de estabilidade do composto é também outra característica importante, pois materiais orgânicos instáveis podem causar diversos problemas. De acordo com Wichuk e McCartney (2013), o composto imaturo e instável, com alta atividade microbiana, pode causar autoaquecimento, odores, danos às plantas, esgotamento de oxigênio e crescimento de patógenos.

A viabilidade da utilização de um composto orgânico como fertilizante e/ou como condicionador de solo por parte dos agricultores não depende somente da sua qualidade, mas também de seu custo. A utilização de resíduos na formulação de compostos orgânicos é uma forma de reduzir o seu custo de produção, pois em comparação com outras matérias-primas, o custo do resíduo é muito reduzido, podendo ser nulo ou até mesmo negativo, pois não é incomum que algumas fontes geradoras de resíduos paguem para a sua correta disposição. Morokawa (2017) avaliou os componentes do custo de produção de um composto formulado com capim elefante e torta de mamona e calculou em 18,8% a proporção do custo da torta de mamona em relação ao custo total do composto. Leal *et al.* (2008) avaliaram que o custo da matéria-prima utilizada como principal fornecedora de nitrogênio, no caso a palhada de *Crotalaria juncea*, representava o equivalente a 44,2% do custo de um composto formulado com a mistura desta leguminosa com capim elefante. Portanto, a utilização de resíduos de hortaliças, cujo custo geralmente é zero, pode proporcionar uma significativa redução no custo de produção de um composto formulado com este material.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a utilização de três diferentes resíduos de hortaliças: folhas de alface, folhas de cenoura e folhas de brócolis, que são comumente gerados em sistemas de produção agrobiodiversos de hortaliças, a fim

de obter fertilizantes orgânicos por meio da sua compostagem em mistura com capim elefante. Para isto, foram avaliadas diversas características durante a compostagem, incluindo a quantificação de alguns índices de eficiência, e realizada a caracterização dos compostos obtidos ao final do processo visando verificar sua adequação às garantias prescritas pela Instrução Normativa Nº 61 do MAPA, além de avaliar outras características, como teores de macronutrientes e níveis de estabilidade.

Materiais e métodos

Foram avaliados três diferentes resíduos de hortaliças: folhas de alface, folhas de cenoura e folhas de brócolis, sendo realizado um experimento para cada resíduo. Optou-se por utilizar estes materiais por estarem disponíveis na época em que os experimentos foram iniciados (agosto de 2023) e por sua representatividade em relação aos resíduos gerados em sistemas de produção agrobiodiversos de hortaliças. Nas misturas de compostagem foi utilizado o capim elefante como matéria-prima rica em carbono e os resíduos de hortaliças como matéria-prima rica em nitrogênio.

Todas as matérias-primas foram obtidas dentro do Sistema Integrado de Produção Agroecológica (SIPA), também conhecido como "Fazendinha Agroecológica Km 47", localizada em Seropédica-RJ, com latitude 22° 45' S e longitude 43° 41' W, altitude média de 33 m, relevo levemente ondulado, clima quente e úmido do tipo Aw da classificação de Köppen, a precipitação anual média é 1213 mm e a temperatura média anual de 24,5 °C (Carvalho *et al.*, 2006).

O SIPA pode ser caracterizado como um sistema agrobiodiverso de produção de hortaliças devido à grande variedade de espécies cultivadas, conforme pode ser observado na Figura 1.

Os teores de C, N, Ca, Mg, P e K e a relação C/N dos materiais utilizados na compostagem estão apresentados na Tabela 1. Os teores totais de C e de N foram determinados por meio de analisador elementar. Os teores totais de Ca, Mg, K e P foram determinados por meio de digestão da amostra, conforme o método descrito por Silva *et al.* (2009).

Nos três experimentos a compostagem foi realizada em leiras contendo misturas com proporções de capim elefante e de hortaliças calculadas com base no volume, conforme apresentado na Tabela 2. Optou-se por utilizar o volume como base de cálculo e adotar misturas contendo proporções semelhantes de capim elefante e de resíduos de



Fotos: Marco Leal, 2023

Figura 1. Imagens do sistema de produção agrobiodiverso de hortaliças do qual foram obtidos os resíduos utilizados nos experimentos.

hortaliças, visando facilitar a reprodutibilidade do processo de compostagem por parte dos agricultores, pois no ambiente rural é mais fácil medir o volume dos materiais do que a sua massa seca.

As compostagens foram realizadas em leiras (Figura 2) mantidas em ambiente arejado e protegido de chuva, no interior de um galpão localizado no Sistema Integrado de Produção Agroecológica (SIPA). Os experimentos com folhas de alface, de cenoura e de brócolis foram iniciados nos dias 10, 17 e 31 de agosto de 2023, respectivamente. Foram realizadas avaliações semanais da umidade das leiras, realizadas por inspeção visual, que consiste em colocar uma pequena quantidade de composto na mão e apertar. Caso haja escorrimento de água é sinal de que a umidade está alta, porém o não escorrimento de água é um indicativo de que a umidade estava baixa, sendo necessário realizar a irrigação das leiras.

Os compostos foram avaliados ao longo de 90 dias. Durante esse período, foram realizadas avaliações de densidade, pH, condutividade elétrica, além da avaliação da estabilidade, que foi de-

terminada por meio das emissões potenciais de CO_2 e de NH_3 . Amostras de composto foram coletadas aos 0, 14, 30, 60 e 90 dias contados a partir da data de montagem das pilhas, sendo realizadas três repetições, cada uma retirada em diferentes pontos e coletada uniformemente do topo até a base da leira. Após a coleta, as amostras de composto foram armazenadas em recipientes plásticos e acondicionadas em freezer para congelamento e posterior análise. A temperatura das leiras foi medida semanalmente por meio da utilização de termômetro digital tipo espeto, inserido a cerca de 20 cm de profundidade, em três diferentes pontos (repetições) de cada leira.

A densidade foi determinada pelo método da proveta (BRASIL, 2007). As análises de pH foram realizadas em solução de água destilada (5:1 v/v) e a condutividade elétrica foi determinada no mesmo extrato aquoso obtido para a medição do pH, de acordo com o método descrito por BRASIL (2007). As emissões potenciais de CO_2 e de NH_3 foram quantificadas conforme metodologia descrita por Leal (2020).

Tabela 1. Teores de C, N, Ca, Mg, P e K e a relação C/N dos materiais utilizados na compostagem.

	C	N	Ca	Mg	P	K	Relação C/N
	(g k ⁻¹)						
Capim elefante	389,7	11,8	19,8	5,4	3,2	17,4	32,9
Folhas de alface	354,2	24,6	11,9	4,5	4,2	41,9	14,4
Folhas de cenoura	373,9	21,1	24,4	4,4	5,4	18,3	17,7
Folhas de brócolis	368,2	24,9	24,3	4,1	4,5	28,9	14,8

Tabela 2. Valores de massa úmida, umidade, massa seca, densidade úmida e volume dos materiais utilizados na compostagem.

	Massa úmida (Kg)	Umidade (%)	Massa seca (Kg)	Densidade úmida (Kg m ⁻³)	Volume (L)
Composto de capim elefante + folhas de alface					
Capim elefante	32,5	44,7	18,0	108,4	300
Folhas de alface	26,2	93,8	1,6	87,2	300
Composto de capim elefante + folhas de cenoura					
Capim elefante	29,3	44,72	16,2	108,4	270
Folhas de cenoura	30,5	82,8	5,2	112,8	270
Composto de capim elefante + folhas de brócolis					
Capim elefante	41,2	44,7	22,8	108,4	380
Folhas de brócolis	49,4	87,0	6,4	123,6	400

**Figura 2.** Imagens dos compostos da mistura de capim elefante e folhas de alface (A), capim elefante e folhas de cenoura (B) e capim elefante e folhas de brócolis (C) e disposição das três leiras (D).

Aos 90 dias, considerado tempo final da compostagem, além de pH, da condutividade elétrica, da densidade e das emissões potenciais de CO₂ e NH₃, foram avaliados a umidade, os teores totais de carbono (C), nitrogênio (N) cálcio (Ca), magnésio (Mg), fósforo (P) e potássio (K), a relação C/N e os teores disponíveis de N, Ca, Mg, P e K.

Os teores totais de C e de N foram determinados por meio de analisador elementar e os teores totais de Ca, Mg, K e P por meio de digestão da amostra, conforme o método descrito por Silva *et al.* (2009). Para Ca e Mg disponíveis utilizou-se solução extratora de KCl 1,0 M e para K e P disponíveis utilizou-se solução extratora Mehlich 1, conforme descrito por Teixeira *et al.* (2017). A extração do N foi realizada por meio de solução de KCl 1,0 M e a digestão com adição de Liga de Devarda, conforme metodologia descrita por Liao (1981). A proporção da fração disponível dos nutrientes (em %) foi calculada dividindo-se o teor disponível pelo teor total do nutriente, e multiplicando-se este resultado por 100.

Os três experimentos foram realizados com o objetivo de caracterizar os processos de compostagem e de verificar a adequação agrônômica dos compostos obtidos a partir da utilização de diferentes resíduos de hortaliças, sem o intuito de compará-los entre si, pois considerou-se de antemão que se tratava de materiais diferentes. Por isso, não foram realizadas comparações entre os diferentes experimentos, mas apenas a caracterização dos processos e dos produtos obtidos nas compostagens, por meio da utilização de estatística descritiva. Os resultados obtidos foram apresentados por meio de gráficos e de tabelas contendo os valores médios, como medida de posição, e os desvios médios, como medida de dispersão.

Resultados e discussão

Processos de compostagem

A Figura 3 apresenta os valores de temperatura das leiras e do ambiente ao longo dos 90 dias de compostagem. Foi necessário inserir as curvas em gráficos diferentes, pois os valores de temperatura ambiente em relação ao tempo de compostagem foram diferentes para cada experimento em razão de terem sido iniciados em datas diferentes.

Nos três experimentos foram observadas temperaturas elevadas no início da compostagem, seguidas de um rápido decréscimo alcançando valores próximos à temperatura ambiente e mantendo esta tendência até o final da compostagem.

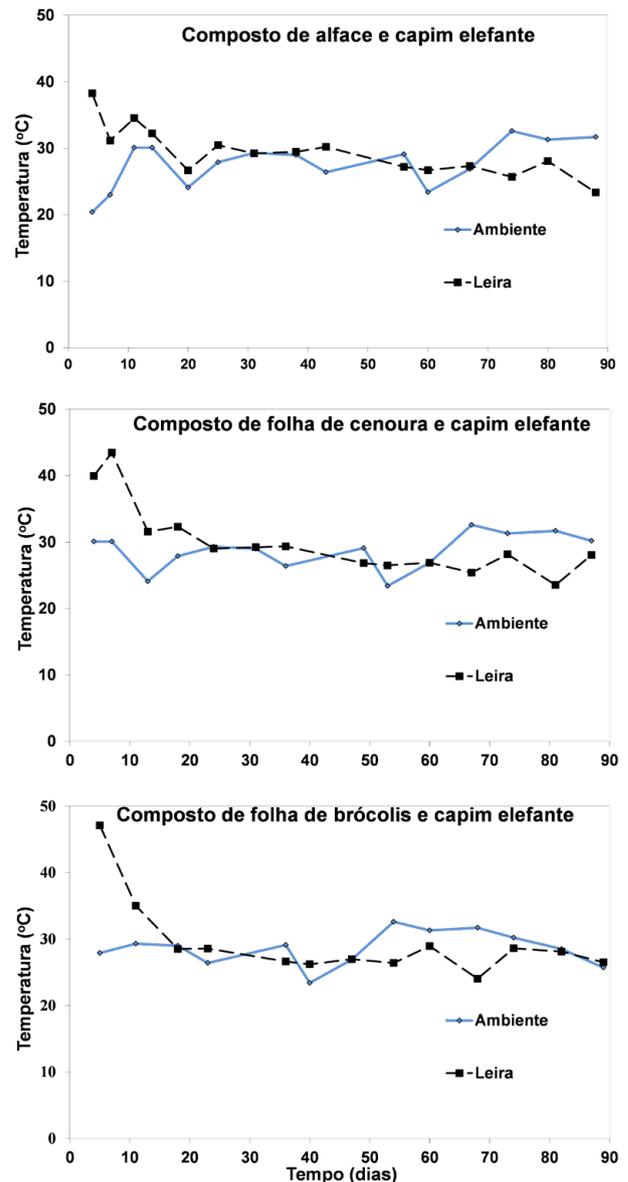


Figura 3. Valores de temperatura observados durante a compostagem de resíduos de hortaliças. Média de três repetições. Como os valores de erro padrão foram menores que 5,0%, não foram inseridas barras de erros.

Este comportamento é devido, provavelmente, ao reduzido volume das leiras. O aquecimento da massa de composto e o tempo em que ela se mantém aquecida dependem da geração de calor, que está relacionada com a atividade dos microrganismos decompositores. Mas o aquecimento também depende da capacidade de acumular e manter o calor gerado. Compostagens realizadas em maior quantidade apresentam maior capacidade de manutenção de calor do que aquelas realizadas em pequena quantidade, pois quanto maior é a leira, menor será a relação entre a superfície de perda de calor e o volume. Malwana *et al.* (2013) destacam

a importância de minimizar a relação entre área de superfície e volume das pilhas de composto para aumentar a eficiência do processo de compostagem.

As variações dos valores de densidade dos compostos estão apresentadas na Figura 4. O aumento dos valores de densidade é um comportamento usual e acontece devido aos processos de humificação e de fragmentação que ocorrem durante a compostagem.

Em relação ao pH (Figura 5), observa-se nos três experimentos que no tempo zero os valores estavam levemente ácidos, mas que rapidamente se elevaram para valores alcalinos, com posterior estabilização em valores próximos à neutralidade. Este é um comportamento padrão no processo de compostagem, conforme descrito por Azim *et al.* (2018).

As variações da condutividade elétrica (CE) ao longo das compostagens estão apresentadas na Figura 6. Observa-se nos três experimentos um grande aumento dos valores de CE ao longo do tempo. Isto é devido ao aumento da concentração de sais resultante das perdas de C e H, devido ao processo de decomposição aeróbica que promove emissões de CO_2 e de vapor d'água.

A emissão de CO_2 é um importante indicador do nível de estabilidade dos materiais orgânicos. A baixa estabilidade, ou instabilidade, está relacionada com aquecimento, anaerobiose e emissão de odores. Segundo Gómez-Brandón *et al.* (2008), a aplicação de composto instável ao solo pode produzir uma competição por oxigênio entre a biomassa microbiana e as raízes/sementes das plantas. A Figura 7 apresenta os valores de emissões potenciais de CO_2 observadas nos três experimentos de compostagem. A maioria dos trabalhos sobre valores de emissões de CO_2 consideram instáveis materiais com emissão superior a $4,0 \text{ mg CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ MS dia}^{-1}$ (Bernal *et al.*, 2009; Wichuk; McCartney, 2013). Portanto, os três compostos avaliados estavam inicialmente muito instáveis,

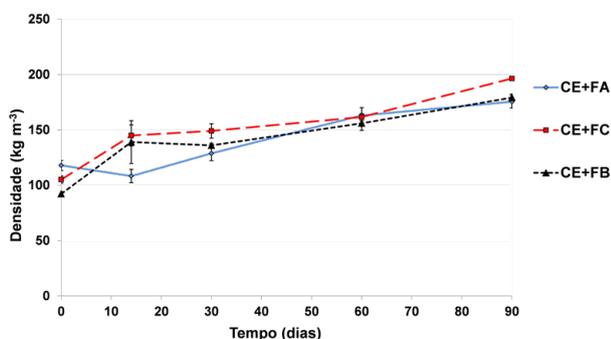


Figura 4. Valores de densidade seca observados durante a compostagem de resíduos de hortaliças. Média de três repetições \pm erro padrão. (CE = capim elefante; FA = folhas de alface; FC = folhas de cenoura, FB = folhas de brócolis).

com destaque para o composto da mistura de capim elefante e folhas de brócolis, mas que rapidamente, aos 14 dias, alcançaram valores próximos da estabilidade. Esta resposta é um indicativo de que a utilização de restos de hortaliças resulta em compostagens que se estabilizam mais rapidamente.

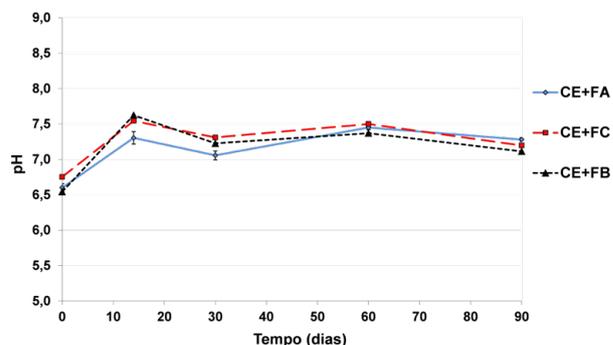


Figura 5. Valores de pH observados durante a compostagem de resíduos de hortaliças. Média de três repetições \pm erro padrão. (CE = capim elefante; FA = folhas de alface; FC = folhas de cenoura, FB = folhas de brócolis).

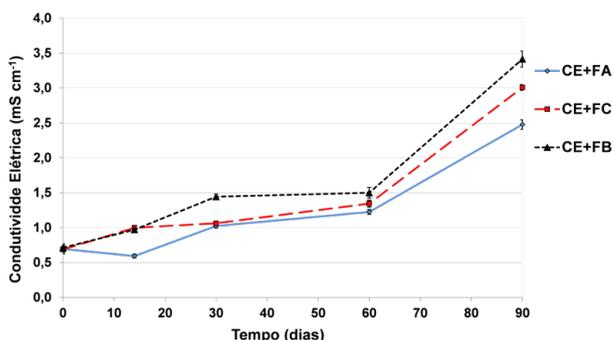


Figura 6. Valores de condutividade elétrica observados durante a compostagem de resíduos de hortaliças. Média de três repetições \pm erro padrão. (CE = capim elefante; FA = folhas de alface; FC = folhas de cenoura, FB = folhas de brócolis).

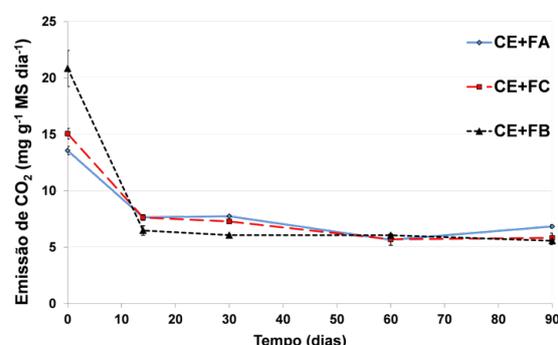


Figura 7. Emissão potencial de CO_2 observada durante a compostagem de resíduos de hortaliças. Média de três repetições \pm erro padrão. (CE = capim elefante; FA = folhas de alface; FC = folhas de cenoura, FB = folhas de brócolis).

Observa-se na Figura 8 um aumento das emissões de NH_3 nos primeiros dias de compostagem, seguido de uma redução gradual até alcançar valores próximos a zero. Emissões foram observadas aos 90 dias de compostagem, mas segundo Leal (2020), alguma emissão geralmente é detectada pela análise em materiais alcalinos, pois o método é muito sensível, porém esta emissão é insuficiente para causar problemas.

A Tabela 3 apresenta dois coeficientes técnicos do processo de compostagem. As proporções das quantidades de massa seca observadas ao final do experimento em relação aos valores iniciais ficaram entre 52,6% e 59,0% nos três experimentos. Esta perda de massa ocorre devido à oxidação do carbono (C) presente nas substâncias de fácil degradação e a sua saída do composto por meio da emissão de CO_2 . Os valores obtidos estão próximos aos observados na literatura. Leal *et al.* (2013) observaram que após 90 dias de compostagem as leiras continham entre 45,9% e 49,8% da massa seca inicial em compostos da mistura de capim elefante com diferentes proporções de torta de mamona.

A redução do volume da leira de composto também é uma resposta esperada em razão do aumento da densidade do composto e da perda de massa. Segundo Teixeira *et al.* (2016), a redução de volume observado em uma massa em compostagem é dividida em dois estágios: nos primeiros dias de compostagem ocorre a redução física, proveniente da compactação do material, e, posteriormente, a redução proveniente da perda de massa. Porém, as proporções do volume final das leiras em relação ao volume inicial apresentaram valores muito baixos nos três experimentos, entre 13,6% e 17,6%. Leal *et al.* (2013) observaram valores entre 34,9% e 37,1% em compostos da mistura de capim elefante com diferentes proporções de torta de mamona após 90 dias de compostagem. Esta grande redução de volume observada nos três experimentos ocorreu, provavelmente, devido à forma com que o volume inicial foi calculado, pois não foi realizada a avaliação do volume da leira após a sua montagem, sendo utilizado como volume da leira a soma dos

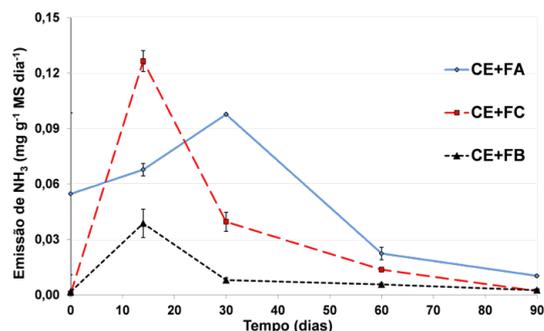


Figura 8. Emissão potencial de NH_3 observada durante a compostagem de resíduos de hortaliças. Média de três repetições \pm erro padrão. (CE = capim elefante; FA = folhas de alface; FC = folhas de cenoura, FB = folhas de brócolis).

volumes dos materiais utilizados na mistura. Porém, ao misturar materiais com diferentes granulometrias, eles se acomodam e preenchem parcialmente os poros, o que resulta em uma leira com volume menor do que o somatório do volume dos materiais utilizados. Ou seja, os volumes iniciais das leiras, provavelmente eram menores do que os valores utilizados para o cálculo das proporções do volume final das leiras em relação ao volume inicial.

Características dos compostos obtidos

As características dos compostos observadas no final da compostagem, aos 90 dias, estão apresentadas na Tabela 4. A Instrução Normativa Nº 61 do MAPA estabelece as seguintes garantias para os fertilizantes orgânicos mistos e orgânicos compostos sólidos: Umidade máxima de 50%, N total mínimo de 0,5% (ou 5,0 g kg^{-1}), Carbono Orgânico mínimo de 15% (ou 150 g kg^{-1}) e Relação C/N máxima de 20. Observa-se na Tabela 4 que os três compostos obtidos apresentam adequação para quase todas estas exigências, com exceção da umidade, pois os valores nos três compostos estão acima de 50%, que é valor máximo permitido. Porém, isto é facilmente corrigido com a secagem parcial destes compostos, que pode ser realizada por meio do emprego de secadores ou simplesmente deixando os compostos secando em local coberto e arejado.

Tabela 3. Coeficientes técnicos mensurados após 90 dias de incubação dos compostos de resíduos de hortaliças.

	CE+FA	CE+FC	CE+FB
Proporção da massa inicial (%)	52,6	56,5	59,0
Proporção do volume inicial (%)	13,6	17,5	17,6

CE = capim elefante; FA = folhas de alface; FC = folhas de cenoura, FB = folhas de brócolis.

Tabela 4. Coeficientes técnicos mensurados após 90 dias de incubação dos compostos de resíduos de hortaliças. Média de três repetições \pm erro padrão.

	CE+FA	CE+FC	CE+FB
Umidade (%)	76,9 \pm 0,7	73,8 \pm 0,8	72,8 \pm 1,0
pH	7,28 \pm 0,02	7,20 \pm 0,01	7,11 \pm 0,01
Condutividade Elétrica (μ S cm ⁻¹)	2,48 \pm 0,07	3,01 \pm 0,04	3,41 \pm 0,12
Densidade seca (g MS dm ⁻³)	175,5 \pm 5,7	196,5 \pm 1,6	179,2 \pm 3,3
Emissão potencial de CO ₂ (mg g ⁻¹ MS dia ⁻¹)	6,85 \pm 0,15	5,83 \pm 0,42	5,57 \pm 0,34
Emissão potencial de NH ₃ (mg g ⁻¹ MS dia ⁻¹)	0,010 \pm 0,0007	0,002 \pm 0,0003	0,003 \pm 0,0008
C total (g kg ⁻¹)	342,85 \pm 4,96	307,64 \pm 5,87	349,82 \pm 2,34
N total (g kg ⁻¹)	24,35 \pm 0,22	24,52 \pm 0,47	26,70 \pm 0,13
Relação C:N	14,08 \pm 0,15	12,55 \pm 0,10	13,11 \pm 0,15
N disponível (g kg ⁻¹)	3,34 \pm 0,05	3,88 \pm 0,15	4,54 \pm 0,12
Proporção entre N disponível e N total (%)	13,72 \pm 0,17	15,83 \pm 0,72	17,00 \pm 0,53
Ca total (g kg ⁻¹)	12,20 \pm 0,20	14,79 \pm 1,54	16,44 \pm 1,50
Ca disponível (g kg ⁻¹)	6,30 \pm 0,36	8,96 \pm 0,14	9,34 \pm 0,30
Proporção entre Ca disponível e Ca total (%)	51,63 \pm 2,89	62,65 \pm 6,61	58,68 \pm 7,10
Mg total (g kg ⁻¹)	9,67 \pm 0,14	9,44 \pm 0,07	9,74 \pm 0,01
Mg disponível (g kg ⁻¹)	5,90 \pm 0,20	6,01 \pm 0,08	6,84 \pm 0,19
Proporção entre Mg disponível e Mg total (%)	60,92 \pm 1,32	63,65 \pm 1,28	70,16 \pm 1,82
P total (g kg ⁻¹)	6,96 \pm 0,12	7,81 \pm 0,24	7,45 \pm 0,18
P disponível (g kg ⁻¹)	4,67 \pm 0,07	5,79 \pm 0,03	5,70 \pm 0,20
Proporção entre P disponível e P total (%)	67,05 \pm 0,76	74,33 \pm 2,13	76,49 \pm 1,28
K total (g kg ⁻¹)	31,34 \pm 0,40	23,28 \pm 0,09	33,12 \pm 1,90
K disponível (g kg ⁻¹)	27,21 \pm 0,22	18,93 \pm 0,88	29,78 \pm 1,83
Proporção entre K disponível e K total (%)	86,90 \pm 1,61	81,34 \pm 3,89	89,83 \pm 0,51

CE = capim elefante; FA = folhas de alface; FC = folhas de cenoura, FB = folhas de brócolis.

Todos os três compostos apresentaram pH próximo da neutralidade, com valores entre 7,11 e 7,28. Os teores totais de C ficaram entre 307,6 e 349,8 g kg⁻¹, valores que estão muito acima do mínimo exigido pela IN 61, que é de 150 g kg⁻¹, o que indica um grande potencial de condicionamento do solo por meio da adição de matéria orgânica.

Os três compostos também apresentaram elevados teores totais de macronutrientes, indicando grande potencial para a sua utilização como fornecedores de nutrientes, principalmente N. Os teores totais de N ficaram entre 24,35 e 26,70 g kg⁻¹. Segundo Moral *et al.* (2005) os valores médios dos teores totais de N do esterco bovino e da cama de aves, que são tradicionalmente utilizados como fertilizantes orgânicos, são de 15,0 e 29,0 g kg⁻¹, respectivamente. Os teores totais de Ca, Mg, P e K ficaram entre 12,20

e 16,44 g kg⁻¹, 9,44 e 9,74 g kg⁻¹, 6,96 e 7,81 g kg⁻¹ e 23,28 e 33,12 g kg⁻¹, respectivamente. Estes teores são semelhantes aos valores observados em compostos orgânicos obtidos a partir de material vegetal. Soares *et al.* (2020) produziram compostos orgânicos a partir da mistura de capim elefante e palhada de gliricídia e observaram teores totais de 19,7, 6,5, 3,3 e 23,9 g kg⁻¹, para Ca, Mg, P e K respectivamente.

Em relação à fração disponível dos nutrientes, os valores observados para N nos três compostos ficaram entre 3,34 e 4,54 g kg⁻¹. São valores que podem ser considerados elevados, pois Figueiroa *et al.* (2012) observaram 2,49 g kg⁻¹ de N disponível, também extraído com KCl 1,0 M, em um esterco de poedeira com 28,60 g kg⁻¹ de N total. Isto indica que os compostos de resíduos de hortaliças possuem elevado potencial para fornecimento de N em curto

prazo. Destaca-se também que nos três compostos a fração disponível de P corresponde a valores entre 67,05 e 76,49 % do P total, indicando elevado potencial de fornecimento de P no curto prazo.

Considerações finais

Foram obtidos três fertilizantes orgânicos com elevado potencial para serem utilizados como condicionadores de solo e como fornecedores de N, Ca, Mg, P e K por meio da compostagem de três diferentes resíduos de hortaliças. Foram utilizadas misturas de capim elefante com folhas de alface, com folhas de cenoura ou com folhas de brócolis. As misturas foram realizadas em proporções próximas de 1:1 com base no volume e a compostagem foi realizada durante 90 dias.

Em função da semelhança observada nos resultados obtidos com a compostagem dos três diferentes resíduos de hortaliças avaliados neste estudo, é possível afirmar que materiais semelhantes, como as folhas de outras hortaliças, também apresentam potencial para serem utilizadas em processos de compostagem visando a obtenção de insumos agropecuários, como fertilizantes e condicionadores de solo.

A utilização de resíduos de hortaliças como principal fornecedora de N em compostagem de misturas contendo capim elefante possibilita uma redução no custo de produção, pois dados da literatura indicam que a aquisição ou a produção de outros materiais utilizados com este propósito podem representar proporções entre 18,8% (Morokawa, 2017) e 44,2% (Leal *et al.*, 2008) do custo total do composto.

Conclusões

- Os resultados obtidos foram semelhantes nos três experimentos que avaliaram os processos de compostagem realizados com diferentes resíduos de hortaliças: folhas de alface, folhas de cenoura e folhas de brócolis, misturados com palhada de capim elefante.
- Ao longo de 90 dias, os três processos de compostagem apresentaram temperaturas elevadas no início, seguidas de um rápido decréscimo alcançando valores próximos à temperatura ambiente, pH tendendo à neutralidade ao final do processo, elevação contínua da densidade e da condutividade elétrica, redução das emissões de CO₂ após 14 dias e reduzidas emissões de NH₃.
- Os três compostos obtidos apresentaram adequação para quase todas as exigências prescritas pela Instrução Normativa Nº 61 do MAPA,

com exceção da umidade. Porém, isto é facilmente corrigido com a realização de secagem parcial destes compostos.

Referências

- AGÊNCIA BRASIL. **Ministério da Agricultura lança campanha para promover orgânicos**. 2022. Disponível em: <[https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2022-05/mapa-lanca-campanha-de-promocao-do-produto-organico#:~:text=Nos%20%C3%BAltimos%2012%20anos%2C%20o,de%20Produtores%20Org%C3%A2nicos%20\(CNPO\)](https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2022-05/mapa-lanca-campanha-de-promocao-do-produto-organico#:~:text=Nos%20%C3%BAltimos%2012%20anos%2C%20o,de%20Produtores%20Org%C3%A2nicos%20(CNPO)>)>. Acesso em: 02 fev. 2024.
- AZIM, K.; SOUDI, B.; BOUKHARI, S.; PERISSOL, C.; ROUSSOS, S.; THAMI ALAMI, I. Composting parameters and compost quality: a literature review. **Organic Agriculture**, v. 8, n. 2, p. 141–158, 2018.
- BERNAL, M. P.; ALBURQUERQUE, J. A.; MORAL, R. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. **Bioresource Technology**, v. 100, n. 22, p. 5444-5453, 2009.
- BRASIL. **Instrução Normativa n.17, de 21 de maio de 2007**. Aprova os métodos analíticos oficiais para análise de substratos e condicionadores de solos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 24 maio. 2007. Seção 1, p.8.
- BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Instrução Normativa nº 61, de 08 de julho de 2020**. Estabelece as regras sobre definições, exigências, especificações, garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos fertilizantes orgânicos e dos biofertilizantes, destinados à agricultura, revoga a IN 25 SDA e dá outras providências. Brasília: MAPA, 2020.
- CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B.; FOLEGATTI, M. V.; COSTA, J. R.; CRUZ, F. A. Avaliação da evapotranspiração de referência na região de Seropédica - RJ utilizando lisímetro de pesagem. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 14, n. 2, 1-9, 2006. ISSN 0104-1347.
- FIGUEROA, E. A.; ESCOSTEGUY, P. A. V.; WIETHÖLTER, S. Dose de esterco de ave poedeira e suprimento de nitrogênio à cultura do trigo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 7, p. 714–720, jul. 2012.
- FÜLEKY, G.; BENEDEK, S. Composting to recycle biowaste. In: Lichtfouse, E. (ed.). **Sociology, organic farming, climate change and soil science**. Netherlands: Springer, 2010. p. 319–346.
- GÓMEZ-BRANDÓN, M.; LAZCANO, C.; DOMÍNGUEZ, J. The evaluation of stability and maturity during the composting of cattle manure. **Chemosphere**, v. 70, n. 3, p. 436–444, 2008.

LEAL, M. A. A. **Método de avaliação da estabilidade de materiais orgânicos por meio de emissões potenciais de CO₂ e de NH₃**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2020. 46p. (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 316).

LEAL, M. A. de A.; GUERRA, J. M.; ESPINDOLA, J. A. de A.; ARAÚJO, E. da S. Compostagem de misturas de capim elefante e torta de mamona com diferentes relações C:N. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 11, p. 1195–1200, 2013.

LEAL, M. A. A.; GUERRA, J. G. M.; PEIXOTO, R. T. G.; ALMEIDA, D. L. **Análise de custos de produção de compostos confeccionados com mistura de *Crotalaria juncea* e capim elefante**. Seropédica Embrapa Agrobiologia, 2008 (Embrapa Agrobiologia. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 30).

LEAL, M. A. de A. Técnicas e procedimentos de compostagem. In: SOUZA, C. da C. B.; BREDA, F. A. da F.; LIMA, E. S. A.; GARCIA, A. C.; SOBRINHO, N. M. B. do A. **Substâncias húmicas no processo de compostagem**. 1. Ed. Seropédica: Ed. da UFRRJ, 2022. p. 11-28. ISSN: 978-65-86859-23-2

LIAO, C. F. H. Devarda's Alloy Method for Total Nitrogen Determination. **Soil Science Society of America Journal**, v. 45, n. 5, p. 852-855, 1981.

MALWANA, C.; WEERASINGHE, T.K.; PILAPITIYA, S. Determination of optimal pile dimensions during thermophilic windrow composting of municipal solid waste (msw) in Sri Lanka. **International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics**. v. 3, n. 6, p. 552-556, 2013.

MORAL, R.; MORENO-CASELLES, J.; PEREZ-MURCIA, M. D.; PEREZ-ESPINOSA, A.; RUFETE, B.; PAREDES, C. Characterisation of the organic matter pool in manures. **Bioresource Technology**, v. 96, n. 2, p. 153–158, 2005.

MOROKAWA, M. J. **Obtenção de substratos orgânicos para mudas de espécies florestais a partir da compostagem de capim elefante e torta**

de mamona. Dissertação (Mestrado em Agricultura Orgânica) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2017.

SHARMA, V.; CANDITELLI, M.; FORTUNA, F.; CORNACCHIA, G. Processing of urban and agro-industrial residues by aerobic composting. **Energy Conversion and Management**, v. 38, n. 5, p. 453-478. 1997.

SILVA, F. C. (org.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2.ed. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2009. 627 p.

SOARES, M. da S.; ANTUNES, L. F. de S.; LEAL, M. A. de A. Avaliação do processo de compostagem a partir da mistura de capim elefante, gliricídia e farelo de trigo. **Cadernos de Agroecologia**, v. 15, n. 2, 2020. Anais do XI Congresso Brasileiro de Agroecologia, São Cristóvão, Sergipe.

TEIXEIRA, D. L.; MATOS, A. T. de; MELO, E. de C. Alterações nas características físicas do material orgânico submetido ao processo de compostagem. **Revista Engenharia na Agricultura** v. 24, n. 1, p. 41-49, 2016.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise do solo**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2017. 573 p.

WICHUK, K. M.; McCARTNEY, D. Compost stability and maturity evaluation - a literature review. **Journal of Environmental Engineering and Science**, v. 8, n. 5, p. 601-620, 2013.

ZAPATA, R. D. El compostaje y los índices para evaluar su estabilidad. In: MARÍN, M.; ARCILA, P. J. (orgs.). **Materia orgánica, biología del suelo y productividad agrícola**. Armenia: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 2009. p. 33–42.

ZUCCONI, F.; DE BERTOLDI, M. Compost specifications for the production and characterization of compost from municipal solid waste. In: DE BERTOLDI, M.; FERRANTI, M. P.; L'HERMITE, P.; ZUCCONI, F. (orgs.). **Compost: production, quality and use**. Barking: Elsevier, 1987. p. 30–50.