**COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS DA CADEIA PRODUTIVA DO AÇAÍ ASSOCIADOS A FERTILIZANTE E BIOCARVÃO.**

**Nilbia Abreu Ramos1;Luana Cristina Gonçalves Ferreira 2; Yan Nunes dias3; Wendel Valter da Silveira Pereira4; Flávio Henrique Santos Rodrigues5; Marcos Antonio da Silva Viana6; Antonio Rodrigues Fernandes7.**

**1Discente de Graduação em Agronomia. Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA. nilbiaramoss@gmail.com**

**2 Mestranda em Desenvolvimento Sustentável. Instituto Tecnológico Vale - ITV. luana.c.g.ferreira@gmail.com**

**3 Pós-doutorando em desenvolvimento Sustentável. Instituto Tecnológico Vale - ITV. yan.dias@ufra.edu.br**

**4 Pós-doutorando em desenvolvimento Sustentável. Instituto Tecnológico Vale - ITV. wendel.valter@ufra.edu.br**

**5Doutorando em Agronomia Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA. flaviohsrodrigues2@gmail.com**

**6Mestrando em Agronomia Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA. marcosviana@discente.ufra.edu.br**

**7Professor Titular aposentado. Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA.**

[**antonio.fernandes@ufra.edu.br**](mailto:antonio.fernandes@ufra.edu.br)

**RESUMO**

Os solos amazônicos enfrentam limitações significativas para a produção agrícola devido à elevada acidez, saturação por alumínio e baixos níveis de nutrientes, exacerbados pela intensa lixiviação. Este estudo investigou a compostagem de resíduos de açaí com a adição de biocarvão, visando melhorar a fertilidade do solo e proporcionar uma solução sustentável para o gerenciamento desses resíduos. O objetivo foi avaliar a influência dos biocarvões produzidos a 400 °C e 700 °C na composição dos compostos gerados, foi coletado caroços de açaí, seguida da produção de biocarvão e sua mistura com fertilizantes. Os tratamentos foram compostos por diferentes combinações de biomassa e biocarvões, e as frações de fósforo, assim como características espectroscópicas, foram analisadas ao longo do processo de compostagem. Os resultados mostraram que a adição de biocarvão aumentou os teores de fósforo solúvel, especialmente nos tratamentos BF400 e BF700, destacando sua importância na decomposição da matéria orgânica. Além disso, após 180 dias, observou-se uma redução nos teores de fósforo, indicando possível imobilização por microrganismos. As análises espectroscópicas confirmaram melhorias na humificação e decomposição. Conclui-se que a combinação de compostagem com biocarvão é eficaz para otimizar a qualidade do solo, promovendo a disponibilidade de nutrientes e contribuindo para práticas agrícolas sustentáveis.

**Palavras-chave:** Resíduos sólidos. Fertilidade do solo. Solos Amazônicos.

**Área de Interesse do Simpósio**: Resíduos Sólidos, líquidos e Gasosos, Logística Reversa, Economia Criativa, Economia Circular e Economia Ecológica.

**1. INTRODUÇÃO**

Os solos amazônicos apresentam alta intemperização, caracterizada por elevada acidez, saturação por alumínio (Al³⁺) e baixos níveis de nutrientes, devido às intensas taxas de lixiviação. Essas características limitam significativamente o potencial agrícola da região (Mendonça, 2019). A matéria orgânica (MO) é fundamental para esses solos, pois contribui para a melhoria das propriedades químicas, físicas e biológicas, além de desempenhar um papel essencial nos ciclos biogeoquímicos que sustentam a fertilidade (Xiao et al., 2020).

A compostagem surge como uma prática eficaz para a incorporação de MO, promovendo a diversificação de microrganismos benéficos e a liberação gradual de nutrientes. Ademais, os fungos desempenham um papel central na decomposição de materiais orgânicos recalcitrantes, como a celulose, acelerando os processos de reciclagem no solo (Duan et al., 2021). No entanto, o uso de MO fresca pode trazer prejuízos devido à toxicidade de compostos orgânicos em altas relações carbono/nitrogênio (C/N) e à compactação excessiva provocada por partículas muito pequenas ou, ao contrário, pela lentidão na decomposição de partículas maiores (Valente et al., 2020).

A produção de biochar é outra alternativa sustentável para o reaproveitamento de resíduos orgânicos. Este material, obtido por pirólise, é rico em carbono estável e nutrientes, apresentando propriedades que melhoram a retenção de água e a capacidade de troca catiônica do solo (Teixeira et al., 2022). As características do biochar, como estabilidade e composição, dependem da biomassa utilizada e das condições de produção, tornando-o uma solução versátil para solos tropicais (Zhao et al., 2021). O biochar produzido a partir do caroço de açaí, em especial, tem se mostrado eficaz no condicionamento do solo e no desenvolvimento de culturas agrícolas, como a pimenta-do-reino (*Piper nigrum L.*), além de ser uma alternativa sustentável para a gestão de resíduos da cadeia produtiva do açaí (Mendonça, 2019).

Portanto, a integração da compostagem com a aplicação de biochar produzido a partir de resíduos de açaí representa uma solução inovadora para o manejo de solos amazônicos. Essa abordagem não só aumenta a disponibilidade de nutrientes e a atividade microbiana, como também contribui para mitigar os passivos ambientais, promovendo benefícios econômicos e ecológicos. Assim, o objetivo deste trabalho é investigar a eficiência do biocarvão produzido a partir de caroços de açaí, enriquecido ou não com fertilizantes, quando adicionado à compostagem, como estratégia para melhorar a qualidade do solo amazônico.

**2. MATERIAL E MÉTODOS**

O trabalho consistiu em 2 etapas: (1) produção de variados compostos enriquecidos com biochar, oriundos de caroços de açaí que serão coletados em feiras urbanas da região metropolitana de Belém (PA), local onde ocorre o processamento/venda de polpa;

Para a produção do biochar enriquecido, foram utilizados fertilizantes na proporção 1:1:1 de nitrogênio (ureia), fósforo (superfosfato triplo) e potássio (cloreto de potássio). A biomassa de açaí será lavada com água deionizada e seca em estufa a 50 ºC por 24 h e pirolisados em 2 temperaturas (400 e 700 °C) sob taxa de aquecimento de 3,3 °C (Dias et al., 2019). Em seguida, os biocarvões serão misturados ao fertilizante, na proporção 4:1 (biomassa:fertilizante) (Zhao et al., 2016). Os biochar serão identificados como: B400 (biochar não enriquecido à 400 °C); BF400 (biochar enriquecido à 400 °C); B700 (biochar não enriquecido à 700 °C); e BF700 (biochar enriquecido à 700 °C). (2) Para a compostagem, cada tratamento consistiu em 12 L de biomassa triturada, misturados com 1% de cada biochar: T1 (biomassa); T2 (biomassa + B400); T3 (biomassa + BF400); T4 (biomassa + B700) e T5 (biomassa + BF700). No início e ao final da compostagem, foram quantificados: as frações de fósforo e as características espectroscópicas (UV-Vis) do composto (Melo et al. 2008; Carmo et al, 2012). Os resultados foram comparados por análise de variância e teste de Tukey (*p* < 0,05) e programa R usado para gerar matrizes de correlação multipla.

**3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A adição de biochar à compostagem influenciou significativamente todas as frações de fósforo (P) avaliadas (Tabela 1). No estudo de Zhou et al. (2019), os autores observaram que biocarvões produzidos em temperaturas mais baixas apresentaram menor capacidade de adsorção, impactando diretamente as frações de fósforo menos disponíveis, como o P-F3. Esses resultados estão alinhados com o observado no presente trabalho, em que o tratamento T3 (BF400) resultou nos maiores teores de P em todas as frações, exceto na fração P-F3, evidenciando a menor retenção desse fósforo adsorvido.

Além disso, (Koymiyama et al. 2010) destacam que frações solúveis de fósforo, como o P-F1, são prontamente assimiláveis por microrganismos, o que favorece processos biogeoquímicos em compostagens. Nesse contexto, os tratamentos T3 (BF400) e T5 (BF700), que apresentaram os maiores teores de P-F1, podem potencializar a atividade microbiana no composto. (Lopes, 2014) corrobora essa interpretação ao afirmar que compostagens enriquecidas com biochar de maior porosidade e área superficial, como os obtidos em temperaturas mais altas (700 °C), promovem maior disponibilização de nutrientes essenciais. Assim, a diferença entre os tratamentos T3 e T5 em relação ao P-F3 e ao P-F1 pode ser atribuída às propriedades físico-químicas dos biocarvões em função da temperatura de pirólise, reforçando a relevância de adequar as condições de produção para fins específicos na compostagem.

**Tabela 1 –** Propriedades dos materiais estudados após cinco dias de compostagem.

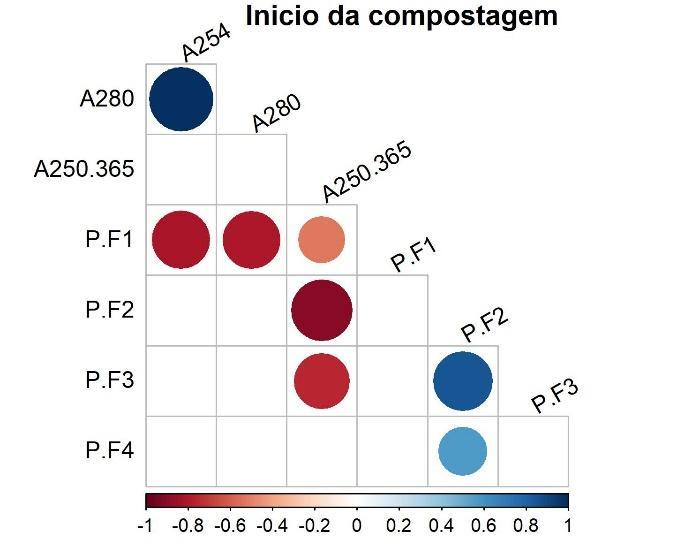
| TR | P-F1 | P-F2 | P-F3 | P-F4 | A254 | A280 | A250/365 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| T1 | 29,76 b | 9,98 a | 3,81 a | 1,73 b | **1,76** a | **1,56 a** | 1,23 b |
| T2 | 24,53 c | 5,14 c | 2,11 d | 1,63 b | 1,65 c | 1,43 b | **1,36 a** |
| **T3** | **40,56 a** | **9,31 a** | **2,63 b** | **2,92 a** | 1,45 d | 1,27 c | 1,23 b |
| T4 | 28,02 b | 5,54 c | 1,82 e | 1,30 c | 1,56 c | 1,32 c | **1,29 a** |
| **T5** | **38,61 a** | 7,81 b | 2,39 c | 1,65 b | 1,07 d | 0,90 d | 1,15 c |

TR = tratamentos; P-F1 = fósforo solúvel; P-F2 = fósforo lábil; P-F3 = fósforo adsorvido; P-F4 = fósforo ligado aos minerais; A254 = absorbância nos espectros de UV-vis em 254 nm; A280 = absorbância no espectro de UV-vis a 280 nm; A250/365 = razão de absorção em 250/365 nm no espectro UV-vis. As letras indicam diferença estatisticamente significativa pelo teste de Tukey (*p* < 0,05).

Fonte: Autores,2024.

Os maiores valores de aromatização (A254) e humificação (A280) foram observados no tratamento T1 (Tabela 1). A adição de todos os biochar em períodos curtos (5 dias) resultou na redução desses valores, confirmando o efeito negativo dos biochar sobre a aromatização e humificação do composto (Yang et al., 2020). A relação A250/A365 apresentou maiores médias nos tratamentos T2 e T4, sugerindo que os biochar estão contribuindo para uma melhoria na decomposição do composto (Abid et al., 2020).

**Figura 1-** Correlações entre as propriedades dos materiais estudados após cinco dias de compostagem.



As correlações significativas (p< 0,05) são representadas por cores na figura; TR = tratamentos; P-F1 = fósforo solúvel; P-F2 = fósforo lábil; P-F3 = fósforo adsorvido; P-F4 = fósforo ligado aos minerais; A254 = absorbância nos espectros de UV-vis em 254 nm; A280 = absorbância no espectro de UV-vis a 280 nm; A250/365 = razão de absorção em 250/365 nm no espectro UV-vis.

Fonte: Autores, 2024.

Após cinco dias de compostagem, observou-se uma correlação significativa entre as frações de fósforo (P), reflexo das intensas transformações microbiológicas decorrentes da decomposição inicial da matéria orgânica. (Abid et al. 2020) relataram um comportamento semelhante, no qual as atividades microbianas nos estágios iniciais da compostagem resultaram em redistribuições rápidas das frações de P. Além disso, as características espectroscópicas (A254 e A280) mostraram correlação positiva entre si e negativa com o P solúvel, sugerindo que o fósforo disponível foi prontamente utilizado como fonte de energia pelos microrganismos, facilitando a mineralização e a aromatização do composto, conforme descrito por (Yang et al. 2020). Esses achados concordam com os resultados deste estudo, que destacam a importância do fósforo como um elemento-chave nos estágios iniciais da compostagem.

Após 180 dias, ocorreram mudanças substanciais nas características dos compostos, com reduções nos teores de P em todas as frações em comparação ao 5º dia (Tabela 2).( Lopes, 2014) também observou diminuição nas frações disponíveis de fósforo ao longo do processo de compostagem, associando esse comportamento à imobilização microbiana. (Haouas et al. 2021) reforçam que, em estágios avançados da compostagem, a maior estabilização da matéria orgânica pode levar à incorporação de fósforo nos tecidos microbianos e em formas orgânicas menos disponíveis. De maneira similar, os resultados deste trabalho indicam que o decréscimo no fósforo disponível pode estar relacionado à maior atividade microbiana e à formação de compostos mais estáveis, evidenciando a influência das características do material de partida e do tipo de tratamento no comportamento das frações de fósforo durante a compostagem.

**Tabela 2 –** Propriedades dos materiais estudados após cento e oitenta dias de compostagem.

| TR | F1° | F2° | F3° | F4° | A254 | A280 | A250/365 | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| T1 | 20.42b | 5.58a | 2.70a | 0.71a | 0.85b | 0.70b | | 1.87c | |
| T2 | 19.93b | 4.19a | 2.17b | 0.55b | 1.13a | 0.83a | | 2.11b | |
| T3 | 25.00a | 4.77a | 2.62a | 0.79a | 0.93a | 0.63c | | 2.39a | |
| T4 | 19.32b | 4.74a | 1.94c | 0.36c | 0.71b | 0.57c | | 2.41a | |
| T5 | 24.35a | 4.34a | 2.12b | 0.62b | 1.02a | 0.81a | | 1.85c | |

TR = tratamentos; P-F1 = fósforo solúvel; P-F2 = fósforo lábil; P-F3 = fósforo adsorvido; P-F4 = fósforo ligado aos minerais; A254 = absorbância nos espectros de UV-vis em 254 nm; A280 = absorbância no espectro de UV-vis a 280 nm; A250/365 = razão de absorção em 250/365 nm no espectro UV-vis. Letras distintas indicam diferença estatisticamente significativa pelo teste de Tukey (*p* < 0,05).

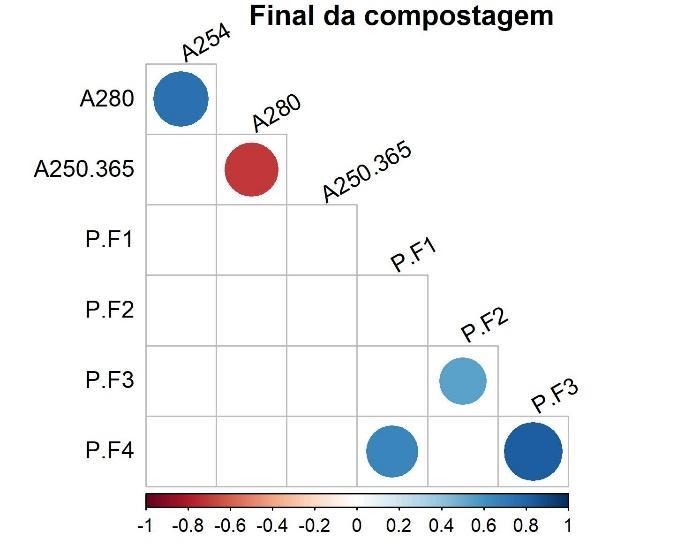
Fonte: Autores,2024.

(Abid et al. 2020) investigaram os efeitos dos biochar sobre a decomposição do composto, observando que o aumento na relação A250/365 indicava uma melhoria na decomposição ao longo do tempo. Esses resultados são semelhantes aos encontrados neste estudo, onde os tratamentos T2, T3 e T4 também apresentaram um aumento significativo na relação A250/365 após 180 dias de compostagem. Esse aumento sugere que os biochar utilizados neste estudo desempenharam um papel positivo na aceleração da decomposição do composto, assim como observado por (Abid et al. 2020).

Por outro lado, as frações de fósforo (P) e as características espectroscópicas mostraram correlações significativas, embora sem uma interação direta. Este comportamento é consistente com os achados de (Godlewska et al. 2017), que relataram a estabilização do composto durante o processo de decomposição, embora sem uma correlação direta entre o fósforo e os parâmetros espectroscópicos. A ausência de uma interação direta pode ser explicada pela influência de outros fatores, como a composição química do biocarvão e a presença de microrganismos na compostagem, que podem afetar tanto o fósforo quanto às características espectroscópicas de maneiras diferentes.

Esses resultados indicam que, embora haja uma tendência geral de estabilização do composto com o tempo, o comportamento específico das frações de fósforo e das características espectroscópicas pode ser influenciado por variáveis adicionais, como os tipos de biochar e o estágio da compostagem. Esse fenômeno pode ajudar a explicar as diferenças entre os resultados obtidos neste estudo e os de outros pesquisadores.

**Figura 2-** Correlações entre as propriedades dos materiais estudados após cento e oitenta dias de compostagem.



As correlações significativas (p< 0,05) são representadas por cores na figura; TR = tratamentos; P-F1 = fósforo solúvel; P-F2 = fósforo lábil; P-F3 = fósforo adsorvido; P-F4 = fósforo ligado aos minerais; A254 = absorbância nos espectros de UV-vis em 254 nm; A280 = absorbância no espectro de UV-vis a 280 nm; A250/365 = razão de absorção em 250/365 nm no espectro UV-vis.

Fonte: Autores,2024.

**4. CONCLUSÃO**

Os tratamentos demonstraram uma forte correlação positiva entre as frações lábeis e os teores de nitrato, evidenciando a importância desses nutrientes para os microrganismos e a melhoria do processo de compostagem. Os tratamentos com BF400 (T3) e BF700 (T5) apresentaram os maiores teores de fósforo solúvel, essencial para o processo de compostagem, uma vez que essa fração está prontamente disponível para a utilização por microrganismos que auxiliam na decomposição da matéria orgânica. Além disso, os resultados dos espectros indicaram que o tratamento T5 obteve as melhores características para a formação de estruturas aromáticas (humificação) em comparação aos demais tratamentos.

**REFERÊNCIAS**

Abid, W; Mahmoud, I. B., Masmoudi, S., Triki, M. A., Mounier, S., & Ammar, E. Physico-chemical and spectroscopic quality assessment of compost from date palm (Phoenix dactylifera L.) waste valorization. **Journal of environmental management**, v. 264, p. 110492, 2020.

Dias, Y. N; Souza, Es; Da Costa, H. S. C; Melo, L. C. A; PENIDO, E. S; DO AMARANTE, C. B; FERNANDES, A.R. Biochar produced from Amazonian agro-industrial wastes: properties and adsorbent potential of Cd 2+ and Cu 2+. Biochar, p. 1-12, 2019.

Duan, M. et al. Advances in fungal degradation of cellulose. *Journal of Environmental Management*, v. 280, p. 111832, 2021.

Duan, Y., Awasthi, S. K., Chen, H., Liu, T., Zhang, Z., Linsen Zhang, L., Awasthi, M. K., Taherzadeh, M. J. Evaluating the impact of bamboo biochar on the fungal community succession during chicken manure composting. Bioresource Technology. 272. 308–314. 2019.

Farrar. M. B., Wallace. H. M., Xu. C. Y.,Nguyen. T. T. N.,Tavakkoli. E., Joseph. S., Bai. S. H. Short-term effects of organo-mineral enriched biochar fertiliser on ginger yield and nutrient cycling. Journal of Soils and Sediments. 2019.

Godlewska, P., Schmidt, H. P., Ok, Y. S., Oleszczuk, P. Biochar for composting improvement and contaminants reduction: A review. Bioresource Technology. 246. 193–202. 2017.

Haouas, A., El Modafar, C., Douira, A., Ibnsouda-Koraichi, S., Filali-Maltouf, A., Moukhli, A., & Amir, S. Avaliação do ciclo de nutrientes, do processo de umificação e da eficiência agronômica da compostagem de resíduos orgânicos enriquecidos com lodo fosfatado. *Journal of Cleaner Production* , *302* , 127051. 2021.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção da extração vegetal da silvicultura 2018. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/peves/quadros/brasil/2018>. Acesso em:28 de ago. 2020.

Kavitha, B., Reddy, P. V. L., Kim, B., Lee, S.S., Pandey, S. K., Kim, K. H. Benefits and limitations of biochar amendment in agricultural soils: A Review. Journal of Environmental Management. 227. 146–154. 2018.

Lopes, C. M. (2014). Caracterização química de subprodutos da indústria sucroenergética enriquecido com fontes minerais e orgânicas submetidos à compostagem (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).

Moreira, F. M. S.; Costa, O. V. Biogeochemical cycles in tropical soils: Challenges and opportunities. *Soil Science and Plant Nutrition*, v. 67, n. 3, p. 231-245, 2021.

Koymiyama, T.; Ito, T.; Saigusa, M. Water solubility of phosphorus in animal manure compost. In: WORD CONGRESS OF SOIL SCIENCE< 9., 210, Brisbane Proceedings… Brisbane: IUSS, 2010. 1 CD-ROM.

Melo, L.C.A., Silva, C.A., De Oliveira Dias, B. Caracterização da matriz orgânica de resíduos de origens diversificadas. Rev. Bras. Ciência Solo 32, 101–110. 2008.

Melo, V. F. & Alleoni, L. R. F. Química e Mineralogia do Solo. Viçosa-Mg: SBCS, v. 2, 2009. 685p.

Wang. H., Ok, Y. S. Response of microbial communities to biochar‑amended soils: a critical review. Biochar. 1:3–22. 2019.

Queiroz. .A.L.; Melém Jr., N.J. Efeito do tamanho do recipiente sobre o desenvolvimento de mudas de Açaí (Euterpe oleraceae Mart.). Revista Brasileira de Fruticulturas. Jaboticabal, v.23, n.2, p.460-462. 2001.

Rodrigues, M. N. et al. Soil fertility and nutrient dynamics in highly weathered Amazon soils. Agronomy for Sustainable Development, v. 43, p. 1-10, 2023

Ren, X., Wang, Q., Li, R., Chang, C. C., Pan, J., & Zhang, Z. Effect of clay on greenhouse gas emissions and humification during pig manure composting as supported by spectroscopic evidence. *Science of the Total Environment*, *737*, 139712. 2020.

Rodrigues, M.S., F.C Da Silva, L.P Barreira E A. Kovacs. 2006. Compostagem: reciclagem de resíduos sólidos orgânicos. In: Spadotto, C.A.; Ribeiro, W. Gestão de resíduos na agricultura e agroindústria. FEPAF. Botucatu. P. 63-94.

Rodrigues, R.B.; Lichtenthäler, R.; Zimmermann, B.F.; Papagiannopoulos, M.; Fabricius, H.; Marx F. Total oxidan scavenging capacity of Euterpe oleracea Mart. (açaí) seeds and identification of their polyphenolic compounds. Journal of Agricultural and Food Chemistry, Washington, v.54, n.12, p.4162-4167, 2006.

Souza, A.L.K. De; Rufatto, L; Costa, V.B; Rufatto, A.R; Simões, F Compostagem com aeração forçada como alternativa de aproveitamento dos resíduos gerados pela agroindústria conserveira. Bras. Agrociência, Pelotas, v.16, n.1-4, p.69-75, jan-dez, 2010.

Silva, J. M. et al. Açai seed biochar improves soil quality and black pepper seedling development in the Amazon region. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 347, p. 108319, 2023.

Teixeira, L.B,; Oliveira, R.F. De; Junior J.F.; Germano, V.L.C. Processo de Compostagem Usando Resíduos das Agroindústrias de Açaí e de Palmito do Açaizeiro. Belém – PA. Embrapa. 2005.

Teixeira, L.B,; Oliveira, R.F. De ; Furlam Junior, J,; GERMANO, V.L.C. Características químicas do composto orgânico produzido com lixo orgânico, caroço de açaí, capim e serragem. Belém, PA, Embrapa Amazônia Oriental. 2004. 4f. (comunicado técnico, 105).

Teixeira, L.B.; Germano, V.L.C,; Oliveira, R.F. De; Furlam Junior, J. Processo de compostagem a partir do lixo orgânico urbano e caroço de açaí. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2002. 6p (Embrapa Amazônia Oriental. Circular Técnica, 29).

Teixeira, W. G. et al. Biochar for tropical soils: Long-term soil fertility enhancement. *Geoderma*, v. 424, p. 115923, 2022.

Valente, M. S. et al. Decomposition dynamics of organic matter in tropical soils: The role of particle size. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 143, p. 107741, 2020.

Wang, Y., Villamil, M. B., Davidson, P. C., Akdeniz, N. A quantitative understanding of the role of co-composted biochar in plant growth using meta-analysis. Science of the Total Environment. 685. 741–752. 2019.

Xiao, R. et al. Composting of agricultural waste: A sustainable practice for organic waste management. *Bioresource Technology Reports*, v. 11, p. 100468, 2020

Xiao, R., Awasthi, M. K., Li, R., Park, J., Pensky, S. M., Wang, Q., Wang, J. J., Zhang, Z. Recent developments in biochar utilization as an additive in organic solid waste composting: A review. Bioresource Technology. 246. 203–213. 2017.

Yang, Y; Du, W., Cui, Z., Zhao, T., Wang, X., Lv, J. Spectroscopic characteristics of dissolved organic matter during pig manure composting with bean dregs and biochar amendments. Microchemical Journal, v. 158, p. 105226, 2020.

Zhao, L. et al. Copyrolysis of biomass with phosphate fertilizers to improve biochar carbon retention, slow nutrient release, and stabilize heavy metals in soil. Acs Sustainable Chemistry & Engineering, v. 4, n. 3, p. 1630-1636, 2016.

Zhao, X. et al. Enhancing the agronomic efficiency of biochar: Approaches and mechanisms. *Science of The Total Environment*, v. 752, p. 141755, 2021.

Zhou, L., Xu, D., Li, Y., Pan, Q., Wang, J., Xue, L., & Howard, A. Phosphorus and nitrogen adsorption capacities of biochars derived from feedstocks at different pyrolysis temperatures. *Water*, *11*(8), 1559. 2019.