

RECUPERAÇÃO DE FÓSFORO E NITROGÊNIO PROVENIENTE DE LIXIVIADO DE COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS ORGÂNICOS DO RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO, UFOPA/CAMPUS TAPAJÓS

Jolene Rodrigues Lopes – jolene.lopes41@gmail.com

Universidade Federal do Oeste do Pará

Endereço: Av Orquídea, nº 270, Jardim Santarém

68030-520 – Santarém – Pará

Janaina dos Santos Mendes – janaina.smendess@gmail.com

Universidade Federal do Oeste do Pará

Mauricio Dumont Ferreira de Sousa – dumont.efsa@gmail.com

Universidade Federal do Oeste do Pará

Rose Caldas de Souza Meira – rosemeira@ufpa.br

Universidade Federal do Oeste do Pará

Resumo: A gestão sustentável de resíduos sólidos com ênfase na compostagem e no aproveitamento do lixiviado como fertilizante líquido enfatiza a importância da Política Nacional de Resíduos Sólidos na busca por soluções integradas e sustentáveis. A compostagem de resíduos orgânicos é realizada como uma prática promissora na redução da carga nos aterros, destacando o potencial do subproduto, o lixiviado como fertilizante líquido benéfico para a saúde do solo e alinhado ao conceito de economia circular. Os desafios enfrentados pelos Restaurantes Universitários na gestão de efluentes, particularmente de resíduos orgânicos, a estruvita é apresentada como uma alternativa sustentável apresentando potencial como fonte de nutrientes para plantas e papel na economia circular. O estudo foi realizado no Restaurante Universitário da UFOPA, em Santarém, Pará, utilizando uma metodologia descritiva e quantitativa proposta por Meira (2022). A pesquisa detalha a metodologia de compostagem, coleta e análise do lixiviado, seguida pela síntese de estruvita em escala de bancada. Os resultados destacam a influência do pH e temperatura no lixiviado, com concentrações significativas de nutrientes, mas a eficácia do tratamento de precipitação de estruvita é evidenciada na recuperação desses nutrientes. A importância do estudo na gestão integrada de nutrientes e resíduos contribui para a sustentabilidade ambiental, no entanto, alerta-se para o cuidado necessário devido às consequências ambientais adversas de altas concentrações de fósforo e nitrogênio.

Palavras-chave: Lixiviado, Nitrogênio, Fósforo, Resíduos orgânicos, Sustentabilidade.



PHOSPHORUS AND NITROGEN RECOVERY FROM LEACHATE OF COMPOSTING ORGANIC WASTE FROM THE UNIVERSITY RESTAURANT, UFOPA/CAMPUS TAPAJÓS

Abstract: *The sustainable management of solid waste with an emphasis on composting and the utilization of leachate as liquid fertilizer underscores the importance of the National Solid Waste Policy in the pursuit of integrated and sustainable solutions. Composting of organic waste is conducted as a promising practice to reduce the burden on landfills, highlighting the potential of the byproduct, leachate, as a beneficial liquid fertilizer for soil health, aligning with the concept of the circular economy. Challenges faced by University Restaurants in effluent management, particularly organic waste, are addressed, and struvite is presented as a sustainable alternative with potential as a nutrient source for plants and a role in the circular economy. The study was conducted at the UFOPA University Restaurant in Santarém, Pará, using a descriptive and quantitative methodology proposed by Meira (2022). The research details the composting methodology, leachate collection and analysis, followed by struvite synthesis on a bench scale. Results highlight the influence of pH and temperature on leachate, with significant concentrations of nutrients, but the efficacy of the struvite precipitation treatment is evident in the recovery of these nutrients. The importance of the study in integrated nutrient and waste management contributes to environmental sustainability; however, caution is advised due to potential adverse environmental consequences of high concentrations of phosphorus and nitrogen.*

Keywords: *Leachate, Nitrogen, Phosphorus, Organic waste, Sustainability.*

1. INTRODUÇÃO

O crescente interesse em mitigar os impactos ambientais resultantes da produção e da disposição inadequada de resíduos sólidos tem gerado uma demanda urgente por práticas sustentáveis (De souza *et al.*, 2021).

A Lei nº 12.305/2010 e a Resolução nº 481/2017, que estabelece critérios e procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos e a Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS, define a gestão integrada de Resíduos Sólidos Urbanos (RSUs) como um "conjunto de ações direcionadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, considerando as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e baseada no princípio do desenvolvimento sustentável" (Brasil, 2010, p. 2). A prática de compostagem e o aproveitamento do lixiviado como fertilizante líquido estão alinhados com a legislação, pois contribuem para a redução da carga nos aterros, a recuperação de nutrientes e a promoção da economia circular. Comparado a legislação, o uso do lixiviado como fertilizante está em conformidade com as diretrizes estabelecidas para a gestão de resíduos sólidos e a proteção ambiental (Oliveira, 2023).



Uma parte substancial desses materiais possui potencial de reaproveitamento. De acordo com a ABRELPE (2022), 45,3% dos RSUs gerados são compostos por materiais orgânicos. Diante da expressiva geração de resíduos orgânicos, a compostagem se destaca como uma prática de reduzir a carga de resíduos orgânicos nos lixões, aterros sanitários e controlados, que recebe diariamente mais de 80 mil toneladas de RSU (Lima júnior *et al.*, 2017; Freire, 2021).

A compostagem representa uma abordagem eficaz no gerenciamento de resíduos, focalizando na recuperação da matéria orgânica através da decomposição aeróbia de resíduos orgânicos (Wei *et al.*, 2017). Esse processo transforma os resíduos em um material estabilizado, com propriedades e características substancialmente diferentes daqueles que o originaram (Brasil, 2017).

A prática de compostagem gera um subproduto chamado de lixiviado, que apresenta um odor forte e uma coloração preta, amarelada ou amarronzada (Gu *et al.*, 2019; Inácio *et al.*, 2022). Ao ser empregado como biofertilizante líquido, ele atua no aprimoramento do solo, estabelecendo um ciclo sustentável. Esse processo permite que os nutrientes retornem ao solo, oferecendo suporte essencial à produção agrícola, se alinhando ao princípio da economia circular. Ao reintroduzir os nutrientes no solo e melhorar suas condições físicas, químicas e biológicas, essa prática contribui significativamente para a saúde do solo, evitando a necessidade do uso de fertilizantes químicos (Dhamodharan *et al.*, 2019).

Nesse contexto, se encontram os Restaurantes Universitários (RUs), que representam avanços para a comunidade acadêmica, no entanto, enfrentam desafios na gestão dos efluentes gerados. A quantificação e tratamento de resíduos orgânicos dos RUs, provenientes da preparação e descarte de refeições, demandam alternativas adequadas para o tratamento e disposição final ambientalmente correta. Portanto, é essencial avaliar a qualidade ambiental do efluente, identificando seus componentes, como nutrientes e contaminantes. Esse processo é essencial para então implementar estratégias eficientes de tratamento e gestão, visando promover a sustentabilidade e mitigar impactos ambientais adversos (Neto *et al.*, 2021).

A estruvita, um fosfato de amônio e magnésio, tem despertado crescente interesse devido às suas propriedades como fonte de nutrientes para plantas e seu papel na promoção da economia circular. O estudo conduzido por Meira *et al.*, (2022) explorou a síntese de estruvita utilizando o chorume de compostagem como fonte de fósforo, demonstrando o potencial desse composto como fertilizante na economia circular. A eficácia da produção de estruvita indica a viabilidade de sua utilização como uma fonte sustentável de P, amônio e magnésio para a agricultura. Isso contribui para a gestão sustentável de resíduos e a reciclagem de nutrientes, enfatizando a sinergia entre a produção de estruvita e o conceito de economia circular. A abordagem de utilizar o lixiviado de compostagem ressalta a possibilidade de transformar resíduos orgânicos em um subproduto importante para a agricultura.

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo caracterizar e analisar o lixiviado de compostagem do Restaurante Universitário da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA) e o seu potencial para recuperação de nitrogênio (N) e fósforo (P).

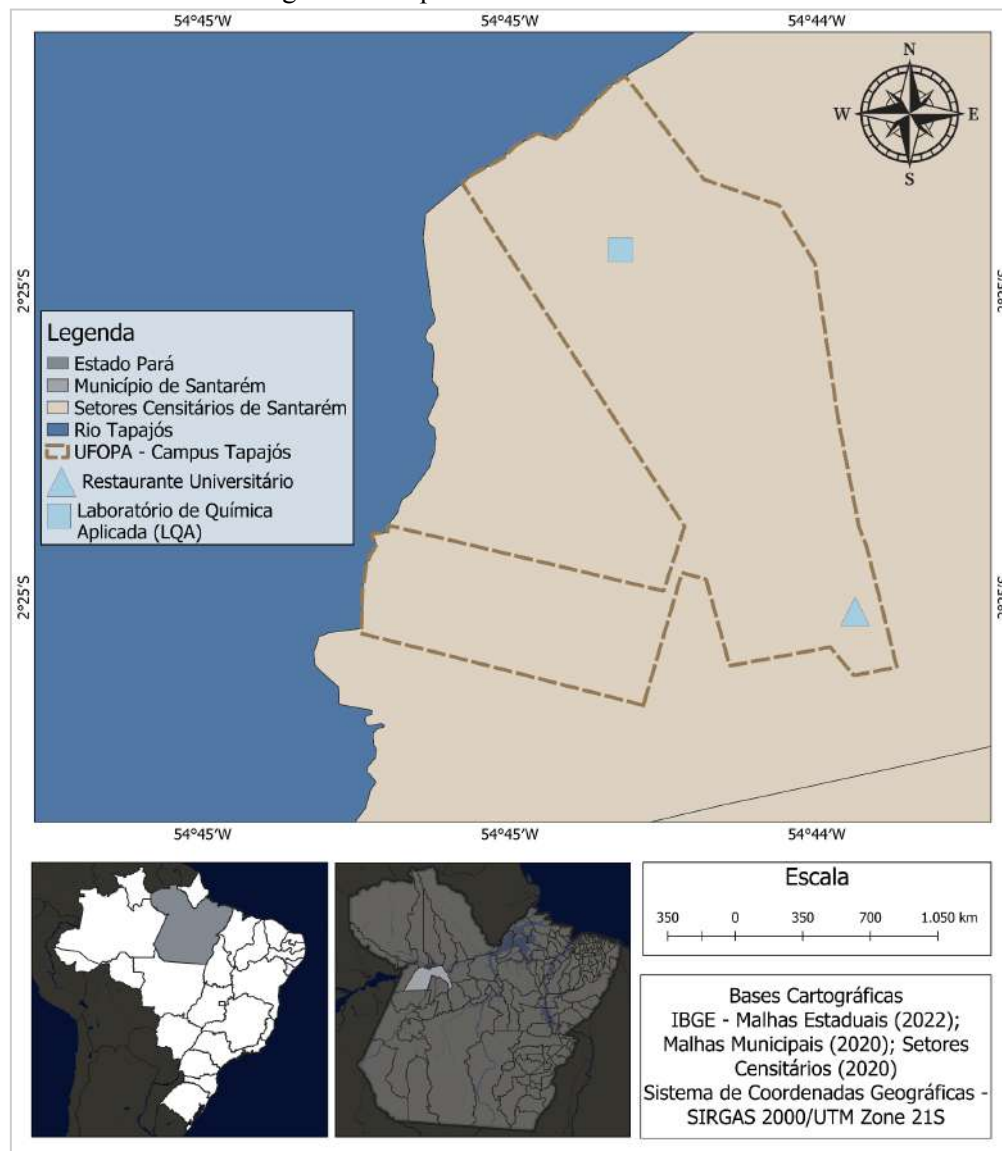
2. METODOLOGIA

2.1. LOCAL DE PESQUISA

A pesquisa foi realizada no Restaurante Universitário da UFOPA, localizada no município de Santarém, Oeste do Estado do Pará, sob coordenadas de 2°25'19"S 54°44'21"W (Figura 1). Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2022), a cidade possui uma área territorial estimada em 17.898.389 km², sua população é de aproximadamente 331.942 habitantes.



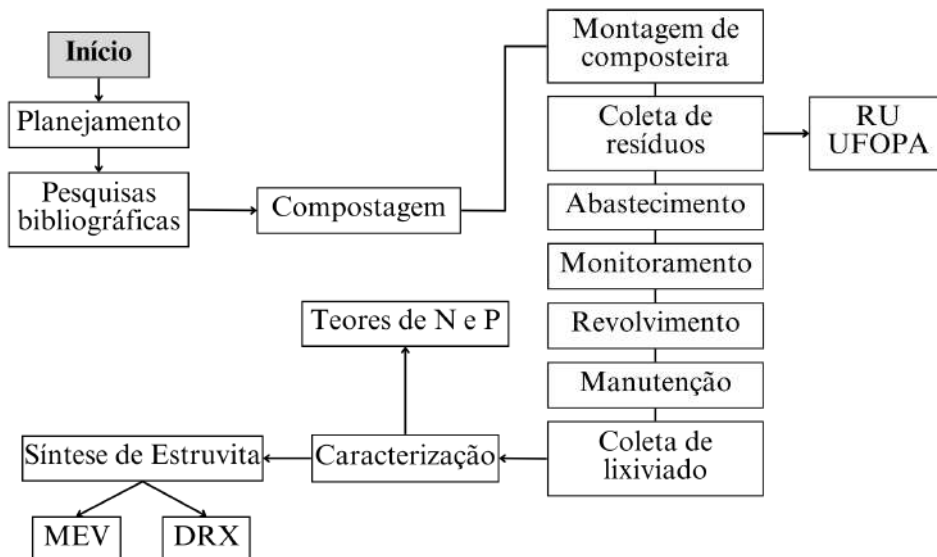
Figura 1 - Mapa do local da área de estudo.



Fonte: Autores, 2024.

Esta pesquisa possui caráter descritivo e quantitativo. O subproduto líquido caracterizado e avaliado é o lixiviado de uma composteira instalada no RU da universidade e a metodologia utilizada nesta pesquisa baseou-se em Meira *et al.*, (2022), seguindo o fluxograma a seguir.

Figura 2 - Fluxograma da metodologia realizada na pesquisa.



Fonte: Autores, 2024.

2.2. Procedimentos no restaurante universitário

Na coleta dos resíduos orgânicos, houve a aquisição de dois recipientes identificados e estrategicamente distribuídos dentro do RU. O primeiro localizado na cozinha e o segundo na sala de hortifruti. Esses recipientes foram selecionados com base em medidas específicas para garantir a eficácia da separação de resíduos e foram automaticamente integrados ao sistema de coleta seletiva. Para a montagem da composteira, foram utilizados três baldes plásticos de 20 litros, brita, areia e massa seca composta por folhas. Em relação à massa fresca, essa composição refletiu uma proporção de aproximadamente 80% de resíduos de verduras e legumes para 20% de cascas de frutas.

A composteira foi montada em local semi-aberto e arejado, com os baldes empilhados verticalmente. O primeiro recipiente, na base, foi designado para a coleta do lixiviado, enquanto os dois baldes superiores foram atribuídos à decomposição da matéria orgânica. Os resíduos foram dispostos à composteira em camadas duas vezes por semana, realizando a distribuição equilibrada de resíduos úmidos e secos. De acordo com Silva *et al.*, (2023), esse processo garante proporções adequadas de carbono (C) e nitrogênio (N).

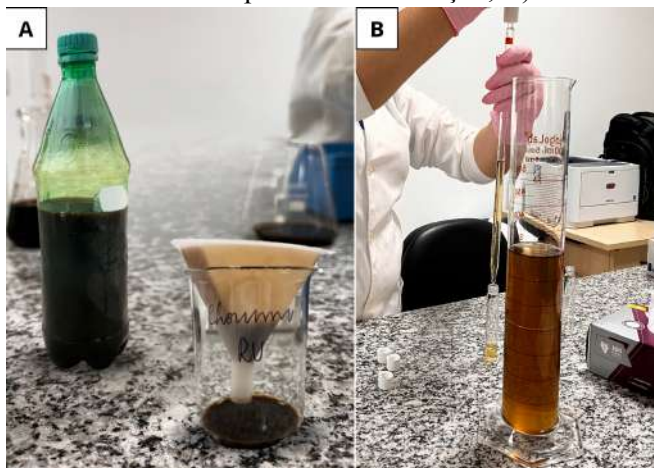
2.3 Procedimentos laboratoriais

Caracterização e Análise

Após o período de compostagem, foram coletados 1,5 litros de efluente, mantidos em temperatura ambiente para filtragem e caracterização imediata (Figura 3 - A). Devido à alta concentração do lixiviado, foi necessário diluir 10 mL do efluente bruto em 400 mL de água destilada (Figura 3 - B) para cada nutriente (fósforo, amônia, magnésio e potássio), mantendo três réplicas para cada amostra.



Figura 3 - A) Lixiviado bruto em processo de filtração; B) Lixiviado bruto diluído.



Fonte: Autores, 2024.

As quantificações dos teores de N e de P foram realizadas com o auxílio do equipamento multiparâmetro Hanna (Figura 4 - A) no Laboratório de Química Aplicada e Toxicologia, Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos da UFOPA/Campus Tapajós.

Conforme as diretrizes delineadas pelo manual do multiparâmetro, para a análise de P foi utilizado o reagente Phosphorus gama alta HI93706A-0, as quais foram homogeneizadas antes de acrescentar o sachê contendo o reagente em pó HI93706-01 (Figura 4 - B). Nas análises de amônia, foi utilizado o reagente de gama média HI93715A-0 e HI93715B-0 (Figura 4 - C), seguido pelo tempo de reação estipulado no equipamento para possibilitar a realização da leitura.

Figura 4 - A) Multiparâmetro; B) Reagentes usados para a caracterização de P; C) Reagentes usados para a caracterização de Amônia.



Fonte: Autores, 2024.

A partir dos valores do efluente diluído, foi possível determinar e quantificar os valores dos nutrientes no lixiviado bruto.

Síntese de estruvita

Para realizar a síntese de estruvita, serão conduzidos experimentos em escala de bancada (Figura 5). O subproduto proveniente do processo de compostagem, previamente caracterizado, será

empregado como matéria-prima. Nesse processo, serão adicionados cloreto de magnésio hexahidratado ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) o lixiviado será utilizado como fonte de P e N, o hidróxido de sódio (NaOH), será utilizado para ajuste de pH.

As soluções contendo Mg, P e NH_4^+ serão simultaneamente misturadas com água destilada na proporção molar N:Mg:P de 1:1:1, onde (Mg; lixiviado (P+N) e água destilada) serão combinados em um recipiente tipo Becker com volume de 4 litros. Em seguida, a solução será homogeneizada por meio de mistura rápida por 10 minutos e o pH 10 ajustado com solução de NaOH 1N.

Após a homogeneização, a solução será deixada em repouso por 20 minutos à temperatura ambiente. Após a precipitação, a solução resultante será filtrada utilizando papel filtro rápido. O sólido retido no filtro após secagem será encaminhado para caracterização mineralógica e identificação de fase cristalina.

Figura 5 - Síntese de estruvita em escala de bancada.



Fonte: Autores, 2024.

Após a síntese, foram aplicadas técnicas analíticas, o MEV (Microscopia Eletrônica de Varredura), DRX (Difração de Raios-X) e FRX (Fluorescência de Raios-X) foram utilizados para caracterizar a estrutura e composição de materiais. O MEV é empregado para visualizar a morfologia e a estrutura superficial dos cristais, fornecendo uma visualização direta da morfologia dos cristais de estruvita formados durante o processo de síntese.

A análise por DRX é utilizada para determinar a estrutura cristalina do material sintetizado (PEREIRA, 2016), indicando a formação da estruvita como a única fase cristalina durante o processo de síntese, confirmando a presença exclusiva de estruvita e reforçando a confiança na identificação precisa dos compostos presentes no material sintetizado, essas técnicas validam os resultados obtidos e na caracterização dos compostos formados durante o processo de síntese de estruvita.

3. Resultados e discussão

A Tabela 1 exibe os valores quantitativos de nutrientes presentes no efluente bruto.

Tabela 1. Valores referentes a caracterização do efluente bruto.

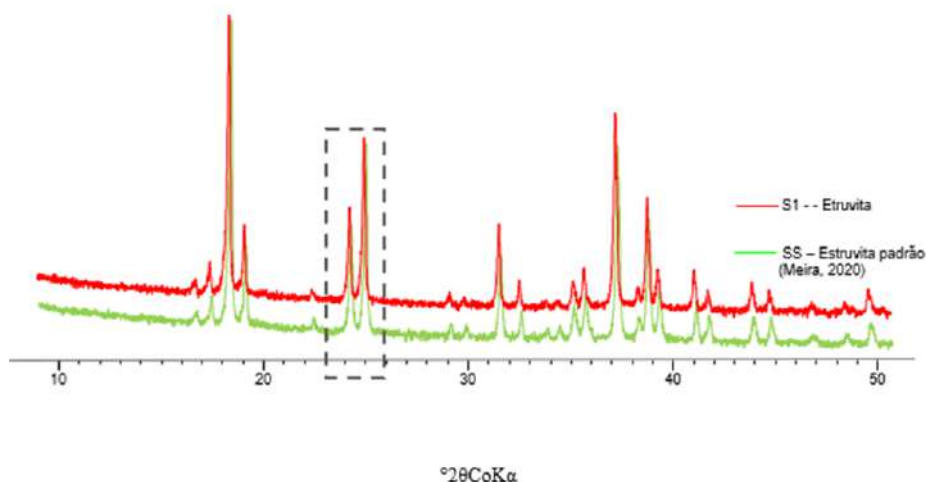
Valor de efluente	Nutrientes (mg/L)					
	NH ₃ -N	NH ₃	NH ₄ ⁺	P	PO ₄ ³⁻	P ₂ O ₅
Bruto	208	252,80	268,40	29,2	88	66,80

Em relação à quantidade de amônia total encontrada, supõe-se, baseado em Freire (2021), que dois fatores influenciaram diretamente nos valores deste constituinte, que são o pH e a temperatura, de modo que o aumento do pH interfere no equilíbrio químico no sentido de promover a formação de amônia aquosa (NH₃(aq)), que por sua vez deslocará o equilíbrio químico favorecendo a produção do gás amônia (NH₃(g)), por outro lado, valores mais baixos de pH irão deslocar o equilíbrio no sentido de formação de íons amônio (NH₄⁺(aq)), aumentando sua concentração no lixiviado, como foi o caso do contexto específico do lixiviado proveniente do Restaurante Universitário da UFOPA.

Os valores de P encontrados de acordo com Freire (2021) ocorrem por conta da precipitação de sais de fosfato que se sedimentam e, por conta disso, o efluente tende a ter menor concentração do nutriente P em comparação aos valores mensurados de N. Após o processo de compostagem o subproduto líquido ainda possui quantidades significativas dos nutrientes NH₃-N, NH₃ e NH₄ o que não permite o despejo diretamente no solo, a pesquisa conduzida revelou que o lixiviado possui um potencial significativo para recuperar os nutrientes presentes no efluente líquido de compostagem por meio do tratamento de precipitação de estruvita, este método demonstrou eficiência na recuperação de P e amônia como observado nos trabalhos de Nascimento *et al.*, (2023) que comprova a eficiência do tratamento por precipitação de estruvita, apresentando percentuais de remoção significativo e Meira *et al.*, (2022) sendo uma referência para tratamento de efluente oriundo de compostagem com otimização no processo de síntese que são os principais objetivos deste estudo.

A Figura 6 apresenta uma análise comparativa por Difração de Raio-X (DRX) entre os picos de cristalinidade entre o lixiviado de compostagem e a estruvita padrão de Meira (2020).

Figura 6 - Caracterização por Difração de Raio X - DRX.

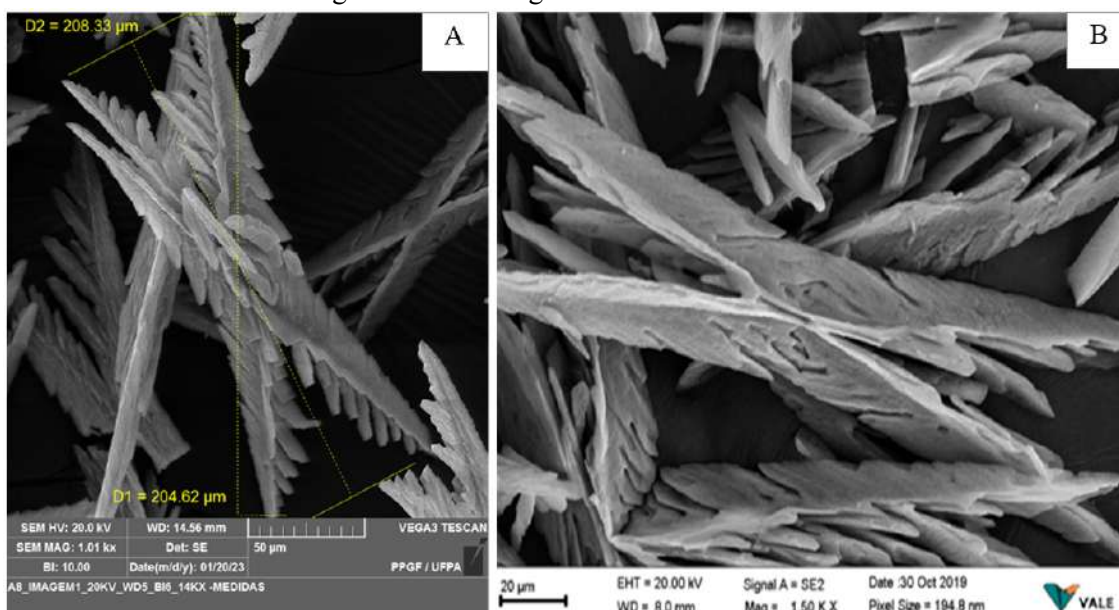


Fonte: Autores, 2024.



Os resultados desta análise indicam que a estruvita foi a única fase cristalina formada durante o processo de síntese, afirmando que o método de síntese otimizado empregado foi altamente seletivo para a produção deste composto específico, demonstrando sua eficiência notável na formação de estruvita em efluentes compostados. A confirmação dos resultados da DRX é uma técnica que determina a composição química dos materiais. Os resultados sustentam os achados no DRX da síntese padrão, confirmando que a estruvita foi a principal fase formada durante a síntese, reforçando a confiança na identificação precisa dos compostos presentes no material sintetizado.

Figura 7 - Morfologia e cristalinidade das amostras A e B



Fonte: Autores, 2024.

A amostra A é a estruvita analisada, gerada do lixiviado e a amostra B é a estruvita padrão obtida após uma otimização da síntese por Meira (2020). A análise cristalino-química do material sintetizado (Figura 7-B) evidenciaram a eficiência na produção de estruvita obtida a partir do lixiviado de compostagem (Figura 7-A), esse resultado comprova a viabilidade do tratamento do lixiviado, usando-o como matéria-prima na síntese de estruvita, por ser um composto de fosfato de amônio e magnésio encontrado em efluentes de tratamento de águas de reúso. Portanto, a estruvita se revela uma fonte valiosa de nutrientes quando recuperada e reciclada.

A confirmação da presença exclusiva de estruvita por MEV fortalece os resultados das análises prévias, fornecendo uma visualização direta da morfologia dos cristais de estruvita formados durante o processo de síntese. Essa abordagem é incisiva na validação dos resultados obtidos e destaca a importância do processo de síntese na produção eficiente de estruvita a partir de resíduos compostados, com implicações significativas para a recuperação de nutrientes e o tratamento de resíduos.

A análise do potencial fertilizante da estruvita destaca a eficiência do processo, sua contribuição para a sustentabilidade ambiental e consolida a importância dessa técnica na gestão integrada de nutrientes e resíduos. Ao adotar essa nova etapa de tratamento, a expectativa é que o efluente tratado atenda às exigências

da legislação ambiental vigente, sem comprometer a qualidade do corpo receptor, conforme estabelecido pelas Resoluções CONAMA 357/2005 e 430/2011. É importante destacar que o P e o N são macronutrientes essenciais para o desenvolvimento vegetal, no entanto, em grandes quantidades podem ser prejudiciais aos seres vivos e ao meio ambiente (HENARES, 2015).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A síntese de estruvita a partir do lixiviado de compostagem apresenta um potencial significativo para a recuperação de nutrientes, como fósforo e nitrogênio, e sua replicabilidade é um ponto relevante deste trabalho. A pesquisa realizada no Restaurante Universitário da UFOPA apresenta a viabilidade dessa síntese, destacando a eficiência do tratamento de precipitação de estruvita na recuperação desses nutrientes, a utilização do chorume de compostagem como fonte de fósforo para a produção de estruvita ressalta a possibilidade de transformar resíduos orgânicos em um subproduto viável para a agricultura.

Os resultados indicam que a síntese de estruvita a partir do lixiviado de compostagem pode ser replicada em outras instituições e contextos, contribuindo para a gestão sustentável de resíduos e a reciclagem de nutrientes, alinhando-se ao conceito de economia circular. O processo de compostagem gera um subproduto líquido com concentrações significativas NH_3 e NH_4 , o que torna inviável o despejo direto no solo ou corpos hídricos. O lixiviado possui potencial para recuperação de nutrientes por meio do tratamento de precipitação de estruvita com duplo benefício atendendo à legislação ambiental vigente no que tange às quantidades aceitáveis deste nutriente para uma destinação adequada com viabilidade econômica e sustentável e recuperação de P e N.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Pró-reitora da Cultura, Comunidade e Extensão da Universidade Federal do Oeste do Pará (PROCCE/UFOPA) pelo financiamento da pesquisa, ao Projeto Integrado de Ensino, Pesquisa e Extensão (PEEx) Edital nº 01/2023 - CGPRITS, ao Grupo de Estudos em Saneamento, Estruvita e Sustentabilidade (SANES) pelo apoio e orientação, e a equipe do restaurante universitário pela colaboração durante o processo de compostagem.

REFERÊNCIAS

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil em 2022**. São Paulo: ABRELPE, 2022. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama/> Acesso em: 24 jan. 2024.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília. DF, 2010 Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso: 18 jan. 2024.

BRASIL. **Resolução nº 481, de 03 de outubro de 2017**. Estabelece critérios e procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos, e dá outras providências. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). p. 4, 2017. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/component/legislacao/?view=legislacao&legislacao=137380#:~:text=OUTUBRO>



[%20DE%202017-,Estabelece%20crit%C3%A9rios%20e%20procedimentos%20para%20garantir%20o%20c%20n%20trole%20e%20a,org%C3%A2nicos%20C%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%A2ncias.](#)
Acesso em 04 de janeiro de 2024.

CONAMA. **Conselho Nacional do Meio Ambiente**. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho. Acesso em 25 jan. 2024.

DHAMODHARAN, K. VARMA, V. S. VELUCHAMY, C. PUGAZHENDHI, A. RAJENDRAN, K. Emission of volatile organic compounds from composting: a review on assessment, treatment and perspectives. *Science of the Total Environment*, v. 695, p. 133725, 2019.

DE SOUZA, José Antonio Rodrigues et al. Tratamento de lodo de laticínios com reúso de resíduos da agroindústria por processo de compostagem. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 14, n. 4, p. 1-17, 2021.

FONTANA, C. **Microrganismos**. São Paulo: Editora Unesp, 2020.

FREIRE, R. C. M. **Efluente do reator anaeróbico de uma usina de compostagem: caracterização e avaliação como biofertilizante**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química), Universidade Federal de Viçosa - UFV, Viçosa/MG, 2021.

GU, N. LIU, J. YE, J. CHANG, N. LI, Y. Bioenergy, ammonia and humic substances recovery from municipal solid waste leachate: a review and process integration. **Bioresource Technology**, v. 293, p. 122159, 2019.

HENARES, Juliana Ferreira. **Caracterização do Efluente de Laticínio: análise e proposta de tratamento**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

IBGE – **INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA**. Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Estimativas da população residente. 2022.

INÁCIO, C. T DE MORAES, A. S. CAMPOS, D. V. B. VENEU, D. M. RECH, I. LEAL, M. A. A. Precipitação de estruvita em lixiviado de compostagem para uso como fertilizante. **Revista Virtual de Química**, v. 14, n. 5, p. 870-876, 2022.

LIMA JUNIOR, Roberto Guião de Souza; MAHLER, Claudio Fernando; DIAS, Albiane Carvalho; LUZ JUNIOR, Willker Figueirêdo da. Avaliação de novas práticas de compostagem em pequena escala com aproveitamento energético. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 2, p. 361-370, 2017.

MEIRA, R. C. S. **Otimização da síntese de estruvita e seus análogos visando a recuperação de fósforo, magnésio, nitrogênio e potássio de águas residuais**. 2020. 129 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2020.



MEIRA, ROSE CALDAS DE SOUZA; NASCIMENTO, B. K. S.; Aguiar, R N ; Palheta, J N ; FERNANDES, G. S. T. Synthesis of struvite with compost slurry: analysis of the fertilizer potential for the circular economy. **In: 4th European Sustainable Phosphorus Conference, 2022**, Vienna. ESPC4 PERM5 - Book Of Abstracts, 2022.

NASCIMENTO, B. K. S.; MEIRA, R. C. S. ; RODRIGUES, C. C. S. ; LOPES, J. R. ; FIGUEIREDO, E. K. M. . Avaliação da Eficiência da remoção de amônia e Fósforo de Efluente Agroindustrial por Precipitação de Estruvita. **In: Anais do 32º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Belo Horizonte MG. Anais-32 CBESA, 2023.

NETO, Antenor Amaral Fernandes et al. Estudo sistemático da carga poluidora do efluente do restaurante universitário da UFPa: III-determinação da carga poluidora per capita e equivalente populacional. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 3, p. 32935-32953, 2021.

OLIVEIRA, Luiz Ricardo Guimarães Rezende de et al. ELEMENTOS POTENCIALMENTE TÓXICOS EM SOLOS COM APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES ORGÂNICOS A LONGO PRAZO. 2023.

SILVA, E. A. ARAÚJO, E. REIS, M. J. QUEIROZ, M. G. RODRIGUES, A. O. BARBOSA, A. C. REIS, J. C. FREITAS, M. T. C. Ações extensionistas integradas ao ensino universitário: confecção de composteiras para práticas de educação ambiental. **Revista ELO - Diálogos em Extensão**, v. 12, 2023.

WEI, Yunmei; LI, Jingyuan; SHI, Dezhi; LIU, Guotao; ZHAO, Youcai; SHIMAOKA, Takayuki. Environmental challenges impeding the composting of biodegradable municipal solid waste: a critical review. **Resources, Conservation And Recycling**, [S.L.], v. 122, p. 51- 65, jul. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.01.024>. Acesso em 10 jan 2024.

