



Termovalorização de resíduos sólidos orgânicos por processo aeróbio: combustível derivado de resíduos alimentares

Thermal recovery of organic solid waste by aerobic process: fuel derived from food waste

Fernando Pereira de Sá^{1,*}, Elisangela Cardoso de Lima Borges²

¹ Professor do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos PPGCTA-UFG e do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Gestão e Sustentabilidade PPGTGS-IFG, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – IFG, câmpus Inhumas, GO, Brasil

² Professora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – IFG, câmpus Inhumas, GO, Brasil

*Autor para correspondência, E-mail: fernando.fpsa@ifg.edu.br

Received: 4 December 2025 | Accepted: 20 December 2025 | Published online: 24 December 2025

Resumo: A disposição inadequada de resíduos alimentares representa um desafio ambiental e energético. A biodigestão aeróbia pressurizada surge como uma alternativa inovadora, permitindo a redução da massa residual e a obtenção de biocomposto com características energéticas. Neste estudo, resíduos alimentares foram submetidos a biodigestão aeróbia controlada por 14 dias, resultando em reduções de massa entre 60% e 79%. O biocomposto obtido foi caracterizado quanto à composição físico-química, com teores de carbono entre 37% e 44% e baixos teores de enxofre (<0,2%). As análises térmicas (TG/DSC) indicaram múltiplas etapas de combustão, com um perfil favorável para geração sustentada de calor. O poder calorífico superior (PCS) variou de 15,46 a 17,47 MJ/kg, valores comparáveis ao carvão vegetal e superiores a muitos biocombustíveis de origem agrícola. Os resultados demonstram a viabilidade do processo como uma estratégia rápida para valorização energética de resíduos alimentares, com potencial para reduzir impactos ambientais e contribuir para a matriz de energias renováveis.

Palavras-chave: biodigestão aeróbia; resíduos alimentares; poder calorífico; biocombustível sólido.

Abstract: The inadequate disposal of food waste represents an environmental and energy challenge. Pressurized aerobic digestion emerges as an innovative alternative, enabling the reduction of residual mass and the production of biocompost with energy characteristics. In this study, food waste was subjected to controlled aerobic digestion for 14 days, resulting in mass reductions ranging from 60% to 79%. The obtained biocompost was characterized in terms of its physicochemical composition, with carbon content ranging from 37% to 44% and low sulfur content (<0.2%). Thermal analyses (TG/DSC) indicated multiple combustion stages, with a profile favorable for sustained heat generation. The higher heating value (HHV) ranged from 15.46 to 17.47 MJ/kg, values comparable to charcoal and higher than many agricultural-origin biofuels. The results demonstrate the viability of the process as a fast strategy for energy valorization of food waste, with potential to reduce environmental impacts and contribute to the renewable energy matrix.

Keywords: aerobic biodigestion; food waste; calorific value; solid biofuel.

1 Introdução

Os RSU são compostos por uma ampla gama de materiais, tanto orgânicos quanto inorgânicos, provenientes de residências, instituições, estabelecimentos comerciais e, em alguns casos, resíduos industriais não processados (Pheakdey et al., 2022). Em 2018, a produção global de RSU atingiu 2,01 bilhões de toneladas (Galavote et al., 2023). Com uma taxa de crescimento anual de 5,5%, espera-se que esse valor aumente para 3,40 bilhões de toneladas até 2050. Cerca de metade desses resíduos é composta por frações orgânicas (Kurniawan et al., 2021). Globalmente, cerca de 70% dos RSU são destinados a aterros sanitários ou lixões a céu aberto, enquanto apenas 13,5% são reciclados e valorizados (Franco e Steiner, 2022).

No Brasil, a situação dos RSU segue uma tendência global preocupante. Resíduos alimentares ocupam grande parte dos aterros sanitários, muitas vezes sem tratamento prévio. Mais de 50% dos resíduos sólidos urbanos nos municípios brasileiros ainda são descartados em lixões a céu aberto, devido ao desconhecimento de seu potencial de reaproveitamento e dos impactos negativos de seu descarte inadequado (Nobre et al., 2021). Essa situação demanda soluções urgentes e estruturais no setor, requerendo mudanças sociais, econômicas e culturais na sociedade.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos estabelece princípios, objetivos e diretrizes para a gestão de resíduos no Brasil, incluindo o Plano Nacional de Resíduos Sólidos, que abrange os diferentes tipos de resíduos, alternativas de gestão, metas para cenários diversos e ações correspondentes (Zago e Barros, 2019). A política também estipulou prazos legais, como a eliminação de lixões e a destinação final ambientalmente adequada dos rejeitos até 2014. O não cumprimento desses prazos tem gerado demanda por serviços que proporcionem destinação adequada aos resíduos gerados (Neves e Lima, 2019; Pisano, Demajorovic e Besen, 2022).

Ao mesmo tempo, a demanda brasileira por energia aumenta continuamente devido à intensificação da atividade econômica, tornando indispensável a busca por fontes alternativas de energia (Araújo, 2023). O desenvolvimento de novas tecnologias para a produção de energia de forma limpa e sustentável tornou-se imperativo (Bertolino et al., 2023; Wei, Wei e Umut, 2023).

Nesse contexto, este trabalho concentra-se no desenvolvimento de um processo inovador para a obtenção de biocomposto a partir de resíduos alimentares, destacando suas características de alto poder calorífico. A invenção trata da utilização de biomassa derivada de resíduos alimentares biodigeridos aerobiamente, visando fins energéticos.

Essa inovação aplica-se à conversão aeróbia de resíduos alimentares em um biocombustível sólido, oferecendo uma alternativa sustentável ao uso de madeira. Os resíduos orgânicos, passíveis de serem utilizados, incluem restos de alimentos cozidos ou assados, talos e cascas de vegetais e frutas, borra de café, ervas, filtros de papel, folhas, serragem e outros materiais orgânicos, com exceção de excretas humanas e animais. O processo de conversão aeróbia resulta em um biocomposto versátil, que pode ser utilizado tanto como biofertilizante quanto como biocombustível sólido. Esse biocomposto é produzido por meio de técnicas aeróbias rápidas, que tratam e convertem resíduos sólidos em biomassa seca, rica em carbono e com elevado valor energético.

É relevante salientar as semelhanças entre o processo da presente invenção e a compostagem mecanizada tradicional. No entanto, a compostagem mecanizada convencional não é projetada para a produção de biocompostos destinados à geração de energia, mas sim para a produção de biofertilizantes ou para a redução de resíduos alimentares. Na compostagem tradicional, o processo de digestão aeróbia não é realizado da forma proposta neste trabalho, ou seja, em ambiente fechado e com ar pressurizado. Ainda assim, o conhecimento consolidado na literatura sobre compostagem foi fundamental para o desenvolvimento da metodologia desta invenção.

Cabe destacar que parte dos resultados aqui apresentados subsidiaram o pedido de patente junto ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), sob o número BR 1020210244496, referente ao processo de obtenção de biocomposto de resíduos alimentares com características de poder de combustão.

2 Material e métodos

2.1 Biodigestão aeróbia

A produção de biocompostos a partir de resíduos alimentares foi realizada por meio de um processo de biodigestão aeróbia controlada, utilizando a inserção contínua de ar não filtrado e pressurizado. Esse método teve como objetivo converter os resíduos orgânicos em um biocomposto granulado e humificado, com potencial aplicação como biocombustível sólido sustentável.

Os resíduos orgânicos selecionados para o processo de biodigestão aeróbia foram compostos por uma variedade de materiais com alta biodegradabilidade, ricos em carbono, e amplamente disponíveis. Incluíram restos de alimentos cozidos ou assados, talos, cascas de frutas e vegetais, serragem e outros materiais orgânicos. Especificamente, nesta pesquisa, foram usados resíduos como cascas de batata, cenoura, maçã, banana, arroz, milho, mandioca, alface e serragem. Excretas humanas e de animais foram excluídas do processo, garantindo segurança e eficiência na transformação dos resíduos em biocomposto.

A fim de facilitar a decomposição microbiológica, os resíduos foram triturados em pedaços menores utilizando liquidificadores. Esses resíduos triturados foram então inseridos em um biodigestor metálico,

projetado para operar em sistema fechado, equipado com eletrobomba que garantia a inserção contínua de ar da atmosfera, similar às bombas usadas em aquários.

O processo de biodigestão aeróbia teve duração média de 14 dias. Para garantir que a umidade e a relação carbono/nitrogênio permanecessem dentro dos níveis ideais, adicionou-se serragem (não tratada e sem verniz) na proporção de 20 a 30%, favorecendo a porosidade e a aeração da mistura.

2.2 Caracterização

Após a biodigestão, o biocomposto foi caracterizado por análises físico-químicas, térmicas, espectroscópicas e energéticas, com o objetivo de avaliar sua viabilidade como biocombustível sólido. A composição elementar foi determinada em duplicata utilizando um analisador de carbono e enxofre LECO SC 832 HT, operando a 1400 °C, com os resultados expressos com base na massa total da amostra.

As análises térmicas foram conduzidas em um equipamento Netzsch STA 449 F3 Nevio, que integra Análise Termogravimétrica (TGA) e Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC). Os ensaios foram realizados utilizando cadinhos de alumina (85 mL), em um intervalo de temperatura de 35 °C a 1000 °C, com taxa de aquecimento de 10 K min⁻¹ e atmosfera de nitrogênio como gás de proteção e purga. A TGA permitiu avaliar a perda de massa em função da temperatura, possibilitando a identificação das etapas associadas à remoção de umidade, liberação de compostos voláteis e degradação térmica dos componentes mais estáveis. De forma complementar, a DSC foi empregada para identificar eventos endotérmicos e exotérmicos relacionados a processos de fusão, evaporação e reações químicas, fornecendo informações sobre o comportamento e a estabilidade térmica do material.

A caracterização espectroscópica foi realizada por espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), visando a identificação dos principais grupos funcionais presentes no biocomposto e possíveis alterações químicas decorrentes do processo de biodigestão. Os espectros foram obtidos em um equipamento Bruker Vertex 70, operando em modo de refletância total atenuada (ATR), na faixa espectral de 4000 a 400 cm⁻¹, com resolução de 4 cm⁻¹ e média de 32 varreduras por amostra.

O Poder Calorífico Superior (PCS) foi determinado por meio de combustão completa em um calorímetro adiabático IKA C200. Foram analisadas amostras representativas dos biocompostos obtidos, seguindo o procedimento padrão do equipamento para avaliação do desempenho energético do biocombustível sólido.

3 Resultados e discussão

O biocomposto obtido após a aplicação da metodologia descrita nesta invenção resultou em uma massa sólida com grânulos grandes e odor agradável de húmus. O processo de biodigestão, com duração média de 14 dias, foi seguido por secagem preliminar (20 - 40 °C) e moagem em moinho triturador de grãos. A Tabela 1 evidencia reduções significativas de massa nas amostras de resíduos orgânicos aerobiamente biodigeridos (ROAB), variando de 60,2% a 78,6%, valores compatíveis ou superiores aos reportados em processos convencionais de compostagem (Kong et al., 2024; Ma et al., 2025).

Tabela 1. Redução de massa das amostras de resíduos alimentares aerobiamente biodigeridos.

Amostra	Resíduo	Massa Inicial (g)	Massa Final (g)	Redução de Massa (%)
ROAB 1	arroz, cascas (batata, cenoura, maçã e banana), alface e serragem	383,00	82,00	78,60
ROAB 2	arroz, milho, mandioca, alface e serragem	460,25	145,23	68,50
ROAB 3	arroz, cascas de banana, maçã, batata e serragem	415,67	287,23	69,10
ROAB 4	galinhada (arroz com pedaços pequenos de frango), mandioca, alface e serragem	554,00	220,61	60,20

As características físicas observadas incluem aspecto granular, coloração marrom, leve umidade e odor e textura semelhantes à terra, confirmando a qualidade do material final, conforme ilustrado na Figura 1.

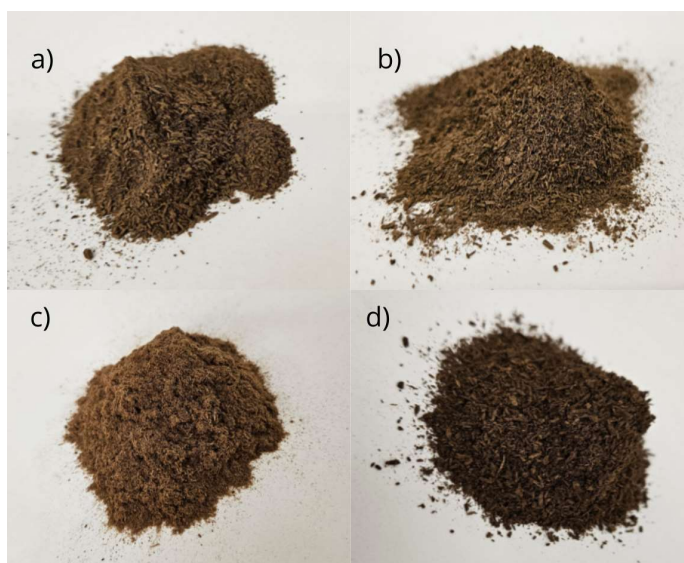


Figura 1. Imagens das amostras de resíduos alimentares biodigeridos e triturados: (a) ROAB 1; (b) ROAB 2; (c) ROAB 3 e (d) ROAB 4.

Estudos recentes têm explorado o uso de aditivos funcionais, como zeólitas, biochar e fosfatos, capazes de reduzir emissões gasosas e encurtar o tempo de compostagem de resíduos orgânicos, além de melhorar a qualidade do composto final (Kong et al., 2024). Entretanto, mesmo nesses cenários otimizados, os períodos de maturação relatados ainda variam entre 30 e 60 dias. Em contraste, o processo de biodigestão aeróbia pressurizada aqui desenvolvido resultou em biocomposto estabilizado em média de 14 dias, sem necessidade de aditivos externos. Esse resultado demonstra que a inovação proposta representa um avanço adicional no estado da arte, permitindo significativa redução do tempo de processamento sem comprometer a redução de massa e mantendo as propriedades físicas e sensoriais descritas como indicativas de maturidade em estudos internacionais.

A Figura 2 exibe o espectro de infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR) das amostras biodigeridas. Ao examinar os espectros das amostras, observa-se que os materiais exibem, em geral, o seguinte padrão de absorção na região do infravermelho: uma banda larga entre 3000 e 3600 cm^{-1} , atribuída ao alongamento O-H, indicativo de carboidratos, álcoois e fenóis, conforme descrito por Hagemann et al. (2018), Nur Aqeela Syuhadah Aji et al. (2021) e Wu et al. (2021).

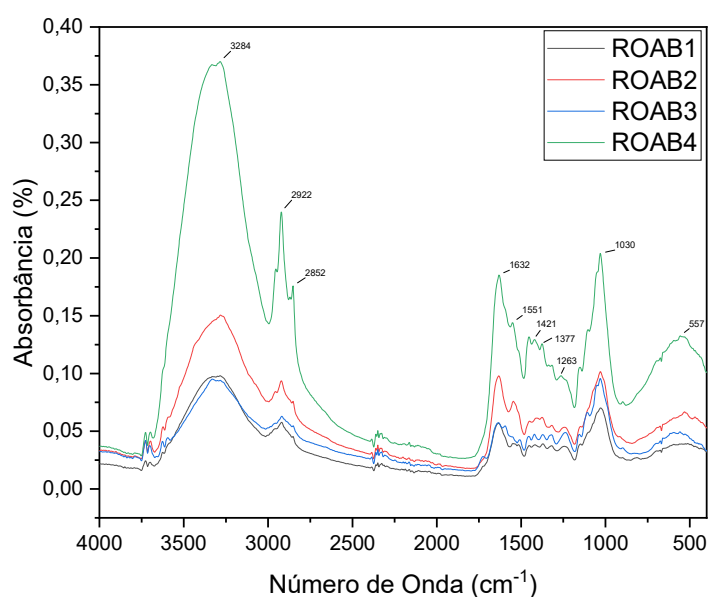


Figura 2. Espectro de absorção na região do infravermelho para os compostos biodigeridos.

Além disso, foram identificadas bandas em 2922 e 2852 cm^{-1} , relacionadas ao alongamento C-H dos grupos metileno presentes em ácidos graxos e diversos compostos alifáticos, conforme evidenciado nos estudos de Kubovský; Kačíková; Kačík (2020), Voběrková et al. (2020), Nur Aqeela Syuhadah Aji et al. (2021) e Wu et al. (2021).

A banda relativamente intensa observada na região de 1632 cm^{-1} pode ser associada às vibrações C=C de estruturas aromáticas (Wu et al., 2021; Xu et al., 2024) e aos grupos C=O conjugados com anéis aromáticos originados da lignina (Chen et al., 2018; Mujtaba et al., 2021), de acordo com as observações de Nur Aqeela Syuhadah Aji et al. (2021) e Zhou, Selvam e Wong (2014).

Uma banda em 1551 cm^{-1} pode ser devida à deformação N-H e estiramento C=N em amidas secundárias (Martín et al., 2023; Poornima et al., 2024). A banda em 1421 cm^{-1} pode ser atribuída ao alongamento COO⁻ em ácidos carboxílicos e ao alongamento C-N em Amida III (Li et al., 2017; Poornima et al., 2024).

Bandas em 1377 cm^{-1} são descritas pela deformação de grupos OH fenólicos e álcoois aromáticos, pelo estiramento assimétrico de íons carboxila (COO⁻) de anéis aromáticos dissustituídos e pela presença de nitrogênio inorgânico como nitratos (Zittel et al., 2018; Martín et al., 2023). A banda em 1263 cm^{-1} está relacionada à formação de Amida III (Ravindran et al., 2013).

A banda de absorção em 1030 cm^{-1} é atribuída a grupos silicatos, éteres aromáticos e às vibrações C-O de polissacarídeos, celulose, hemicelulose e lignina que podem estar presentes na serragem adicionada ao processo de biodigestão (Grube et al., 2006; Bhat, Singh e Vig, 2017; Hagemann et al., 2018; Poornima et al., 2024).

As análises termogravimétricas (TG) e de calorimetria diferencial de varredura (DSC) do composto biodigerido forneceram insights sobre a estabilidade térmica e o perfil de degradação em múltiplas fases, destacando seu potencial para aplicações como biocombustível. Conforme discutido em Mandal et al. (2022), a análise térmica de biomassa permite observar diferentes estágios de degradação e combustão, fornecendo dados cruciais sobre a estabilidade e o valor energético de compostos derivados de resíduos orgânicos.

A curva TG revelou uma primeira fase de perda de massa, que ocorre até aproximadamente 150 °C, atribuída à evaporação de umidade residual, Figura 3. Esta fase inicial, frequentemente observada em resíduos orgânicos e biomassa (Ikegwu et al., 2022), é essencial para reduzir a umidade do composto e otimizar sua eficiência energética. A presença de umidade, como observado em Mandal et al. (2022), impacta negativamente a combustão e diminui o rendimento térmico, justificando a importância de uma fase inicial de secagem.

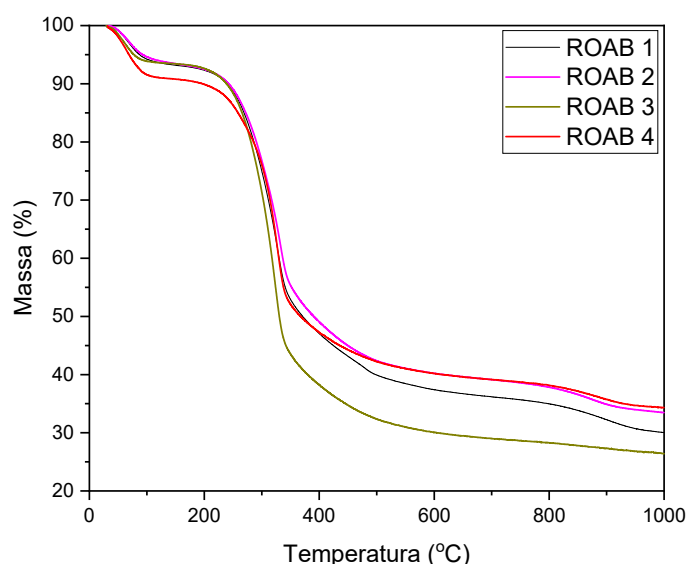


Figura 3. Curvas de TG para os compostos biodigeridos.

Entre 200 °C e 400 °C, a segunda fase de degradação indica a combustão de compostos orgânicos voláteis, como carboidratos e lipídios. Estudos anteriores, incluindo o trabalho de Rico et al. (2022), demonstram que essa faixa de temperatura está associada à decomposição de celulose e hemicelulose, componentes que contribuem significativamente para o valor calorífico do material. A liberação de calor

durante essa fase é importante para estabelecer o composto biodigerido como uma fonte viável de biocombustível, especialmente quando considerado o alto potencial energético dos voláteis.

Na terceira fase, acima de 450 °C, a perda de massa é atribuída à combustão de componentes mais estáveis, como lignina e outros compostos de carbono de maior resistência térmica. Mandal et al. (2022) ressaltam que a degradação de lignina e compostos aromáticos contribui para uma combustão prolongada e estável, essencial para aplicações de biocombustíveis que exigem uma liberação de calor sustentada ao longo do tempo.

A análise de DSC revelou inicialmente um evento endotérmico discreto abaixo de 150 °C, relacionado à evaporação de água residual, Figura 4.

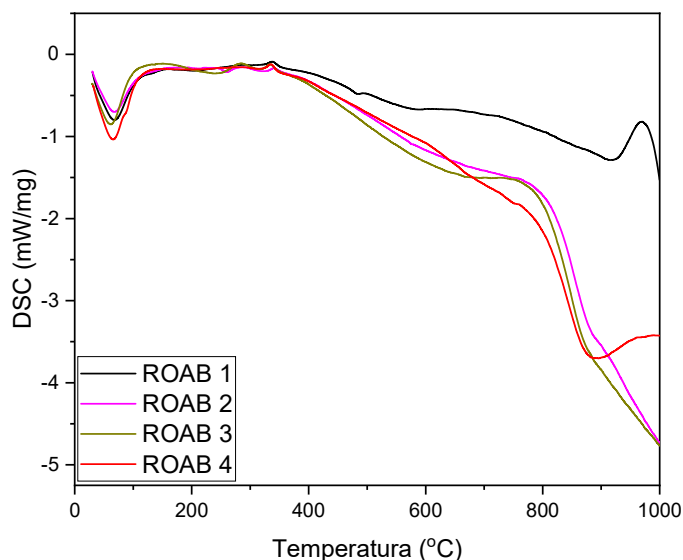


Figura 4. Curvas de DSC para os compostos biodigeridos.

Entre 200 °C e 400 °C, observou-se uma resposta exotérmica gradual, atribuída à combustão de frações voláteis da biomassa, principalmente hemicelulose e celulose. Em seguida, acima de 450 °C, ocorreu uma exotermia mais intensa e prolongada, indicando a oxidação de lignina e compostos aromáticos mais estáveis, o que confere ao material uma fase de combustão sustentada em temperaturas elevadas, (Ikegwu et al., 2022; Rico et al., 2022). Esse comportamento confirma que o biocomposto possui não apenas reatividade inicial, mas também capacidade de liberação contínua de energia em altas temperaturas, característica relevante para aplicação como combustível sólido.

Essas análises demonstram que o composto biodigerido possui uma estrutura térmica robusta, capaz de suportar múltiplas etapas de combustão e com um perfil de liberação de energia adequado para uso sustentável como biocombustível. As múltiplas fases de decomposição e combustão indicam que o biocomposto oferece um desempenho prolongado, com alta eficiência energética, alinhando-se às necessidades de sustentabilidade e aproveitamento de resíduos orgânicos.

A análise elementar realizada para o composto biodigerido focou nos teores de Carbono (C) e Enxofre (S), fornecendo dados essenciais para avaliar a viabilidade do material como biocombustível (Tabela 2). O teor de carbono é um indicador direto do potencial energético do biocombustível, enquanto o enxofre é monitorado devido ao seu impacto ambiental durante a combustão.

Tabela 2. Parâmetros característicos das amostras biodigeridas.

Elementos Analisados	ROAB 1	ROAB 2	ROAB 3	ROAB 4
Enxofre (% m/m)	0,19	0,12	0,11	0,13
Carbono (% m/m)	41,34	37,08	44,46	40,16

Os resultados mostraram um teor elevado de carbono, o que sugere um potencial significativo de liberação de calor durante a combustão do composto biodigerido. O alto teor de carbono indica que o material pode competir com outras biomassas lignocelulósicas em termos de densidade energética, fornecendo uma base sólida para seu uso como fonte de energia renovável. Esse perfil é consistente com materiais lignocelulósicos analisados por Ikegwu et al. (2022), que destacam a importância do carbono na eficiência térmica dos biocombustíveis.

O teor de enxofre, por outro lado, foi observado em níveis relativamente baixos, o que é uma característica desejável para minimizar as emissões de SO_x durante a combustão. Emissões de enxofre são ambientalmente prejudiciais, pois contribuem para a formação de chuva ácida e poluição atmosférica. O estudo de Mandal et al. (2022) observa que baixos níveis de enxofre são comuns em biomassa vegetal, reforçando que o composto biodigerido é uma opção mais limpa em comparação com combustíveis fósseis e outros materiais com elevado teor de enxofre.

Esses resultados indicam que o composto biodigerido, com um alto teor de carbono e baixos níveis de enxofre, possui uma composição elementar que favorece tanto a eficiência energética quanto a sustentabilidade ambiental. A proporção ideal entre esses elementos torna o composto uma alternativa promissora para a substituição de combustíveis convencionais, contribuindo para uma abordagem mais sustentável na geração de energia.

Os resultados para o Poder Calorífico Superior (PCS) das amostras ROAB, apresentados na Tabela 3, demonstram um potencial energético notável. Com valores que variam de 15,464 MJ/kg a 17,471 MJ/kg.

Tabela 3. Resultados de PCS para as amostras ROAB 1, ROAB 2, ROAB 3 e ROAB 4.

Amostra	PCS (Mcal/kg)	PCS (MJ/kg)
ROAB 1	3,924	16,404
ROAB 2	3,700	15,464
ROAB 3	4,180	17,471
ROAB 4	3,900	16,303

Comparando os valores obtidos aos dados de resíduos vegetais de Škorjanc et al. (2024), percebe-se que os biocompostos ROAB possuem um potencial energético notavelmente competitivo. A amostra ROAB 3, por exemplo, alcança um valor quase idêntico ao da casca de arroz (17,65 MJ/kg) e supera o talo de milho (17,10 MJ/kg), enquanto ROAB 1 e ROAB 4 demonstram equivalência notável com a casca de coco (16,4 MJ/kg). Mesmo a amostra ROAB 2, com o menor PCS, compara-se favoravelmente à abóbora (15,9 MJ/kg) e ao alho (15,83 MJ/kg). Mais significativamente, todas as amostras ROAB superam consistentemente os resíduos gerais de vegetais, jardim e frutas (14,9 MJ/kg e 14,5 MJ/kg), e são expressivamente superiores à polpa de oliva (9,19 MJ/kg), o que posiciona os biocompostos ROAB como candidatos promissores para a valorização energética.

A relevância desses valores é amplamente sustentada por comparações com outros trabalhos da literatura. Schirmer et al. (2017), ao caracterizarem a biomassa residual de uma fábrica de papel-cartão, revelaram que os cavacos de terceiros, comumente queimados em caldeiras industriais, apresentavam um PCS de 16,97 MJ/kg. As amostras ROAB 1 (16,404 MJ/kg) e ROAB 4 (16,303 MJ/kg) se mostram diretamente competitivas, enquanto a amostra ROAB 3 (17,471 MJ/kg) até mesmo supera esse valor. Essa equivalência é crucial, pois sugere que os biocompostos ROAB poderiam ser facilmente integrados em processos de cogeração existentes, contribuindo para a redução da disposição de resíduos e diversificação da matriz energética, conforme defendido por Schirmer et al. (2017). Adicionalmente, o PCS das amostras ROAB é significativamente maior do que as fibras da ETE (13,54 MJ/kg), um resíduo celulósico cujo aproveitamento energético ainda dependeria de etapas de secagem.

Gomes et al. (2017) investigaram o potencial energético dos Resíduos Sólidos Domiciliares (RSD), observando um PCS médio de 19,81 MJ/kg para amostras homogeneizadas. Frações específicas como matéria orgânica (14,57 MJ/kg) e papel (15,51 MJ/kg) apresentaram valores menores. Embora o PCS médio dos RSD seja influenciado por componentes de alto poder calorífico, como plásticos (37,02 MJ/kg), os biocompostos ROAB, com seus 15,464 a 17,471 MJ/kg, superam o potencial energético de frações predominantes como a matéria orgânica e o papel. Isso os posiciona como uma alternativa eficiente para a valorização de resíduos que não dependem de frações plásticas, alinhando-se à visão de Gomes et al. (2017) de que a recuperação energética de resíduos é uma forma de reciclagem.

Em síntese, o poder calorífico das amostras ROAB não apenas valida o potencial energético desses biocompostos, mas também os posiciona de forma estratégica no cenário de energia renovável. Sua competitividade com combustíveis biomássicos industriais, superioridade a frações residuais de menor valor e comparabilidade a biomassa natural e combustíveis derivados de resíduos (CDR) submetidos a etapas industriais de secagem e homogeneização sublinham sua relevância. Esses resultados reforçam o papel dos biocompostos ROAB na promoção da economia circular, na valorização de resíduos e na diversificação da matriz energética nacional, alinhando-se aos desafios e oportunidades presentes na gestão de biomassa e resíduos sólidos.

4 Conclusão

O biocomposto obtido da biodigestão aeróbia de resíduos alimentares demonstrou elevado potencial como biocombustível sólido eficiente e sustentável. A constante disponibilidade de resíduos alimentares confere flexibilidade ao abastecimento da matéria-prima, minimizando custos e permitindo o uso da biomassa tanto para fertilização quanto para produção de energia.

A biodigestão aeróbia provou ser uma abordagem eficaz para o tratamento de resíduos orgânicos, gerando energia e reduzindo o impacto ambiental do descarte inadequado. O biocomposto, produzido em um período médio de 14 dias, apresentou características físicas ideais para compactação e exibiu combustão de qualidade com potencial calorífico adequado para aplicações industriais e residenciais. O aprimoramento contínuo da metodologia é crucial para maximizar a eficiência.

Este estudo contribui significativamente para as tecnologias de conversão de resíduos orgânicos em energia, oferecendo uma alternativa sustentável que une a gestão de resíduos à produção de biocombustíveis. O caráter inovador do processo foi reconhecido com a solicitação de patente depositada no INPI (BR 10 2021 024449 6), validando seu potencial científico e tecnológico.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela aprovação e financiamento do projeto "Termovalorização de Resíduo Sólido Urbano por Processo Aeróbio - Combustível Derivado de RSU," viabilizado pela Chamada CNPq-SETEC/MEC Nº 17/2014. Agradecemos, também, ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG) pelo suporte financeiro e pela infraestrutura disponibilizada, essenciais para a consolidação e execução do trabalho aqui apresentado e ao Grupo de Estudos em Energias Renováveis e Ambiente (GEERA - IFG) pelas relevantes contribuições neste trabalho.

Referências bibliográficas

- Araújo, DFC de (2023) “The dynamics of renewable energies in the Brazilian energy matrix in the 21ST century”, *Revista Cerrados (Unimontes)*, 21(01), p. 399–429.
- Bertolino, AM *et al.* (2023) “A matter of energy injustice? A comparative analysis of biogas development in Brazil and Italy”, *Energy Research & Social Science*, 105, p. 103278. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2023.103278>.
- Bhat, SA, Singh, J e Vig, AP (2017) “Instrumental characterization of organic wastes for evaluation of vermicompost maturity”, *Journal of Analytical Science and Technology*, 8(1), p. 2. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s40543-017-0112-2>.
- Chen, Yaoning *et al.* (2018) “Application of Fenton pretreatment on the degradation of rice straw by mixed culture of *Phanerochaete chrysosporium* and *Aspergillus niger*”, *Industrial Crops and Products*, 112, p. 290–295. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.12.005>.
- Franco, DG de B e Steiner, MTA (2022) “Otimização do transporte de resíduos sólidos urbanos no Estado do Paraná: repensando a localização de aterros sanitários com base em modelagem matemática”, *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 27, p. 987–993. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-415220210282>.
- Galavote, T *et al.* (2023) “Avaliação do efeito do fortalecimento da coleta seletiva nos custos de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos”, *urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 15, p. e20220108. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2175-3369.015.e20220108>.
- Gomes, S *et al.* (2017) “Potencial energético de resíduos sólidos domiciliares do município de Ponta Grossa, Paraná, Brasil”, *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 22(6), p. 1197–1202. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1413-41522017143432>.
- Grube, M *et al.* (2006) “Evaluation of sewage sludge-based compost by FT-IR spectroscopy”, *Geoderma*, 130(3), p. 324–333. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2005.02.005>.

- Hagemann, N *et al.* (2018) “Effect of biochar amendment on compost organic matter composition following aerobic composting of manure”, *Science of The Total Environment*, 613–614, p. 20–29. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.161>.
- Ikegwu, UM *et al.* (2022) “Thermogravimetric properties and degradation kinetics of biomass during its thermochemical conversion process”, *Materials Today: Proceedings*, 65, p. 2163–2171. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.05.538>.
- Kong, Y. *et al.* (2024) “Applicability and limitation of compost maturity evaluation indicators: A review”, *Chemical Engineering Journal*, 489, p. 151386. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.151386>.
- Kubovský, I, Kačíková, D e Kačík, F (2020) “Structural Changes of Oak Wood Main Components Caused by Thermal Modification”, *Polymers*, 12(2), p. 485. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/polym12020485>.
- Kurniawan, TA *et al.* (2021) “A societal transition of MSW management in Xiamen (China) toward a circular economy through integrated waste recycling and technological digitization”, *Environmental Pollution*, 277, p. 116741. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116741>.
- Li, S *et al.* (2017) “Evaluation of humic substances during co-composting of sewage sludge and corn stalk under different aeration rates”, *Bioresource Technology*, 245, p. 1299–1302. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.08.177>.
- Ma, R *et al.* (2025) “Optimizing organic waste co-composting: Component ratio thresholds for dual enhancement of maturity and gaseous emission reduction”, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 13(5), p. 119053. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2025.119053>.
- Mandal, S *et al.* (2022) “A comparative kinetic study between TGA & DSC techniques using model-free and model-based analyses to assess spontaneous combustion propensity of Indian coals”, *Process Safety and Environmental Protection*, 159, p. 1113–1126. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.01.045>.
- Martín, APS *et al.* (2023) “Spectroscopy Techniques for Monitoring the Composting Process: A Review”, *Agronomy*, 13(9), p. 2245. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agronomy13092245>.
- Mujtaba, G *et al.* (2021) “Physio-Chemical Characterization of Biochar, Compost and Co-Composted Biochar Derived from Green Waste”, *Sustainability*, 13(9), p. 4628. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su13094628>.
- Neves, BC das e Lima, EPP (2019) “Condições da prestação dos serviços ambientais de coleta e destinação de resíduos de serviços de saúde em unidades básicas de saúde na cidade de Pelotas, RS, Brasil”, *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 24, p. 61–69. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522019172729>.
- Nobre, SB *et al.* (2021) “Levantamento dos resíduos sólidos gerados no município de Pau Dos Ferros, Rio Grande do Norte / Survey of solid waste generated in the municipality of Pau Dos Ferros, Rio Grande do Norte”, *Brazilian Journal of Development*, 7(6), p. 54056–54075. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv7n6-009>.
- Nur Aqeela Syuhadah Aji *et al.* (2021) “Production of food waste compost and its effect on the growth of dwarf crape jasmine”, *Jurnal Kejuruteraan*, 33(3), p. 413–424. Disponível em: [https://doi.org/10.17576/jkukm-2021-33\(3\)-04](https://doi.org/10.17576/jkukm-2021-33(3)-04).
- Pheakdey, DV *et al.* (2022) “Challenges and Priorities of Municipal Solid Waste Management in Cambodia”, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(14), p. 8458. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijerph19148458>.
- Pisano, V, Demajorovic, J e Besen, GR (2022) “The Brazilian National Solid Waste Policy: perspectives of the waste pickers’ cooperative networks”, *Ambiente & Sociedade*, 25, p. e01511. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc20210151r1FT>.
- Poornima, S *et al.* (2024) “Review on advances in toxic pollutants remediation by solid waste composting and vermicomposting”, *Scientific African*, 23, p. e02100. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2024.e02100>.

- Ravindran, B *et al.* (2013) “Instrumental evidence for biodegradation of tannery waste during vermicomposting process using *Eudrilus eugeniae*”, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 111(3), p. 1675–1684. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10973-011-2081-9>.
- Rico, JJ *et al.* (2022) “TG/DSC and kinetic parametrization of the combustion of agricultural and forestry residues”, *Biomass and Bioenergy*, 162, p. 106485. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2022.106485>.
- Schirmer, WN *et al.* (2017) “CARACTERIZAÇÃO DE BIOMASSA RESIDUAL DE FÁBRICA DE PAPEL-CARTÃO PARA APROVEITAMENTO ENERGÉTICO”, *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, 10(4), p. 1113. Disponível em: <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2017v10n4p1113-1132>.
- Škorjanc, A, Goričanec, D. e Urbanc, D. (2024) “Assessing Energy Potential and Chemical Composition of Food Waste Thermodynamic Conversion Products: A Literature Review”, *Energies*, 17(8), p. 1897. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en17081897>.
- Voběrková, S *et al.* (2020) “Food waste composting - Is it really so simple as stated in scientific literature? – A case study”, *Science of The Total Environment*, 723, p. 138202. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138202>.
- Wei, S, Wei, W e Umut, A (2023) “Do renewable energy consumption, technological innovation, and international integration enhance environmental sustainability in Brazil?”, *Renewable Energy*, 202, p. 172–183. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.11.074>.
- Wu, Xiaoyan *et al.* (2021) “Effect of bamboo sphere amendment on the organic matter decomposition and humification of food waste composting”, *Waste Management*, 133, p. 19–27. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.07.030>.
- Xu, P *et al.* (2024) “Microbial agents obtained from tomato straw composting effectively promote tomato straw compost maturation and improve compost quality”, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 270, p. 115884. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115884>.
- Zago, VCP e Barros, R.T. de V. (2019) “Gestão dos resíduos sólidos orgânicos urbanos no Brasil: do ordenamento jurídico à realidade”, *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 24, p. 219–228. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522019181376>.
- Zhou, Y, Selvam, A e Wong, JWC (2014) “Evaluation of humic substances during co-composting of food waste, sawdust and Chinese medicinal herbal residues”, *Bioresource Technology*, 168, p. 229–234. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.05.070>.
- Zittel, R *et al.* (2018) “Composting of smuggled cigarettes tobacco and industrial sewage sludge in reactors: Physicochemical, phytotoxic and spectroscopic study”, *Waste Management*, 79, p. 537–544. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.08.009>.