

MALTE DE CERVEJA E EFICIENCIA ENERGÉTICA: ESTUDO DA VIABILIDADE DE PRODUÇÃO DE BIO-ÓLEO

Victor Hugo Paiva Rocha de Oliveira¹, Lech Walesa Oliveira Soares²

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte – campus Pau dos Ferros, Pau dos Ferros, Brasil (Viktoroliveira507@gmail.com)

²¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte – campus Ipanguaçu, Ipanguaçu, Brasil

O estudo analisa a viabilidade do rejeito de malte como biomassa para produção de bio-óleo via pirólise, diante da necessidade de diversificação energética. Foram avaliados parâmetros físico-químicos, como umidade, voláteis, cinzas, carbono fixo e lignina. Os resultados indicam potencial energético relevante e compatibilidade com outras biomassas, embora desafios como estabilidade do bio-óleo persistam, reforçando sua aplicabilidade sustentável.

Palavras-chave: bio-óleo; rejeito de malte; biomassa; pirólise.

INTRODUÇÃO

O crescimento das preocupações ambientais, aliado à instabilidade econômica vinculada aos combustíveis fósseis em escala global, tem impulsionado discussões acerca do papel das fontes renováveis na transição energética, conferindo maior visibilidade ao uso da biomassa como alternativa energética (Cordeiro, 2011). Nesse contexto, os resíduos provenientes da indústria cervejeira passam a se destacar como fonte de biomassa, devido à ampla utilização do malte na produção de cerveja. Esse insumo constitui a matéria-prima essencial para a obtenção da biomassa, a partir da qual, por meio do processo de pirólise, é possível produzir bio-óleo.

A biomassa possibilita a geração de diferentes tipos de biocombustíveis, como biogás, biodiesel, biocarvão e, conforme abordado neste estudo, o bio-óleo. Sua relevância está associada à diversificação da matriz energética nacional, apresentando elevada viabilidade prática, uma vez que é obtido a partir de resíduos lignocelulósicos (Cordeiro, 2011). Dessa forma, o aproveitamento desses rejeitos vegetais configura-se como uma alternativa viável para a produção de bio-óleo e outras formas de bioenergia (Miranda; Martins & Lopes, 2019).

O bio-óleo possui potencial de aplicação como fonte energética em motores a diesel e em turbinas de combustão. Quando comparado ao óleo diesel convencional, apresenta comportamento de combustão semelhante, desde que sejam realizadas adaptações nas condições operacionais. Entre essas

adequações, destacam-se a redução do teor de água, a filtração para remoção de partículas sólidas, o pré-aquecimento para controle da viscosidade, a utilização em misturas com combustíveis fósseis (blends) e modificações no sistema de injeção, visando evitar corrosão e acúmulo de resíduos. Tais ajustes tornam-se necessários devido às características do bio-óleo, como elevado teor de oxigênio, acidez e instabilidade química (Oasmaa; Meier, 2005; Jacobson; Dalai; Maheria, 2013; Fontes, 2011).

O rejeito de malte é um valioso material na cadeia produtiva, visto que o malte de cevada é responsável por 90% das cervejas consumidas globalmente. A cevada tem uma alta produção de 20 milhões de toneladas só na Rússia em 2019, enquanto o Brasil produziu 417mil toneladas no mesmo ano, tornando esta planta a quinta de maior importância econômica mundial (Muxel, 2022).

Apesar do crescente interesse científico pelo tema, a conversão de resíduos cervejeiros em bio-óleo ainda enfrenta limitações. Um dos principais desafios relatados na literatura refere-se à estabilidade do produto final, que pode comprometer sua eficiência energética e qualidade como biocombustível (Dias, 2021). Nesse sentido, a caracterização e a avaliação da eficiência do bio-óleo produzido nesta pesquisa buscam contribuir para o desenvolvimento de uma alternativa baseada no aproveitamento de resíduos de malte que atenda aos parâmetros físico-químicos adequados.

Diante desse cenário, surge a seguinte questão norteadora: é possível produzir bio-óleo, em escala laboratorial, a partir de resíduos de malte, de modo que

apresente parâmetros físico-químicos compatíveis com uma boa qualidade energética?

Este trabalho está estruturado em seções inter-relacionadas que visam atingir o objetivo proposto. Inicialmente, a introdução apresenta os aspectos gerais da pesquisa, incluindo a problemática, a relevância e os objetivos. Em seguida, o referencial teórico reúne e discute informações da literatura pertinentes ao tema. Posteriormente, a metodologia descreve os procedimentos adotados e a natureza da pesquisa. Na sequência, a seção de análise e discussão interpreta os resultados experimentais à luz do referencial teórico. Por fim, as considerações finais sintetizam as conclusões acerca da viabilidade do uso de malte residual, oriundo de uma indústria cervejeira de pequeno porte, como biocombustível, com base em suas propriedades imediatas e no teor de lignina.

O objetivo geral deste estudo consiste em avaliar a viabilidade da produção de bio-óleo a partir de resíduos de malte provenientes de uma indústria cervejeira local de pequeno porte, por meio da determinação de parâmetros de análise imediata e de lignina, a fim de verificar seu potencial energético conforme dados reportados na literatura.

Como objetivos específicos, destacam-se:

- Preparar e acondicionar o resíduo de malte para análises laboratoriais;
- Determinar os teores de umidade, materiais voláteis, cinzas e carbono fixo por meio de análise imediata;
- Estimar o poder calorífico superior com base nos parâmetros obtidos;
- Determinar os teores de lignina solúvel e insolúvel;
- Comparar os resultados obtidos com dados disponíveis na literatura;
- Avaliar a viabilidade energética do material como precursor para a produção de bio-óleo.

MATERIAL E MÉTODOS

Natureza do trabalho

O presente trabalho apresenta natureza experimental, uma vez que envolve a manipulação de variáveis com o objetivo de observar e analisar os resultados obtidos

(Gil, 2008). A abordagem adotada é do tipo qualitativa e quantitativa, caracterizando-se como pesquisa mista, ao combinar a análise descritiva e interpretativa dos dados provenientes do rejeito de malte com a mensuração e o tratamento estatístico dessas informações, conforme discutido por Creswell (2014) e Sampieri, Collado e Lucio (2013).

Coleta e Tratamento da Matéria-prima

Para a realização das análises, utilizou-se bagaço de malte em estado úmido, conforme ilustrado na Figura 1, oriundo de uma indústria cervejeira localizada no estado do Rio Grande do Norte, no município de Pau dos Ferros, na região do Alto Oeste Potiguar. O material foi inicialmente submetido à secagem em estufa a 105 °C por 24 horas e, posteriormente, triturado em moinho de facas, de modo a obter granulometria igual ou inferior a 0,4 mm. Após o preparo, o rejeito foi encaminhado para análises laboratoriais de análise imediata e determinação dos teores de lignina solúvel e insolúvel, realizadas no Laboratório de Química Analítica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN).



Figura 1. Rejeito de malte úmido.

Análise Imediata

A análise imediata foi conduzida com base nas normas ASTM 8112/1986 D3173, D3174 e D3175 (ABNT, 1986), com adaptações para materiais lignocelulósicos conforme Souza (2013). Para isso, foram preparadas cinco amostras de 0,5 g de bagaço de malte, previamente trituradas até consistência semelhante à farinha, garantindo granulometria adequada, sendo as massas determinadas em balança analítica de alta precisão.

O teor de umidade foi obtido a partir da secagem das amostras a 105 °C por 24 horas, seguida de

resfriamento em dessecador e pesagem, sendo calculado com base na variação entre as massas inicial e final.



Figura 2. Malte resfriando em dessecador.

O teor de materiais voláteis foi determinado após aquecimento das amostras em mufla a 950 °C por 6 minutos, seguido de resfriamento e pesagem. O teor de cinzas foi obtido por calcinação a 750 °C durante 6 horas, com posterior resfriamento e pesagem do resíduo. O teor de carbono fixo foi calculado de forma indireta, a partir da diferença entre 100% e a soma dos teores de cinzas e materiais voláteis.

Poder Calorífico Superior

O poder calorífico superior (PCS) foi estimado com base nos resultados da análise imediata, utilizando a equação proposta por Demirbaş (1997), que relaciona os teores de carbono fixo e materiais voláteis.

Análise de Composição de Lignina

A determinação da lignina insolúvel foi realizada por meio de hidrólise ácida de uma amostra seca de 0,3 g com ácido sulfúrico a 72%, seguida de aquecimento em banho-maria a 30 °C por 1 hora. Posteriormente, a solução foi diluída, submetida à autoclavagem a 121 °C por 1 hora, resfriada e filtrada. O resíduo retido foi seco em estufa a 105 °C até massa constante, sendo o teor de lignina insolúvel determinado gravimetricamente.



Figura 3. Solução acidificada na autoclave.

A partir destas etapas, foi possível achar os parâmetros para o cálculo de lignina solúvel conforme mostra a equação:

$$Lig_{ins} = \left(\frac{m_2 - m_1}{m} \right) \times 100 \quad (1)$$

Onde:

Lig_{ins} = Teor de lignina insolúvel em %;

m = Massa da amostra a base seca;

m_1 = Massa do cadinho filtrante;

m_2 = (Massa do cadinho filtrante + lignina insolúvel fixada no cadinho).

A lignina solúvel presente no filtrado foi determinada por espectrofotometria UV-Vis, conforme metodologia adaptada da National Renewable Energy Laboratory (NREL), baseada em Sluiter (2012). O filtrado foi submetido a duas diluições sucessivas em ácido sulfúrico a 4%, resultando em fator de diluição igual a 100. A análise foi realizada a 205 nm, utilizando solução de ácido sulfúrico 4% como branco.



Figura 4. Cubeta de Quartzo inserida com a alíquota.

O teor de lignina solúvel foi calculado com base na absorbância obtida, considerando o fator de diluição, a absorvidade da lignina e a massa seca da amostra, conforme a Lei de Beer-Lambert e o protocolo da NREL:

$$LiG_s = \frac{\left(\frac{A}{100} \times F \times \frac{87}{1000}\right)}{m} \times 100\% \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde:

LiG_s = Teor de lignina solúvel (%);

A = Absorbância registrada pelo espectrofotômetro;

F = Fator de diluição;

m = Massa da amostra a base seca.

Por fim, o teor total de lignina foi obtido a partir do somatório dos teores de lignina insolúvel e solúvel.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise Imediata

O teor de umidade médio obtido para o bagaço de malte foi de 68%, evidenciado pela redução da massa de 0,5380 g para 0,1688 g após secagem. Esse valor está em consonância com a literatura, que reporta intervalos entre 60% e 80% para resíduos cervejeiros (Głowacki et al., 2022; Evaristo et al., 2017; Singh et al., 2020).

Tabela 1. Teor de umidade da amostra

Média das amostras	Massa inicial da amostra (g)	Massa final da amostra (g)	Teor de umidade
Malte úmido	0,5380	0,1688	68%

Esse elevado teor de umidade pode ser explicado tanto por fatores intrínsecos, como a estrutura lignocelulósica (celulose, hemicelulose e lignina), que apresenta alta capacidade de retenção de água, quanto por fatores extrínsecos, como o processo industrial de extração do mosto, que envolve intensa adição de água ao material.

O teor de materiais voláteis foi de 90%, valor próximo ao reportado por Cordeiro (2011) (95,95%) e superior ao observado por Evaristo et al. (2017) (~80%). Esse resultado indica elevada fração de compostos orgânicos termicamente degradáveis, favorecendo a liberação de gases e vapores durante o aquecimento.

Tabela 2. Teor de voláteis

Média das amostras	Massa inicial (cadinho + amostra seca) (g)	Massa final (cadinho + amostra seca) (g)	Teor de voláteis
Bagaço triturado e seco	35,345	34,856	90%

Tal característica está diretamente associada à facilidade de ignição e à intensidade da combustão, sendo relevante para processos termoquímicos (Souza, 2013).



Figura 5. Dessecador contendo as amostras de voláteis.

O teor de cinzas obtido foi de 3%, valor compatível com estudos de Evaristo et al. (2017) e Souza (2013), embora superior ao encontrado por Cordeiro (2011) (0,74%). Essa variação pode estar relacionada à presença de impurezas, condições de cultivo, armazenamento e exposição do material após o processamento industrial.

Tabela 3. Teor de cinzas

Média das amostras	Massa do cadinho (g)	Massa final (cadinho + amostra calcinada) (g)	Teor de cinzas
Bagaço triturado e seco	31,776	31,793	3%

O teor de cinzas é um parâmetro importante, pois influencia negativamente o poder calorífico e pode favorecer processos de corrosão e incrustação em equipamentos (Demirbaş, 2004; Jenkins et al., 1998).



Figura 6. Dessecador contendo as amostras de cinzas.

A partir dos teores de voláteis e cinzas, o teor de carbono fixo foi estimado em 7%, valor semelhante aos reportados para outras biomassas, como bagaço de cana-de-açúcar (6,85%) e capim-elefante (7,95%) (Santos e Junior, 2016; Broetto et al., 2012).

Tabela 4. Teor de Carbono Fixo

Teor de cinzas	Teor de voláteis	Teor de Carbono Fixo
3%	90%	7%

Esse parâmetro está associado à fração sólida remanescente após a devolatilização e está diretamente relacionado ao rendimento em carvão e à estabilidade da combustão (Nóbrega, 2022).

Análise de Composição de Lignina

O teor de lignina insolúvel foi de 50% (base seca), determinado pelo método Klason. Esse valor encontra-se dentro da faixa reportada por Hu e Ragauskas (2012), entre 40% e 55%. No entanto, é importante destacar que essa fração não corresponde exclusivamente à lignina nativa, pois o tratamento ácido pode promover a formação de pseudo-ligninas a partir da degradação de carboidratos. Essas estruturas aromáticas apresentam comportamento semelhante à lignina e são quantificadas como tal, podendo superestimar os resultados (Sluiter et al., 2012).

O elevado teor de lignina insolúvel sugere potencial para a formação de compostos fenólicos durante a pirólise, como fenóis, guaiacóis e siringóis, contribuindo para a estabilidade térmica do bio-óleo (Bridgwater, 2012). Entretanto, também indica maior tendência à formação de carvão sólido.

A lignina solúvel apresentou teor de 9,807%, determinado por espectrofotometria UV-Vis a 205 nm, conforme metodologia da NREL. Essa fração está associada a compostos aromáticos menos condensados, que permanecem dissolvidos após a hidrólise ácida. No entanto, assim como na fração insolúvel, a absorbância nessa faixa de comprimento de onda não é exclusiva da lignina, podendo incluir outros compostos aromáticos presentes na solução (Fukushima e Hatfield, 2004).

O teor total de lignina, obtido pelo somatório das frações solúvel e insolúvel, foi de 59,807%. Esse valor elevado indica alta fração aromática estrutural, característica associada à produção de bio-óleos com maior conteúdo fenólico e maior estabilidade, embora também favoreça a formação de resíduos sólidos durante a conversão termoquímica (Bridgwater, 2012; Mohan et al., 2006).

Poder Calorífico Superior

O poder calorífico superior (PCS), estimado pela equação de Demirbaş (1997), foi de 15,99 MJ kg⁻¹. Esse valor está dentro da faixa típica para biomassas lignocelulósicas e próximo aos valores reportados para materiais como palha, bagaço de cana e madeira (17–18 MJ kg⁻¹) (Saidur et al., 2011).

$$\text{PCS (MJ/kg)} = 0,312 \times \text{FC} + 0,1534 \times \text{VM} \quad (3)$$

Apesar de ligeiramente inferior a alguns valores da literatura, essa variação pode ser atribuída à composição específica do material analisado, especialmente ao teor de cinzas e à proporção entre carbono fixo e voláteis. Ainda assim, o resultado indica potencial energético relevante, reforçando a viabilidade do bagaço de malte como matéria-prima para processos de conversão termoquímica (Souza, 2013).

CONCLUSÃO

Este trabalho investigou a viabilidade do rejeito de malte, proveniente de uma indústria cervejeira local de pequeno porte, como matéria-prima potencial para a



produção de bio-óleo, por meio da determinação de parâmetros de análise imediata e do teor de lignina. Os resultados obtidos permitiram caracterizar propriedades fundamentais relacionadas ao comportamento térmico e energético do material, evidenciando sua adequação como biomassa lignocelulósica com potencial de aproveitamento energético.

A determinação dos teores de umidade, materiais voláteis, cinzas e carbono fixo possibilitou a estimativa do poder calorífico superior e a compreensão do perfil de conversão termoquímica do material. De forma complementar, a análise de lignina contribuiu para a compreensão da composição estrutural da biomassa, aspecto diretamente relacionado ao processo de pirólise e ao rendimento de bio-óleo.

A comparação dos resultados com dados da literatura indica que o rejeito de malte apresenta características compatíveis com outras biomassas empregadas em aplicações energéticas, reforçando sua viabilidade como subproduto de valor agregado. Além disso, seu aproveitamento está alinhado a estratégias de economia circular, contribuindo para a redução de impactos ambientais e para a diversificação da matriz energética.

Entretanto, destaca-se que este estudo se restringe à caracterização físico-química inicial do material, não contemplando a produção e avaliação direta do bio-óleo. Nesse sentido, pesquisas futuras devem concentrar-se na otimização das condições de pirólise, na caracterização química do bio-óleo obtido e na avaliação de seu desempenho em aplicações energéticas.

Conclui-se, portanto, que o rejeito de malte apresenta potencial relevante como recurso energético, configurando-se como uma alternativa promissora para o aproveitamento sustentável de resíduos agroindustriais e para o desenvolvimento de tecnologias voltadas à conversão de biomassa em biocombustíveis.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer ao meu orientador por tornar possível a realização desse trabalho, à equipe técnica do laboratório do IFRN que me auxiliou no preparo dos experimentos, ao professor Bonfim e sua esposa Justina que concederam a matéria prima da pesquisa sem custo algum, à instituição IFRN que me cedeu espaço para poder realizar as análises, à minha mãe e aos meus amigos.

REFERÊNCIAS

BRIDGWATER, A. V. Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading. *Biomass and*

Bioenergy, v. 38, p. 68–94, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.01.048>.

CORDEIRO, Luana Gomes. *Characterization and economic viability of bagasse coming from malt beer for energy purposes*. 2011. Dissertação (Mestrado em Química e Bioquímica de Alimentos) — Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/tede/4012>. Acesso em: 11 fev. 2026.

CRESWELL, John W. *Research design: qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*. 4. ed. Thousand Oaks: SAGE, 2014.

DEMIRBAŞ, Ayhan. Calculation of higher heating values of biomass fuels. *Fuel*, v. 76, n. 5, p. 431–434, 1997. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0016-2361\(97\)85520-2](https://doi.org/10.1016/S0016-2361(97)85520-2). Acesso em: 11 fev. 2026.

DEMIRBAŞ, Ayhan. Combustion characteristics of different biomass fuels. *Progress in Energy and Combustion Science*, v. 30, n. 2, p. 219–230, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2003.10.004>. Acesso em: 11 fev. 2026.

DIAS, Ivana Amorim. *Estabilidade físico-química da fase aquosa resultante do fracionamento do bio-óleo*. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) — Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2021.

EVARISTO, R. B. W. et al. Caracterização de resíduos da produção de cerveja artesanal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 57., 2017, Gramado. Anais [...]. Gramado: Associação Brasileira de Química, 2017.

FONTES, Lúcio Ângelo de Oliveira. *Desenvolvimento de uma unidade pirolítica com reator de cilindro rotativo: obtenção de bio-óleo*. 2011. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Petróleo) — Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

FUKUSHIMA, Romualdo Shigueo; HATFIELD, Ronald Donald. Comparison of the acetyl bromide spectrophotometric method with other analytical lignin methods for determining lignin concentration in forage samples. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 52, p. 3713–3720, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/jf035497l>. Acesso em: 11 fev. 2026.

GIL, Antonio Carlos. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GŁOWACKI, S. et al. O uso do grão gasto da cervejaria após a produção de cerveja para fins energéticos. *Materials*, v. 15, n. 10, p. 3703, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ma15103703>. Acesso em: 11 fev. 2026.



HU, Feng; RAGAUSKAS, Arthur J. Pseudo-lignin formation during acid hydrolysis. *BioEnergy Research*, 2012.

JACOBSON, Kathlene; MAHERIA, Kalpana C.; DALAI, Ajay Kumar. Bio-oil valorization: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 23, p. 91–106, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.02.036>. Acesso em: 11 fev. 2026.

JENKINS, B. M. et al. Combustion properties of biomass. *Fuel Processing Technology*, v. 54, n. 1–3, p. 17–46, 1998. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0378-3820\(97\)00059-3](https://doi.org/10.1016/S0378-3820(97)00059-3). Acesso em: 11 fev. 2026.

LENÇO, Paulo Cesar. *Caracterização do bagaço de cana-de-açúcar para geração de energia*. 2010. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) — Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

MIRANDA, Ronaldo Leão de; MARTINS, Eliane Maria; LOPES, Kamila. A potencialidade energética da biomassa no Brasil. *Desenvolvimento Socioeconômico em Debate*, v. 5, n. 1, p. 94–106, 2019.

MOHAN, D.; PITTMAN, C. U.; STEELE, P. H. Pyrolysis of wood/biomass for bio-oil: a critical review. *Energy & Fuels*, v. 20, n. 3, p. 848–889, 2006.

MUXEL, Alfredo Alberto. **Química da cerveja**. Curitiba: Appris, 2022.

NÓBREGA, Rodolfo dos Santos Lopes. *Uso de biomassas como possíveis fontes renováveis*. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2022.

OASMAA, Anja; MEIER, Dietrich. Norms and standards for fast pyrolysis liquids. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, v. 73, n. 2, p. 323–334, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2005.03.003>. Acesso em: 11 fev. 2026.

SAIDUR, R. et al. A review on biomass as a fuel for boilers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 15, n. 5, p. 2262–2289, 2011.

SAMPIERI, Roberto Hernández; COLLADO, Carlos Fernández; LUCIO, María del Pilar Baptista. *Metodologia de pesquisa*. Porto Alegre: Penso, 2013.

SANTOS, Eyde Cristianne Saraiva dos; JÚNIOR, Luiz Dias. Caracterização química de resíduos agroindustriais. In: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA – CONTECC, 2016. Anais [...].

SINGH, A. P. et al. Novel drying methods for sustainable upcycling of brewers' spent grains.

Sustainability, v. 12, n. 9, p. 3660, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12093660>.

SLUITER, A. et al. *Determination of structural carbohydrates and lignin in biomass*. National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2012.

SOUZA, Alexssander Fernandes R. C. de. *Estudo da viabilidade da produção de bio-óleo a partir da pirólise do bagaço de cana-de-açúcar*. 2013. Monografia — Universidade de Brasília, 2013.

WANG, S.; LI, W.; ALRUYEMI, I. Investigation of factors affecting higher heating value. *BioMed Research International*, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2021/4814888>. Acesso em: 12 fev. 2026.