REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/09/2026 - **Accepted:** 04/10/2026
Vol: 13.21
DOI: 10.66104/px55ft75
Pages: 1-33

Valorização Tecnológica dos Resíduos de *Euterpe oleracea* Mart.: Uma Revisão Sistemática sob as Perspectivas da Bioeconomia Circular e das Biorrefinarias

Technological Valorization of *Euterpe oleracea* Mart. Residues: A Systematic Review from the Perspectives of Circular Bioeconomy and Biorefineries

Valorización Tecnológica de los Residuos de *Euterpe oleracea* Mart.: Una Revisión Sistemática bajo las Perspectivas de la Bioeconomía Circular y las Biorrefinerías

Celine Éveli Teixeira de Barros
Mestranda em Ciência e Meio Ambiente, Universidade Federal do Pará, Brasil
E-mail: celine.barros@icen.ufpa.br

Jamily José Quaresma
Doutoranda em Odontologia, Universidade Federal do Pará, Brasil
E-mail: jamily.quaresma@ics.ufpa.br

Francisco Arenilton de Lima Santos
Mestre em Ciências Ambientais, Universidade Federal do Pará, Brasil
E-mail: historiador.master@gmail.com

Guilherme Motta de Moraes
Doutor em Ciências e Matemática, Instituto Federal do Pará, Brasil
E-mail: guilherme.moraes@ifpa.edu.br

Marcos Nazareno Launé dos Santos
Mestre em Ciência e Meio Ambiente, Universidade Federal do Pará, Brasil
E-mail: launevestibulares@gmail.com

Rafael Nascimento Queiroz
Mestrando em Ciência e Meio Ambiente, Universidade Federal do Pará, Brasil
E-mail: rafael.queirox@gmail.com

Ingryd Nayara de Farias Ramos
Doutora em Oncologia e Ciências Médicas , Universidade Federal do Pará, Brasil
E-mail: ingrydramos7@gmail.com

José de Arimateia Rodrigues do Rego
Doutor em Química, Universidade Federal do Pará, Brasil
E-mail: jr2rego@gmail.com

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/09/2026 - **Accepted:** 04/10/2026
Vol: 13.21
DOI: 10.66104/px55ft75
Pages: 1-33

Resumo

Introdução: O processamento industrial de açaí gera grandes volumes de resíduos e, embora tradicionalmente descartados, apresentam elevado potencial para aplicações tecnológicas alinhadas aos princípios da bioeconomia circular e das biorrefinarias. Nos últimos anos, avanços nas técnicas de caracterização e conversão da biomassa ampliaram significativamente as possibilidades de aproveitamento desses resíduos. **Objetivo:** Analisar a evolução tecnológica da valorização dos resíduos de *E. oleracea,* sintetizando as evidências experimentais sobre caracterização físico-química, compostos bioativos, tecnologias ambientais, biomateriais e processos de conversão biotecnológica e energética. **Métodologia:** Realizou-se uma revisão sistemática da literatura seguindo as recomdações PRISMA 2020. As buscas foram realizadas na base PubMed com os descritores resíduos agroindustriais, *E. oleracea*, biomassa, biochar, biomateriais, compostos bioativos e biorrefinarias. Incluiu-se estudos experimentais publicados entre 2022 e 2026 que abordaram a valorização tecnológica da biomassa residual. Os dados foram tratados por síntese narrativa com cinco eixos temáticos. **Resultados:** Doze estudos atenderam aos critérios de elegibilidade. Observou-se uma diversificação progressiva e crescente sofisticação analítica e tecnológica das rotas de valorização. Técnicas como FTIR, HRMS, HPLC-RID, RMN e DRX permitiram caracterizar compostos fenólicos, fibras lignocelulósicas, mananas cristalinas e oligossacarídeos bioativos, subsidiando o desenvolvimento de antioxidantes naturais, prebióticos, biochar, nanoadsorventes, materiais biodegradáveis e processos de conversão para bioenergia. Os resíduos ainda constituem integração entre química analítica, ciência dos materiais, nanotecnologia, biotecnologia e engenharia de processos, ampliando as perspectivas de aproveitamento integral da biomassa. **Conclusões:** Os resíduos ainda constituem uma plataforma renovável e multifuncional para obtenção de ingredientes, biomateriais, tecnologias ambientais e bioenergia. Os resultados evidenciam o crescimento de abordagens compatíveis com a lógica da biorrefinaria, reforçando seu papel estratégico na bioeconomia circular. Contudo, a consolidação industrial dessas tecnologias ainda depende da padronização da matéria-prima, integração das rotas de conversão, validação em escala piloto, análises técnico-econômicas e estudos de ciclo de vida.
Palavras-chave: *Euterpe oleracea*; resíduos agroindustriais; bioeconomia circular.

Abstract

Introduction: Industrial processing of açaí generates large volumes of residues that, although traditionally discarded, exhibit high potential for technological applications aligned with circular bioeconomy and biorefinery principles. In recent years, advances in biomass characterization and conversion techniques have significantly expanded the possibilities for utilizing these residues. **Objective:** To analyze the technological evolution of *E. oleracea* residue valorization, synthesizing experimental evidence regarding physicochemical characterization, bioactive compounds, environmental technologies, biomaterials, and biotechnological and energy conversion processes. **Methods:** A systematic literature review was conducted following the PRISMA 2020 recommendations. Searches were performed in the PubMed database using descriptors for agro-industrial residues, *E. oleracea*, biomass, biochar, biomaterials, bioactive compounds, and biorefineries. Experimental studies published between 2022 and 2026 addressing the technological valorization of residual biomass were included. Data were processed through narrative synthesis across five thematic axes. **Results:** Twelve studies met the eligibility criteria. A progressive diversification and growing analytical and technological sophistication of valorization routes were observed. Techniques such as FTIR, HRMS, HPLC-RID, NMR, and XRD enabled the characterization of phenolic compounds, lignocellulosic fibers, crystalline mannans, and bioactive oligosaccharides, supporting the development of natural antioxidants, prebiotics, biochar, nanoadsorbents, biodegradable materials, and bioenergy conversion processes. These findings highlight an increasing integration among analytical chemistry, materials science, nanotechnology, biotechnology, and process engineering, expanding the prospects for full biomass utilization. **Conclusions:** Residues constitute a renewable and multifunctional platform for obtaining ingredients, biomaterials, environmental technologies, and bioenergy. The results evidence the growth of approaches compatible with biorefinery logic, reinforcing their strategic role in the circular bioeconomy. However,

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/09/2026 - **Accepted:** 04/10/2026
Vol: 13.21
DOI: 10.66104/px55ft75
Pages: 1-33

the industrial consolidation of these technologies still depends on raw material standardization, integration of conversion routes, pilot-scale validation, techno-economic analyses, and life-cycle assessments.
Keywords: *Euterpe oleracea*; agro-industrial waste; circular bioeconomy.

Resumen

Introducción: El procesamiento industrial de açaí genera grandes volúmenes de residuos que presentan un elevado potencial para aplicaciones tecnológicas alineadas con la bioeconomía circular y las biorrefinerías. Avances recientes en caracterización y conversión de biomasa han ampliado significativamente sus posibilidades de aprovechamiento. **Objetivo:** Analizar la evolución tecnológica de la valorización de los residuos de *E. oleracea*, sintetizando las evidencias experimentales sobre caracterización fisicoquímica, compuestos bioactivos, tecnologías ambientales, biomateriales y procesos de conversión biotecnológica y energética. **Metodología:** Revisión sistemática según las recomendaciones PRISMA 2020. Las búsquedas se realizaron en PubMed con descriptores específicos sobre residuos agroindustriales, *E. oleracea*, biomasa, biochar, biomateriales, compuestos bioactivos y biorrefinerías. Se incluyeron estudios experimentales publicados entre 2022 y 2026 sobre valorización tecnológica de la biomasa residual, procesados mediante síntesis narrativa en cinco ejes temáticos. **Resultados:** Doce estudios cumplieron los criterios de elegibilidad. Se observó una diversificación progresiva y una creciente sofisticación analítica y tecnológica de las rutas de valorización. Técnicas como FTIR, HRMS, HPLC-RID, RMN y DRX permitieron caracterizar compuestos fenólicos, fibras lignocelulósicas, mananas cristalinas u oligosacáridos bioactivos, fundamentando el desarrollo de antioxidantes naturales, prebióticos, biochar, nanoadsorbentes, materiales biodegradables y procesos de conversión para bioenergía, integrando química analítica, ciencia de materiales, nanotecnología, biotecnología e ingeniería de procesos. **Conclusiones:** Los residuos de açaí constituyen una plataforma renovable y multifuncional para la obtención de ingredientes, biomateriales, tecnologías ambientales y bioenergía. Los resultados evidencian el crecimiento de enfoques compatibles con la lógica de biorrefinería. Sin embargo, la consolidación industrial depende de la estandarización de la materia prima, integración de rutas de conversión, validación a escala piloto, análisis técnico-económicos y estudios de ciclo de vida.
Palabras clave: *Euterpe oleracea*; residuos agroindustriales; bioeconomía circular; biorrefinería.

1. Introdução

O açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) é uma palmeira nativa da Amazônia com elevada relevância ecológica, social e econômica. Nas últimas décadas, a crescente demanda nacional e internacional por seus frutos impulsionou a expansão da cadeia produtiva do açaí, consolidando-o como um dos principais produtos da sociobiodiversidade brasileira e um recurso estratégico para o fortalecimento da bioeconomia amazônica (EMBRAPA, 2023; IBGE, 2024; FAO, 2024).

O processamento industrial dos frutos gera grandes volumes de resíduos agroindustriais, compostos principalmente por sementes, fibras e endocarpo, que representam cerca de 80–90% da massa do fruto, pós processamento. Apesar da elevada disponibilidade e da composição lignocelulósica complexa, essa biomassa

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/09/2026 - **Accepted:** 04/10/2026
Vol: 13.21
DOI: 10.66104/px55ft75
Pages: 1-33

ainda é subaproveitada, resultando em perdas econômicas e impactos ambientais decorrentes do descarte inadequado.

Nesse contexto, os princípios da economia circular e das biorrefinarias têm impulsionado o desenvolvimento de estratégias voltadas à valorização desses resíduos, promovendo sua reinserção em cadeias produtivas por meio da obtenção de materiais, ingredientes e bioprodutos de maior valor agregado (Kirchherr; Reike; Hekkert, 2017; Geissdoerfer *et al.*, 2017; FAO, 2024).

Os avanços em química da biomassa, química analítica, ciência dos materiais, nanotecnologia e biotecnologia ampliaram significativamente o conhecimento sobre a composição química e a organização estrutural dos resíduos de *E. oleracea*. Estudos recentes demonstram que essa biomassa constitui uma importante fonte de celulose, hemicelulose, lignina, mananas altamente cristalinas, compostos fenólicos e oligossacarídeos bioativos, evidenciando amplo potencial para aplicações industriais de elevado valor agregado (Silva *et al.*, 2023a; Santos *et al.*, 2026; Miguez *et al.*, 2026). Estudos realizados com outras espécies do gênero *Euterpe* também fornecem informações complementares sobre características estruturais e possibilidades de valorização tecnológica da biomassa residual, contribuindo para ampliar a compreensão das rotas de aproveitamento sustentável (Rosales *et al.*, 2026).

A utilização de técnicas analíticas avançadas, como cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC), espectrometria de massas de alta resolução (HRMS), espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR), difração de raios X (DRX) e ressonância magnética nuclear (RMN), permitiu elucidar a arquitetura molecular dessa biomassa com elevado grau de detalhamento. Como consequência, a caracterização físico-química passou a orientar o desenvolvimento de rotas de conversão tecnológica e de produtos com propriedades específicas.

Paralelamente, as aplicações dos resíduos evoluíram de materiais adsorventes para remoção de contaminantes em sistemas aquáticos (Ramirez *et al.*, 2022; Santos *et al.*, 2023; Souza *et al.*, 2023; Mendonça *et al.*, 2024) para a obtenção de antioxidantes naturais, ingredientes funcionais, biomateriais lignocelulósicos, manooligossacarídeos com potencial prebiótico e processos de conversão

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/09/2026 - **Accepted:** 04/10/2026
Vol: 13.21
DOI: 10.66104/px55ft75
Pages: 1-33

termoquímica destinados à predição/simulação de produção de gás síntese enriquecido em hidrogênio (Silva *et al.*, 2023b; Campos *et al.*, 2025; Murillo-Franco *et al.*, 2025; Musial *et al.*, 2026). Essa evolução evidencia a transição dos resíduos de *E. oleracea* de passivo ambiental para matéria-prima estratégica na produção de bioprodutos de alto valor agregado, em consonância com os princípios da bioeconomia circular e dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (Geissdoerfer *et al.*, 2017; FAO, 2024).

Apesar do crescimento da produção científica, as evidências permanecem dispersas entre diferentes áreas do conhecimento, predominando estudos direcionados a aplicações específicas da biomassa. Consequentemente, ainda são escassas revisões sistemáticas que integrem criticamente os avanços experimentais recentes, comparem metodologias, identifiquem tendências tecnológicas e apontem lacunas para o desenvolvimento de novas estratégias de pesquisa e inovação.

Diante desse cenário, o presente estudo realizou uma revisão sistemática da literatura, fundamentada nas recomendações do PRISMA 2020, abrangendo estudos experimentais publicados entre 2022 e 2026. O objetivo foi analisar a diversificação das estragéias de valorização tecnólogica apresentadas, dos resíduos de *Euterpe oleracea* Mart., sintetizando as evidências relacionadas à caracterização físico-química e estrutural, compostos bioativos, biochar e materiais adsorventes, materiais lignocelulósicos e processos de conversão biotecnológica e energética. Como contribuição, esta revisão propõe uma visão integrada da evolução tecnológica da valorização desses resíduos, relacionando a caracterização molecular da biomassa às diferentes rotas de conversão e às respectivas aplicações industriais, além de identificar lacunas e perspectivas para o desenvolvimento de biorrefinarias sustentáveis baseadas em recursos amazônicos.

2. METODOLOGIA

2.1 Revisão sistemática de escopo/mapeamento tecnológico com síntese narrativa

O presente estudo consiste em uma revisão sistemática da literatura conduzida conforme as recomendações do Preferred Reporting Items for Systematic

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/09/2026 - **Accepted:** 04/10/2026
Vol: 13.21
DOI: 10.66104/px55ft75
Pages: 1-33

Reviews and Meta-Analyses (PRISMA 2020), com o objetivo de identificar, avaliar e sintetizar evidências científicas sobre a valorização tecnológica dos resíduos agroindustriais de *Euterpe oleracea* Mart. O relato foi estruturado conforme as recomendações PRISMA 2020, seguindo a natureza de revisão sistemática com síntese narrativa, mantendo a transparência e reprodutibilidade em todas as etapas da revisão (Page *et al.*, 2021).

A questão de pesquisa foi estruturada segundo a estratégia PCC (Population–Concept–Context), recomendada pelo Joanna Briggs Institute (Aromataris; Munn, 2020). A população correspondeu aos resíduos agroindustriais de *E. oleracea* Mart.; o conceito abrangeu as estratégias de valorização tecnológica dessa biomassa; e o contexto compreendeu aplicações nas áreas ambiental, alimentícia, farmacêutica, cosmética, biotecnológica, energética e de materiais sustentáveis. A questão norteadora foi: **quais estratégias científicas e tecnológicas têm sido empregadas para agregar valor aos resíduos de** *E. oleracea* Mart**. e quais evidências experimentais sustentam seu potencial de aplicação industrial?**

2.2 Estratégia de busca bibliográfica

A busca bibliográfica foi realizada entre 05 de maio e 28 de junho de 2026 na base PubMed, selecionada por sua literatura internacional nas áreas biomédicas e das ciências da vida, o que inclui também estudos com abordagens nas áreas de Química, Ciência dos Materiais, Engenharia Química, Biotecnologia, Ciência dos Alimentos e Ciências Ambientais por sua ampla cobertura em estudos relacionados às propriedades químicas, bioativas, biológicas, alimentícias e toxicológicas. A estratégia de busca foi desenvolvida na PubMed, preservando a equivalência dos descritores (National Library of Medicine, 2025).

Foram utilizados descritores controlados (MeSH) e termos livres combinados pelos operadores booleanos AND e OR, abrangendo a espécie *Euterpe oleracea*, resíduos agroindustriais, biomassa lignocelulósica, rotas de valorização tecnológica e compostos bioativos. A estratégia de busca empregada na PubMed, apresenta-se na Tabela 1, abaixo. (Aromataris; Munn, 2020; Page *et al.*, 2021).

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/09/2026 - **Accepted:** 04/10/2026
Vol: 13.21
DOI: 10.66104/px55ft75
Pages: 1-33

Tabela 1. Estratégia de busca bibliográfica utilizada na revisão sistemática.

Elemento	Estratégia
Bases de dados	PubMed
Período da busca	05 de maio a 28 de junho de 2026
Intervalo de publicação	Janeiro de 2022 a junho de 2026
Idiomas	Inglês, Português e Espanhol
Estratégia principal	("Euterpe oleracea" OR açaí) AND (residue OR waste OR "açaí seed") AND (biochar OR biomaterials OR adsorption OR "bioactive compounds" OR mannan OR gasification OR biorefinery)

O refinamento progressivo da estratégia permitiu restringir os registros aos estudos diretamente relacionados à valorização tecnológica dos resíduos de *E. oleracea*. A busca exploratória inicial recuperou 78.994 registros para o descritor *residue*, protocolados à redução de 15 estudos potencialmente elegíveis após a combinação dos descritores específicos. Após a exclusão dos artigos de revisão e a aplicação dos critérios de elegibilidade, 12 estudos experimentais compuseram a amostra final da revisão, evidenciando a elevada especificidade da estratégia de busca e a limitada disponibilidade de estudos experimentais sobre o tema (Page *et al.*, 2021). O fluxo quantitativo de identificação, elegibilidade e triagem dos estudos encontram-se na Tabela 2 e especificados no Quadro 1.

Tabela 2. Refinamento da estratégia de busca na base PubMed.

Etapa da seleção	Número de registros
residue AND *Euterpe oleracea*	25
residue AND açaí	25
residue AND *Euterpe oleracea* AND açaí	15
Artigos de revisão excluídos	3
Estudos experimentais incluídos	12

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/09/2026 - **Accepted:** 04/10/2026
Vol: 13.21
DOI: 10.66104/px55ft75
Pages: 1-33

Quadro 1. Fluxograma de seleção e inclusão dos estudos segundo as diretrizes PRISMA 2020.

Etapa PRISMA	Detalhamento do Fluxo e Quantitativos (n)
IDENTIFICAÇÃO	• Registros identificados nas buscas na base de dados (PubMed): n = 25 • Registros duplicados = 0
TRIAGEM	• Registros triados por título e resumo: n = 25 • Registros excluídos na triagem inicial: n = 10 *(Motivo: Fora do escopo de valorização tecnológica de biomassa)*
ELEGIBILIDADE	• Relatórios avaliados no texto completo quanto à elegibilidade: n = 15 • Relatórios excluídos no texto completo: n = 3 *(Motivo: Artigos de revisão narrativa / sínteses da literatura)*
INCLUSÃO	• Total de estudos incluídos na síntese sistemática: n = 12 - Estudos focados estritamente em *Euterpe oleracea*: n = 11 - Estudo contextual complementar (*E. precatoria* / *O. bataua*): n = 1

2.3 Critérios de elegibilidade e seleção dos estudos

Foram incluídos artigos originais publicados entre janeiro de 2022 e junho de 2026 que investigaram resíduos agroindustriais de *Euterpe oleracea* Mart. Além disso, pode-se analisar também outras espécies do gênero *Euterpe,* desde que apresentassem resultados diretamente aplicáveis à valorização tecnológica da biomassa residual do açaí. Foram considerados estudos sobre caracterização físico-química, compostos bioativos, biomateriais, biochar, adsorventes, nanotecnologia, processos biotecnológicos, bioenergia e outras aplicações industriais.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/09/2026 - **Accepted:** 04/10/2026
Vol: 13.21
DOI: 10.66104/px55ft75
Pages: 1-33

Em razão da elevada proximidade taxonômica entre as espécies do gênero *Euterpe* e da limitada disponibilidade de estudos experimentais sobre alguns aspectos da valorização tecnológica em *E. oleracea*, foram também incluídos como evidência contextual complemtentar, trabalhos com outras espécies do gênero quando fornecessem evidências estruturais, químicas ou tecnológicas relevantes para a compreensão e o aproveitamento da biomassa residual do açaí.

Foram excluídos artigos de revisão, editoriais, capítulos de livros, resumos de congressos, comunicações breves, estudos restritos à polpa do fruto e trabalhos sem aplicação tecnológica da biomassa residual. A seleção compreendeu a triagem de títulos e resumos e leitura na íntegra dos estudos potencialmente elegíveis, conforme as recomendações do PRISMA 2020 (Page *et al.*, 2021).

Como etapa complementar, as listas de referências de 12 estudos incluídos foram examinadas manualmente para identificar publicações relevantes não recuperadas na busca eletrônica, ampliando a abrangência da revisão (Page *et al.*, 2021).

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/09/2026 - **Accepted:** 04/10/2026
Vol: 13.21
DOI: 10.66104/px55ft75
Pages: 1-33

2.4 Extração e síntese dos dados

A extração dos dados foi realizada por meio de uma planilha padronizada contendo informações sobre autores, ano de publicação, periódico, tipo de resíduo, objetivos, metodologias analíticas, tecnologias desenvolvidas, principais resultados, limitações e potenciais aplicações industriais. Essas informações subsidiaram a comparação das abordagens metodológicas, dos processos de conversão e do desempenho tecnológico dos produtos obtidos (Page *et al.*, 2021; Aromataris; Munn, 2020).

Os estudos foram organizados em cinco categorias temáticas: (i) caracterização físico-química e estrutural; (ii) compostos bioativos e aplicações funcionais; (iii) biochar, adsorventes e nanotecnologia ambiental; (iv) biomateriais lignocelulósicos; e (v) conversão biotecnológica e energética, orientando a síntese dos resultados.

Devido à elevada heterogeneidade dos estudos quanto aos resíduos, metodologias e aplicações tecnológicas, não foi realizada metanálise. Assim, adotou-se uma síntese narrativa baseada na comparação crítica das metodologias, processos de conversão, propriedades dos materiais e potenciais aplicações industriais, permitindo identificar avanços, limitações e perspectivas para a valorização tecnológica dos resíduos de *E. oleracea* Mart. (Page *et al.*, 2021). Conforme os critérios descritos, os dados categorizados e sistematizados encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3. Matriz de maturidade tecnológica (TRL), enquadramento metodológico e avaliação de sustentabilidade dos estudos incluídos.

Estudo (Ano)	Tipo de Estudo / Delineamento	Escala Experimental	Nível de Maturidade (TRL Estimado)	Avaliação Técnico-Econômica (TEA)?	Avaliação de Ciclo de Vida (LCA)?	Matriz / Condição Testada
Ramirez et al. (2022)	Experimental (Bancada)	Laboratorial	TRL 3 (Prova de conceito)	Não	Não	Solução sintética de 2,4-D
Silva et al. (2023a)	Experimental (Bancada)	Laboratorial	TRL 2–3 (Formulação conceitual/bancada)	Não	Não	Farinha residual / Extratos

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/09/2026 - **Accepted:** 04/10/2026
Vol: 13.21
DOI: 10.66104/px55ft75
Pages: 1-33

Santos et al. (2023)	Experimental (Bancada)	Laboratorial	TRL 3 (Prova de conceito)	Não	Não	Solução sintética de clonazepam
Souza et al. (2023)	Experimental (Bancada)	Laboratorial	TRL 3 (Prova de conceito)	Não	Não	Solução sintética de azul de metileno
Silva et al. (2023b)	Experimental (Bancada)	Laboratorial ampliada	TRL 3–4 (Validação laboratorial)	Não	Não	Filmes de nanocelulose
Mendonça et al. (2024)	Experimental (*In vivo* / Solo)	Casa de vegetação / Vaso	TRL 4 (Validação em ambiente de laboratório/estufa)	Não	Não	Solo / Mudas de pimenta-do-reino
Murillo-Franco et al. (2025)	Experimental (Bancada / Otimização)	Laboratorial	TRL 3 (Prova de conceito)	Não	Não	Reator enzimático de bancada
Campos et al. (2025)	Experimental (Aplicação em matriz)	Prova de conceito em produto	TRL 4 (Validação em matriz alimentar)	Não	Não	Hambúrguer bovino refrigerado
Musial et al. (2026)	Modelagem e Simulação computacional	Simulação (*In silico* - Aspen Plus®)	TRL 2–3 (Validação conceitual via modelo)	Não	Não	Reator simulado de gaseificação
Miguez et al. (2026)	Caracterização supramolecular	Laboratorial	TRL 2 (Conceito tecnológico formulado)	Não	Não	Mananas purificadas da semente
Rosales et al. (2026)	Caracterização / Matriz multicritério	Laboratorial	TRL 2 (Conceito tecnológico formulado)	Não	Não	Biomassa residual de *E. precatoria*
Santos et al. (2026)	Química analítica / Validação de método	Laboratorial	TRL 3 (Prova de conceito)	Não	Não	Extrato de oligossacarídeos / Ensaio *in vitro*

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização dos estudos experimentais selecionados

Tabela 4. Métricas tecnológicas-chave, rendimentos e condições experimentais dos processos de valorização da biomassa de Euterpe oleracea.

Referência	Fração da Biomassa / Resíduo Utilizado	Parâmetro Analítico / Tecnologia	Métrica / Desempenho Numérico Principal	Condição Experimental / Matriz Testada
Ramirez et al. (2022)	Sementes / Endocarpo	Adsorção em carvão ativado ($ZnCl_2$)	Área superficial >920 $m^2\ g^{-1}$; alta capacidade adsortiva para 2,4-D	Sistema em batelada, meio aquoso sintético

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/09/2026 - **Accepted:** 04/10/2026
Vol: 13.21
DOI: 10.66104/px55ft75
Pages: 1-33

Silva et al. (2023a)	Farinha residual após extração do óleo	Extração de bioativos / Ensaio antioxidante	Elevada capacidade antioxidante (ABTS e ORAC); identificação de ramnocitrina	Extratos hidroalcoólicos; ensaios *in vitro*
Santos et al. (2023)	Biochar de semente de açaí	Adsorção de psicotrópico (clonazepam)	Remoção eficiente com redução de ecotoxicidade	Biochar ativado; solução aquosa sintética
Souza et al. (2023)	Extrato aquoso de semente de açaí	Nanoadsorvente de óxido de ferro (Síntese verde)	Capacidade máxima de adsorção (Langmuir) ~532 mg g^{-1}	Corante azul de metileno; testes de reutilização
Silva et al. (2023b)	Fibras da semente de açaí	Filmes de nanofibrilas de celulose (NFC)	Resistência à tração de 97,2 MPa; barreira a gorduras	Fibrilação mecânica; testes mecânicos ASTM
Mendonça et al. (2024)	Biochar de semente de açaí	Condicionador de solo agrícola	Aumento da retenção de água e atividade enzimática do solo	Solo cultivado com pimenta-do-reino em estufa
Murillo-Franco et al. (2025)	Sementes de açaí desengorduradas	Hidrólise enzimática otimizada	Produção seletiva de manooligossacarídeos (MOS) com baixo teor de manose livre	Reator com enzima endo-β-mananase; RSVP / MSR
Campos et al. (2025)	Extrato do resíduo de açaí	Antioxidante natural em alimentos	Inibição da oxidação lipídica comparável ao eritorbato de sódio	Hambúrgueres bovinos estocados sob refrigeração
Musial et al. (2026)	Semente de açaí (Simulação)	Gaseificação / Produção de gás de síntese	Predição/simulação de ~59% de H_2 no gás de síntese	Modelagem via Aspen Plus®; balanço de massa/energia
Miguez et al. (2026)	Endocarpo / Semente purificada	Caracterização estrutural de polissacarídeos	~50% da massa seca composta por manana cristalina (*mannan I*)	Análise por RMN, DRX e perfil glicômico
Rosales et al. (2026)	Sementes de *E. precatoria* (Contextual)	Caracterização lignocelulósica	Mapeamento de teores de celulose, hemicelulose e lignina	Métodos padronizados AOAC/ISO e FTIR
Santos et al. (2026)	Sementes de açaí	Quantificação de oligossacarídeos por HPLC-RID	Quantificação de 18 oligossacarídeos; ausência de citotoxicidade *in vitro*	Extração aquosa; ensaio de citotoxicidade nas condições testadas

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/09/2026 - **Accepted:** 04/10/2026
Vol: 13.21
DOI: 10.66104/px55ft75
Pages: 1-33

A busca sistemática resultou na inclusão de 12 estudos experimentais, publicados entre 2022 e 2026, que atenderam aos critérios de elegibilidade e constituíram a base desta revisão. Os estudos abordaram diferentes estratégias de valorização tecnológica dos resíduos de *Euterpe oleracea* Mart., abrangendo aplicações ambientais, alimentícias, biotecnológicas, energéticas e no desenvolvimento de biomateriais (Ramirez *et al.*, 2022; Silva *et al.*, 2023a; Silva *et al.*, 2023b; Murillo-Franco *et al.*, 2025; Campos *et al.*, 2025; Musial *et al.*, 2026).

A diversificação temporal das estratégias de valorização das pesquisas sobre o aproveitamento da biomassa residual do açaí. Os primeiros estudos concentraram-se na produção de carvões ativados, biochars e materiais adsorventes para remediação ambiental (Ramirez *et al.*, 2022; Santos *et al.*, 2023; Souza *et al.*, 2023; Mendonça *et al.*, 2024). Posteriormente, o foco expandiu-se para a recuperação de compostos bioativos, desenvolvimento de biomateriais, obtenção de ingredientes funcionais, caracterização de polissacarídeos e processos de conversão biotecnológica e termoquímica, refletindo a incorporação dos conceitos de biorrefinaria e bioeconomia circular (Murillo-Franco *et al.*, 2025; Campos *et al.*, 2025; Miguez *et al.*, 2026; Musial *et al.*, 2026).

Também foi observado em espécies relacionadas, para evidência contextual complementar, um avanço metodológico significativo com a adoção de técnicas analíticas de alta resolução, como FTIR, DRX, HPLC-RID, HRMS e RMN, ampliando a compreensão da composição química e estrutural da biomassa e favorecendo o desenvolvimento de produtos de maior valor agregado (Rosales *et al.*, 2026; Santos *et al.*, 2026; Miguez *et al.*, 2026).

A Tabela 5 resume as características dos estudos incluídos, evidenciando a evolução das pesquisas desde aplicações em remediação ambiental até tecnologias voltadas à produção de ingredientes funcionais, biomateriais biodegradáveis, oligossacarídeos prebióticos, bioenergia e processos integrados de valorização da biomassa.

Tabela 5. Caracterização dos estudos experimentais incluídos na revisão sistemática.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/09/2026 - **Accepted:** 04/10/2026
Vol: 13.21
DOI: 10.66104/px55ft75
Pages: 1-33

Ano	Referência	Periódico	Área de investigação	Principal aplicação tecnológica
2022	Ramirez *et al.*	*Molecules*	Adsorção	Produção de carvão ativado para remoção de herbicidas
2023	Silva *et al.*	*Foods*	Compostos bioativos	Recuperação de ingredientes funcionais antioxidantes
2023	Santos *et al.*	*Environmental Science and Pollution Research*	Biochar	Remediação ambiental por adsorção de contaminantes
2023	Souza *et al.*	*Environmental Science and Pollution Research*	Nanotecnologia	Síntese verde de nanoadsorventes
2023	Danillo W. Silva *et al.*	*Polymers*	Biomateriais	Filmes biodegradáveis reforçados com fibras lignocelulósicas
2024	Mendonça *et al.*	*Journal of Environmental Management*	Biochar	Condicionamento e melhoria da qualidade do solo
2025	Murillo-Franco *et al.*	*Environmental Science and Pollution Research*	Biotecnologia	Produção de manooligossacarídeos por hidrólise enzimática
2025	Campos *et al.*	*Journal of the Science of Food and Agriculture*	Ciência dos alimentos	Antioxidante natural em produtos cárneos
2026	Musial *et al.*	*ACS Omega*	Bioenergia	Predição/simulação de produção de gás de síntese enriquecido com H_2
2026	Miguez *et al.*	*International Journal of Biological Macromolecules*	Polissacarídeos	Caracterização estrutural de mananas
2026	Rosales *et al.*	*Frontiers in Nutrition*	Caracterização físico-química	Valorização integrada da biomassa lignocelulósica
2026	Santos *et al.*	*Food Research International*	Química analítica	Caracterização de oligossacarídeos por HPLC-RID

Os estudos demonstram a evolução da valorização tecnológica dos resíduos de *E. oleracea*, inicialmente direcionada à remediação ambiental e, mais recentemente, ampliada para biomateriais, ingredientes funcionais, bioprodutos e

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/09/2026 - **Accepted:** 04/10/2026
Vol: 13.21
DOI: 10.66104/px55ft75
Pages: 1-33

bioenergia. Essa diversificação reforça o potencial da biomassa residual como matéria-prima para sistemas de biorrefinaria, bioeconomia circular e desenvolvimento de tecnologias sustentáveis (Ramirez *et al.*, 2022; Silva *et al.*, 2023a; Campos *et al.*, 2025; Murillo-Franco *et al.*, 2025; Miguez *et al.*, 2026; Musial *et al.*, 2026).

3.2 Panorama científico da valorização tecnológica dos resíduos de *Euterpe oleracea* Mart.

A análise dos 12 estudos experimentais demonstra a evolução das pesquisas sobre a valorização tecnológica dos resíduos de *Euterpe oleracea* Mart. entre 2022 e 2026. Inicialmente voltadas ao desenvolvimento de materiais adsorventes para remediação ambiental, as investigações passaram a abranger biomateriais, ingredientes funcionais, bioprodutos, bioprocessos e tecnologias de conversão energética, evidenciando uma abordagem multidisciplinar que integra química da biomassa, ciência dos materiais, biotecnologia, engenharia de processos e ciência dos alimentos (Ramirez *et al.*, 2022; Silva *et al.*, 2023a; Silva *et al.*, 2023b; Murillo-Franco *et al.*, 2025; Campos *et al.*, 2025; Musial *et al.*, 2026).

Observou-se um avanço nas estratégias de caracterização da biomassa. Os métodos inicialmente baseados em carbonização, ativação química e ensaios de adsorção foram complementados por técnicas analíticas de alta resolução, como FTIR, DRX, HPLC-RID, HRMS e RMN, permitindo elucidar a composição química, a organização estrutural das mananas e a distribuição de compostos fenólicos e oligossacarídeos, ampliando o potencial de aproveitamento tecnológico da biomassa residual (Rosales *et al.*, 2026; Santos *et al.*, 2026; Miguez *et al.*, 2026).

Esse avanço consolidou os resíduos do açaí como fontes estratégicas de celulose, hemicelulose, lignina, mananas cristalinas, compostos fenólicos e oligossacarídeos bioativos, ampliando suas aplicações em remediação ambiental, alimentos funcionais, biomateriais biodegradáveis, processos biotecnológicos e bioenergia (Silva *et al.*, 2023a; Campos *et al.*, 2025; Miguez *et al.*, 2026; Santos *et al.*, 2026).

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/09/2026 - **Accepted:** 04/10/2026
Vol: 13.21
DOI: 10.66104/px55ft75
Pages: 1-33

Os estudos mais recentes incorporam ainda os conceitos de biorrefinaria e bioeconomia circular, propondo o aproveitamento integrado das diferentes frações da biomassa para obtenção de adsorventes, antioxidantes naturais, biomateriais, manooligossacarídeos prebióticos e vetores energéticos, aumentando a eficiência do uso dos resíduos e a geração de produtos de maior valor agregado (Murillo-Franco *et al.*, 2025; Musial *et al.*, 2026; Rosales *et al.*, 2026; Geissdoerfer *et al.*, 2017).

Com base na convergência entre objetivos, metodologias e aplicações, os estudos foram agrupados em cinco eixos temáticos (Tabela 6), mostrando como as rotas se diversificaram e quais apresentam diferentes níveis de maturidade e permitindo identificar áreas com maior concentração relativa de estudos e temas emergentes com elevado potencial de inovação. Sendo assim, as categorias não são consideradas exclusivas, o que pode levar um mesmo estudo contribuir em mais de um eixo temático.

Tabela 6. Distribuição temática dos estudos experimentais incluídos na revisão sistemática.

Tema científico	Nº de estudos	Principais referências	Contribuição para a valorização tecnológica
Caracterização físico-química e estrutural	4	Silva *et al.* (2023a); Rosales *et al.* (2026); Santos *et al.* (2026); Miguez *et al.* (2026)	Elucidação da composição química e estrutural da biomassa residual.
Compostos bioativos	2	Silva *et al.* (2023a); Campos *et al.* (2025)	Recuperação de compostos fenólicos e ingredientes antioxidantes naturais.
Biochar, adsorventes e nanotecnologia	4	Ramirez *et al.* (2022); Santos *et al.* (2023); Souza *et al.* (2023); Mendonça *et al.* (2024)	Produção de biochars, adsorventes e nanomateriais para aplicações ambientais.
Biomateriais lignocelulósicos	2	Silva *et al.* (2023b); Miguez *et al.* (2026)	Desenvolvimento de filmes biodegradáveis e aproveitamento estrutural da biomassa.
Conversão biotecnológica e energética	2	Murillo-Franco *et al.* (2025); Musial *et al.* (2026)	Produção de manooligossacarídeos e conversão termoquímica para geração de hidrogênio.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/09/2026 - **Accepted:** 04/10/2026
Vol: 13.21
DOI: 10.66104/px55ft75
Pages: 1-33

A distribuição temática demonstra que a caracterização físico-química da biomassa e as aplicações ambientais constituem os eixos mais consolidados da literatura, enquanto biomateriais, bioprocessos e conversão energética representam áreas emergentes com elevado potencial de inovação. Em conjunto, esses avanços consolidam os resíduos de *E. oleracea* como matéria-prima estratégica para plataformas de biorrefinaria e bioeconomia circular, ampliando as possibilidades de desenvolvimento tecnológico sustentável (Geissdoerfer *et al.*, 2017; Murillo-Franco *et al.*, 2025; Musial *et al.*, 2026; Rosales *et al.*, 2026).

3.2.1 Caracterização físico-química e química estrutural dos resíduos

A caracterização físico-química e estrutural constitui a base para a valorização tecnológica dos resíduos de *Euterpe oleracea* Mart., fornecendo informações sobre composição química, organização molecular e propriedades funcionais que orientam a seleção de rotas de processamento e o desenvolvimento de produtos de maior valor agregado. Os quatro estudos incluídos neste eixo evidenciam a evolução das análises composicionais para abordagens integradas capazes de relacionar estrutura da biomassa e aplicações tecnológicas (Silva *et al.*, 2023a; Rosales *et al.*, 2026; Santos *et al.*, 2026; Miguez *et al.*, 2026).

Silva *et al.* (2023a), utilizando HRMS e ensaios biológicos, demonstraram que a farinha residual da extração do óleo preserva elevados teores de compostos fenólicos, antocianinas e flavonoides, associados às atividades antioxidante, anti-inflamatória e antimicrobiana, evidenciando seu potencial como fonte de ingredientes funcionais. Complementarmente, Rosales *et al.* (2026) empregaram métodos AOAC, normas ISO e FTIR para caracterizar a biomassa lignocelulósica, propondo uma matriz multicritério para direcionar rotas de valorização tecnológica em sistemas de biorrefinaria.

O avanço da caracterização química também foi evidenciado por Santos *et al.* (2026), que desenvolveram um método por HPLC-RID para quantificação de oligossacarídeos, identificando dezoito compostos bioativos, com elevada bioacessibilidade e ausência de citotoxicidade nas condições testadas, ampliando as perspectivas para aplicações nutracêuticas e alimentícias. Por sua vez, Miguez *et al.*

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/09/2026 - **Accepted:** 04/10/2026
Vol: 13.21
DOI: 10.66104/px55ft75
Pages: 1-33

(2026) combinaram RMN, DRX e perfil glicômico para elucidar a estrutura supramolecular da manana, identificando o polimorfo cristalino mannan I e fornecendo subsídios para processos enzimáticos seletivos e aplicações em biorrefinarias.

Em conjunto, os estudos demonstram que a caracterização da biomassa evoluiu da simples determinação da composição química para a compreensão integrada das relações entre estrutura molecular, propriedades funcionais e desempenho tecnológico. Essa evolução fortalece o desenvolvimento racional de biomateriais, ingredientes bioativos e bioprocessos sustentáveis, consolidando a caracterização físico-química como um dos principais pilares da valorização tecnológica dos resíduos de *E. oleracea* (Geissdoerfer *et al.*, 2017; Rosales *et al.*, 2026; Miguez *et al.*, 2026).

Tabela 4. Síntese dos estudos sobre caracterização físico-química e química estrutural dos resíduos de *Euterpe oleracea* Mart.

Referência	Objetivo principal	Metodologias	Principal avanço científico	Contribuição tecnológica
Silva *et al.* (2023a)	Caracterizar compostos bioativos da farinha residual	HRMS, ABTS, ORAC e ensaios biológicos	Identificação de polifenóis, antocianinas e flavonoides bioativos	Ingredientes funcionais para aplicações alimentícias, nutracêuticas e farmacêuticas
Rosales *et al.* (2026)	Caracterizar a biomassa lignocelulósica	AOAC, ISO e FTIR	Integração entre composição química e rotas de valorização	Aplicações em biorrefinarias e bioeconomia circular
Santos *et al.* (2026)	Caracterizar oligossacarídeos bioativos	HPLC-RID	Quantificação, bioacessibilidade e ausência de citotoxicidade	Ingredientes funcionais e nutracêuticos
Miguez *et al.* (2026)	Elucidar a estrutura da manana	RMN, DRX e perfil glicômico	Identificação do polimorfo cristalino *mannan I*	Processos enzimáticos seletivos e biorrefinarias

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/09/2026 - **Accepted:** 04/10/2026
Vol: 13.21
DOI: 10.66104/px55ft75
Pages: 1-33

A evolução das metodologias analíticas acompanhou a diversificação das aplicações tecnológicas da biomassa residual. Enquanto os estudos iniciais priorizaram a identificação de compostos e a avaliação da atividade antioxidante, as pesquisas mais recentes avançaram para a elucidação da arquitetura molecular e sua relação com processos de conversão seletiva, consolidando os resíduos de *E. oleracea* como matéria-prima estratégica para biorrefinarias e produção de bioprodutos de alto valor agregado.

3.2.2 Compostos bioativos e potencial funcional

Os resíduos de *Euterpe oleracea* Mart. apresentam concentrações expressivas de compostos bioativos, mesmo após a extração da polpa e do óleo, destacando-se como fonte sustentável de compostos fenólicos, antocianinas e flavonoides com potencial de aplicação nas indústrias de alimentos, nutracêutica e cosmética (Silva *et al.*, 2023a; Campos *et al.*, 2025).

Silva *et al.* (2023a), utilizando HRMS, identificaram antocianinas, flavonoides e, pela primeira vez na farinha residual, a ramnocitrina. Os ensaios ABTS e ORAC confirmaram elevada capacidade antioxidante, enquanto testes biológicos evidenciaram atividade anti-inflamatória por modulação da via NF-κB e redução da produção de TNF-α. Embora a atividade antimicrobiana tenha sido limitada frente aos microrganismos do grupo ESKAPE, os resultados demonstraram o potencial do resíduo como fonte de ingredientes funcionais.

Avançando da caracterização para a aplicação tecnológica, Campos *et al.* (2025) incorporaram extratos dos resíduos de açaí em hambúrgueres bovinos refrigerados, observando redução significativa da oxidação lipídica e desempenho semelhante ao do eritorbato de sódio. Além disso, o extrato preservou a coloração do produto, demonstrando sua viabilidade como antioxidante natural para a indústria de alimentos.

Em conjunto, os estudos evidenciam a evolução da pesquisa desde a identificação dos metabólitos bioativos até a validação de sua funcionalidade em sistemas alimentares, reforçando o potencial bioativo demonstrado em ensaios experimentais. Entretanto, a aplicação em escala industrial ainda depende da

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/09/2026 - **Accepted:** 04/10/2026
Vol: 13.21
DOI: 10.66104/px55ft75
Pages: 1-33

padronização dos processos de extração, do controle da variabilidade fitoquímica, da avaliação da estabilidade dos compostos durante o armazenamento e da realização de estudos clínicos que comprovem sua segurança e eficácia (Campos *et al.*, 2025; Geissdoerfer *et al.*, 2017).

Tabela 5. Síntese dos estudos sobre compostos bioativos e potencial funcional dos resíduos de *Euterpe oleracea* Mart.

Referência	Objetivo principal	Metodologias	Principal avanço científico	Contribuição tecnológica
Silva *et al.* (2023a)	Caracterizar compostos bioativos da farinha residual	HRMS, ABTS, ORAC e ensaios anti-inflamatórios	Identificação de polifenóis, antocianinas, flavonoides e ramnocitrina com elevada atividade antioxidante e anti-inflamatória	Desenvolvimento de ingredientes funcionais, nutracêuticos e farmacêuticos
Campos *et al.* (2025)	Avaliar o extrato residual como antioxidante natural em produtos cárneos	Ensaios de estabilidade oxidativa, análise de cor e armazenamento refrigerado	Redução da oxidação lipídica e preservação da qualidade do produto	Validação do extrato como alternativa natural aos antioxidantes sintéticos

Os estudos demonstram uma evolução consistente da caracterização fitoquímica para a validação tecnológica dos compostos bioativos em alimentos. Esse avanço reforça o potencial da biomassa residual de *E. oleracea* como fonte de ingredientes naturais multifuncionais, embora sua aplicação industrial ainda dependa da padronização dos processos de obtenção, da garantia de estabilidade tecnológica e da ampliação das evidências sobre segurança e eficácia.

3.2.3 Biochar, adsorventes e nanotecnologia ambiental

As aplicações ambientais representam o eixo mais consolidado da valorização tecnológica dos resíduos de *Euterpe oleracea* Mart. A composição lignocelulósica e

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/09/2026 - **Accepted:** 04/10/2026
Vol: 13.21
DOI: 10.66104/px55ft75
Pages: 1-33

o elevado teor de carbono fixo da biomassa favorecem a produção de biochars, carvões ativados e nanoadsorventes com elevada área superficial, estabilidade química e alta eficiência na remoção de contaminantes (Ramirez *et al.*, 2022; Santos *et al.*, 2023; Souza *et al.*, 2023; Mendonça *et al.*, 2024).

Ramirez *et al.* (2022) demonstraram que a ativação química com $ZnCl_2$ produziu carvão ativado com área superficial superior a 920 $m^2\ g^{-1}$ e elevada eficiência na remoção do herbicida 2,4-D, evidenciando desempenho comparável ao de adsorventes comerciais. Em seguida, Santos *et al.* (2023) verificaram que a ativação química do biochar aumentou a porosidade, a capacidade adsortiva para clonazepam e a reutilização do material, além de reduzir a ecotoxicidade das soluções tratadas.

A integração entre biomassa residual e nanotecnologia foi demonstrada por Souza *et al.* (2023), que utilizaram extratos das sementes de açaí na síntese verde de nanopartículas de óxido de ferro, obtendo um nanoadsorvente com capacidade máxima de adsorção próxima de 532 $mg\ g^{-1}$ para azul de metileno e elevada estabilidade após sucessivos ciclos de reutilização. Complementarmente, Mendonça *et al.* (2024) ampliaram o uso do biochar para o condicionamento de solos, observando melhorias na retenção de água, na atividade enzimática e no desenvolvimento de mudas de pimenta-do-reino.

Em conjunto, os estudos evidenciam a evolução de adsorventes convencionais para materiais multifuncionais aplicáveis à remediação ambiental, nanotecnologia e agricultura sustentável. Entretanto, a consolidação dessas tecnologias ainda depende de estudos em escala piloto, análises de ciclo de vida, avaliações técnico-econômicas e validação em condições reais de operação, etapas essenciais para sua transferência ao setor produtivo e inserção em modelos de bioeconomia circular.

Tabela 6. Síntese crítica dos estudos sobre biochar, adsorventes e nanotecnologia ambiental obtidos a partir dos resíduos de *Euterpe oleracea* Mart**.**

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/09/2026 - **Accepted:** 04/10/2026
Vol: 13.21
DOI: 10.66104/px55ft75
Pages: 1-33

Referência	Tecnologia desenvolvida	Aplicação principal	Principal avanço científico	Contribuição tecnológica
Ramirez *et al.* (2022)	Carvão ativado ($ZnCl_2$)	Remoção do herbicida 2,4-D	Área superficial >920 m^2 g^{-1} e elevada eficiência de adsorção	Adsorventes renováveis para tratamento de águas
Santos *et al.* (2023)	Biochar ativado	Adsorção de clonazepam	Maior porosidade, reutilização e redução da ecotoxicidade	Materiais adsorventes ambientalmente seguros
Souza *et al.* (2023)	Nanoadsorvente de óxido de ferro por síntese verde	Remoção de azul de metileno	Capacidade de adsorção ~532 mg g^{-1} e elevada estabilidade	Integração entre biomassa residual e nanotecnologia sustentável
Mendonça *et al.* (2024)	Biochar agrícola	Condicionamento de solos	Melhoria da retenção de água, atividade enzimática e desenvolvimento vegetal	Agricultura sustentável e recuperação de solos

Os estudos demonstram uma evolução consistente das tecnologias ambientais, passando da produção de adsorventes convencionais para materiais multifuncionais destinados ao tratamento de águas, recuperação de solos e aplicações em nanotecnologia. Esses avanços reforçam o potencial dos resíduos de *E. oleracea* como matéria-prima para soluções ambientais sustentáveis e de alto valor agregado, alinhadas aos princípios da bioeconomia circular.

3.2.4 Biomateriais derivados dos resíduos

O desenvolvimento de biomateriais destaca-se como uma das aplicações mais promissoras para os resíduos de *Euterpe oleracea* Mart., aproveitando sua elevada fração lignocelulósica e a organização estrutural das mananas para obtenção de materiais renováveis com potencial para substituir polímeros de origem fóssil (Silva *et al.*, 2023b; Miguez *et al.*, 2026).

Silva *et al.* (2023b) desenvolveram filmes biodegradáveis reforçados com microfibrilas e nanofibrilas de celulose extraídas das sementes de açaí, obtendo

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/09/2026 - **Accepted:** 04/10/2026
Vol: 13.21
DOI: 10.66104/px55ft75
Pages: 1-33

elevada resistência mecânica (97,2 MPa), boa barreira à permeação de gordura e potencial para aplicações em embalagens sustentáveis. Apesar do desempenho promissor, os autores destacam o elevado consumo energético da fibrilação mecânica como um dos principais desafios para a aplicação em escala industrial.

Complementarmente, Miguez *et al.* (2026) demonstraram que aproximadamente metade da massa seca das sementes é composta por mananas altamente cristalinas. A caracterização por RMN, DRX e perfil glicômico permitiu identificar o polimorfo cristalino mannan I, fornecendo bases estruturais para o desenvolvimento de biopolímeros, hidrogéis, compósitos e outros materiais lignocelulósicos avançados.

Em conjunto, os estudos evidenciam a evolução da produção de biomateriais para uma abordagem baseada na engenharia molecular da biomassa, na qual a compreensão da relação entre estrutura e propriedades orienta o desenvolvimento de materiais sustentáveis de maior desempenho. Entretanto, a aplicação industrial ainda requer avanços na escalabilidade dos processos, redução do consumo energético, otimização dos custos de produção e avaliação do desempenho dos materiais em condições reais de uso e biodegradação. Estratégias de funcionalização química, incorporação de compostos bioativos e desenvolvimento de compósitos híbridos representam perspectivas promissoras para ampliar a competitividade desses biomateriais.

Tabela 7. Síntese crítica dos estudos sobre biomateriais derivados dos resíduos de *Euterpe oleracea* Mart**.**

Referência	Material desenvolvido	Metodologias	Principal avanço científico	Contribuição tecnológica
Silva *et al.* (2023b)	Filmes biodegradáveis reforçados com microfibrilas e nanofibrilas de celulose	Extração de celulose, fibrilação mecânica e caracterização físico-mecânica	Elevada resistência mecânica (97,2 MPa) e propriedades de barreira	Embalagens biodegradáveis e substituição parcial de polímeros fósseis

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/09/2026 - **Accepted:** 04/10/2026
Vol: 13.21
DOI: 10.66104/px55ft75
Pages: 1-33

Referência	Material desenvolvido	Metodologias	Principal avanço científico	Contribuição tecnológica
Miguez *et al.* (2026)	Manana cristalina (*mannan I*)	RMN, DRX e perfil glicômico	Elucidação da organização supramolecular da manana	Base para desenvolvimento de biopolímeros, hidrogéis e compósitos

A os estudos demonstram que o aproveitamento estrutural dos resíduos de *E. oleracea* evoluiu da produção de filmes biodegradáveis para o desenvolvimento de materiais fundamentados na arquitetura molecular da biomassa. Essa evolução amplia as perspectivas de aplicação em embalagens sustentáveis, biomateriais funcionais e produtos de base biológica, fortalecendo o papel desses resíduos na bioeconomia circular e reduzindo a dependência de polímeros de origem fóssil.

3.2.5 Conversão biotecnológica e energética

Os estudos mais recentes evidenciam a incorporação dos conceitos de biorrefinaria e aproveitamento integral da biomassa na valorização dos resíduos de *Euterpe oleracea* Mart. Essas abordagens utilizam diferentes frações da biomassa para obtenção de ingredientes funcionais e vetores energéticos de alto valor agregado, ampliando o potencial de aplicação dos resíduos (Murillo-Franco *et al.*, 2025; Musial *et al.*, 2026).

Murillo-Franco *et al.* (2025) otimizaram a produção de manooligossacarídeos (MOS) por hidrólise enzimática utilizando metodologia de superfície de resposta. O processo favoreceu a produção seletiva de manooligossacarídeos com potencial prebiótico, reduzindo a formação de manose e o tempo de processamento, além de apresentar elevada capacidade preditiva do modelo estatístico, confirmando o potencial da biomassa residual para aplicações alimentícias e nutracêuticas.

Na área energética, Musial *et al.* (2026) avaliaram a gaseificação das sementes de açaí por modelagem e simulação computacional no Aspen Plus®, obtendo gás de síntese com aproximadamente 59% de hidrogênio em condições operacionais e à base da simulçaõ no software. O estudo demonstrou que a

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/09/2026 - **Accepted:** 04/10/2026
Vol: 13.21
DOI: 10.66104/px55ft75
Pages: 1-33

otimização da produção de hidrogênio deve ser conciliada com a autossuficiência energética do processo, reforçando o potencial da biomassa como fonte renovável para produção de energia limpa.

Embora empreguem rotas distintas, ambos os estudos utilizam ferramentas de otimização para maximizar a eficiência dos processos. Enquanto Murillo-Franco *et al.* (2025) direcionam a biomassa para a obtenção de ingredientes funcionais, Musial *et al.* (2026) exploram sua conversão em bioenergia, evidenciando a complementaridade dessas estratégias em sistemas de biorrefinaria.

Apesar dos avanços, a aplicação industrial dessas tecnologias ainda requer validação em escala piloto, integração entre processos biológicos e termoquímicos, análises técnico-econômicas e de ciclo de vida, além do desenvolvimento de plataformas integradas capazes de aproveitar diferentes frações da biomassa em uma mesma cadeia produtiva.

Tabela 8. Síntese crítica dos estudos sobre conversão biotecnológica e energética dos resíduos de *Euterpe oleracea* Mart.

Referência	Tecnologia desenvolvida	Produto principal	Principal avanço científico	Contribuição tecnológica
Murillo-Franco *et al.* (2025)	Hidrólise enzimática otimizada por metodologia de superfície de resposta	Manooligossacarídeos (MOS)	Produção seletiva de prebióticos com validação estatística	Ingredientes funcionais para aplicações alimentícias e nutracêuticas
Musial *et al.* (2026)	Gaseificação da biomassa com modelagem no *Aspen Plus*®	Hidrogênio e gás de síntese	Integração entre eficiência energética, operabilidade e produção de energia renovável	Aplicações em biorrefinarias e produção de bioenergia

Os estudos demonstram que a conversão biotecnológica e energética representa uma das áreas mais inovadoras da valorização dos resíduos de *E.*

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/09/2026 - **Accepted:** 04/10/2026
Vol: 13.21
DOI: 10.66104/px55ft75
Pages: 1-33

oleracea. A integração entre produção de ingredientes funcionais e bioenergia reforça o conceito de biorrefinaria, ampliando o aproveitamento da biomassa, agregando valor aos resíduos e fortalecendo estratégias alinhadas à bioeconomia circular. Ainda assim, a consolidação dessas tecnologias dependerá de sua validação em escala industrial e da integração eficiente entre as diferentes rotas de conversão.

3.3 Síntese integrativa da evolução tecnológica da valorização dos resíduos de *Euterpe oleracea* Mart.

A análise integrada dos estudos demonstra uma evolução consistente da valorização tecnológica dos resíduos de *Euterpe oleracea* Mart. entre 2022 e 2026, acompanhando a consolidação dos conceitos de bioeconomia circular e biorrefinarias. As pesquisas evoluíram da caracterização físico-química e da produção de materiais adsorventes para o desenvolvimento de ingredientes bioativos, biomateriais e processos integrados de conversão biotecnológica e energética, consolidando essa biomassa como matéria-prima de elevado valor agregado (Ramirez *et al.*, 2022; Silva *et al.*, 2023b; Murillo-Franco *et al.*, 2025; Musial *et al.*, 2026).

Esse avanço foi impulsionado pelo aprimoramento das técnicas de caracterização, incluindo FTIR, HRMS, HPLC-RID, RMN e DRX, que permitiram identificar compostos fenólicos, celulose, lignina, mananas cristalinas e oligossacarídeos bioativos. Como consequência, a caracterização estrutural passou a orientar a seleção de rotas de conversão e o desenvolvimento de produtos tecnologicamente mais sofisticados.

Observou-se também maior integração entre química, ciência dos materiais, biotecnologia e engenharia de processos. As abordagens mais recentes combinam processos físico-químicos, biológicos e termoquímicos para obtenção de adsorventes, ingredientes bioativos, biomateriais, prebióticos e bioenergia, ampliando o aproveitamento da biomassa e aproximando-a do conceito de biorrefinaria. Paralelamente, os critérios de avaliação passaram a incluir eficiência energética, reutilização dos materiais, segurança ecotoxicológica, escalabilidade

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/09/2026 - **Accepted:** 04/10/2026
Vol: 13.21
DOI: 10.66104/px55ft75
Pages: 1-33

industrial, viabilidade técnico-econômica e sustentabilidade ambiental, refletindo o amadurecimento científico da área. Ainda, diante da perspectiva de dos critérios de avaliação, aproveita-se a integração conceitual das rotas de eficiência energética, sustentabilidade ambiental, escalabilidade industrial e reutilização dos materiais para refletir o amadurencimento científico da área, sendo estes representados no Quadro 2.

Quadro 2. ***Diagrama conceitual do aproveitamento em cascata dos resíduos de Euterpe oleracea em modelo de biorrefinaria integrada.***

BIOMASSA BRUTA: Resíduos de *Euterpe oleracea* (Sementes, Fibras, Endocarpo)	
ETAPA 1 Moléculas e Bioativos	**Extração de compostos fenólicos e antocianinas** *Aplicações:* Antioxidantes naturais, ingredientes funcionais e insumos nutracêuticos.
ETAPA 2 Fracionamento Macromolecular	**Hidrólise da manana e isolamento de nanofibrilas de celulose** *Aplicações:* Manooligossacarídeos (MOS prebióticos) e filmes/biocompósitos biodegradáveis.
ETAPA 3 Matriz Sólida Residual	**Conversão termoquímica da fração sólida residual** *Aplicações:* Biochars e adsorventes para remediação de efluentes e condicionamento de solo.
ETAPA 4 Conversão Energética Final	**Gaseificação e recuperação termoquímica final** *Aplicações:* Gás de síntese enriquecido em H_2 e suporte à autossuficiência energética do processo.

A Tabela 9 sintetiza essa evolução, relacionando as principais etapas de valorização, metodologias empregadas, produtos obtidos e aplicações industriais.

Tabela 9. Modelo integrativo da evolução tecnológica da valorização dos resíduos de *Euterpe oleracea* Mart**.**

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/09/2026 - **Accepted:** 04/10/2026
Vol: 13.21
DOI: 10.66104/px55ft75
Pages: 1-33

Etapa da valorização	Matriz residual	Principais metodologias	Produtos e tecnologias	Aplicações industriais	Contribuição para a bioeconomia
Geração dos resíduos	Sementes, endocarpo, fibras e farinha residual	Processamento agroindustrial	Biomassa lignocelulósica	Matéria-prima renovável	Aproveitamento integral dos resíduos
Caracterização físico-química	Biomassa residual	FTIR, HRMS, HPLC-RID, RMN, DRX, AOAC e ISO	Compostos fenólicos, celulose, lignina, mananas e oligossacarídeos	Base para rotas de conversão	Conhecimento estrutural da biomassa
Valorização fitoquímica	Farinha residual e extratos	HRMS e ensaios biológicos	Antioxidantes naturais e ingredientes funcionais	Alimentos, nutracêuticos e cosméticos	Agregação de valor aos resíduos
Tecnologias ambientais	Sementes e endocarpo	Pirólise, ativação química, síntese verde e adsorção	Carvão ativado, biochar e nanoadsorventes	Tratamento de águas e recuperação de solos	Materiais ambientais sustentáveis
Biomateriais	Celulose e mananas	Fibrilação mecânica e caracterização estrutural	Filmes biodegradáveis, biopolímeros e compósitos	Embalagens sustentáveis	Potencial de aplicação em materiais de base renovável e substituição parcial de materiais convencionais
Conversão biotecnológica e energética	Biomassa residual	Hidrólise enzimática, gaseificação e modelagem	Manooligossacarídeos, hidrogênio e gás de síntese	Biorrefinarias e bioenergia	Produção integrada de bioprodutos e energia

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/09/2026 - **Accepted:** 04/10/2026
Vol: 13.21
DOI: 10.66104/px55ft75
Pages: 1-33

Etapa da valorização	Matriz residual	Principais metodologias	Produtos e tecnologias	Aplicações industriais	Contribuição para a bioeconomia
Integração tecnológica	Biomassa amazônica	Aproveitamento sequencial das frações	Plataforma integrada de biorrefinaria	Cadeias produtivas sustentáveis	Consolidação da bioeconomia circular

A síntese evidencia a transição de estratégias voltadas ao aproveitamento de frações isoladas para plataformas integradas de biorrefinaria, nas quais a caracterização estrutural orienta o desenvolvimento de biomateriais, ingredientes funcionais, adsorventes e bioprodutos energéticos. Apesar dos avanços, persistem desafios relacionados à padronização da matéria-prima, integração entre rotas de conversão, validação em escala piloto, avaliações técnico-econômicas e análises de ciclo de vida. A superação dessas limitações será fundamental para ampliar a aplicação industrial dos resíduos de *E. oleracea* e fortalecer sua contribuição para a bioeconomia circular.

5. Considerações Finais

Esta revisão sistemática demonstrou que os resíduos agroindustriais de *Euterpe oleracea* Mart. constituem uma biomassa lignocelulósica de elevado potencial tecnológico, cuja valorização evoluiu significativamente entre 2022 e 2026. A análise dos doze estudos experimentais evidenciou o crescimento de abordagens compatíveis com a lógica de biorrefinaria, abrangendo compostos bioativos, biomateriais, tecnologias ambientais, bioprodutos e processos de conversão biotecnológica e energética.

Os resultados indicam que a caracterização físico-química e estrutural da biomassa constitui o alicerce para o desenvolvimento dessas tecnologias. O emprego de técnicas como FTIR, HRMS, HPLC-RID, RMN e DRX permitiu identificar compostos fenólicos, fibras lignocelulósicas, mananas cristalinas e oligossacarídeos bioativos, fornecendo bases para o desenvolvimento de ingredientes funcionais, biomateriais biodegradáveis, adsorventes e processos de conversão de maior valor agregado.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/09/2026 - **Accepted:** 04/10/2026
Vol: 13.21
DOI: 10.66104/px55ft75
Pages: 1-33

Observou-se também uma evolução do enfoque científico, que passou da obtenção de produtos isolados para sistemas integrados de biorrefinaria. As evidências demonstram que diferentes frações da biomassa podem ser aproveitadas de forma complementar para produção de antioxidantes naturais, prebióticos, biomateriais, biochar, nanoadsorventes e bioenergia, ampliando a eficiência do uso dos recursos e fortalecendo os princípios da bioeconomia circular.

Outro aspecto relevante foi a crescente integração entre química de produtos naturais, química analítica, ciência dos materiais, nanotecnologia, biotecnologia e engenharia de processos, refletindo o amadurecimento da área e a necessidade de abordagens multidisciplinares para o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis.

Apesar dos avanços, permanecem desafios relacionados à padronização da matéria-prima, integração das rotas de conversão, otimização dos processos, redução do consumo energético, validação em escala piloto e avaliação da viabilidade técnico-econômica e ambiental. Além disso, estudos de ciclo de vida, estabilidade dos produtos, conformidade regulatória e escalabilidade industrial são fundamentais para acelerar a transferência dessas tecnologias ao setor produtivo.

Como principal contribuição, esta revisão sistemática integra as evidências experimentais recentes sobre a valorização tecnológica dos resíduos de *E. oleracea* e propõe um modelo evolutivo que relaciona caracterização molecular, desenvolvimento tecnológico e aplicações industriais sob a perspectiva da bioeconomia circular. Esse modelo oferece uma estrutura conceitual para orientar futuras pesquisas e estratégias de aproveitamento integral da biomassa.

Em síntese, os resíduos de *Euterpe oleracea* Mart. representam uma plataforma renovável e multifuncional para a produção integrada de ingredientes funcionais, biomateriais, tecnologias ambientais e bioenergia. A consolidação dessas estratégias poderá contribuir para a redução de resíduos agroindustriais, agregação de valor à cadeia produtiva do açaí, fortalecimento da bioeconomia amazônica e desenvolvimento de sistemas produtivos mais sustentáveis, além de fornecer bases científicas para pesquisas translacionais, parcerias entre universidades e setor produtivo e formulação de políticas públicas voltadas ao aproveitamento sustentável

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/09/2026 - **Accepted:** 04/10/2026
Vol: 13.21
DOI: 10.66104/px55ft75
Pages: 1-33

da biomassa amazônica que pode fornecer subsídios técnicos a futuras estratégias de inovação e aproveitamento sustentável.

Declaração de uso de Inteligência Artifical

Declaramos, em conformidade com as diretrizes de integridade científica, que ferramentas de Inteligência Artificial Generativa, especificamente o Gemini (Google), foi utilizada exclusivamente como suporte à tradução e revisão linguística deste manuscrito. Logo, a concepção, a análise de dados, a interpretação dos dos resultados neste referido e todo conteúdo científico são de responsabilidade dos autores. Ainda, nenhum referência foi gerada sem conferência e nenhuma decisão de inclusão ou exclusão foi delegada às ferramentas.

Referências

Aromataris, Edoardo, and Zachary Munn, editors. *JBI Manual for Evidence Synthesis*. Joanna Briggs Institute, 2020. https://doi.org/10.46658/JBIMES-20-01.

Campos, Bruna Caroline da Silva Lima, et al. “Açaí Residue Extract as a Natural Antioxidant to Enhance the Shelf-Life of Beef Patties.” *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 105, no. 12, 2025, pp. 6424–6431. https://doi.org/10.1002/jsfa.14358.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). *Açaí: Cadeia Produtiva, Produção e Importância Socioeconômica na Amazônia*. Embrapa, 2023.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). *The State of Food and Agriculture 2024: Value-Driven Transformation of Agrifood Systems*. FAO, 2024.

Geissdoerfer, Martin, et al. “The Circular Economy: A New Sustainability Paradigm?” *Journal of Cleaner Production*, vol. 143, 2017, pp. 757–768. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). *Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura 2023*. IBGE, 2024.

Kirchherr, Julian, et al. “Conceptualizing the Circular Economy: An Analysis of 114 Definitions.” *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 127, 2017, pp. 221–232. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/09/2026 - **Accepted:** 04/10/2026
Vol: 13.21
DOI: 10.66104/px55ft75
Pages: 1-33

Mendonça, Moises de Souza, et al. “Açai Seed Biochar Improves Soil Quality and Black Pepper Seedling Development in the Amazon Region.” *Journal of Environmental Management*, vol. 367, 2024, article 121752. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.121752.

Miguez, Ingrid Santos, et al. “Structural Elucidation of a Crystalline Mannan from Açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) Seeds.” *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 362, 2026, article 152093. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2026.152093.

Murillo-Franco, Sarha Lucia, et al. “Mannooligosaccharide Production from Açaí Seeds by Enzymatic Hydrolysis: Optimization through Response Surface Methodology.” *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 32, 2025, pp. 27860–27871. https://doi.org/10.1007/s11356-024-33540-2.

Musial, Cassiano M., et al. “Modeling and Simulation of the Gasification of *Euterpe oleracea* Waste: Optimization of Hydrogen Production and Energy Potential through Operability Analysis.” *ACS Omega*, vol. 11, no. 23, 2026, pp. 34034–34046. https://doi.org/10.1021/acsomega.6c01087.

National Library of Medicine. *Medical Subject Headings: MeSH*. National Library of Medicine, 2025.

Page, Matthew J., et al. “The PRISMA 2020 Statement: An Updated Guideline for Reporting Systematic Reviews.” *BMJ*, vol. 372, 2021, article n71. https://doi.org/10.1136/bmj.n71.

Ramirez, Rolando, et al. “Transformation of Residual Açaí Fruit (*Euterpe oleracea*) Seeds into Porous Adsorbent for Efficient Removal of 2,4-Dichlorophenoxyacetic Acid Herbicide from Waters.” *Molecules*, vol. 27, no. 22, 2022, article 7781. https://doi.org/10.3390/molecules27227781.

Rosales, Camila, et al. “Physicochemical Characterization and Valorization Potential of Açaí Berry (*Euterpe precatoria*) and Bataua (*Oenocarpus bataua*) Seeds: Lignocellulosic Biomass and Antioxidants from Bolivian Amazon Agroindustrial Residues.” *Frontiers in Nutrition*, vol. 13, 2026, article 1835492. https://doi.org/10.3389/fnut.2026.1835492.

Santos, Joanderson Gama, et al. “HPLC-RID Method for Oligosaccharide Quantification: Validation, Chemical Composition, and Cytotoxicity Screening in Açaí Seeds.” *Food Research International*, vol. 231, pt. 2, 2026, article 118798. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2026.118798.

Santos, Ronald K. S., et al. “*Euterpe oleracea*-Based Biochar for Clonazepam Adsorption: Synthesis, Characterization, Adsorption Properties, and Toxicity Assays.” *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 30, no. 18, 2023, pp. 52485–52497. https://doi.org/10.1007/s11356-023-26044-y.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/09/2026 - **Accepted:** 04/10/2026
Vol: 13.21
DOI: 10.66104/px55ft75
Pages: 1-33

Silva, Anna Paula de Souza, et al. “Phenolic Profile and the Antioxidant, Anti-Inflammatory, and Antimicrobial Properties of Açaí (*Euterpe oleracea*) Meal: A Prospective Study.” *Foods*, vol. 12, no. 1, 2023, article 86. https://doi.org/10.3390/foods12010086.

Silva, Danillo Wisky, et al. “Developing a Biodegradable Film for Packaging with Lignocellulosic Materials from the Amazonian Biodiversity.” *Polymers*, vol. 15, no. 17, 2023, article 3646. https://doi.org/10.3390/polym15173646.

Souza, Ana Paula Nazar de, et al. “Outstanding Adsorption Capacity of Iron Oxide Synthesized with Extract of Açaí Berry Residue: Kinetic, Isotherm, and Thermodynamic Study for Dye Removal.” *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 30, no. 50, 2023, pp. 109423–109437. https://doi.org/10.1007/s11356-023-29872-0.

CC BY