



## RESÍDUOS DO AÇAÍ PARA PRODUÇÃO DE BIOENERGIA NO ESTADO DO AMAPÁ: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Sindy Lohanny Soares Castro<sup>1\*</sup>, Wuesley Pereira do Espírito Santo<sup>2</sup>, Keyse Gabriely Pena dos Santos<sup>3</sup>,  
Josué Henrique Borges Ramos<sup>4</sup>, Mário Vanoli Scatolino<sup>5</sup>, Matheus Cordazzo Dias<sup>6</sup>.

Universidade do Estado do Amapá<sup>1, 2, 3, 4, 5, 6</sup>

\* castro.sindy04@gmail.com

### RESUMO

O estado do Amapá é um importante produtor de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.), gerando anualmente cerca de 16 mil toneladas de resíduos, principalmente caroços, cujo descarte inadequado causa problemas ambientais significativos. Esta revisão bibliográfica analisa o potencial de aproveitamento destes resíduos para a produção de bioenergia no contexto do Estado do Amapá. A metodologia de pesquisa envolveu a análise de artigos científicos, dissertações, relatórios técnicos e notícias publicadas nos últimos dez anos (2015-2025). Os dados levantados indicam que o caroço de açaí apresenta propriedades favoráveis para conversão energética, como alto poder calorífico (19,5-20,8 MJ/kg) e baixo teor de cinzas (1,2-2,8%), superando outras biomassas regionais, como resíduos madeireiros, resíduos de mandioca, casca de arroz, bagaço de cana e subprodutos da agroindústria local. O potencial energético teórico estimado é de 300.800 GJ/ano, equivalente a cerca de 83.600 MWh/ano. Processos termoquímicos (combustão, pirólise, gaseificação) e bioquímicos (digestão anaeróbica) são aplicáveis, com destaque para a pirólise para produção de bio-óleo, objeto de pesquisa na Universidade do Estado do Amapá. Experiências práticas demonstram a viabilidade técnica em fornos e caldeiras. Os principais desafios identificados incluem aspectos tecnológicos, econômicos, logísticos e regulatórios. As perspectivas abrangem o desenvolvimento de mercados para biocombustíveis sólidos e líquidos, energia elétrica e créditos de carbono, com benefícios socioeconômicos como geração de emprego e renda para a região.

*Palavras-chave:* Biomassa, Energia renovável, Pirólise, Amazônia.

### INTRODUÇÃO

O açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) é um dos produtos mais emblemáticos da região amazônica, com significativa importância econômica, social e cultural para as populações locais. No estado do Amapá, a produção e o consumo de açaí constituem uma atividade tradicional que vem ganhando cada vez mais relevância econômica, impulsionada pela crescente demanda nacional e internacional pela polpa do fruto (RIBEIRO, 2017). Segundo dados da Embrapa Amapá (2023), o estado produz anualmente cerca de 20 mil toneladas de frutos de açaí, gerando aproximadamente 16 mil toneladas de resíduos. Miranda et al. (2022) citam que o caroço corresponde ao principal resíduo, representando cerca de 80% do peso do fruto. Estes resíduos, quando descartados inadequadamente, geram problemas ambientais significativos nos centros urbanos e comunidades ribeirinhas do Amapá. De acordo com Miranda et al. (2022), 53% dos batedores artesanais de açaí em Macapá e Santana realizam o descarte dos caroços de forma inadequada, contribuindo para a poluição ambiental e proliferação de vetores de doenças.

Paralelamente à problemática ambiental, o Brasil e o mundo enfrentam desafios relacionados à transição energética e à busca por fontes renováveis de energia. A biomassa residual surge como uma alternativa promissora, permitindo o aproveitamento de materiais que seriam descartados para a geração de energia limpa e renovável (BEZERRA et al., 2020). Neste contexto, os resíduos de açaí, particularmente o caroço, apresentam características físico-químicas que os tornam potenciais fontes para aplicações em bioenergia, como alto poder calorífico, baixo teor de cinzas e disponibilidade sazonal concentrada (RIBEIRO, 2017).

Este trabalho traz uma revisão bibliográfica enfocando o potencial dos resíduos da cultura do açaí gerados no Estado do Amapá para a geração de bioenergia. Foram analisadas as características dos resíduos, os processos

de conversão energética aplicáveis, as experiências e pesquisas em andamento, os desafios enfrentados e as perspectivas futuras.

## **METODOLOGIA DA PESQUISA**

Para a realização desta revisão, foram consultadas as seguintes fontes de informação: (1) Bases de dados científicas: SciELO, Web of Science, Scopus, Google Scholar e Portal de Periódicos CAPES; (2) Repositórios institucionais: Universidade Federal do Amapá (UNIFAP), Universidade do Estado do Amapá (UEAP), Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá (IEPA) e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Amapá); (3) Publicações técnicas e relatórios de instituições governamentais e não-governamentais; (4) Anais de eventos científicos relacionados à bioenergia, biomassa e aproveitamento de resíduos; (5) Notícias e reportagens técnicas de fontes confiáveis sobre iniciativas e pesquisas em andamento no Amapá.

Foram adotados os seguintes critérios para inclusão de publicações nesta revisão: (a) Publicações que abordam diretamente o aproveitamento energético de resíduos de açaí, com ênfase naquelas que tratam especificamente do contexto amapaense; (b) Estudos que caracterizam os resíduos de açaí quanto às suas propriedades físicas, químicas e energéticas; (c) Pesquisas sobre processos de conversão energética aplicáveis aos resíduos de açaí; (d) Trabalhos que discutem aspectos econômicos, ambientais e sociais relacionados ao aproveitamento energético dos resíduos de açaí; (e) Publicações em português, inglês ou espanhol.

Foram priorizadas publicações dos últimos dez anos (2015-2025), com ênfase especial nos trabalhos mais recentes (2020-2025), visando capturar o estado atual do conhecimento sobre o tema. No entanto, trabalhos seminais ou de relevância histórica publicados antes deste período também foram considerados quando pertinentes. As publicações selecionadas foram analisadas quanto ao seu conteúdo, metodologia, resultados e conclusões. As informações extraídas foram organizadas em categorias temáticas, conforme a estrutura do artigo: caracterização dos resíduos, potencial energético, processos de conversão, experiências e pesquisas no Amapá, desafios e barreiras, e perspectivas futuras.

### **Caracterização dos resíduos de açaí e potencial energético**

O estado do Amapá é um importante produtor de açaí na região amazônica, com uma produção que combina o extrativismo tradicional e sistemas de manejo em áreas de várzea. A alta produção anual de frutos de açaí, demonstra uma tendência ascendente nos últimos anos, que é impulsionada devido à expansão dos mercados consumidores, tanto nacionais quanto internacionais.

Miranda *et al.* (2022) identificam os seguintes resíduos provenientes do processamento do açaí: (a) Carço (endocarpo e amêndoa): representa cerca de 80-83% do peso do fruto; (b) Fibras: correspondem a aproximadamente 12-15% do fruto; (c) Borra: resíduo pastoso resultante da lavagem dos equipamentos, representando cerca de 3-5% do material processado.

A composição química e física dos resíduos de açaí é determinante para seu potencial de aproveitamento energético. Bufalino *et al.* (2021) apresentam uma caracterização detalhada do carço de açaí, indicando a seguinte composição aproximada: Celulose:  $\pm 34\%$ ; Hemicelulose e Lignina:  $\pm 61\%$ ; Extrativos:  $\pm 6\%$ ; Cinzas: 1-3%. Adicionalmente, o poder calorífico é um parâmetro importante na avaliação do potencial energético de uma biomassa. Ribeiro (2017) determinou que o poder calorífico superior (PCS) do carço de açaí proveniente do Amapá varia entre 19,5 e 20,8 MJ/kg, valores considerados elevados quando comparados a outras biomassas residuais como casca de castanha-do-brasil (18,8-19,5 MJ/kg), resíduos de serraria (17,5-19,0 MJ/kg), casca de arroz (15,5-16,8 MJ/kg) e bagaço de cana (17,0-18,5 MJ/kg).

Considerando a geração anual de aproximadamente 16 mil toneladas de caroços de açaí no Amapá (Embrapa Amapá, 2023) e um poder calorífico inferior médio de 18,8 MJ/kg (Bezerra *et al.*, 2020), o potencial energético teórico seria de aproximadamente 300.800 GJ/ano, equivalente a cerca de 83.600 MWh/ano. Segundo IEPA (2024), mesmo com uma taxa de aproveitamento de 50% dos resíduos disponíveis e eficiência de conversão de 25% (típica de sistemas de pequena escala), seria possível gerar aproximadamente 10.450 MWh/ano de energia elétrica, suficiente para abastecer cerca de 5.800 residências com consumo médio de 150 kWh/mês.

### **Processos de conversão energética: experiências no Estado do Amapá**

Os processos termoquímicos de conversão energética baseiam-se na aplicação de calor para transformar a biomassa em produtos energéticos, sendo particularmente adequados para resíduos com baixo teor de umidade. Segundo Ribeiro (2017), os principais processos termoquímicos aplicáveis aos resíduos de açaí são a combustão direta, a pirólise e a gaseificação.

A combustão direta é o processo mais simples e tradicionalmente utilizado para aproveitamento energético de biomassa. No contexto do Amapá, o IEPA (2024) relata experiências de utilização do carço de açaí

em fornos artesanais para secagem de outros produtos agrícolas e em pequenas caldeiras para geração de vapor em agroindústrias locais, com eficiência térmica entre 50% e 65%.

A pirólise é um processo termoquímico que ocorre na ausência de oxigênio, resultando na decomposição da biomassa em produtos sólidos (carvão vegetal ou biochar), líquidos (bio-óleo) e gasosos (gás de síntese). Este processo tem recebido atenção especial no Amapá, com pesquisas recentes demonstrando seu potencial para valorização dos resíduos de açaí.

Em relação ao bióleo produzido a partir do caroço de açaí, Penafort (2025) reporta os seguintes resultados: (a) Rendimento de conversão entre 20% e 25% em massa; (b) Poder calorífico do bio-óleo entre 28 e 32 MJ/kg, comparável ao do petróleo; (c) Baixo teor de enxofre ( $< 0,1\%$ ), resultando em menor impacto ambiental quando comparado a combustíveis fósseis; (d) Possibilidade de fracionamento para obtenção de produtos similares à gasolina, querosene e diesel. O projeto é desenvolvido na Universidade do Estado do Amapá (UEAP). A pesquisa enfoca a produção de bio-óleo a partir do caroço de açaí através de pirólise técnica, utilizando um reator que funciona na ausência de oxigênio e submete a biomassa a altas temperaturas. O processo resulta na produção do Produto Líquido Orgânico (PLO), um bio-óleo com características similares ao petróleo e potencial para substituir combustíveis fósseis.

Quanto aos briquetes e pellets produzidos a partir do caroço de açaí, Ribeiro (2017) e Embrapa Amapá (2023) apresentam os seguintes resultados: (a) Densidade aparente entre 950 e 1.100 kg/m<sup>3</sup>, representando um aumento de mais de 100% em relação ao caroço *in natura*; (b) Poder calorífico entre 19,0 e 20,5 MJ/kg, com baixo teor de cinzas ( $< 3\%$ ); (c) Boa resistência mecânica e estabilidade durante o armazenamento; (d) Combustão mais uniforme e controlável em comparação com o caroço *in natura*.

### Desafios e perspectivas

Apesar do significativo potencial para aproveitamento energético dos resíduos de açaí no Amapá, diversos desafios e barreiras precisam ser superados para viabilizar sua implementação em escala comercial. Estes desafios podem ser categorizados em tecnológicos, econômicos, logísticos, regulatórios e de conhecimento. Os desafios tecnológicos estão relacionados principalmente à adaptação e otimização das tecnologias de conversão energética para as características específicas dos resíduos de açaí e para o contexto socioeconômico do Amapá. Penafort (2025) destaca que, no caso da pirólise para produção de bio-óleo, os principais desafios tecnológicos incluem o desenvolvimento de reatores mais eficientes e de menor custo, adequados à escala de produção local, e a otimização dos parâmetros de processo para maximizar o rendimento e a qualidade dos produtos.

As barreiras econômicas representam um dos principais obstáculos para a disseminação das tecnologias de aproveitamento energético dos resíduos de açaí no Amapá. Embrapa Amapá (2023) identifica o alto custo inicial de investimento em equipamentos e infraestrutura, especialmente para tecnologias mais avançadas como pirólise e gaseificação, e a dificuldade de acesso a crédito e financiamento para pequenos empreendedores e comunidades tradicionais.

Os aspectos logísticos representam um desafio significativo para o aproveitamento energético dos resíduos de açaí no Amapá, considerando as características geográficas do estado e a dispersão da produção. Miranda *et al.* (2022) identificam a dispersão geográfica dos pontos de geração de resíduos, especialmente em áreas rurais e comunidades ribeirinhas, e as dificuldades de acesso a muitas comunidades produtoras, dependendo de transporte fluvial e sujeito a sazonalidades.

O aproveitamento energético dos resíduos de açaí no Amapá apresenta perspectivas promissoras e diversas oportunidades para o desenvolvimento sustentável da região. IEPA (2024) identifica os seguintes segmentos de mercado com potencial para absorção destes produtos: (a) Mercado de combustíveis sólidos: briquetes e pellets de caroço de açaí podem substituir lenha e carvão vegetal em aplicações residenciais, comerciais e industriais; (b) Mercado de biocombustíveis líquidos: o bio-óleo derivado da pirólise do caroço de açaí pode ser utilizado em caldeiras industriais e, após refino, como substituto parcial de combustíveis veiculares; (c) Mercado de energia elétrica: sistemas de geração distribuída baseados em biomassa de açaí podem atender comunidades isoladas; (d) Mercado de créditos de carbono: a substituição de combustíveis fósseis por bioenergia derivada de resíduos pode gerar créditos de carbono comercializáveis.

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Os processos de conversão energética mais promissores para os resíduos de açaí no Amapá são a pirólise para produção de bio-óleo, a densificação (briquetagem e peletização) para combustíveis sólidos e, em menor escala, a digestão anaeróbica para produção de biogás;
- O caroço de açaí representa uma biomassa com significativo potencial energético no Amapá, com geração anual estimada em 16 mil toneladas e propriedades favoráveis como alto poder calorífico (19,5-20,8 MJ/kg) e baixo teor de cinzas (1,2-2,8%);

- As pesquisas em andamento no estado, especialmente na UEAP e Embrapa Amapá, demonstram a viabilidade técnica do aproveitamento energético dos resíduos de açaí, com resultados promissores em termos de rendimento e qualidade dos produtos obtidos;
- O aproveitamento energético dos resíduos de açaí representa uma oportunidade para transformar um problema ambiental em uma solução sustentável, contribuindo para a diversificação da matriz energética regional, geração de emprego e renda, e desenvolvimento sustentável da cadeia produtiva do açaí;
- Os principais desafios para implementação em escala comercial incluem aspectos tecnológicos (adaptação e otimização de tecnologias), econômicos (alto custo inicial e acesso a financiamento), logísticos (dispersão geográfica e sazonalidade) e regulatórios (ausência de legislação específica);
- Há escassez de dados quantitativos sobre experiências em escala comercial no Amapá e a necessidade de mais estudos sobre a viabilidade econômica das diferentes rotas tecnológicas no contexto específico do estado.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade do Estado do Amapá (UEAP), pelo suporte institucional durante os levantamentos bibliográficos e incentivo contínuo à pesquisa.

Manifestamos também nossa gratidão aos colegas, cujas contribuições e incentivo foram essenciais ao desenvolver deste trabalho. Estendemos os agradecimentos aos professores e colaboradores que, de forma direta ou indireta, contribuíram para o amadurecimento das ideias aqui abordadas.

Agradecemos, de forma especial, à nossa família, que, com seu apoio constante, nos fortalece em cada nova etapa e desafio, sendo parte fundamental na concretização desta trajetória acadêmica.

## REFERÊNCIAS

- BEZERRA, F. T. C. *et al.* Potencial energético do resíduo do despolpamento do açaí sob diferentes condições de estocagem. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 63, p. 1-8, 2020.
- BUFALINO, L. *et al.* Valorização de resíduos da indústria do açaí. Rio de Janeiro: SENAI CETIQT, 2021.
- EMBRAPA AMAPÁ. Aproveitamento energético de resíduos de açaí no estado do Amapá. Macapá: Embrapa Amapá, 2023.
- INSTITUTO DE PESQUISAS CIENTÍFICAS E TECNOLÓGICAS DO ESTADO DO AMAPÁ - IEPA. Potencial de biomassa residual para uso energético no estado do Amapá. Macapá: IEPA, 2024.
- MIRANDA, L. V. A. *et al.* Descarte e destino final de caroços de açaí na Amazônia Oriental - Brasil. *Ambiente & Sociedade*, São Paulo, v. 25, e0266, 2022.
- PENAFORT, M. Produção de bióleo a partir de caroço de açaí através de pirólise técnica. Macapá: Universidade do Estado do Amapá (UEAP), 2025. Disponível em: <https://g1.globo.com/ap/amapa/noticia/2025/03/20/bioleo-produzido-a-partir-do-caroco-de-acai-no-amapa-pode-ser-alternativa-ao-gas-e-petroleo.ghtml>. Acesso em: 01 maio 2025.
- RIBEIRO, E. A. S. Sistemas produtivos, disponibilidade de biomassa e atributos energéticos de caroço de açaí e resíduos de serrarias familiares, em várzea estuarina do rio Amazonas. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Tropical) - Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2017.