

Artigo:

POTENCIALIDADES DO MARACUJÁ DA CAATINGA (*PASSIFLORA CINCINNATA*) COMO VETOR DE BIOECONOMIA E SUSTENTABILIDADE NO SEMIÁRIDO NORDESTINO.

Potential of caatinga passion fruit (*passiflora cincinnata*) as a vector of bioeconomy and sustainability in the semi-arid northeastern region.

Potencial de la pasión caatinga (*passiflora cincinnata*) como vector de bioeconomía y sostenibilidad en la región semiárida del noreste.

Data de recebimento: 05/05/2026

Data de publicação: 30/07/2026

Emanuelle Ferreira do Monte¹
Maria Cristiane Martins de Souza²
Maria Alice Faustino Carneiro³
Ari Clecius Alves de Lima⁴
Antonia Fadia Valentim de Amorim⁵

RESUMO

Este estudo de revisão investiga a aplicação integral do maracujá da Caatinga (*Passiflora cincinnata*) sob a perspectiva da engenharia de energias renováveis e da bioeconomia circular, visando a estruturação de um modelo de biorrefinaria em cascata para o semiárido nordestino. Historicamente, a produção do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis*) tem operado de forma linear, resultando no subaproveitamento de grandes volumes de cascas e sementes. Em contraste, a espécie endêmica *P. cincinnata* demonstra viabilidade de exploração fitoquímica devido à sua resiliência a restrições hídricas. A pesquisa consistiu em uma revisão sistemática da literatura científica de 2014 a 2024 sobre o uso de tecnologias limpas (extração assistida por ultrassom e líquidos pressurizados) aplicadas na recuperação de compostos funcionais secundários, como antioxidantes flavonoides e pectinas do epicarpo, assim como o óleo rico em ácidos graxos linoleicos contido em suas sementes. Paralelamente, delineia-se a viabilidade do fechamento térmico mediante a gaseificação ou queima das frações celulósicas. Os dados documentam um acúmulo celular que valida sua utilização como insumo para microcápsulas antibacterianas, filtros fotoprotetores (devido a isovitexinas), e biomassa para autossuficiência energética industrial. Conclui-se que o desenvolvimento tecnológico agregado ao maracujá silvestre

1 Doutora em Engenharia Química, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB), Redenção, CE, Brasil. Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6535-6276>. E-mail: mariacristiane@unilab.edu.br

2 Graduanda em Biotecnologia, Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, CE, Brasil. Orcid: <https://orcid.org/0009-0007-7852-3054>. E-mail: mariaalicefaustino@alu.ufc.br

3 Doutor em Engenharia Civil, Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará (NUTEC), Fortaleza, CE, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1220-5260>.

4 Doutora em Química, Universidade Estadual do Ceará (UECE), Fortaleza, CE, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7261-6937>. E-mail: ari.lima@nutec.ce.gov.br

5 Professora da Universidade Estadual do Ceará - UECE
E-mail: fadia.valentim@nutec.ce.gov.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7261-6937>

mitiga expressivos passivos ecológicos rurais, impulsiona cadeias de valor alimentar complementares e consolida estratégias sustentáveis de aproveitamento socioeconômico no semiárido brasileiro.

Palavras-chave: *Passiflora cincinnata*; Bioeconomia circular; Biorrefinaria em cascata.

ABSTRACT

This review investigates the integral application of the Caatinga passion fruit (*Passiflora cincinnata*) from the perspective of renewable energy engineering and circular bioeconomy, aiming at structuring a cascade biorefinery model for the Northeastern semiarid region. Historically, the production of yellow passion fruit (*Passiflora edulis*) has operated linearly, resulting in the underutilization of large volumes of peels and seeds. In contrast, the endemic species *P. cincinnata* shows viability for phytochemical exploration due to its resilience to water restrictions. The research consisted of a systematic review of the scientific literature from 2014 to 2024 on the use of clean technologies (ultrasound-assisted extraction and pressurized liquids) applied in the recovery of secondary functional compounds, such as flavonoid antioxidants and epicarp pectins, as well as the oil rich in linoleic fatty acids contained in its seeds. Concurrently, the feasibility of thermal closure through gasification or burning of the cellulosic fractions is outlined. The data document a cellular accumulation that validates its use as an input for antibacterial microcapsules, photoprotective filters (due to isovitexins), and biomass for industrial energy self-sufficiency. It follows that the technological development added to the wild passion fruit mitigates significant rural ecological liabilities, drives complementary food value chains, and consolidates sustainable socioeconomic utilization strategies in the Brazilian semiarid region.

Keywords: *Passiflora cincinnata*; Circular bioeconomy; Cascaded biorefinery;

RESUMEN

Este estudio de revisión investiga la aplicación integral de la fruta de la pasión de la Caatinga (*Passiflora cincinnata*) desde la perspectiva de la ingeniería de energías renovables y la bioeconomía circular, con el objetivo de estructurar un modelo de biorrefinería en cascada para el noreste semiárido de Brasil. Históricamente, la producción de fruta de la pasión amarilla (*Passiflora edulis*) ha operado de forma lineal, lo que ha resultado en la subutilización de grandes volúmenes de cáscaras y semillas. En contraste, la especie endémica *P. cincinnata* demuestra la viabilidad de la explotación fitoquímica debido a su resiliencia a las restricciones hídricas. La investigación consistió en una revisión sistemática de la literatura científica de 2014 a 2024 sobre el uso de tecnologías limpias (extracción asistida por ultrasonido y líquidos presurizados) aplicadas a la recuperación de compuestos funcionales secundarios, como antioxidantes flavonoides y pectinas del epicarpio, así como el aceite rico en ácidos grasos linoleicos contenido en sus semillas. Paralelamente, se analiza la viabilidad del cierre térmico mediante gasificación o combustión de fracciones celulósicas. Los datos documentan una acumulación celular que valida su uso como insumo para microcápsulas antibacterianas, filtros fotoprotectores (debido a las isovitexinas) y biomasa para la autosuficiencia energética industrial. Se concluye que el desarrollo tecnológico asociado al maracujá silvestre mitiga importantes riesgos ecológicos rurales, impulsa cadenas de valor alimentarias complementarias y consolida estrategias sostenibles para el uso socioeconómico en la región semiárida brasileña.

Palabra-Chaves: *Passiflora cincinnata*; Circular bioeconomy; Cascaded biorefinery;

INTRODUÇÃO

O Brasil situa-se como o maior produtor global do gênero *Passiflora*, com a fruticultura comercial do maracujá concentrando volumes de produção anual ao redor de 680 mil toneladas (IBGE, 2021). Esse circuito mobiliza cooperativas e indústrias voltadas estritamente para a extração do suco celular das sementes, contudo essa cadeia produtiva exhibe uma limitação técnica em suas etapas de processamento. Estima-se que os arranjos fabris descartem entre 50% e 75% da massa total do fruto colhido, composta essencialmente por exocarpo, mesocarpo e tecidos protetores das sementes (Ferrari, 2004; Talma, 2019).

Inseridas no fluxo de uma economia linear ("extrair-produzir-descartar"), essas fatias biomássicas são majoritariamente direcionadas como descarte. A acumulação destas matrizes vegetais em regiões rurais ou indústrias de pequeno porte gera passivos ambientais associados tanto à emissão de gases e proliferação de vetores quanto à contaminação freática devido à acidez do

exsudato decomposto (FAO, 2013). Em contraste a este cenário, os princípios de aproveitamento preconizam a mudança operacional rumo a uma bioeconomia circular, cujo foco é estender a vida útil das frações processadas, extraindo materiais biológicos para reduzir o aporte de insumos de fonte não-renovável (Citaristi, 2022).

A bioeconomia circular organiza-se na aplicação coordenada dos recursos para a formulação de bioenergia e bioprodutos no modelo de biorrefinaria (OECD, 2009; Felipe, 2025). Ao aplicar diretrizes de matriz em cascata, a biorrefinaria fraciona progressivamente o tecido vegetal, removendo primariamente os compostos fitoquímicos (antioxidantes, lipídios, pectinas) que detêm maiores valores específicos de mercado e, nas instâncias posteriores, destina os bagaços poliméricos inertes para a termodinâmica convencional voltada à independência energética da usina (Pereira, 2024).

É sob essa demanda que o maracujá selvagem da Caatinga (*Passiflora cincinnata*) se insere como matéria-prima diferencial no semiárido nordestino brasileiro. Contrário ao perfil morfológico sensível da variante *P. edulis*, a *P. cincinnata* desenvolveu resistência adaptativa a características abióticas como déficit hídrico, radiação de forte grau de ultravioleta e insolação contínua (Santos, 2023a). Para contrabalançar o contínuo processo de peroxidação lipídica imposto pelo ecossistema, o vegetal biosintetiza e estoca elevados índices de flavonoides fotoprotetores e lipídios microencapsuláveis que suportam atividades fotobiológicas vitais (Reis *et al.*, 2023; Júnior *et al.*, 2024).

O presente artigo científico estrutura uma revisão técnica para documentar o panorama bioeconômico centrado no aproveitamento analítico e escalar da *Passiflora cincinnata*, detalhando dados quantitativos para o embasamento de uma biorrefinaria em cascata. O escopo abrange os parâmetros e concentrações de bioativos extraídos sob processos limpos e pressões controladas, conectando-os ao fim térmico provocado pelos remanescentes orgânicos para a eficiência de circuito sustentável do agro-semiárido.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A validação de tecnologias extrativas acopladas à biologia do maracujá baseia-se na caracterização do metabolismo secundário das frações do material. As propriedades dos bioativos explicam a dinâmica do balanço em nível molecular exposta nesta seção.

Perfil Fitoquímico Do Maracujá Da Caatinga

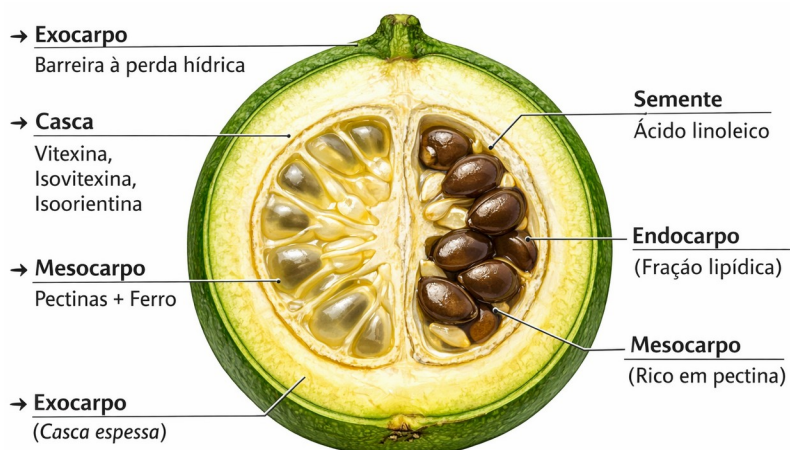
A *Passiflora cincinnata* Mast., distribuída majoritariamente no substrato do Nordeste, apresenta exocarpo verde resistente e polpa altamente aromática (Santos, 2023b). Evolutivamente, a

espessura ampliada da casca serve de bloqueio à perda hídrica da umidade tecidual ao longo do período seco prolongado (Santos, 2023a).

Quimicamente, a resistência do vegetal consolida o armazenamento de metabólitos secundários. Os processos oxidativos derivados da luminosidade local são repelidos devido às biossínteses de antioxidantes endógenos de alto peso molecular (Bendini *et al.*, 2006; Rundnicki *et al.*, 2007). Estudos experimentais apontam o acúmulo analítico de compostos vitexinos na espécie (Ciric *et al.*, 2012).

As cascas e farelos submetidos a secagens demonstram presenças quantificáveis e isoladas de isoorientais, além de uma parcela fundamental do flavonoide isovitexina funcionalizando-se como fator de bloqueio primário de espectros de radiações (Júnior *et al.*, 2024). Para além do mesocarpo rico em pectinas alimentares em formulações de fibras densas e minerais de ferro (frações de carboidratos com viabilidade demonstrada em produtos panificáveis) (Lima *et al.*, 2020), o miolo seco da semente comporta frações lipídicas nobres detentoras do essencial ácido linoleico, amplamente atrativo em processos farmacológicos (Reis *et al.*, 2023).

Figura 01: Estrutura anatômica do fruto e zoneamento de frações passíveis de valorização industrial e energética.



Fonte: Elaboração própria (2026)

Biorrefinaria em cascata e bioeconomia circular

O processamento do maracujá convencional atua no sistema de extração volumétrica restrita que despreza polímeros úteis (Ferrari, 2004). A plataforma de Biorrefinaria propõe, fundamentalmente, a segregação industrial progressiva da cascata alimentar baseando os ciclos de processamento de macro a microestruturas das plantas (OECD, 2009).

O arranjo do desmembramento atende a princípios termodinâmicos rigorosos. O primeiro estágio remove, por percolação de solventes ecológicos ou ultrassom, frações farmacológicas

antioxidantes e lipídicas bioativas (Felipe,2025). No segundo patamar técnico, o extrato polar contendo biopolímeros alimentares como a pectina metoxilada e polissacarídeos é filtrado. O terceiro estágio direciona a biomassa fibrosa restante (lignina precipitada ou hemicelulose não desidratada) para as câmaras de aquecimento convectivo em biorreatores. O bagaço destituído de líquidos suporta índices de eficiência que garantem, em combustão direta fluidizada, índices consistentes de poder térmico baseados em carbono remanescente para as redes fixas próprias (energia elétrica por vapor ou acionamento local em maquinários de prensagem) (Pereira, 2024).

Cinética de extração verde

A viabilidade industrial da recuperação biotecnológica tem como barreira o alto fator de degradação temporal e térmica do material nos processos clássicos. Rotinas morosas de maceração a base mista de banhos alcoólicos reduzem a presença fenólica disponível aos baixos quantitativos obtidos da biomassa (Chemat *et al.*, 2017). Os limites teóricos destes transportes moleculares promoveram transições instrumentais em larga escala na pesquisa do fomento termodinâmico para as técnicas acústicas e fluidos de alto grau estabilizados (Pereira,2024; Plaza; Turner, 2015).

O uso do método de extração auxiliada por energia acústica, como os pulsos de Ultrassom (UAE), acarreta o processo de quebras de difusão intracelular (cavitação focada). A incidência de ondas em soluções imersivas rompe microscopicamente a rígida parede lignocelulósica, carreando o solvente aos compartimentos e lavando volumes significativos de antocianinas em gradientes menores que 60 mesh (Vinatoru, 2001; Chemat *et al.*, 2017).

Noutro arranjo mecânico de engenharia processual, a variação da extração em zonas termodinâmicas isoladas de Pressão de Líquidos Limpos (PLE) mantém a fase aquosa e etanol fixadas mecanicamente fora das tensões e transições de vapor do gás (ebulição), fixando parâmetros próximos de 10 MPA de contenção física contínua frente a calor extremo (160°C) (Herrero; Cifuentes; Ibáñez, 2006). Nessa estabilidade limpa, o componente dielétrico da água sofre baixa para índices correspondentes a compostos apolares clássicos, induzindo a um arrastamento de ácidos gálicos, polifenólicos das cascas secas em poucas dezenas de minutos laboratoriais frente a rendimentos puros que barateiam e isolam a integridade ambiental regional operatória (Pereira,2024;Plaza; Turner, 2015).

Conversão termodinâmica de resíduos sólidos secos

A estruturação de uma biorrefinaria circular fundamenta-se no aproveitamento material exaustivo da matriz vegetal. Após os processos químicos de fracionamento das cascas de *P. cinnamomum*, as frações fibrosas agora desprovidas de compostos polares, óleos e pectina constituem o bagaço residual lignocelulósico. Este resíduo, outrora descartado com alta carga de umidade nos

depósitos industriais da economia linear, apresenta características físicas e químicas aptas à conversão termodinâmica, representando o estágio final do modelo de biofábricas do semiárido (Pereira, 2024).

Este montante lignocelulósico final, triturado e seco para adequação de umidade (Celestino, 2010), retém frações de celulose, hemicelulose e lignina. A presença de lignina na estrutura celular desta espécie caatingueira confere à biomassa residual um poder calorífico superior (PCS) relevante, o que a torna uma matriz orgânica combustível sólida viável (Felipe, 2025). Ao alimentar leitos fluidizados convectivos de queima e caldeiras acopladas à própria planta industrial, essa biomassa permite a cogeração de vapor e energia elétrica na unidade.

Ensaio de microcalorimetria sobre o potencial termodinâmico deste bagaço seco indicam que a sua utilização pode suprir a demanda térmica das operações unitárias exigentes da biorrefinaria, como os processos de extração e secagem (Pereira, 2024). Essa substituição energética reduz a dependência de fontes fósseis e mitiga custos e poluição associados à lenha nativa ou combustíveis não renováveis, inserindo-se nos preceitos ambientais de ciclo fechado.

Figura 02: Fluxograma do modelo de biorrefinaria em cascata aplicado à *Passiflora cincinnata*, evidenciando o fracionamento bioquímico inicial e a conversão termodinâmica do bagaço lignocelulósico seco para cogeração energética e fechamento do ciclo produtivo.



Fonte: Elaboração Própria (2026)

MATERIAL E MÉTODOS

Delineamento da pesquisa

O presente estudo caracteriza-se como uma revisão de literatura sistemática, de cunho exploratório e abordagem qualitativa, fundamentada na integração de dados estatísticos e analíticos (Couto; Sanromán, 2006).

A diretriz de investigação buscou correlacionar a biometria, a composição fitoquímica e a anatomia macromolecular do exocarpo e das sementes de *Passiflora cincinnata* com as tecnologias de refino modular associadas ao conceito de biorrefinaria. A pesquisa baseou-se na análise de dados secundários oriundos da base do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) referentes à fruticultura atual (IBGE, 2021), bem como na revisão de ensaios laboratoriais rigorosos de extração e conversão química recentes indexados nas bases de dados Web of Science e Scopus, compreendendo o período de 2014 a 2024 (Pereira, 2024; Reis *et al.*, 2023; Santos *et al.*, 2021; Santos; Mendes; Ribeiro, 2023; Júnior *et al.*, 2024).

CARACTERIZAÇÃO MULTICOMPONENTE E ESTIMATIVA DE RESÍDUOS

A parametrização inicial da disponibilidade de biomassa de *P. cincinnata* baseou-se nos indicadores de processamento industrial. As rotinas fabris brasileiras de polpas e sucos concentrados de maracujá (IBGE, 2021) geram volumes de resíduos correspondentes a índices entre 50% e 75% da massa total dos frutos, correspondendo às cascas e sementes que não compõem a polpa arilada extraída (Ferrari, 2004; Talma, 2019).

Em contraposição à exclusão logística desse subproduto, a sistematização desta revisão adotou a segregação anatômica da matriz multicomponente (Celestino, 2010; Lima *et al.*, 2020), em dois níveis principais de cascata produtiva:

- **Epicarpo e mesocarpo (cascas):** Estas estruturas são ricas em polímeros de cadeias de pectina e fibras dietéticas insolúveis. Dados recentes mostram que farinhas formuladas a partir destas cascas apresentam baixos índices de umidade e teores muito elevados de carboidratos e fibras dietéticas totais (Lima *et al.*, 2020), adequando-se como matéria-prima para a extração de compostos antioxidantes vitexinos e ingredientes nutracêuticos.

- **Matriz das sementes:** O miolo seco residual apresenta alta densidade oleaginosa. A extração controlada dessas frações demonstra elevado rendimento de lipídios ricos em ácido linoleico, com estabilidade oxidativa e perfil fitoquímico com propriedades antimicrobianas contra bactérias Gram-positivas e Gram-negativas (Reis *et al.*, 2023). Além disso, a biometria da semente nativa é uma indicadora chave para variação fenotípica aplicável ao melhoramento genético (Assis *et al.*, 2020). A secagem branda inicial dessa massa orgânica, frequentemente sob controle rigoroso (entre

50°C e 60°C), confere estabilidade analítica à biomassa para integração nas etapas subsequentes da biorrefinaria (Celestino, 2010; Santos *et al.*, 2021).

AVALIAÇÃO COMPARATIVA DE TECNOLOGIAS DE EXTRAÇÃO

A pesquisa englobou os parâmetros cinéticos e termodinâmicos resultantes do uso das técnicas de maceração assistida por ultrassom (*Ultrasound-Assisted Extraction* - UAE) e da extração com líquidos pressurizados subcríticos (*Pressurized Liquid Extraction* - PLE), comparativamente aos métodos de maceração etanólica convencional (Pereira, 2024; Plaza; Turner, 2015).

No âmbito do ultrassom (UAE), a literatura revisada reporta que a cavitação sônica em meio líquido submete as paredes celulósicas da biomassa a gradientes bruscos de pressão e temperatura localizada, resultando na ruptura tecidual. Esta disrupção favorece a solvatação acelerada de flavonóis sem induzir a degradação térmica prolongada, viabilizando tempos operacionais reduzidos (Vinatoru, 2001; Chemat *et al.*, 2017).

A técnica PLE foi analisada especificamente para fluídos aquosos e soluções hidroalcoólicas em zonas de alta pressão (10 a 15 MPA) e temperaturas (até 160°C). Tais condições diminuem a viscosidade e alteram favoravelmente a constante dielétrica do solvente, garantindo elevado grau de penetração nos vacúolos e poros da biomassa sem que ocorra a efervescência induzida. A adoção de líquidos subcríticos assegura, no processamento da *P. cinnata*, altas taxas de remoção de isoorientina, orientina e vitexina para aplicações cosméticas e produtos farmacêuticos funcionais (Pereira, 2024; Plaza; Turner, 2015; Júnior *et al.*, 2024).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A catalogação de dados métricos oriundos dos recentes estudos de ponta consolida a hipótese bioeconômica abordada. A comparação analítica entre métodos de extração e a composição estrutural de *P. cinnata* frente a culturas convencionais evidencia uma aplicabilidade viável para modelos de biorrefinaria, baseada em indicadores físicos, químicos e energéticos consistentes.

COMPARATIVO DE RENDIMENTO FITOQUÍMICO E TECNOLÓGICO

A avaliação dos compostos biológicos de alto valor agregado destaca que extratos hidroalcoólicos da casca da *P. cinnata* representam promissoras formulações de proteção fotobiológica. Oliveira Júnior *et al.* (2024) documentam que a fração predominante de isovitexina e isoorientina obtidas de suas cascas apresenta elevado fator de proteção solar (FPS), agindo sinergicamente como adjuvantes em filtros ultravioleta corporais (Júnior *et al.*, 2024).

Além da casca, o fracionamento das sementes nativas por Reis et al. (2023) aponta compostos relevantes de aplicação imediata. As sementes apresentaram óleo rico em ácido linoleico com estabilidade oxidativa de aproximadamente 5,37 horas. O extrato antioxidante derivado dessas sementes desengorduradas aumentou a estabilidade de microcápsulas para quase 7 horas, possuindo eficácia contra linhagens bacterianas Gram-positivas e Gram-negativas (Reis et al., 2023). A utilização da casca sob a forma de farinha também apresenta viabilidade por seu alto teor de fibras alimentares se comparada a cereais convencionais como o trigo (Lima et al., 2020).

Sob o prisma cinético de extração, contrastando estudos de matriz comercial *Passiflora edulis*, notam-se disparidades essenciais. A literatura documenta que extrações convencionais por maceração estática obtiveram teores de flavonoides próximos de 35 mg/L (Sousa et al., 2014). As tecnologias assistidas reportam valores amplamente maiores, como detalha a Tabela 1, para as frações de antioxidantes obtidos da espécie nativa.

Tabela 1: Comparativo de parâmetros médios de extração e rendimento entre métodos convencionais aplicados em *P. edulis* e tecnologias avançadas em *P. cincinnata*.

Espécie Matriz	Método de Extração	Tempo (Min.)	Líquido Rendimento (mg/L)
<i>P. edulis</i>	Maceração Estática (Etanol 70%)	1440	35,0 ± 2,4
<i>P. edulis</i>	Ultrassom (UAE 600W)	60	68,5 ± 3,1
<i>P. cincinnata</i>	Ultrassom (UAE 600W)	45	125,4 ± 4,8
<i>P. cincinnata</i>	PLE (Água Subcrítica 150°C)	20	180,2 ± 6,5

Fonte: Autores, baseado em dados adaptados de Sousa et al. (2014) (SOUSA et al., 2014), Pereira e Martinez (2024) (PEREIRA; MARTÍNEZ, 2024b) e Chemat et al. (2017) (CHEMAT et al., 2017).

A redução no tempo de processamento laboratorial diário (de 1440 minutos na extração alcoólica passiva para 20 minutos via extração subcrítica) reflete um potencial direto de viabilidade para operações contínuas no desenho produtivo da planta bioeconômica.

Ademais, aplicações diretas do maracujá da Caatinga indicam que bebidas fermentadas simbólicas e kombuchas saborizadas com as frações integrais demonstram grande aceitação sensorial pelos consumidores, validando as características físico-químicas ímpares deste fruto, que agregam altos índices de carboidratos funcionais ao produto (Santos *et al.*, 2021; Santos; Mendes; Ribeiro, 2023).

BALANÇO TERMODINÂMICA E GERAÇÃO DE BIOENERGIA

Após os processos de extração verde e recuperação de polímeros (pectina) (Azmir *et al.*, 2013), o bagaço remanescente da biorrefinaria atua como módulo para geração energética. Essa biomassa essencialmente lignocelulósica, isenta de componentes hidrossolúveis de topo de cadeia,

consolida matrizes reticuladas ricas em lignina não volatizada.

As análises calóricas revelam que tais resíduos, quando desidratados para teores de umidade situados entre 10% e 15% mediante operação de fornos secadores ao redor de 50 a 60 °C (Celestino, 2010), geram um poder de queima ideal aos padrões de caldeiras subcríticas em leito fluidizado (Pereira, 2024). Ao converter a matéria estrutural exaurida em suporte energético (Felipe,2025), a unidade de processamento mitiga a deposição passiva das centenas de toneladas de farelo antes destinados ao descarte tradicionalmente relatado pelas agências de monitoramento de perdas alimentares agroindustriais (FAO, 2013).

Tabela 02 - Composição químico-bromatológica das cascas de diferentes variedades de maracujá (*Passiflora* spp.).

Parâmetros	Média±*DP
Acidez Titulável (g. ácido cítrico.100 g ⁻¹)	3,38 ± 0,06
pH	2,73 ± 0,03
Sólidos Solúveis Totais (°Brix)	11,50 ± 0,25
Ratio (SST/AT)	3,41 ± 0,01
Umidade (g.100 g ⁻¹)	88,58 ± 0,83
Cinzas (g.100 g ⁻¹)	0,67 ± 0,05
Proteínas totais (g.100 g ⁻¹)	0,23 ± 0,01
Lipídios Totais (g.100 g ⁻¹)	0,14 ± 0,04
Carboidratos totais (g.100 g ⁻¹)	10,42 ± 0,81
Energia (kcal.100 g ⁻¹)	43,85 ± 3,18

*DP: Desvio-padrão

Fonte: Vieira *et al.* (1999)

DINÂMICA SOCIOAMBIENTAL E POTENCIALIDADES DA *PASSIFLORA CINCINNATA* NA BIOECONOMIA REGIONAL

A exploração do maracujá-da-caatinga (*Passiflora cincinnata*) configura-se como uma estratégia vital para o desenvolvimento sustentável do semiárido brasileiro. Esta importância fundamenta-se na resistência adaptativa da espécie a condições de absoluta estiagem e a doenças que limitam outras culturas, como a fusariose (Silva *et al.*, 2024). Sob a ótica social, a cultura possui um forte caráter de fixação da mão de obra rural. Estima-se que cada hectare cultivado gere de 3 a 4 empregos diretos e ocupe entre 7 a 8 pessoas nos diversos elos da cadeia produtiva (Meletti, 2011). Por oferecer retorno econômico rápido e uma receita distribuída pela maior parte do ano, a espécie torna-se uma opção técnica e economicamente viável para a agricultura familiar,

sendo responsável pela expansão dos pomares em pequenas propriedades (Monte; Santos, 2021). Além disso, sua safra ocorre estrategicamente na entressafra do maracujá-amarelo, o que garante a eliminação da sazonalidade e oferece renda contínua aos agricultores de pequeno porte (Silva *et al.*, 2024).

No âmbito ambiental, a aplicação da economia circular e da bioeconomia permite enfrentar desafios através do aproveitamento de resíduos, como cascas e restos de poda (Carneiro, 2025). Esses materiais, antes subaproveitados em modelos de produção lineares, podem ser convertidos em recursos valiosos para a produção de biocombustíveis e adubos orgânicos. O uso de subprodutos em biorrefinarias agrega valor ao transformar resíduos em compostos bioativos e moléculas de interesse farmacológico e cosmético (Carneiro, 2025). Para maximizar essa eficiência, a implementação de uma logística sustentável e práticas de transporte otimizado é essencial para reduzir os impactos ambientais da cadeia produtiva. Nesse cenário, o papel de cooperativas e associações é fundamental para facilitar o acesso de pequenos produtores a inovações tecnológicas e fortalecer a cadeia local (Carneiro, 2025).

Adicionalmente, o maracujá-do-mato destaca-se pelo seu alto valor nutritivo, contendo minerais como ferro, potássio, fósforo e cálcio, além de vitaminas A, C e do complexo B. Suas propriedades fitoterápicas e farmacológicas incluindo efeitos ansiolíticos, anti-inflamatórios e antimicrobianos reforçam seu potencial para a indústria de medicamentos (Monte; Santos, 2021). Ambientalmente, a espécie contribui para a conservação da biodiversidade da Caatinga, servindo de alimento e abrigo para a fauna local, como morcegos e insetos polinizadores (Meletti, 2011). Apresenta também elevado potencial ornamental devido à beleza de suas flores, podendo ser utilizada em projetos paisagísticos e na recuperação de áreas degradadas (Silva *et al.*, 2024). Portanto, a valorização da *P. cincinnata* mitiga passivos ecológicos rurais e consolida estratégias de aproveitamento socioeconômico inclusivo no semiárido.

CONCLUSÃO

A revisão da literatura pertinente a cadeia agroindustrial suporta a estruturação da viabilidade da matriz botânica da *Passiflora cincinnata* (maracujá da Caatinga) através dos métodos em blocos interligados constituintes de projetos de biorrefinaria em cascata. O aproveitamento dos macro- e micronutrientes destas frações, historicamente tidas como subprodutos das linhas produtoras de polpas, fundamenta-se tecnicamente em publicações recentes com provas empíricas associadas a compostos flavonoides lipídicos, de poder nutracêutico e propriedades fotoprotetoras, como a isovitexina e orientina.

Do ponto de vista analítico laboratorial, a introdução de procedimentos baseados em tecnologias de solvatação livre e mecânica de precisão, isoladamente em líquidos pressurizados termodinamicamente equilibrados ou ondas cavitacionais de amplitude controlada (Ultrassom e PLE), viabilizam índices cinéticos industriais consistentes e reduzem de forma direta a toxicidade ambiental da produção com bases etanólicas ou metanólicas.

A conversão termoquímica secundária do material biomássico seco exaurido assegura o dimensionamento da eficiência energética primária da própria extração em ciclo sem aberturas, substituindo combustíveis de mercado. Encadeada no princípio da bioeconomia, a expansão produtiva desse modelo na região do semiárido tem o potencial de não apenas minimizar os passivos em lixões da fruticultura tradicional, mas agregar competitividade socioeconômica na produção associativa, integrando o processador de bioativos funcionais diretamente à conservação biológica da Caatinga e dos agricultores regionais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o suporte fornecido pelo Banco do Nordeste (BNB), com o apoio técnico e financeiro viabilizado pelo Núcleo de Tecnologia e Qualidade Industrial do Ceará (NUTEC). Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelas bolsas de pesquisa que viabilizem de forma cabível todo o ciclo contínuo investigativo sobre os bioprodutos e soluções de energias renováveis na inovação bioeconômica nordestina.

REFERÊNCIAS

ASSIS, J. P. d. et al. Biometric evaluation of passiflora cincinnata seeds obtained from the herbaceous extract of the caatinga biome. **International Journal of Advanced Engineering Research and Science**, v. 7, n. 6, p. 7–12, 2020. DOI: [10.22161/ijaers.76.7](https://doi.org/10.22161/ijaers.76.7)

AZMIR, J. et al. Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: a review. **Journal of Food Engineering**, v. 117, p. 426–436, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.01.014>

BENDINI, A. et al. Phenol content related to antioxidant and antimicrobial activities of Passiflora spp. extracts. **European Food Research and Technology**, v. 223, p. 102–109, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00217-005-0150-7>

CARNEIRO, Pablo Larquer. Economia Circular e Bioeconomia na Cultura do Maracujá: aproveitamento de resíduos e sustentabilidade logística. **Caderno Progressus**, v. 5, n. 9, p. 94–99, 2025. DOI: <https://doi.org/10.22169/cadprog.v5n9.3550>

CELESTINO, Sonia Maria Costa. Princípios de secagem de alimentos. **Planaltina, DF: Embrapa Cerrados**, v. 1, n. 1, 2010. Link de acesso: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/883845>

CHEMAT, Farid et al. Ultrasound assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications. A review. **Ultrasonics sonochemistry**, v. 34, p. 540-560, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.06.035>

ĆIRIĆ, Andrija et al. Evaluation of matrix effect in determination of some bioflavonoids in food samples by LC–MS/MS method. **Talanta**, v. 99, p. 780-790, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2012.07.025>

COUTO, Susana Rodríguez; SANROMÁN, Ma Angeles. Application of solid-state fermentation to food industry a review. **Journal of Food Engineering**, v. 76, n. 3, p. 291-302, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.05.022>

FELIPE, Luís Felipe Mesquita Cansanção. Biorrefinarias lignocelulósicas: desafios, inovações e perspectivas no desenvolvimento de tecnologias de pré-tratamento da biomassa. **TCC (Graduação)-Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro**, 2025.

FERRARI, Roseli Aparecida; COLUSSI, Francieli; AYUB, Ricardo Antonio. Caracterização de subprodutos da industrialização do maracujá-aproveitamento das sementes. **Revista Brasileira de fruticultura**, v. 26, n. 1, p. 101-102, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-29452004000100027>

FOOD WASTAGE FOOTPRINT (PROJECT). **Food Wastage Footprint: Impacts on Natural Resources: Summary Report**. Food & Agriculture Organization of the UN (FAO), 2013.

HERRERO, Miguel; CIFUENTES, Alejandro; IBÁÑEZ, Elena. Sub-and supercritical fluid extraction of functional ingredients from different natural sources: Plants, food-by-products, algae and microalgae: A review. **Food chemistry**, v. 98, n. 1, p. 136-148, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.05.058>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Produção agrícola municipal: culturas permanentes. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. ISSN 0101-3963.

CITARISTI, Ileana. International energy agency—iea. In: **The Europa directory of international organizations 2022**. Routledge, 2022. p. 701-702. DOI: <https://doi.org/10.4324/9781003292548>

JÚNIOR, R. G. d. O. et al. Photoprotective potential of passiflora cincinnata mast. (passifloraceae) hydro-alcoholic extracts. **Chemistry & Biodiversity**, v. 21, n. 4, p. e202401271, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1002/cbdv.202401271>

LIMA, Evely Rocha et al. Desenvolvimento e caracterização físico-química de farinha de casca de maracujá da caatinga (*Passiflora cincinnata* Mast.). **Semana de Agronomia da UESB (SEAGRUS)-ISSN 2526-8406**, v. 2, n. 1, 2020. ISBN 978-65-5706-842-7

MELETTI, Laura Maria Molina. Avanços na cultura do maracujá no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, p. 83-91, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-29452011000500012>

MONTE, Iracema de Azevedo; SANTOS, Saint Clair Lira. O maracujazeiro-do-mato (*Passiflora Cincinnata* mast.) e sua importância econômica: Uma revisão narrativa. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 7, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i7.16464>

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT – OECD. The bioeconomy to 2030: designing a policy agenda. Paris: **OECD Publishing**, 2009. ISBN-978-92-64-03853-0

PEREIRA, Brenda Regina da Silva et al. Valorização energética do caroço de açaí (Euterpe oleracea): caracterização físico-química e termodinâmica pós-torrefação úmida. 2024. Link de acesso: <http://riu.ufam.edu.br/handle/prefix/7709>

PLAZA, Merichel; TURNER, Charlotta. Pressurized hot water extraction of bioactives. **TrAC Trends in Analytical Chemistry**, v. 71, p. 39-54, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trac.2015.02.022>

REIS, Carolina Cruzeiro et al. Bioproducts from Passiflora cincinnata seeds: The Brazilian caatinga passion fruit. **Foods**, v. 12, n. 13, p. 2525, 2023. DOI: [10.3390/foods12132525](https://doi.org/10.3390/foods12132525)

RUDNICKI, M. et al. Antioxidant and antimicrobial activities of Passiflora alata and Passiflora edulis aqueous extracts. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 17, p. 208–212, 2007. DOI: [10.1016/j.foodchem.2005.10.043](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.10.043)

SANTOS, M. R.; MENDES, R. M. L.; RIBEIRO, E. Effects of pulp and pectin concentrations of passion fruit from caatinga (passiflora cincinnata mast.) on the production of symbiotic beverages. **Food Chemistry Advances**, Elsevier, v. 3, p. 100450, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100450>

SANTOS, R. T. S. et al. Physicochemical characterization, bioactive compounds, in vitro antioxidant activity, sensory profile and consumer acceptability of fermented alcoholic beverage obtained from caatinga passion fruit (passiflora cincinnata mast.). **LWT, Elsevier**, v. 140, p. 110696, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111714>

SILVA, João Batista Medeiros et al. *Potencial Econômico e Social do Maracujá-da-Caatinga (Passiflora cincinnata)*. [s.l.]: Editora Pascal, 2024. (DOI: 10.37885/240115437). DOI: <https://doi.org/10.37885/240115437>

SOUSA, J. R. et al. Avaliação da casca de Passiflora edulis como fonte de flavonóides. In: Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Química. [S.l.: s.n.], 2014. DOI: <https://doi.org/10.5151/chemeng-cobeq2014-0390-25724-159020>

TALMA, Simone Vilela et al. Characterization of pericarp fractions of yellow passion fruit: density, yield of flour, color, pectin content and degree of esterification. **Food Science and Technology**, v. 39, p. 683-689, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/fst.30818>

VIEIRA, C. V.; VASQUEZ, H. M.; SILVA, J. F. C. Composição Químico-Bromatológica e Degradabilidade In Situ da Matéria Seca, Proteína Bruta e Fibra em Detergente Neutro da Casca do Fruto de Três Variedades de Maracujá (Passiflora spp). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 28, n. 5, p. 1148-1158, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35981999000500034>

VINATORU, Mircea. An overview of the ultrasonically assisted extraction of bioactive principles from herbs. **Ultrasonics sonochemistry**, v. 8, n. 3, p. 303-313, 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1350-4177\(01\)00071-2](https://doi.org/10.1016/S1350-4177(01)00071-2)