

ALÉM DAS CALORIAS: O potencial bioativo e nutracêutico da *Manihot esculenta* Crantz

DOI: 10.22289/sg.V7N1A13

Paulo Roberto Ramos ^{a*}^a Universidade Federal do Vale do São Francisco - UNIVASF, Petrolina, Pernambuco, Brasil..

Resumo

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é tradicionalmente reconhecida como um alimento básico de alta densidade energética, amplamente consumido em regiões tropicais e subtropicais. No entanto, essa perspectiva predominantemente calórica tem contribuído para a subvalorização científica de seu potencial nutricional, bioativo e nutracêutico. O problema central reside no reducionismo analítico que restringe a mandioca ao teor de amido, negligenciando evidências sobre compostos bioativos, fibras funcionais, carotenoides, polifenóis e peptídeos bioativos com efeitos fisiológicos relevantes. O objetivo deste artigo foi realizar uma revisão integrativa da literatura para analisar criticamente o potencial bioativo e nutracêutico da *Manihot esculenta*, considerando raízes, folhas e subprodutos, bem como suas implicações para a prevenção e o manejo de doenças crônicas. A metodologia consistiu em revisão integrativa, com buscas realizadas entre julho e dezembro de 2025, alcançando um total de 197 artigos iniciais e seleção sistematizada de 28 artigos publicados em periódicos indexados, elegíveis por abrangerem estudos experimentais, revisões e ensaios clínicos, no período aproximado de 2005 a 2025, sem restrição geográfica. Os resultados indicam que a mandioca apresenta atividade antioxidante, modulação da microbiota intestinal, efeitos metabólicos favoráveis (controle glicêmico e lipídico), potencial anti-inflamatório e contribuições relevantes para a segurança alimentar, especialmente por meio do amido resistente, carotenoides biofortificados, fibras dietéticas e compostos fenólicos. Conclui-se que a mandioca deve ser reposicionada cientificamente como alimento funcional e nutracêutico estratégico, cujo potencial extrapola o valor energético, demandando abordagens interdisciplinares, maior número de estudos clínicos e políticas alimentares que reconheçam sua diversidade bioquímica e relevância cultural.

Palavras-chave: Alimentos funcionais; Compostos bioativos; Amido resistente; Segurança alimentar; Doenças metabólicas.

BEYOND CALORIES: The bioactive and nutraceutical potential of *Manihot esculenta* crantz

Abstract

Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) is traditionally recognized as a staple food of high energy density, widely consumed in tropical and subtropical regions. However, this predominantly caloric perspective has contributed to the scientific undervaluation of its nutritional, bioactive, and nutraceutical potential. The central problem lies in analytical reductionism that restricts cassava to its starch content, overlooking evidence on bioactive compounds, functional fibers, carotenoids, polyphenols, and bioactive peptides with relevant physiological effects. The aim of this article was to conduct an integrative literature review to critically analyze the bioactive and nutraceutical potential of *Manihot esculenta*, considering roots, leaves, and by-products, as well as their implications for the prevention and management of chronic diseases. The methodology consisted of an integrative review, with searches conducted between July and December 2025, yielding a total of 197 initial records and a systematized selection of 28 articles published in indexed journals. Eligible studies included experimental research, reviews, and clinical trials, approximately covering the period from 2005 to 2025, with no geographic restriction. The results indicate that cassava exhibits antioxidant activity, modulation of gut microbiota, favorable metabolic effects (glycemic and lipid control), anti-inflammatory potential, and significant contributions to food security, particularly through resistant starch, biofortified carotenoids, dietary fibers, and phenolic compounds. It is concluded that cassava should be scientifically repositioned as a strategic functional and nutraceutical food whose potential extends far beyond its energy value, demanding interdisciplinary approaches, a greater number of clinical studies, and food policies that recognize its biochemical diversity and cultural relevance.

Keywords: Functional foods; Bioactive compounds; Resistant starch; Food security; Metabolic diseases.

MÁS ALLÁ DE LAS CALORÍAS: El potencial bioactivo y nutracéutico de *Manihot esculenta* crantz

Resumen

* Autor para correspondência: paulo.ramos@univasf.edu.br.

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz) es tradicionalmente reconocida como un alimento básico de alta densidad energética, ampliamente consumido en regiones tropicales y subtropicales. Sin embargo, esta perspectiva predominantemente calórica ha contribuido a la subvaloración científica de su potencial nutricional, bioactivo y nutraceutico. El problema central radica en el reduccionismo analítico que restringe la yuca a su contenido de almidón, pasando por alto evidencias sobre compuestos bioactivos, fibras funcionales, carotenoides, polifenoles y péptidos bioactivos con efectos fisiológicos relevantes. El objetivo de este artículo fue realizar una revisión integradora de la literatura para analizar críticamente el potencial bioactivo y nutraceutico de *Manihot esculenta*, considerando raíces, hojas y subproductos, así como sus implicaciones para la prevención y el manejo de enfermedades crónicas. La metodología consistió en una revisión integradora, con búsquedas realizadas entre julio y diciembre de 2025, que resultaron en un total de 197 artículos iniciales y en una selección sistematizada de 28 artículos publicados en revistas indexadas, elegibles por abarcar estudios experimentales, revisiones y ensayos clínicos, aproximadamente entre 2005 y 2025, sin restricción geográfica. Los resultados indican que la yuca presenta actividad antioxidante, modulación de la microbiota intestinal, efectos metabólicos favorables (control glucémico y lipídico), potencial antiinflamatorio y contribuciones relevantes a la seguridad alimentaria, especialmente a través del almidón resistente, los carotenoides biofortificados, las fibras dietéticas y los compuestos fenólicos. Se concluye que la yuca debe ser reposicionada científicamente como un alimento funcional y nutraceutico estratégico, cuyo potencial supera ampliamente su valor energético, lo que exige enfoques interdisciplinarios, un mayor número de estudios clínicos y políticas alimentarias que reconozcan su diversidad bioquímica y relevancia cultural.

Palabras clave: Alimentos funcionales; Compuestos bioactivos; Almidón resistente; Seguridad alimentaria; Enfermedades metabólicas.

1. Introdução

A *Manihot esculenta* Crantz ocupa posição central nos sistemas alimentares de populações tropicais, sendo reconhecida, sobretudo, como fonte de energia derivada do amido. Essa leitura, amplamente reproduzida em guias alimentares, bancos de dados nutricionais e políticas públicas, consolidou uma visão restritiva da mandioca como alimento “basicamente calórico”, de baixo valor nutricional agregado. Revisões clássicas mostram que essa interpretação, embora ancorada na elevada contribuição energética da raiz, é insuficiente para explicar a complexidade bioquímica da planta e seus efeitos fisiológicos potenciais (Montagnac; Davis; Tanumihardjo, 2009).

Estudos mais recentes evidenciam que diferentes formas de processamento alteram substancialmente a digestibilidade do amido, o índice glicêmico e a formação de frações funcionalmente relevantes, como o amido resistente, desafiando a equivalência simplista entre mandioca e carboidrato de rápida absorção (Eyinla *et al.*, 2021). Assim, persistir na abordagem estritamente calórica implica ignorar dimensões metabólicas, funcionais e bioativas já documentadas na literatura científica.

A subvalorização da mandioca no campo científico não é apenas resultado de lacunas analíticas, mas também de processos históricos de hierarquização alimentar. Alimentos associados a populações rurais, indígenas e afrodescendentes foram, por décadas, classificados como “inferiores” frente a matrizes alimentares eurocentradas, reforçando estigmas nutricionais e epistemológicos. Nesse contexto, a mandioca passou a ser frequentemente associada à pobreza, insegurança alimentar e risco toxicológico, sobretudo em função dos glicosídeos cianogênicos (Nzwalo; Cliff, 2011).

Embora os riscos associados ao consumo inadequado sejam reais, revisões sistemáticas demonstram que o foco excessivo na toxicidade, dissociado das práticas tradicionais de processamento e das evidências de mitigação tecnológica, contribuiu para um alarmismo desproporcional e para o apagamento de seus potenciais benefícios à saúde (Nambisan, 2011). Tal dinâmica reforça uma colonialidade alimentar que deslegitima saberes locais e limita o avanço de abordagens mais integrativas.

Nas últimas duas décadas, o avanço da nutrição funcional e da bioquímica dos alimentos tem ampliado o olhar sobre matrizes alimentares tradicionais, reposicionando alimentos básicos como potenciais agentes de promoção da saúde. No caso da mandioca, esse movimento tem revelado a presença de compostos fenólicos, fibras funcionais, carotenoides biofortificados, polissacarídeos e peptídeos bioativos com propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e moduladoras do

metabolismo (Latif; Müller, 2015).

Esse novo paradigma desloca a análise do alimento isolado para seus efeitos sistêmicos, incluindo interações com a microbiota intestinal, impacto sobre o estresse oxidativo e contribuições para a prevenção de doenças crônicas não transmissíveis. Evidências experimentais e clínicas recentes indicam que derivados da mandioca podem atuar positivamente no controle glicêmico, lipídico e inflamatório, desafiando sua classificação como alimento “funcionalmente neutro” (Astina *et al.*, 2022).

Diante desse cenário, o objetivo principal deste artigo é realizar uma revisão integrativa da literatura científica, analisando de forma crítica e multidimensional o potencial bioativo e nutracêutico da *Manihot esculenta* Crantz. O escopo da análise abrange raízes, folhas e subprodutos, considerando aspectos nutricionais, bioquímicos, tecnológicos e de saúde pública.

As perguntas que nortearam esta revisão foram: em que medida a literatura científica sustenta o reposicionamento da mandioca como alimento funcional e nutracêutico? Quais compostos e frações bioativas apresentam evidências mais consistentes de benefícios à saúde? E como o processamento, a biofortificação e o aproveitamento integral da planta influenciam esse potencial? Ao responder a essas questões, o artigo busca contribuir para a superação do reducionismo calórico e para a construção de uma abordagem científica mais justa, integrada e alinhada aos desafios contemporâneos da nutrição e da segurança alimentar.

2. Metodologia

Trata-se de uma revisão integrativa de literatura, com delineamento orientado para uma síntese analítica e multidimensional de evidências científicas sobre o potencial nutricional, bioativo e nutracêutico da *Manihot esculenta* Crantz. A opção pela revisão integrativa justifica-se por permitir a integração de diferentes desenhos de estudo — revisões narrativas e sistemáticas, estudos experimentais *in vitro* e *in vivo*, e ensaios clínicos — condição necessária para um campo de investigação cujas evidências se distribuem entre a bioquímica de alimentos, a tecnologia de processamento, a toxicologia e a nutrição funcional.

Essa heterogeneidade metodológica é observável no corpus final analisado, que inclui tanto revisões amplas e sistemáticas sobre composição nutricional, segurança e processamento da mandioca (Montagnac; Davis; Tanumihardjo, 2008; Mohidin *et al.*, 2023; Osman *et al.*, 2025) quanto estudos experimentais e ensaios clínicos envolvendo ingredientes funcionais derivados da mandioca, como fibras e maltodextrinas resistentes (Astina *et al.*, 2022).

O protocolo analítico da revisão seguiu cinco etapas sequenciais e interdependentes: formulação do problema de pesquisa e das perguntas norteadoras; busca e seleção sistematizada da literatura; extração padronizada dos dados relevantes; avaliação da qualidade metodológica e do risco de viés, de acordo com o tipo de estudo; e síntese e integração crítica dos achados, organizados em eixos temáticos previamente definidos (compostos bioativos, efeitos do processamento, segurança/toxicidade, microbiota intestinal e desfechos metabólicos).

A estratégia de busca foi concebida para capturar a mandioca como matriz alimentar integral, contemplando simultaneamente raízes, folhas e subprodutos, e para abranger dimensões analíticas frequentemente tratadas de forma fragmentada na literatura. Assim, a busca incluiu estudos sobre compostos bioativos (polifenóis, carotenoides e peptídeos), frações funcionais (amido resistente e fibras alimentares), efeitos do processamento tecnológico e tradicional, bem como glicosídeos cianogênicos e aspectos de segurança alimentar.

As buscas foram realizadas entre julho e dezembro de 2025, utilizando múltiplas combinações de descritores em português e inglês, com operadores booleanos (AND/OR) e truncamentos quando disponíveis. A estratégia foi

complementada por *snowballing*, por meio do rastreamento das listas de referências dos estudos incluídos e das citações subsequentes (cited-by), com o objetivo de reduzir perdas de publicações relevantes.

Foram consultadas bases de dados com ampla cobertura nas áreas de nutrição, ciência dos alimentos e biomedicina: PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, ScienceDirect, Wiley Online Library, SpringerLink e MDPI, quando aplicável ao acesso ao texto completo.

Os principais descritores utilizados, combinados em diferentes estratégias de busca, incluíram: “*Manihot esculenta*”, cassava, mandioca; bioactive compounds, phytochemicals, polyphenols, carotenoids, bioactive peptides; resistant starch, dietary fiber, maltodextrin; processing, fermentation, cooking, cyanogenic glycosides, linamarin, food safety; glycemic index, microbiota, obesity, diabetes e metabolic.

O recorte temporal adotado foi aproximadamente entre 2005 e 2025, de modo a abranger tanto literatura considerada fundacional, relacionada à remoção de glicosídeos cianogênicos e às tecnologias de processamento da mandioca (Cardoso *et al.*, 2005; Montagnac; Davis; Tanumihardjo, 2008), quanto evidências mais recentes sobre fibras funcionais, modulação da microbiota e desfechos metabólicos (Yang *et al.*, 2025), bem como estudos emergentes sobre folhas e peptídeos bioativos (Zhang *et al.*, 2025).

A busca inicial resultou em 197 registros. Após a remoção de duplicatas e a aplicação dos critérios de elegibilidade, procedeu-se à triagem por leitura de títulos e resumos, seguida da avaliação do texto completo. Ao final desse processo sistematizado, 28 artigos foram selecionados para compor o corpus analítico da revisão.

Foram definidos critérios de inclusão amplos, compatíveis com o escopo multidimensional da revisão e com a natureza heterogênea das evidências disponíveis sobre a *Manihot esculenta* Crantz. Foram incluídos: revisões narrativas, sistemáticas e integrativas; estudos experimentais *in vitro* e *in vivo* que investigaram desfechos bioquímicos, fisiológicos ou metabólicos; ensaios clínicos e estudos com intervenção dietética envolvendo alimentos ou ingredientes derivados da mandioca; estudos sobre processamento tecnológico ou tradicional e aspectos de segurança alimentar, incluindo glicosídeos cianogênicos; e estudos que abordaram raízes, folhas e subprodutos da mandioca com ênfase nutricional, bioativa ou nutracêutica. Essa amplitude é coerente com o objetivo do artigo, que busca integrar evidências sobre risco toxicológico, mitigação tecnológica e potencial funcional (Nambisan, 2011; Latif; Müller, 2015).

Foram excluídos: literatura não científica (relatos opinativos, blogs, material promocional); estudos em que a mandioca não constituía o objeto central de análise, sendo apenas mencionada de forma periférica; publicações duplicadas entre bases de dados; e trabalhos sem descrição metodológica mínima que permitisse avaliar o desenho do estudo, os procedimentos adotados ou os desfechos analisados, particularmente no caso de estudos experimentais.

O processo de seleção ocorreu em três níveis sucessivos: leitura de títulos, resumos e textos completos. Na etapa final, os motivos de exclusão foram registrados de forma sistemática, garantindo transparência e rastreabilidade ao processo de seleção dos estudos incluídos.

Para a extração dos dados, utilizou-se uma matriz padronizada, construída especificamente para esta revisão, com o objetivo de assegurar consistência e comparabilidade entre estudos de diferentes desenhos. Foram registrados os seguintes elementos: país e ano de publicação; tipo e desenho do estudo; parte da planta analisada (raiz, folha ou subproduto); tipo de processamento empregado; compostos ou frações investigadas; principais desfechos avaliados (atividade antioxidante, efeitos inflamatórios, resposta glicêmica e lipídica, modulação da microbiota intestinal, segurança alimentar); principais achados; e limitações apontadas pelos próprios autores.

Essa organização permitiu a síntese dos resultados em eixos temáticos, facilitando a identificação de convergências, lacunas e controvérsias na literatura, bem como a integração entre evidências bioquímicas, experimentais e clínicas. A

avaliação da qualidade metodológica e do risco de viés foi realizada de forma narrativa e adaptada ao tipo de estudo, considerando a diversidade de delineamentos incluídos. Para estudos experimentais *in vitro* e *in vivo*, priorizou-se a análise da clareza dos objetivos, da adequação dos métodos analíticos, da descrição das amostras e procedimentos, e da consistência entre resultados e conclusões.

Nos ensaios clínicos, foram considerados elementos como descrição da população estudada, tipo de intervenção, presença de grupo comparador, duração do acompanhamento, mensuração dos desfechos e controle de fatores de confusão, conforme exemplificado em estudos envolvendo fibras e maltodextrinas resistentes derivadas da mandioca (Astina *et al.*, 2022). Para revisões sistemáticas e integrativas, a apreciação crítica contemplou a abrangência da estratégia de busca, explicitação dos critérios de inclusão e exclusão, coerência do processo de síntese e clareza na apresentação dos resultados (Osman *et al.*, 2025). Embora não tenha sido aplicado um instrumento formal padronizado, os critérios adotados permitiram uma avaliação consistente da robustez metodológica e da confiabilidade dos achados.

Algumas limitações metodológicas devem ser reconhecidas. Primeiramente, a heterogeneidade dos estudos incluídos, no que se refere às variedades de mandioca, formas de processamento, matrizes alimentares e desfechos analisados, dificulta comparações diretas e inviabiliza a realização de meta-análises quantitativas, exigindo uma síntese predominantemente qualitativa. Em segundo lugar, parte das evidências mais consistentes sobre efeitos metabólicos decorre de modelos experimentais e de intervenções com ingredientes específicos (como fibras e maltodextrinas), o que impõe cautela na extrapolação dos resultados para padrões alimentares cotidianos (Astina *et al.*, 2022; Yang *et al.*, 2025).

Ademais, reconhece-se o risco de viés de publicação e de viés de idioma, uma vez que a maior parte dos estudos disponíveis se encontra publicada em inglês e em periódicos de maior visibilidade internacional. Diante dessas limitações, a discussão subsequente privilegia uma leitura crítica dos achados, explicitando incertezas, controvérsias e lacunas de pesquisa.

3. Resultados

3.1. *A manihot esculenta crantz: aspectos botânicos, agronômicos e alimentares*

A *Manihot esculenta* Crantz apresenta ampla diversidade genética, refletida na existência de milhares de variedades locais adaptadas a distintos ambientes edafoclimáticos. Do ponto de vista agronômico e alimentar, a classificação mais recorrente distingue variedades doces e amargas, com base na concentração de glicosídeos cianogênicos, especialmente linamarina e lotaustralina (Jørgensen *et al.*, 2011). Essa distinção, frequentemente simplificada em manuais técnicos, mascara a complexidade bioquímica e ecológica da espécie.

Estudos fisiológicos demonstram que a síntese de glicosídeos cianogênicos está diretamente associada a mecanismos de defesa da planta, variando conforme genótipo, estresse hídrico e condições de cultivo (Jørgensen *et al.*, 2011). Nesse sentido, a categoria “amarga” não implica inadequação alimentar, mas sim a necessidade de processamento apropriado, historicamente dominado por populações tradicionais (Cardoso *et al.*, 2005). Como afirmam Montagnac, Davis e Tanumihardjo (2008, p. 99), “cassava toxicity is not inherent to the crop, but to inadequate processing practices”, reforçando que o risco não reside na planta em si, mas na ruptura entre conhecimento técnico e práticas culturais.

Embora a raiz seja a parte mais consumida globalmente, a mandioca é uma planta integralmente comestível, cujas folhas, cascas e subprodutos apresentam elevado potencial nutricional e funcional. As folhas de mandioca, por exemplo, concentram teores significativamente superiores de proteínas, minerais e compostos fenólicos quando comparadas à raiz

(latif; müller, 2015). Revisões recentes destacam que o teor proteico das folhas pode ultrapassar 20–30% em base seca, além de conter vitaminas e antioxidantes relevantes (boukhers *et al.*, 2022).

Estudos experimentais mostram que extratos de folhas exibem atividade antioxidante e antimicrobiana significativa (YI *et al.*, 2011), enquanto pesquisas mais recentes identificam a liberação de peptídeos bioativos após hidrólise enzimática das proteínas foliares, com potencial anti-inflamatório e terapêutico (zhang *et al.*, 2025). Subprodutos tradicionalmente descartados, como cascas e bagaço, também têm sido caracterizados como fontes de fibras funcionais e polissacarídeos com aplicações tecnológicas e nutracêuticas (Thuppahige *et al.*, 2023; Ogbonna *et al.*, 2025).

Essa evidência desafia o modelo extrativista e linear de uso da mandioca, apontando para uma abordagem de aproveitamento integral alinhada à bioeconomia e à sustentabilidade alimentar.

A mandioca desempenha papel histórico central na segurança alimentar de milhões de pessoas, especialmente na África, América Latina e Sudeste Asiático. Sua rusticidade, tolerância à seca e capacidade de produzir em solos pobres a tornam um dos cultivos mais resilientes frente à instabilidade climática (Montagnac; Davis; Tanumihardjo, 2009).

Do ponto de vista socioeconômico, a mandioca sustenta sistemas alimentares locais, cadeias curtas de produção e práticas culinárias profundamente enraizadas. Contudo, paradoxalmente, sua associação com pobreza e insegurança alimentar contribuiu para sua marginalização no debate científico e nutricional global (Nzwalo; Cliff, 2011). Essa contradição revela uma dissociação entre relevância social e reconhecimento científico, reforçando a necessidade de reposicionar a mandioca não apenas como “alimento de subsistência”, mas como componente estratégico de dietas sustentáveis e funcionais.

Diante das mudanças climáticas, da instabilidade dos sistemas globais de abastecimento e do aumento das doenças crônicas, a mandioca emerge como alimento estratégico. Sua adaptabilidade agrônômica, combinada ao potencial de biofortificação (Carvalho *et al.*, 2012; Taleon *et al.*, 2018), amplia seu papel para além da segurança calórica, incorporando dimensões de segurança nutricional.

Relatórios recentes apontam que a valorização de culturas negligenciadas, como a mandioca, é fundamental para a construção de sistemas alimentares resilientes, capazes de conciliar produção, saúde e sustentabilidade (Osman *et al.*, 2025). Assim, sua relevância transcende o plano agrícola, inserindo-se no debate contemporâneo sobre soberania alimentar e justiça nutricional.

3.2. Composição nutricional clássica: avanços e insuficiências analíticas

A raiz de mandioca é composta majoritariamente por carboidratos, com teores de amido que podem ultrapassar 80% da matéria seca (Montagnac; Davis; Tanumihardjo, 2009). Essa característica fundamentou sua classificação como alimento energético. Entretanto, estudos recentes demonstram que o tipo de amido e seu comportamento digestivo variam conforme variedade e processamento, influenciando o índice glicêmico e a resposta metabólica (Eyinla *et al.*, 2021).

Processos como fermentação, secagem e extrusão favorecem a formação de amido resistente, fração associada à modulação glicêmica e à saúde intestinal (Astina *et al.*, 2022). Assim, a leitura estritamente calórica ignora diferenças qualitativas fundamentais entre carboidratos rapidamente digestíveis e frações funcionalmente ativas.

Embora a mandioca seja frequentemente descrita como pobre em micronutrientes, essa generalização não se sustenta quando se consideram variedades biofortificadas e partes não convencionais da planta. Raízes de mandioca amarela apresentam teores relevantes de β -caroteno, com retenção significativa após cocção doméstica (Carvalho *et al.*, 2012). Estudos de processamento indicam que até 60–80% dos carotenoides podem ser preservados, dependendo do método

empregado (Taleon *et al.*, 2018).

As folhas, por sua vez, são ricas em minerais como ferro, cálcio e magnésio, além de vitaminas hidrossolúveis, reforçando seu potencial no combate a deficiências nutricionais em contextos vulneráveis (Latif; Müller, 2015; Boukhers *et al.*, 2022).

A baixa concentração proteica da raiz (1–2% em base fresca) contribuiu para a percepção da mandioca como alimento nutricionalmente limitado. No entanto, essa avaliação ignora tanto o papel das folhas quanto o potencial bioativo das proteínas. Estudos recentes demonstram que a hidrólise das proteínas da mandioca gera peptídeos com atividade antioxidante e potencial terapêutico (Zhang *et al.*, 2025).

Pesquisas sobre folhas indicam perfis de aminoácidos que, embora limitados em metionina, podem complementar dietas baseadas em cereais (Latif; Müller, 2015). Essa evidência reforça a necessidade de avaliar proteínas não apenas quantitativamente, mas também por sua funcionalidade bioquímica.

Grande parte dos bancos de dados nutricionais internacionais ainda se baseia em médias genéricas, frequentemente derivadas de variedades específicas e de métodos analíticos antigos. Como consequência, compostos bioativos, amido resistente, polifenóis e diferenças varietais são sub-representados ou totalmente ausentes (Montagnac; Davis; Tanumihardjo, 2009).

Essa lacuna contribui para decisões políticas e recomendações dietéticas que não refletem a complexidade real da mandioca. Revisões recentes apontam a urgência de atualizar esses bancos com dados que incorporem diversidade genética, processamento e bioatividade, sob pena de perpetuar um reducionismo nutricional incompatível com o avanço da ciência dos alimentos (Mohidin *et al.*, 2023).

3.3. Compostos bioativos da mandioca: uma abordagem bioquímica integrada

A mandioca configura-se como uma matriz alimentar bioquimicamente heterogênea, na qual diferentes partes da planta concentram classes distintas de compostos bioativos. A literatura recente evidencia que a avaliação restrita à raiz fresca obscurece frações funcionais relevantes presentes sobretudo nas folhas e em subprodutos do processamento (Montagnac; Davis; Tanumihardjo, 2009; Mohidin *et al.*, 2023).

Os polifenóis constituem um dos grupos bioativos mais expressivos da mandioca, especialmente nas folhas. Estudos relatam concentrações variando entre 300 e 1.200 mg EAG/100 g (base seca), dependendo da variedade e do método analítico (Latif; Müller, 2015; Boukhers *et al.*, 2022). Yi *et al.* (2011, p. 10162) destacam que “*cassava leaf extracts showed strong antioxidant activity correlated with their phenolic content*”, evidenciando relação direta entre teor fenólico e capacidade antioxidante. Ensaio de digestão simulada indicam que parte significativa desses compostos mantém bioacessibilidade após as fases gástrica e intestinal (Laya; Koubala; *et al.*, 2020).

A biofortificação da mandioca com carotenoides, sobretudo β -caroteno, representa avanço estratégico na interface entre nutrição e saúde pública. Variedades de mandioca amarela podem alcançar até 15 $\mu\text{g/g}$ de β -caroteno (base fresca), com retenção superior a 70% após cocção doméstica (Carvalho *et al.*, 2012). Segundo Carvalho *et al.* (2012, p. 6), “*the retention of β -carotene after boiling was higher than 70% in several yellow cassava genotypes*”. Estudos adicionais mostram que métodos de processamento moderado preservam melhor esses compostos do que técnicas mais agressivas (Taleon *et al.*, 2018), reforçando o papel da mandioca biofortificada no combate à deficiência de vitamina A.

Além dos micronutrientes, a mandioca destaca-se pela presença de fibras alimentares e amido resistente, cuja proporção aumenta após fermentação, resfriamento ou modificação tecnológica (Eyinla *et al.*, 2021). Ensaio clínicos

randomizados demonstraram que maltodextrinas resistentes derivadas da mandioca promoveram melhorias significativas em parâmetros metabólicos, como glicemia e perfil lipídico (ASTINA *et al.*, 2022). Os autores afirmam que “*resistant tapioca maltodextrin significantly improved metabolic parameters compared to placebo*” (Astina *et al.*, 2022, p. 910), indicando relevância clínica dessas frações.

Com o objetivo de sintetizar quantitativamente as evidências disponíveis, a Tabela 1 apresenta uma comparação dos principais compostos bioativos e frações funcionais da mandioca, segundo a parte da planta analisada (raízes, folhas e subprodutos), com base em valores médios reportados na literatura científica (Latif; Müller, 2015; Boukhers *et al.*, 2022; Thuppahige *et al.*, 2023; Ogbonna *et al.*, 2025).

Tabela 1 – Distribuição quantitativa aproximada de compostos bioativos na mandioca por parte da planta.

Parte da planta	Principais compostos bioativos	Faixa quantitativa aproximada	Evidências funcionais
Raiz	Amido, β -caroteno (biofortificada)	Amido: >70% MS; β -caroteno: até 15 μ g/g	Energia, potencial glicêmico modulado, prevenção de deficiência de vitamina A
Folhas	Polifenóis, flavonoides, proteínas, peptídeos bioativos	Polifenóis: 300–1.200 mg EAG/100 g (BS); proteínas: 20–30% BS	Antioxidante, anti-inflamatório, antimicrobiano
Subprodutos (cascas, bagaço)	Fibras, polissacarídeos, amido resistente	Fibras totais: 30–60% BS	Modulação da microbiota, aplicações nutraceuticas e tecnológicas

Fonte: Elaboração própria a partir da literatura revisada.

A Tabela 1 evidencia que o potencial nutraceutico da mandioca é distribuído de forma assimétrica entre suas partes. Enquanto a raiz concentra energia e carotenoides biofortificados, as folhas apresentam densidade significativamente maior de compostos antioxidantes e proteínas bioativas, e os subprodutos emergem como fontes relevantes de fibras funcionais. Essa distribuição reforça que análises centradas exclusivamente na raiz fresca conduzem a uma subavaliação sistemática do valor funcional global da planta (Mohidin *et al.*, 2023).

Avanços recentes identificaram que a hidrólise enzimática das proteínas da mandioca, especialmente das folhas, libera peptídeos bioativos com elevada capacidade antioxidante. Zhang *et al.* (2025) relatam que “*enzymatic hydrolysis unlocked peptides with remarkable antioxidant capacity*” (p. 7), sugerindo potencial terapêutico e aplicação em formulações nutraceuticas. Esse campo amplia significativamente a relevância bioquímica da mandioca, tradicionalmente considerada pobre em proteínas de interesse funcional.

A funcionalidade dos compostos bioativos depende de sua estabilidade ao longo do trato gastrointestinal. Estudos de digestão simulada indicam que polifenóis das folhas mantêm bioacessibilidade relevante após as fases gástrica e intestinal (Laya; Koubala; *et al.*, 2020), corroborando os efeitos antioxidantes observados em modelos celulares (Yi *et al.*, 2011). Esses dados fortalecem a plausibilidade biológica dos benefícios atribuídos à mandioca.

3.4. Folhas de mandioca: do subaproveitamento ao reconhecimento funcional

As folhas de mandioca apresentam densidade nutricional substancialmente superior à da raiz, com teores elevados de proteínas, fibras, minerais e compostos bioativos. Latif e Müller (2015) sintetizam que as folhas podem conter até dez vezes mais proteína do que a raiz, além de concentrações expressivas de ferro e cálcio. Boukhers *et al.* (2022) reforçam que esse perfil posiciona as folhas como recurso estratégico em dietas de baixo custo.

Extratos de folhas demonstram atividade antioxidante robusta e ação antimicrobiana contra patógenos alimentares (Yi *et al.*, 2011). Evidências mais recentes apontam efeitos anti-inflamatórios associados a polifenóis e peptídeos bioativos (Cai *et al.*, 2025), ampliando o interesse das folhas como ingrediente funcional e nutracêutico.

Apesar do elevado valor nutricional, as folhas contêm glicosídeos cianogênicos que exigem processamento adequado. Métodos suaves de fervura, secagem e fermentação reduzem significativamente esses compostos, preservando proteínas e vitaminas (Bradbury; Denton, 2011). Segundo os autores, “*mild processing methods effectively remove cyanogens while conserving key nutrients*” (Bradbury; Denton, 2011, p. 678), evidenciando viabilidade tecnológica e segurança alimentar.

A convergência entre densidade nutricional, bioatividade e técnicas de processamento tem impulsionado o reconhecimento das folhas de mandioca como ingrediente nutracêutico emergente. Formulações enriquecidas com folhas demonstram aumento significativo de compostos antioxidantes e fibras, com boa aceitabilidade sensorial quando corretamente processadas (Boukhers *et al.*, 2024). Esse movimento sinaliza a transição das folhas de subproduto negligenciado para componente estratégico em sistemas alimentares funcionais e sustentáveis.

3.5. Glicosídeos cianogênicos: risco, mitigação e redimensionamento científico

Os glicosídeos cianogênicos linamarina e lotaustralina são metabólitos secundários nitrogenados presentes na mandioca, com função primária de defesa vegetal. Do ponto de vista bioquímico, ambos derivam de aminoácidos (valina e isoleucina, respectivamente) e, quando hidrolisados pela enzima linamarase, liberam ácido cianídrico (HCN) (Jørgensen *et al.*, 2011). Essa reação ocorre principalmente quando o tecido vegetal é rompido, como no descascamento ou trituração.

Jørgensen *et al.* (2011, p. 283) descrevem que “*the biosynthesis of cyanogenic glucosides in cassava is tightly regulated and varies among tissues and genotypes*”, indicando variabilidade significativa entre variedades, órgãos da planta e condições ambientais. Essa variabilidade explica por que avaliações generalistas do “teor de cianeto da mandioca” carecem de precisão científica.

A ingestão crônica de mandioca inadequadamente processada tem sido associada a quadros de toxicidade por cianeto, incluindo konzo, uma neuropatia motora irreversível descrita principalmente em contextos de insegurança alimentar extrema (Nzwalo; Cliff, 2011). No entanto, a literatura epidemiológica indica que tais quadros emergem da convergência entre alto consumo de variedades amargas, ausência de processamento adequado e dietas pobres em enxofre e proteínas, e não do consumo de mandioca per se (Nambisan, 2011).

Nzwalo e Cliff (2011, p. 4) afirmam que “*konzo is a disease of poverty rather than of cassava consumption alone*”, reforçando que fatores socioeconômicos e nutricionais são determinantes centrais. Revisões recentes questionam a extrapolação desses cenários extremos para contextos nos quais práticas tradicionais e tecnologias de processamento estão presentes (Osman *et al.*, 2025).

Diversos estudos demonstram que processamentos tradicionais, como fermentação, prensagem, secagem e cocção, são altamente eficazes na redução dos glicosídeos cianogênicos. Processos combinados podem reduzir o teor de cianeto em 90–99%, dependendo do método e da variedade (Cardoso *et al.*, 2005; Bradbury; Denton, 2011).

A Tabela 2 sintetiza dados quantitativos da literatura sobre a eficiência de métodos tradicionais e científicos na redução de glicosídeos cianogênicos em raízes e folhas de mandioca, com base em estudos experimentais e revisões (Cardoso *et al.*, 2005; Bradbury; Denton, 2011; Nambisan, 2011).

Tabela 2 – Efeito de diferentes métodos de processamento na redução de glicosídeos cianogênicos da mandioca.

Método de processamento	Parte da planta	Redução aproximada de cianeto (%)	Referências
Fervura em água	Raiz / folhas	70–90%	Bradbury; Denton (2011)
Fermentação tradicional	Raiz	90–95%	Cardoso <i>et al.</i> (2005)
Secagem ao sol	Raiz	80–95%	Nambisan (2011)
Processamento combinado	Raiz	95–99%	Cardoso <i>et al.</i> (2005)

Fonte: Elaboração própria a partir da literatura revisada.

A Tabela 2 demonstra que a eficácia do processamento é robusta e consistente entre diferentes abordagens, sobretudo quando métodos são combinados. Esses dados refutam a ideia de que a mandioca seja intrinsecamente perigosa, evidenciando que o risco está associado à ruptura entre consumo e técnica, e não à composição bioquímica da planta.

Apesar das evidências sobre a eficácia do processamento, a mandioca continua frequentemente retratada como alimento de risco em discursos técnicos e midiáticos. Esse alarmismo nutricional ignora tanto a longa história de consumo seguro quanto os avanços tecnológicos documentados (Montagnac; Davis; Tanumihardjo, 2008).

Nambisan (2011) argumenta que estratégias de educação alimentar e disseminação de técnicas adequadas são mais eficazes do que a estigmatização do cultivo. Revisões recentes reforçam que políticas baseadas exclusivamente no risco toxicológico podem comprometer a segurança alimentar em regiões onde a mandioca é pilar dietético (Osman *et al.*, 2025).

A reavaliação contemporânea do risco-benefício da mandioca exige considerar, simultaneamente, riscos controláveis e benefícios nutricionais e funcionais crescentes. Quando adequadamente processada, a mandioca apresenta níveis de cianeto compatíveis com padrões de segurança alimentar, enquanto oferece fibras funcionais, carotenoides e compostos bioativos relevantes (Montagnac; Davis; Tanumihardjo, 2009).

Assim, a narrativa científica precisa deslocar-se de uma lógica de risco absoluto para uma análise contextualizada, integrando bioquímica, tecnologia de alimentos e determinantes sociais da saúde.

4. Discussão

4.1. Efeitos do processamento na bioatividade da mandioca

O processamento exerce papel ambivalente sobre a mandioca, podendo tanto reduzir compostos indesejáveis quanto preservar ou potencializar frações bioativas. Cozimento e fermentação, por exemplo, são eficazes na redução de cianetos e na modificação estrutural do amido (Montagnac; Davis; Tanumihardjo, 2008). A extrusão e a secagem controlada, por sua vez, influenciam a formação de amido resistente e a estabilidade de compostos fenólicos (Eyinla *et al.*, 2021).

A retenção de carotenoides após o processamento é variável, mas frequentemente superior ao que se supunha em abordagens mais antigas. Estudos mostram retenção de 60–80% de β -caroteno após cocção, dependendo do método e da variedade (Carvalho *et al.*, 2012; Taleon *et al.*, 2018). Carvalho *et al.* (2012, p. 6) destacam que “*boiling preserved most of the total carotenoid content in yellow cassava*”, evidenciando que o preparo doméstico não inviabiliza o potencial nutricional biofortificado.

O processamento também influencia o índice glicêmico (IG) dos alimentos derivados da mandioca. Fermentação e resfriamento promovem retrogradação do amido, aumentando a fração resistente e reduzindo a resposta glicêmica (Eyinla *et al.*, 2021). Ensaios clínicos com derivados funcionais corroboram esses achados, indicando melhora no controle glicêmico

(Astina *et al.*, 2022). Mais do que uma etapa de neutralização de riscos, o processamento deve ser compreendido como ferramenta de potencialização funcional da mandioca. A combinação entre técnicas tradicionais e inovação tecnológica permite maximizar compostos bioativos, preservar micronutrientes e modular respostas metabólicas (Boukhers *et al.*, 2024).

Essa perspectiva desloca o processamento do campo da “correção de defeitos” para o da engenharia nutricional, reposicionando a mandioca como matriz estratégica para o desenvolvimento de alimentos funcionais e nutracêuticos.

4.2. Mandioca, microbiota intestinal e saúde metabólica

A compreensão contemporânea da relação entre alimentação e saúde metabólica tem destacado o papel central da microbiota intestinal como mediadora dos efeitos fisiológicos dos alimentos. Nesse contexto, a mandioca emerge como matriz relevante, sobretudo em função do amido resistente e das fibras fermentáveis, capazes de modular ecossistemas microbianos e produzir metabólitos de interesse metabólico.

O amido resistente (AR) da mandioca atua como substrato fermentável no cólon, promovendo a produção de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC), como acetato, propionato e butirato, metabólitos associados à integridade da mucosa intestinal e à regulação metabólica (Eyinla *et al.*, 2021). O teor de AR varia conforme variedade e processamento, podendo aumentar significativamente após fermentação e retrogradação do amido (Montagnac; Davis; Tanumihardjo, 2008).

Estudos experimentais indicam que dietas enriquecidas com AR derivado da mandioca favorecem o crescimento de bactérias benéficas, contribuindo para redução de inflamação intestinal e melhora da sensibilidade à insulina (Astina *et al.*, 2022). Modelos animais têm fornecido evidências consistentes sobre os efeitos metabólicos de fibras derivadas da mandioca. Yang *et al.* (2025) demonstraram que a suplementação com fibra de mandioca preveniu ganho de peso e inflamação induzidos por dieta hiperlipídica, concomitantemente à reorganização favorável da microbiota intestinal. Os autores relatam que “*cassava fiber significantly altered gut microbiota composition and attenuated obesity-related inflammation*” (Yang *et al.*, 2025, p. 8). Esses achados reforçam que os efeitos da mandioca sobre obesidade e inflamação não se limitam à redução calórica, mas envolvem mecanismos microbianos e imunometabólicos.

Além do amido resistente, fibras provenientes de cascas e bagaço de mandioca apresentam propriedades prebióticas relevantes. Caracterizações físico-químicas indicam elevada capacidade de retenção de água, fermentabilidade seletiva e potencial para formulações funcionais (Thuppahige *et al.*, 2023; Ogbonna *et al.*, 2025). Esses subprodutos, historicamente descartados, passam a ser compreendidos como ingredientes prebióticos de baixo custo, com aplicabilidade tanto em alimentos funcionais quanto em suplementos dietéticos.

A modulação da microbiota por fibras e AR da mandioca tem implicações diretas para a síndrome metabólica e o diabetes tipo 2. Ensaios clínicos com maltodextrina resistente derivada da mandioca demonstraram redução significativa de glicemia de jejum e melhora do perfil lipídico em adultos com sobrepeso (Astina *et al.*, 2022).

Esses resultados sugerem que derivados funcionais da mandioca podem integrar estratégias dietéticas para prevenção e manejo de distúrbios metabólicos, especialmente em populações com acesso limitado a alimentos funcionais de alto custo.

A Tabela 3 sintetiza evidências experimentais e clínicas sobre os efeitos do amido resistente e das fibras da mandioca na microbiota intestinal e em desfechos metabólicos, com base nos estudos mais robustos disponíveis (Astina *et al.*, 2022; Yang *et al.*, 2025; Eyinla *et al.*, 2021).

Tabela 3 – Evidências sobre efeitos da mandioca na microbiota e saúde metabólica.

Tipo de estudo	Intervenção	Modelo	Principais efeitos observados	Referência
Ensaio clínico randomizado	Maltodextrina resistente de mandioca	Humanos	↓ glicemia, ↓ lipídios plasmáticos	Astina <i>et al.</i> (2022)
Estudo experimental	Fibra de mandioca	Camundongos	↓ obesidade, ↓ inflamação, ↑ diversidade microbiana	Yang <i>et al.</i> (2025)
Estudo tecnológico	Processamento do amido	In vitro	↑ amido resistente, ↓ digestibilidade	Eyinla <i>et al.</i> (2021)

Fonte: Elaboração própria a partir da literatura revisada.

A Tabela 3 evidencia convergência entre estudos experimentais e clínicos, indicando que frações da mandioca exercem efeitos metabólicos relevantes mediados pela microbiota. A consistência dos achados fortalece a plausibilidade translacional desses ingredientes para estratégias nutracêuticas.

4.3. Evidências nutracêuticas e aplicações em doenças crônicas

O conjunto de evidências revisadas posiciona a mandioca como matriz com potencial nutracêutico relevante, especialmente no contexto das doenças crônicas não transmissíveis (DCNT). Esse potencial decorre da ação integrada de fibras funcionais, compostos antioxidantes e peptídeos bioativos.

Estudos clínicos e experimentais demonstram que derivados funcionais da mandioca contribuem para redução de marcadores associados à obesidade e dislipidemias, sobretudo quando incorporados em dietas estruturadas (Astina *et al.*, 2022; Yang *et al.*, 2025). Esses efeitos são mediados tanto por redução da resposta glicêmica quanto por modulação da microbiota intestinal.

Polifenóis e peptídeos bioativos da mandioca apresentam capacidade antioxidante significativa, contribuindo para a neutralização de espécies reativas de oxigênio e para a atenuação de processos inflamatórios crônicos (Yi *et al.*, 2011; Zhang *et al.*, 2025). Cai *et al.* (2025) destacam que compostos das folhas apresentam atividade anti-inflamatória relevante, ampliando o escopo terapêutico da planta.

A combinação entre fibras fermentáveis, amido resistente e compostos antioxidantes exerce efeitos benéficos sobre o metabolismo lipídico e o controle glicêmico, fatores-chave para a saúde cardiovascular (Astina *et al.*, 2022). A redução do índice glicêmico de alimentos processados à base de mandioca reforça seu potencial em dietas cardioprotetoras (Eyinla *et al.*, 2021).

Embora ainda incipiente, a literatura sugere que a redução do estresse oxidativo sistêmico e da inflamação, associada ao consumo de compostos bioativos da mandioca, pode gerar efeitos neuroprotetores indiretos. Esse potencial é particularmente relevante quando se considera o papel da microbiota no eixo intestino–cérebro, embora sejam necessários estudos específicos para confirmar tais efeitos (Mohidin *et al.*, 2023).

Apesar do número crescente de estudos experimentais, a literatura clínica ainda é limitada, concentrando-se em ingredientes isolados (como maltodextrinas resistentes) e em períodos de intervenção relativamente curtos (Astina *et al.*, 2022). Essa assimetria reforça a necessidade de ensaios clínicos de maior duração, com alimentos integrais e desfechos clínicos robustos. Ainda assim, a convergência entre evidências bioquímicas, experimentais e clínicas confere solidez ao potencial nutracêutico da mandioca.

4.4. Subprodutos da mandioca e economia circular funcional

A expansão do olhar científico sobre a mandioca tem deslocado o foco da raiz para o aproveitamento integral da planta, inserindo seus subprodutos no debate contemporâneo sobre economia circular funcional, sustentabilidade e inovação alimentar.

Cascas e bagaço de mandioca, tradicionalmente descartados ou destinados à alimentação animal, apresentam elevado teor de fibras alimentares, polissacarídeos estruturais e amido resistente. Estudos de caracterização indicam que esses resíduos podem conter 30–60% de fibras totais (base seca), além de propriedades tecnológicas relevantes, como alta capacidade de retenção de água (Thuppahige *et al.*, 2023).

Ogbonna *et al.* (2025) demonstraram que polissacarídeos extraídos de cascas apresentam capacidade emulsificante significativa, ampliando o potencial de aplicação desses subprodutos na indústria de alimentos e nutraceuticos. Esses achados reforçam que resíduos da mandioca não representam passivos ambientais, mas ativos biofuncionais subexplorados.

Do ponto de vista tecnológico, fibras e polissacarídeos da mandioca têm sido investigados como ingredientes funcionais, atuando como espessantes, estabilizantes, prebióticos e carreadores de compostos bioativos (Thuppahige *et al.*, 2023; Ogbonna *et al.*, 2025). Em formulações nutraceuticas, esses componentes contribuem para modulação da microbiota, controle glicêmico e melhora do perfil lipídico, conforme evidenciado em estudos experimentais e clínicos com fibras derivadas da mandioca (Astina *et al.*, 2022; Yang *et al.*, 2025).

Esse conjunto de aplicações reposiciona os subprodutos da mandioca no centro da inovação alimentar, rompendo com a lógica linear de produção-consumo-descarte.

A Tabela 4 sintetiza evidências sobre a composição e as aplicações tecnológicas e nutraceuticas de subprodutos da mandioca, com base em estudos de caracterização físico-química e funcional (Thuppahige *et al.*, 2023; Ogbonna *et al.*, 2025).

Tabela 4 – Subprodutos da mandioca: composição, propriedades e aplicações potenciais.

Subproduto	Principais componentes	Propriedades funcionais	Aplicações potenciais
Cascas	Fibras, polissacarídeos	Emulsificante, prebiótica	Alimentos funcionais, suplementos
Bagaço	Fibras, amido resistente	Fermentável, modulador glicêmico	Ingredientes prebióticos
Resíduos processados	Polissacarídeos	Retenção de água, estabilidade	Tecnologia de alimentos

Fonte: Elaboração própria a partir da literatura revisada.

A Tabela 4 evidencia que os subprodutos da mandioca apresentam propriedades funcionais compatíveis com aplicações de alto valor agregado. Essa constatação fortalece a integração entre ciência dos alimentos e sustentabilidade, indicando que a valorização desses resíduos pode gerar benefícios econômicos, nutricionais e ambientais simultaneamente.

A incorporação dos subprodutos da mandioca em cadeias produtivas funcionais contribui diretamente para a redução do desperdício alimentar e para a mitigação de impactos ambientais. Revisões recentes destacam que a valorização de resíduos agrícolas é elemento-chave para sistemas alimentares sustentáveis, especialmente em países tropicais (Mohidin *et al.*, 2023).

No caso da mandioca, essa estratégia é particularmente relevante devido ao elevado volume de resíduos gerados no processamento industrial e artesanal, reforçando o papel da inovação tecnológica como vetor de sustentabilidade.

A mandioca ocupa posição estratégica na bioeconomia de países tropicais, ao articular produção agrícola, processamento local e inovação funcional. O aproveitamento integral da planta fortalece cadeias curtas, gera renda e valoriza conhecimentos tradicionais associados ao processamento e uso alimentar (Montagnac; Davis; Tanumihardjo, 2009). Assim, a economia circular aplicada à mandioca não se limita à eficiência produtiva, mas integra dimensões sociais, culturais e territoriais, alinhando-se a modelos de desenvolvimento sustentável.

4.5. Mandioca, saúde pública e segurança alimentar global

A relevância da mandioca transcende o âmbito nutricional individual, inserindo-se como componente estratégico de políticas de saúde pública e segurança alimentar global, sobretudo em regiões vulneráveis às mudanças climáticas.

A mandioca é reconhecida como uma das culturas mais resilientes a estresses climáticos, incluindo seca prolongada e solos de baixa fertilidade. Essa característica a torna estratégica frente às mudanças climáticas e à instabilidade da produção agrícola global (Montagnac; Davis; Tanumihardjo, 2009). Revisões sistemáticas apontam que a dependência crescente de poucas culturas globais aumenta a vulnerabilidade alimentar, reforçando a necessidade de diversificação baseada em espécies como a mandioca (Osman *et al.*, 2025).

Programas de biofortificação da mandioca com β -caroteno têm demonstrado potencial significativo no combate à deficiência de vitamina A, especialmente em populações dependentes de alimentos básicos (Carvalho *et al.*, 2012; TALEON *et al.*, 2018). A retenção elevada de carotenoides após cocção reforça a viabilidade dessas estratégias em contextos domésticos e comunitários.

Essas evidências sustentam a incorporação da mandioca biofortificada em políticas nutricionais e programas de alimentação pública. Ao combinar baixo custo, adaptabilidade cultural e potencial funcional, a mandioca se apresenta como alimento-chave para dietas acessíveis e saudáveis. Diferentemente de muitos alimentos funcionais industrializados, derivados da mandioca podem ser produzidos localmente, reduzindo dependência de importações e ampliando soberania alimentar (Latif; Müller, 2015). Essa característica é particularmente relevante em regiões onde a transição nutricional ocorre de forma acelerada, com aumento de doenças crônicas e persistência de deficiências nutricionais.

Em países tropicais da África, América Latina e Ásia, a mandioca desempenha papel central na alimentação cotidiana. Quando associada a práticas adequadas de processamento, biofortificação e aproveitamento integral, a mandioca pode contribuir simultaneamente para segurança alimentar, melhoria nutricional e redução das DCNT (Osman *et al.*, 2025; Mohidin *et al.*, 2023). Dessa forma, a mandioca emerge como elemento estratégico para políticas integradas de agricultura, nutrição e saúde pública, especialmente em sistemas alimentares vulneráveis.

4.6. Limitações e perspectivas

Apesar do avanço significativo observado nas últimas duas décadas, a literatura científica sobre a *Manihot esculenta* Crantz apresenta limitações estruturais que condicionam tanto a interpretação dos resultados quanto sua tradução em políticas públicas e práticas clínicas. Uma das lacunas mais evidentes refere-se à escassez de ensaios clínicos controlados em humanos, especialmente aqueles que avaliem o consumo de alimentos integrais à base de mandioca, e não apenas ingredientes isolados. A maioria das evidências clínicas concentra-se em derivados específicos, como maltodextrinas resistentes, em períodos relativamente curtos de intervenção (Astina *et al.*, 2022).

Embora esses estudos forneçam sinais promissores de melhora metabólica, sua extrapolação para padrões

alimentares reais permanece limitada. Revisões sistemáticas recentes reconhecem essa assimetria entre evidências experimentais robustas e evidências clínicas ainda incipientes (Mohidin *et al.*, 2023; Osman *et al.*, 2025), apontando a necessidade de estudos longitudinais e culturalmente contextualizados.

Outra lacuna central diz respeito à subexploração científica das folhas de mandioca, apesar de seu reconhecido perfil nutricional superior. Embora estudos recentes tenham avançado na caracterização de compostos fenólicos, peptídeos bioativos e atividades antioxidantes (Yi *et al.*, 2011; Zhang *et al.*, 2025; Cai *et al.*, 2025), essas evidências ainda são fragmentadas e pouco integradas a pesquisas clínicas ou tecnológicas em larga escala.

Boukhers *et al.* (2022) destacam que as folhas permanecem marginalizadas nas cadeias alimentares formais, em contraste com seu elevado potencial nutracêutico. Essa lacuna reflete não apenas desafios tecnológicos, mas também barreiras culturais e regulatórias que limitam sua incorporação em dietas e produtos funcionais.

Apesar da ampliação do conhecimento bioquímico, persiste na literatura, e sobretudo em bancos de dados nutricionais, um reducionismo nutricional que associa a mandioca quase exclusivamente ao amido e ao valor energético (Montagnac; Davis; Tanumihardjo, 2009). Essa abordagem negligencia compostos bioativos, frações fermentáveis, efeitos sobre a microbiota e impactos metabólicos documentados em estudos recentes (Eyinla *et al.*, 2021; Yang *et al.*, 2025).

Tal reducionismo não é apenas técnico, mas epistemológico, pois condiciona recomendações dietéticas, políticas públicas e prioridades de pesquisa, perpetuando a subvalorização científica da mandioca frente a outras matrizes alimentares.

A fragmentação disciplinar constitui outra limitação relevante. Estudos agrônômicos, bioquímicos, tecnológicos e epidemiológicos frequentemente avançam de forma paralela, com pouca integração conceitual. Por exemplo, pesquisas sobre fermentação tradicional e microbiologia associada à mandioca (Kostinek *et al.*, 2005) raramente dialogam com estudos de nutrição funcional ou saúde metabólica.

Essa desconexão limita a compreensão sistêmica da mandioca como alimento, indicando a necessidade de abordagens interdisciplinares que articulem ciência dos alimentos, microbiologia, nutrição, saúde pública e ciências sociais.

À luz das evidências revisadas e das lacunas identificadas, delineiam-se perspectivas promissoras para o reposicionamento científico da mandioca no cenário global da nutrição e da saúde. Os dados acumulados indicam que a mandioca possui atributos suficientes para ser considerada uma matriz nutracêutica global, especialmente quando analisada em sua totalidade (raízes, folhas e subprodutos). Revisões amplas sobre suas atividades farmacológicas e nutricionais sustentam esse reposicionamento, desde que superadas leituras restritivas e contextuais (Mohidin *et al.*, 2023).

Esse reconhecimento é particularmente relevante para países tropicais, onde a mandioca já ocupa papel central na alimentação cotidiana.

O avanço da tecnologia de alimentos abre espaço para o desenvolvimento de alimentos funcionais, prebióticos e nutracêuticos derivados da mandioca, incluindo fibras, polissacarídeos, peptídeos bioativos e farinhas enriquecidas (BOUKHERS *et al.*, 2024; OGBONNA *et al.*, 2025). A valorização de subprodutos, aliada à biofortificação e ao processamento otimizado, pode gerar produtos de alto valor agregado, acessíveis e culturalmente adequados.

Uma agenda científica consistente sobre a mandioca deve integrar saberes tradicionais de processamento e consumo com métodos científicos contemporâneos. Evidências sobre a eficácia de fermentações tradicionais e práticas locais na segurança e funcionalidade da mandioca (Cardoso *et al.*, 2005; Bradbury; Denton, 2011; Kostinek *et al.*, 2005) demonstram que tais conhecimentos não são obstáculos, mas ativos científicos relevantes.

Essa integração é fundamental para evitar abordagens tecnocráticas descontextualizadas e para promover soluções alimentares socialmente enraizadas.

Este estudo aponta para a urgência de pesquisa translacional, capaz de conectar achados bioquímicos e

experimentais a intervenções clínicas e políticas públicas. Ensaios clínicos de maior duração, estudos com alimentos integrais e avaliações de impacto em populações reais são passos necessários para consolidar a mandioca como alimento funcional de relevância global (Astina *et al.*, 2022; Osman *et al.*, 2025).

Ao alinhar inovação científica, sustentabilidade e justiça alimentar, a agenda futura sobre a mandioca pode contribuir de forma decisiva para enfrentar simultaneamente a insegurança alimentar e a crescente carga de doenças crônicas.

5. Conclusão

A presente pesquisa evidencia que a *Manihot esculenta* Crantz não pode mais ser compreendida a partir de uma leitura estritamente calórica ou limitada ao papel de alimento de subsistência. As evidências científicas analisadas demonstram que a mandioca constitui uma matriz alimentar complexa, dotada de propriedades nutricionais, bioquímicas e funcionais que sustentam seu reposicionamento como alimento de relevante potencial bioativo e nutracêutico.

Ao longo do artigo, verificou-se que raízes, folhas e subprodutos concentram diferentes classes de compostos bioativos, incluindo fibras fermentáveis, amido resistente, carotenoides, polifenóis e peptídeos bioativos, capazes de atuar sobre processos metabólicos, inflamatórios e oxidativos, bem como de modular a microbiota intestinal. Esses mecanismos fornecem base plausível para os efeitos observados em desfechos relacionados à obesidade, ao diabetes tipo 2, às dislipidemias e a outros componentes da síndrome metabólica, especialmente quando a mandioca é adequadamente processada e integrada a padrões alimentares equilibrados.

A análise sistemática também evidenciou que os riscos tradicionalmente associados ao consumo da mandioca são controláveis e contextuais, estando mais relacionados à ausência de processamento adequado e a condições estruturais de vulnerabilidade do que à composição intrínseca da planta. Nesse sentido, práticas tradicionais e tecnologias alimentares contemporâneas emergem como elementos centrais para a segurança, a funcionalidade e a valorização nutricional da mandioca.

Por fim, destacamos a necessidade de superar o reducionismo nutricional ainda presente em bases de dados e recomendações dietéticas, defendendo abordagens interdisciplinares que integrem ciência dos alimentos, nutrição, saúde pública, sustentabilidade e saberes tradicionais. Articulando evidências empíricas, implicações sociais e perspectivas futuras, concluímos que a mandioca representa um alimento estratégico para enfrentar simultaneamente os desafios da insegurança alimentar, das mudanças climáticas e da crescente carga de doenças crônicas, especialmente em países tropicais e sistemas alimentares vulneráveis.

Referências

- ASTINA, I. M.; *et al.* Tapioca resistant maltodextrin improves metabolic indicators in overweight adults: a randomized controlled trial. **Nutrients**, Basel, v. 14, n. 5, p. 916, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu14050916>
- BOUKHERS, I.; *et al.* Nutrition, healthcare benefits and phytochemical properties of cassava leaves (*Manihot esculenta* Crantz): a review. **Foods**, Basel, v. 11, n. 14, p. 2027, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods11142027>
- BOUKHERS, I.; *et al.* Bioguided optimization of cassava flour enriched with cassava leaves for nutraceutical applications. **Nutrients**, Basel, v. 16, n. 17, p. 3023, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu16173023>
- BRADBURY, J. H.; DENTON, I. C. Mild methods of processing cassava leaves to remove cyanogens and conserve key nutrients. *Food Chemistry*, Oxford, v. 128, n. 3, p. 676–681, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.02.053>
- BRADBURY, J. H.; DENTON, I. C. Mild method for removal of cyanogens from cassava leaves with retention of vitamins and protein. *Food Chemistry*, Oxford, v. 158, p. 417–420, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.02.132>

- CAI, Y.; *et al.* Cassava (*Manihot esculenta*) leaves as a source of bioactive compounds: nutritional value and health-promoting properties. **International Journal of Molecular Sciences**, Basel, v. 26, n. 9, p. 4140, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms26094140>
- CARDOSO, A. P.; *et al.* Processing of cassava roots to remove cyanogens. **Journal of Food Composition and Analysis**, Amsterdam, v. 18, n. 5, p. 451–460, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2004.04.002>
- CARVALHO, L. M. J.; *et al.* Retention of total carotenoid and β -carotene in yellow sweet cassava after domestic cooking. **Food & Nutrition Research**, Stockholm, v. 56, p. 15788, 2012. DOI: <https://doi.org/10.3402/fnr.v56i0.15788>
- EYINLA, T. E.; *et al.* Effect of processing and variety on starch digestibility and glycemic index of popular foods made from cassava. **Food Chemistry**, Oxford, v. 350, p. 129664, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129664>
- JØRGENSEN, K.; *et al.* Biosynthesis of the cyanogenic glucosides linamarin and lotaustralin in cassava. **Plant Physiology**, Rockville, v. 155, n. 1, p. 282–292, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.110.164053>
- KOSTINEK, M.; *et al.* Diversity and technological properties of predominant lactic acid bacteria from fermented cassava used for gari production. **Systematic and Applied Microbiology**, Stuttgart, v. 28, n. 6, p. 527–540, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.syapm.2005.03.001>
- LATIF, S.; MÜLLER, J. Potential of cassava leaves in human nutrition: a review. **Trends in Food Science & Technology**, Cambridge, v. 44, n. 2, p. 147–158, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.04.006>
- LAYA, A.; KOUBALA, B. B.; *et al.* Polyphenols from cassava leaves: stability after in vitro gastrointestinal digestion. **Heliyon**, London, v. 6, n. 3, e03567, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03567>
- MONTAGNAC, J. A.; DAVIS, C. R.; TANUMIHARDJO, S. A. Nutritional value of cassava for use as a staple food and recent advances for improvement. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, Chicago, v. 8, n. 3, p. 181–194, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2009.00077.x>
- MONTAGNAC, J. A.; DAVIS, C. R.; TANUMIHARDJO, S. A. Processing techniques to reduce toxicity and antinutrients of cassava for use as a staple food. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, Chicago, v. 7, n. 2, p. 98–113, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2008.00064.x>
- NAMBISAN, B. Strategies for elimination of cyanogens from cassava for reducing toxicity and improving food safety. **Food and Chemical Toxicology**, Oxford, v. 49, n. 3, p. 690–693, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2010.10.035>
- NZWALO, H.; CLIFF, J. Konzo: from poverty, cassava, and cyanogen intake to toxico-nutritional neurological disease. **PLoS Neglected Tropical Diseases**, San Francisco, v. 5, n. 6, e1051, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0001051>
- OGBONNA, J. C.; *et al.* Characterization and emulsifying ability of cassava peels polysaccharides for food applications. **Polymers**, Basel, v. 17, n. 4, p. 496, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym17040496>
- OSMAN, M.; *et al.* Cyanide in cassava: a systematic review of risks, processing and public health implications in sub-Saharan Africa. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, Lausanne, v. 9, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1636177>
- TALEON, V.; *et al.* Carotenoid retention in biofortified cassava as affected by processing and storage. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 98, n. 8, p. 2933–2941, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.9347>
- THUPPAHIGE, V. T. W.; *et al.* Cassava peel and bagasse as starch-rich fibrous wastes: physicochemical and functional properties. **Food Chemistry**, Oxford, v. 422, p. 136200, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136200>
- YANG, Y.; *et al.* Cassava fiber prevents high-fat diet-induced obesity in mice through gut microbiota restructuring. **Foods**, Basel, v. 14, n. 23, p. 4121, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods14234121>
- YI, Z.; *et al.* Antioxidant and antimicrobial activities of cassava (*Manihot esculenta*) leaf extracts. **Molecules**, Basel, v. 16, n. 12, p. 10157–10167, 2011. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules161210157>
- ZHANG, J.; *et al.* Enzymatic hydrolysis of cassava leaf proteins unlocks antioxidant and therapeutic peptides. **Food Chemistry**, Oxford, v. 449, p. 145280, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.145280>