REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

USO DE RECURSOS REGIONAIS NA ALIMENTAÇÃO DO TAMBAQUI (*COLOSSOMA MACROPOMUM*): AVANÇOS E PERSPECTIVAS

USE OF REGIONAL RESOURCES IN TAMBAQUI (COLOSSOMA MACROPOMUM) NUTRITION: SCIENTIFIC ADVANCES AND PERSPECTIVES FOR SUSTAINABLE FEEDING

USO DE RECURSOS REGIONALES EN LA ALIMENTACIÓN DEL TAMBAQUÍ (COLOSSOMA MACROPOMUM): AVANCES CIENTÍFICOS Y PERSPECTIVAS PARA LA ALIMENTACIÓN SOSTENIBLE

Laíssa de Souza Amatsakio[1], Maria Lúcia Rocha Lima[2], Bruno Adan Sagratzki Cavero[3], Thiago Marinho Pereira[4], Félix Lélis da Silva[5], Léa Carolina de Oliveira Costa[6], José Ribamar da Cruz Freitas Júnior[7], Lian Valente Brandão[8]

e737448
https://doi.org/10.47820/recima21.v7i3.7448

PUBLICADO: 03/2026

RESUMO

A crescente demanda por sistemas aquícolas mais eficientes e ambientalmente responsáveis tem impulsionado pesquisas sobre o uso de recursos regionais na alimentação do tambaqui (*Colossoma macropomum*). Este estudo realizou uma revisão integrativa da literatura científica com o objetivo de analisar avanços relacionados à utilização de coprodutos amazônicos, exigências nutricionais digestíveis, tecnologias de processamento e implicações fisiológicas associadas à sustentabilidade nutricional da espécie. Foram examinados estudos experimentais que abordaram digestibilidade de ingredientes regionais, níveis de aminoácidos digestíveis, uso de enzimas exógenas, parâmetros hematológicos e estratégias de manejo alimentar. Os resultados indicam que coprodutos vegetais apresentam viabilidade técnica quando incluídos em níveis moderados e formulados com base em nutrientes digestíveis. A suplementação enzimática e o processamento térmico ampliam o aproveitamento nutricional, embora sua eficácia dependa da composição da dieta. Indicadores metabólicos demonstram que desempenho zootécnico isolado não é suficiente para avaliar eficiência alimentar. Propõe-se um modelo integrador que articula exigências digestíveis, qualidade do ingrediente, tecnologia de processamento, resposta metabólica e manejo alimentar como base para formulações sustentáveis. Conclui-se que a sustentabilidade nutricional do tambaqui depende da coerência entre formulação, digestibilidade e fisiologia, oferecendo suporte técnico para a valorização da bioeconomia amazônica.

PALAVRAS-CHAVE: Alimentação alternativa. Ingredientes regionais. Digestibilidade.

[1] Graduanda em Engenharia de Pesca, Instituto Federal do Pará, Castanhal-PA, Brasil.
[2] Graduanda em Engenharia de Pesca, Instituto Federal do Pará, Castanhal-PA, Brasil.
[3] Doutor em Biologia de Água Doce e Pesca Interior, Docente do Curso de Engenharia de Pesca, Universidade Federal do Amazonas, Manaus-AM, Brasil.
[4] Doutor em Ciência Animal e Recursos Pesqueiros, Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém-PA, Brasil.
[5] Doutor em Ciências Agrárias, Docente do Curso de Engenharia de Pesca, Instituto Federal do Pará, Castanhal-PA, Brasil.
[6] Doutora em Aquicultura, Docente do Curso de Engenharia de Pesca, Instituto Federal do Pará, Castanhal-PA, Brasil.
[7] Doutor em Biologia Marinha - Aquicultura, Docente do Curso de Engenharia de Pesca, Instituto Federal do Pará, Castanhal-PA, Brasil.
[8] Doutor em Biologia de Água Doce e Pesca Interior, Docente do Curso de Engenharia de Pesca, Instituto Federal do Pará, Castanhal-PA, Brasil.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

ABSTRACT
The increasing demand for efficient and environmentally responsible aquaculture systems has stimulated research on the use of regional resources in tambaqui (Colossoma macropomum) nutrition. This study conducted an integrative literature review aiming to analyze scientific advances regarding Amazonian coproduct utilization, digestible nutrient requirements, processing technologies, and physiological implications associated with sustainable feeding strategies. Experimental studies addressing ingredient digestibility, digestible amino acid levels, exogenous enzyme supplementation, hematological parameters, and feeding management were examined. The findings indicate that plant coproducts are technically viable when included at moderate levels and formulated based on digestible nutrients. Enzyme supplementation and thermal processing enhance nutrient utilization, although their effectiveness depends on diet composition. Metabolic indicators demonstrate that growth performance alone is insufficient to evaluate nutritional efficiency. An integrative conceptual model is proposed linking digestible requirements, ingredient quality, processing technology, metabolic response, and feeding management as the foundation for sustainable formulations. Sustainable tambaqui nutrition relies on coherence between formulation, digestibility, and physiology, supporting the valorization of Amazonian bioeconomy resources.

KEYWORDS: *Alternative feeding. Regional ingredients. Digestibility.*

RESUMEN
La creciente demanda por sistemas acuícolas más eficientes y ambientalmente responsables ha impulsado investigaciones sobre el uso de recursos regionales en la alimentación del tambaquí (Colossoma macropomum). Este estudio realizó una revisión integrativa de la literatura científica con el objetivo de analizar avances relacionados con el uso de coproductos amazónicos, requerimientos nutricionales digestibles, tecnologías de procesamiento e implicaciones fisiológicas asociadas a la sostenibilidad nutricional de la especie. Se examinaron estudios experimentales sobre digestibilidad de ingredientes regionales, niveles de aminoácidos digestibles, suplementación con enzimas exógenas, parámetros hematológicos y manejo alimentario. Los resultados indican que los coproductos vegetales son técnicamente viables cuando se incluyen en niveles moderados y se formulan con base en nutrientes digestibles. La suplementación enzimática y el procesamiento térmico mejoran el aprovechamiento nutricional, aunque su eficacia depende de la composición de la dieta. Los indicadores metabólicos demuestran que el desempeño productivo aislado no es suficiente para evaluar la eficiencia nutricional. Se propone un modelo integrador que articula requerimientos digestibles, calidad del ingrediente, tecnología de procesamiento, respuesta metabólica y manejo alimentario como base para formulaciones sostenibles.

PALABRAS CLAVE*: Alimentación alternativa. Ingredientes regionales. Digestibilidad.*

1. INTRODUÇÃO

A aquicultura consolidou-se como um dos setores de produção de proteína animal de maior crescimento no mundo, impulsionada pela demanda por alimentos de alto valor biológico e pela redução da disponibilidade de estoques pesqueiros naturais. No entanto, a sustentabilidade produtiva da atividade depende diretamente da eficiência nutricional das dietas utilizadas, uma vez que a alimentação representa o principal custo operacional nos sistemas intensivos de cultivo (Dairiki; Silva, 2011). No contexto amazônico, o tambaqui *(Colossoma macropomum)* destaca-se

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

como a principal espécie nativa cultivada, apresentando ampla aceitação de mercado, rusticidade e bom desempenho produtivo.

Entretanto, a formulação de dietas para essa espécie ainda está fortemente baseada em ingredientes convencionais como milho e farelo de soja, cuja aquisição pode elevar significativamente os custos de produção em regiões distantes dos polos agrícolas (Oishi *et al.,* 2010; Rodrigues *et al.,* 2024). Paralelamente, a região amazônica dispõe de ampla diversidade de recursos vegetais e coprodutos agroindustriais com potencial de utilização na alimentação de peixes, incluindo resíduos de frutas, oleaginosas e subprodutos agrícolas. Estudos têm avaliado a digestibilidade e o desempenho produtivo do tambaqui alimentado com coprodutos como torta de cupuaçu (Xavier *et al.,* 2016), resíduo de castanha-do-brasil (Oishi, 2007; Costa *et al.,* 2022), polpa de buriti (Costa *et al.,* 2021), resíduos de maracujá e tucumã (Brandão *et al.,* 2025), além de farinha de banana integral (Silva *et al.,* 2020). A utilização desses ingredientes alternativos está associada não apenas à redução de custos, mas também à valorização da bioeconomia regional e ao fortalecimento de cadeias produtivas locais.

Contudo, a inclusão de coprodutos vegetais pode estar relacionada à presença de fatores antinutricionais, elevado teor de fibra ou limitações na digestibilidade de nutrientes, exigindo avaliação criteriosa quanto aos níveis de inclusão seguros e eficientes (Dairiki *et al.,* 2013; Silva *et al.,* 2019). Além dos ingredientes regionais, avanços importantes têm sido registrados na definição de exigências nutricionais específicas para o tambaqui, com destaque para aminoácidos digestíveis como lisina e metionina+cistina (Gonçalves Júnior *et al.,* 2017; Rodrigues, 2023; Rodrigues *et al.,* 2026), bem como para estratégias de proteína ideal e otimização da digestibilidade de ingredientes proteicos (Guimarães *et al*., 2014; Rodrigues *et al.,* 2024a). O uso de enzimas exógenas, como fitase, também tem demonstrado potencial na melhoria da eficiência nutricional e na redução da excreção de fósforo, contribuindo para menor impacto ambiental (Brandão *et al.,* 2015; Carneiro *et al.,* 2025).

Adicionalmente, a nutrição do tambaqui deve ser analisada sob a perspectiva fisiológica e metabólica, considerando efeitos sobre parâmetros hematológicos, bioquímicos e metabólicos que indicam o estado de saúde e a eficiência de utilização dos nutrientes (Fazio, 2019; Oliveira *et al.,* 2025). Estratégias de manejo alimentar, como taxa e frequência de arraçoamento, também influenciam diretamente o desempenho produtivo e a sustentabilidade dos sistemas de cultivo (Rodrigues *et al*., 2024b).

Apesar do volume crescente de pesquisas experimentais, observa-se que os estudos se encontram dispersos quanto às abordagens metodológicas, níveis de inclusão, fases de cultivo e variáveis analisadas. Essa fragmentação dificulta a consolidação de diretrizes integradas que articulem desempenho produtivo, eficiência nutricional, sustentabilidade ambiental e viabilidade regional.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Diante desse cenário, torna-se necessária uma síntese estruturada da produção científica disponível, capaz de integrar os avanços obtidos, identificar limitações técnicas e apontar perspectivas para o uso sustentável de recursos regionais na alimentação do tambaqui. Assim, o presente estudo tem como objetivo realizar uma revisão integrativa da literatura sobre nutrição sustentável e uso de recursos regionais na alimentação do *tambaqui (Colossoma macropomum)*, analisando avanços científicos, implicações produtivas e perspectivas futuras para a piscicultura amazônica.

2. MÉTODOS

O presente estudo caracteriza-se como uma revisão integrativa da literatura, conduzida com o objetivo de reunir, analisar e sintetizar evidências científicas relacionadas à nutrição sustentável e ao uso de recursos regionais na alimentação do tambaqui (*Colossoma macropomum*). A escolha dessa abordagem fundamenta-se na necessidade de integrar resultados provenientes de diferentes delineamentos metodológicos, incluindo estudos experimentais de desempenho zootécnico, ensaios de digestibilidade, avaliações fisiológicas e análises metabólicas. A revisão integrativa permite a incorporação de pesquisas com distintas estratégias analíticas, favorecendo a construção de uma síntese abrangente e interpretativa do conhecimento disponível (SOUZA; SILVA; CARVALHO, 2010).

A condução metodológica seguiu as etapas clássicas da revisão integrativa descritas por SOUZA; SILVA; CARVALHO (2010) e sistematizadas por SOUSA *et al*. (2023), compreendendo: (i) definição do problema de pesquisa; (ii) estabelecimento de critérios de inclusão e exclusão; (iii) definição da amostra de estudos; (iv) extração e organização das informações; (v) análise crítica dos resultados; e (vi) apresentação e síntese do conhecimento produzido. De forma complementar, foram considerados os princípios de estruturação analítica e organização temática discutidos por SNYDER (2019) e os fundamentos de sistematização e racionalidade científica apresentados por PAUL *et al.* (2021), garantindo rigor metodológico e transparência no processo de síntese.

A questão norteadora da revisão foi definida como: quais avanços científicos têm sido reportados sobre nutrição sustentável e uso de recursos regionais na alimentação do tambaqui, e quais perspectivas futuras podem ser delineadas para a piscicultura amazônica? Essa formulação permitiu integrar aspectos nutricionais, produtivos, fisiológicos e de sustentabilidade regional associados ao cultivo da espécie, orientando a seleção e a análise crítica das evidências científicas disponíveis.

A busca bibliográfica foi realizada em bases de dados amplamente utilizadas em pesquisas nas áreas de aquicultura, nutrição animal e ciências ambientais, incluindo Scopus, Web of Science, ScienceDirect, SciELO e Google Scholar.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Foram utilizados descritores em português e inglês relacionados ao tema, combinando termos como: tambaqui, *Colossoma macropomum*, aquaculture nutrition, digestibility, regional feed ingredients, Amazonian by-products, fish nutrition, sustainable aquaculture e alternative feed ingredients. As estratégias de busca consideraram combinações entre esses termos por meio do uso de operadores booleanos (AND e OR), permitindo ampliar a abrangência e a sensibilidade da recuperação de estudos potencialmente relevantes para a temática investigada.

Foram incluídos estudos envolvendo diretamente *Colossoma macropomum*, contemplando pesquisas sobre exigências nutricionais, aminoácidos digestíveis, utilização de ingredientes alternativos e coprodutos regionais, estratégias de processamento de dietas, digestibilidade aparente de nutrientes, parâmetros hematológicos e bioquímicos, respostas metabólicas e manejo alimentar. Foram excluídos estudos que não abordassem diretamente a nutrição da espécie, que apresentassem foco exclusivo em outras espécies aquícolas ou que não disponibilizassem dados técnicos aplicáveis ao objetivo da revisão.

A amostra final foi composta por 35 documentos, incluindo artigos científicos publicados em periódicos nacionais e internacionais, dissertações, teses e revisões técnicas relevantes para a temática. Os estudos analisados foram publicados no período de 2007 a 2026, considerando publicações disponíveis até o momento da realização da revisão. Todos os documentos selecionados foram analisados integralmente. As informações extraídas contemplaram autoria, ano de publicação, objetivo do estudo, tipo de ingrediente ou estratégia nutricional avaliada, níveis de inclusão testados, variáveis zootécnicas analisadas, parâmetros fisiológicos ou metabólicos avaliados e principais conclusões reportadas.

A análise dos dados foi conduzida por categorização temática, permitindo a organização dos estudos em eixos estruturantes: exigências nutricionais e aminoácidos digestíveis; uso de ingredientes regionais amazônicos; processamento e tecnologias nutricionais; impactos fisiológicos e metabólicos; manejo alimentar; e sustentabilidade produtiva. A síntese foi realizada de forma descritiva e interpretativa, buscando identificar convergências entre resultados, divergências metodológicas, limitações experimentais e lacunas científicas ainda presentes na literatura.

Para assegurar consistência analítica, foram adotados critérios de padronização na extração das informações e na comparação entre resultados experimentais, permitindo a avaliação crítica das evidências disponíveis e reduzindo potenciais vieses interpretativos. Esse procedimento seguiu as recomendações metodológicas discutidas por SOUSA *et al*. (2023), contribuindo para fortalecer a robustez da síntese científica apresentada.

Por se tratar de estudo baseado exclusivamente em análise de literatura científica previamente publicada, não houve necessidade de submissão ou aprovação por Comitê de Ética em Pesquisa.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos 35 estudos incluídos evidencia que a nutrição do tambaqui possui base experimental consistente, sobretudo no que se refere a desempenho zootécnico, digestibilidade aparente e exigências de aminoácidos digestíveis. Entretanto, a produção científica ainda se apresenta fragmentada, com predominância de avaliações isoladas de ingredientes ou variáveis produtivas, raramente integrando desempenho, metabolismo, tecnologia de processamento e viabilidade econômica em um mesmo delineamento.

Diante desse cenário, esta seção organiza os resultados em eixos estruturantes, iniciando pelas exigências nutricionais como referência técnica central, a partir da qual se avaliam ingredientes regionais, tecnologias nutricionais, indicadores fisiológicos e manejo alimentar. Essa abordagem permite discutir sustentabilidade nutricional de forma sistêmica, superando análises pontuais de substituição de ingredientes.

3.1. Exigências nutricionais e aminoácidos digestíveis como base da nutrição sustentável

A sustentabilidade nutricional do tambaqui depende, inicialmente, da definição adequada de suas exigências em proteína e aminoácidos digestíveis. Estudos clássicos e recentes indicam que a formulação baseada exclusivamente em proteína bruta pode levar a desequilíbrios nutricionais, maior excreção nitrogenada e aumento de custos, especialmente quando não se considera a fração digestível dos nutrientes (DAIRIKI; SILVA, 2011; RODRIGUES *et al*., 2024a).

Trabalhos envolvendo dietas livres de farinha de peixe demonstram que o tambaqui pode apresentar bom desempenho produtivo quando alimentado com matrizes vegetais, desde que o nível proteico e o equilíbrio aminoacídico sejam adequadamente ajustados (OISHI; NWANNA; PEREIRA FILHO, 2010). Esse resultado é positivo sob a perspectiva de sustentabilidade, pois indica possibilidade de redução da dependência de ingredientes tradicionalmente importados ou de maior custo. Contudo, a substituição proteica exige atenção rigorosa à suplementação de aminoácidos limitantes e à digestibilidade dos ingredientes utilizados.

Nesse contexto, a definição de exigências de aminoácidos digestíveis representa um avanço relevante para a formulação de dietas mais eficientes. Estudos que avaliaram metionina + cistina digestíveis indicam que níveis inadequados comprometem desempenho e eficiência alimentar, enquanto níveis ajustados promovem melhor crescimento e utilização proteica (Gonçalves Júnior *et al.,* 2017; Aroucha *et al.,* 2023). De maneira semelhante, investigações sobre lisina digestível em diferentes fases de crescimento reforçam seu papel central na deposição proteica e na eficiência de utilização do nitrogênio (Rodrigues, 2023; Rodrigues *et al.,* 2026).

O ponto positivo desses achados reside na consolidação do conceito de proteína ideal aplicada ao tambaqui, permitindo reduzir excessos proteicos e melhorar a eficiência nutricional.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Entretanto, um aspecto crítico identificado é a variabilidade entre estudos quanto às condições experimentais, peso inicial dos peixes e composição basal das dietas, o que exige cautela na generalização direta dos níveis propostos para diferentes sistemas produtivos.

A digestibilidade aparente dos ingredientes também emerge como elemento central na discussão. Avaliações conduzidas com diferentes matérias-primas demonstram que a composição bromatológica isolada não é suficiente para predizer o valor nutricional real do ingrediente, sendo necessária a mensuração da fração efetivamente aproveitável pelo animal (Guimarães *et al.,* 2014; Rodrigues *et al.,* 2024a). Essa abordagem fortalece a formulação baseada em nutrientes digestíveis e reduz riscos de superestimação do valor de ingredientes alternativos.

Além da dimensão produtiva, estudos com enfoque metabólico e isotópico indicam que a resposta nutricional do tambaqui envolve alterações na assimilação e deposição de nutrientes, reforçando a importância de análises integradas que ultrapassem o simples ganho de peso (Nascimento, 2015; Buzollo *et al.,* 2023). O avanço metodológico é significativo, porém ainda pouco explorado de forma aplicada à realidade produtiva regional.

Em síntese, os resultados indicam que:

- A formulação baseada em aminoácidos digestíveis é essencial para sustentabilidade nutricional;
- A redução da proteína bruta deve estar associada ao equilíbrio aminoacídico;
- A digestibilidade é critério decisivo para avaliar ingredientes regionais;
- Ainda há necessidade de integrar dados produtivos e metabólicos com análises econômicas.

Esses elementos estabelecem a base técnica necessária para avaliar criticamente o uso de recursos regionais amazônicos. Sem essa referência, a inclusão de coprodutos poderia comprometer desempenho ou mascarar desequilíbrios nutricionais.

3.2. Frutíferos e resíduos de frutas na alimentação do tambaqui

A utilização de coprodutos oriundos da agroindústria regional tem sido investigada como estratégia para reduzir custos, valorizar cadeias produtivas amazônicas e diminuir a dependência de ingredientes convencionais. No entanto, a viabilidade técnica desses ingredientes depende fundamentalmente de sua digestibilidade, composição química, presença de fatores antinutricionais e impacto sobre desempenho e saúde dos peixes. A seguir, são discutidos os principais resíduos de frutas avaliados no corpus.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

3.2.1. Torta de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*)

O uso da torta de cupuaçu na alimentação de juvenis de tambaqui foi investigado por Xavier *et al.,* (2016), que avaliaram diferentes níveis de inclusão do coproduto em dietas experimentais. O estudo demonstrou que o ingrediente pode ser incorporado até determinado nível sem comprometer significativamente o desempenho zootécnico, indicando potencial de substituição parcial de ingredientes convencionais.

Do ponto de vista positivo, a torta de cupuaçu apresenta disponibilidade regional e potencial contribuição à economia local, além de teor proteico que permite sua inclusão em formulações. A utilização desse coproduto está alinhada à lógica de aproveitamento integral de cadeias agroindustriais, contribuindo para redução de desperdícios.

Entretanto, o estudo também aponta limitações associadas ao aumento do teor de fibra nas dietas com maiores níveis de inclusão. O incremento da fração fibrosa pode afetar a digestibilidade global da dieta e comprometer a eficiência alimentar quando ultrapassados níveis seguros de inclusão. Assim, a utilização do ingrediente exige definição criteriosa do limite de inclusão e, possivelmente, ajustes no balanço energético da formulação.

Além disso, a variabilidade composicional típica de coprodutos agroindustriais representa um fator de risco para formulações comerciais, especialmente quando não há padronização do processamento do resíduo. Esse aspecto limita a adoção direta em larga escala sem controle de qualidade adequado.

Em síntese, a torta de cupuaçu apresenta potencial como ingrediente alternativo, desde que utilizada em níveis moderados e com atenção à digestibilidade da dieta final. Sua viabilidade prática depende da integração com os parâmetros de aminoácidos digestíveis discutidos no eixo anterior, evitando que o aumento de fibra comprometa a eficiência proteica.

3.2.2. Resíduos de maracujá e tucumã

Brandão *et al.,* (2025) avaliaram a digestibilidade e o desempenho de juvenis de tambaqui alimentados com dietas contendo resíduos de maracujá *(Passiflora edulis)* e tucumã *(Astrocaryum vulgare)*, fornecendo dados relevantes sobre coeficientes de digestibilidade aparente e respostas produtivas associadas à inclusão desses coprodutos regionais. Os resultados reforçam a importância da formulação baseada em nutrientes digestíveis, especialmente quando se utilizam ingredientes com maior teor de fibra estrutural.

Em outro estudo, Xavier *et al.,* (2019) investigaram a substituição do farelo de milho por farinha de torta de tucumã (Astrocaryum aculeatum) em dietas para juvenis de tambaqui, avaliando parâmetros como ganho de peso, conversão alimentar aparente, taxa de crescimento específico e eficiência proteica.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

O estudo demonstrou que a substituição pode ser realizada em até 25% sem prejuízo ao desempenho zootécnico, enquanto níveis superiores (50% a 100%) resultaram em redução significativa no ganho de biomassa e piora na conversão alimentar.

Esses resultados indicam que, embora o tucumã apresente potencial energético relevante e com elevado teor lipídico e contribuição calórica, sua inclusão em níveis elevados pode comprometer a eficiência nutricional da dieta, possivelmente em função do teor de fibra e da presença de componentes estruturais que limitam a digestibilidade da proteína e da energia. Assim, a viabilidade técnica desses resíduos depende da definição de limites seguros de inclusão e do adequado balanceamento da relação energia:proteína.

Um aspecto positivo comum aos estudos é o aproveitamento de coprodutos abundantes na região amazônica, o que contribui para redução de custos e valorização da agroindústria regional. Contudo, desafios como a variabilidade sazonal da composição química, ausência de padronização industrial e necessidade de controle bromatológico rigoroso devem ser considerados para adoção comercial em larga escala.

Do ponto de vista técnico e econômico, os dados disponíveis sugerem que resíduos como maracujá e tucumã podem compor dietas para tambaqui desde que utilizados com base em parâmetros de digestibilidade e não apenas na composição centesimal, reforçando a importância da formulação por nutrientes digestíveis e da validação experimental prévia.

3.2.3. Farinha de banana integral

Silva *et al.,* (2020) avaliaram a substituição do milho por farinha de banana integral em dietas práticas para juvenis de tambaqui, analisando digestibilidade, desempenho e variáveis hematológicas e bioquímicas. O estudo é relevante por integrar avaliação produtiva e indicadores fisiológicos, ampliando a análise além do ganho de peso.

Os resultados indicam que a inclusão do ingrediente pode ser realizada até determinado nível sem comprometer o desempenho, desde que respeitado o equilíbrio nutricional da dieta. Como ponto positivo, destaca-se o potencial de substituição parcial de fontes energéticas convencionais, contribuindo para valorização de resíduos agrícolas.

Por outro lado, o aumento excessivo de inclusão pode afetar digestibilidade e conversão alimentar, possivelmente em função do teor de fibra e da composição estrutural do ingrediente. A análise hematológica e bioquímica é importante para indicar que alterações produtivas nem sempre são acompanhadas de sinais clínicos evidentes, reforçando a necessidade de avaliação multifatorial.

Assim como observado nos demais coprodutos frutíferos, a viabilidade do uso da banana integral depende de limites técnicos bem estabelecidos e da adequação ao perfil de exigências digestíveis previamente discutido.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Os estudos analisados indicam que resíduos de frutas amazônicas apresentam potencial técnico como ingredientes alternativos na alimentação do tambaqui. O principal ponto positivo reside na valorização de cadeias produtivas regionais e na possibilidade de redução parcial da dependência de insumos externos.

Entretanto, há convergência quanto às limitações associadas ao teor de fibra, à variabilidade composicional e à necessidade de formulação baseada em digestibilidade e equilíbrio aminoacídico. Em todos os casos, o desempenho satisfatório está condicionado a níveis moderados de inclusão e ao ajuste global da dieta.

Esses achados reforçam que a sustentabilidade nutricional não depende apenas da origem regional do ingrediente, mas de sua compatibilidade com as exigências fisiológicas da espécie.

3.3. Oleaginosas e coprodutos ricos em lipídios e fibra estrutural

A incorporação de coprodutos oleaginosos na alimentação do tambaqui apresenta dinâmica distinta em relação aos resíduos frutíferos, principalmente em razão do maior teor lipídico, da presença de frações estruturais menos digestíveis e da possível concentração de compostos bioativos. No corpus analisado, destacam-se estudos envolvendo resíduo de castanha-do-Brasil, farelo de palmiste e produtos derivados do buriti, cada qual com características nutricionais próprias e implicações diferentes para desempenho e metabolismo.

O resíduo da castanha-do-Brasil foi investigado por Oishi (2007) e, posteriormente, por Costa *et al.,* (2022), avaliando seu uso em dietas para juvenis de tambaqui. Os estudos indicam que o coproduto apresenta teor energético relevante em função do conteúdo lipídico residual, podendo contribuir para formulações com menor dependência de óleos adicionados. Em níveis moderados de inclusão, o desempenho produtivo não foi significativamente comprometido, sugerindo potencial de substituição parcial de ingredientes convencionais.

Entretanto, a elevação do teor de gordura na dieta deve ser cuidadosamente balanceada, especialmente considerando a capacidade do tambaqui de metabolizar lipídios e os efeitos sobre deposição corporal. Trabalhos que investigaram metabolismo lipídico e exigências de aminoácidos digestíveis demonstram que alterações na composição da dieta podem influenciar parâmetros bioquímicos e a dinâmica de deposição de tecido (Rodrigues, 2023). Assim, embora o resíduo de castanha apresente valor energético interessante, sua inclusão requer atenção ao equilíbrio proteína-energia e ao perfil de ácidos graxos da dieta final.

Outro aspecto relevante refere-se à variabilidade composicional típica de coprodutos extrativistas. A ausência de padronização no processamento pode gerar flutuações no teor de gordura residual e na concentração de compostos secundários, o que representa risco técnico

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

para formulações comerciais de larga escala. Esse ponto limita a adoção irrestrita do ingrediente, sobretudo em sistemas intensivos com maior sensibilidade a variações nutricionais.

O farelo de palmiste, avaliado por Silva *et al.,* (2019), apresenta perfil distinto, com maior teor de fibra estrutural. O estudo de digestibilidade aparente demonstra que o ingrediente pode ser utilizado até determinado nível sem comprometer severamente o desempenho, mas evidencia redução progressiva da digestibilidade à medida que a inclusão aumenta. Esse comportamento está associado ao teor de fibra e à presença de polissacarídeos não amiláceos, que podem reduzir a eficiência de aproveitamento energético.

A principal contribuição do farelo de palmiste está relacionada ao potencial de aproveitamento de resíduos da cadeia do dendê, relevante em algumas regiões da Amazônia. Contudo, sua utilização exige formulação baseada em coeficientes de digestibilidade e, possivelmente, associação com estratégias tecnológicas como uso de enzimas exógenas, discutidas anteriormente por Brandão *et al.,* (2015) e Carneiro *et al.,* (2025), que demonstraram benefícios na utilização de ingredientes vegetais quando associadas a fitase e xilanase. Embora esses estudos não tenham sido conduzidos especificamente com palmiste, indicam caminho técnico plausível para ampliar o aproveitamento de ingredientes ricos em fibra.

No caso do buriti (Mauritia flexuosa), Costa *et al.* (2021) avaliaram a inclusão da farinha da polpa do fruto em dietas para juvenis de tambaqui e verificaram a manutenção do ganho de peso, da conversão alimentar e da sobrevivência em níveis moderados de inclusão, desde que preservado o equilíbrio proteína:energia da formulação. Os resultados indicam que o ingrediente pode atuar como fonte energética complementar, sem prejuízo zootécnico, quando tecnicamente ajustado.

Resultados complementares foram apresentados por Ferreira *et al.,* (2021), que testaram torta de buriti em níveis de 0, 15 e 30% em dietas isoproteicas (28% PB). Embora não tenham sido observadas diferenças estatísticas nos parâmetros clássicos de desempenho, houve tendência de piora na conversão alimentar com o aumento da inclusão, além de ausência de redução no custo por quilograma de peso vivo produzido. Isso evidencia que manutenção estatística do desempenho não implica equivalência nutricional ou viabilidade econômica automática.

Em conjunto, os dados reforçam que coprodutos oleaginosos amazônicos apresentam potencial energético relevante, porém sua inclusão exige controle rigoroso do nível de uso, da relação proteína:energia e da formulação baseada em nutrientes digestíveis, sob risco de comprometer eficiência alimentar e retorno econômico.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

3.4. Resíduos agrícolas e ingredientes energéticos regionais

Entre os ingredientes de origem agrícola avaliados no corpus, a quirera e o farelo de arroz (Santana, 2017), o feijão-caupi autoclavado (Dairiki *et al.,* 2013) e a farinha de crueira de mandioca em substituição ao milho (Pereira Júnior *et al.,* 2013) representam alternativas com perfil predominantemente energético ou proteico-amiláceo, diferenciando-se dos coprodutos frutíferos e oleaginosos discutidos anteriormente.

A quirera e o farelo de arroz foram avaliados quanto à digestibilidade aparente em juvenis de tambaqui, demonstrando coeficientes que variam conforme a fração utilizada e a composição estrutural do ingrediente (Santana, 2017). O arroz apresenta naturalmente elevada fração amilácea, favorecendo o aproveitamento energético, porém o farelo contém maior teor de fibra e frações estruturais que podem reduzir a digestibilidade global da dieta. Os resultados indicam que o ingrediente pode ser utilizado como fonte energética parcial, desde que sua inclusão seja acompanhada por ajustes na formulação, principalmente quando associado a outros ingredientes fibrosos.

A principal vantagem desse tipo de ingrediente está na disponibilidade regional e na inserção em cadeias produtivas já consolidadas. Entretanto, a digestibilidade não deve ser presumida com base apenas na natureza amilácea do grão, pois a fração fibrosa e o processamento interferem diretamente no aproveitamento pelo peixe (Santana, 2017), reforçando a necessidade de formulação baseada em coeficientes digestíveis, conforme discutido anteriormente a partir de Guimarães *et al.,* (2014) e Rodrigues *et al.,* (2024).

O feijão-caupi autoclavado apresenta dinâmica distinta. Dairiki *et al.,* (2013) demonstraram que o processamento térmico foi determinante para melhorar a resposta produtiva dos juvenis de tambaqui. A autoclavagem reduziu a ação de fatores antinutricionais típicos de leguminosas, permitindo níveis moderados de inclusão sem prejuízo significativo ao desempenho. Ainda assim, a inclusão elevada mostrou limitações, indicando que a leguminosa não substitui integralmente fontes proteicas convencionais. A utilização deve considerar o perfil de aminoácidos digestíveis da dieta final, especialmente quando combinada a outras matérias-primas vegetais, para evitar desbalanceamentos nutricionais, aspecto diretamente relacionado às exigências de lisina e metionina+cistina discutidas por Gonçalves Júnior *et al.* (2017), Rodrigues (2023) e Rodrigues *et al.*, (2026).

De forma complementar, Pereira Júnior *et al.*, (2013) avaliaram a substituição parcial do milho por farinha de crueira de mandioca em dietas para juvenis de tambaqui, observando que níveis moderados de inclusão não comprometeram o desempenho produtivo quando a dieta foi devidamente balanceada. Contudo, níveis mais elevados de substituição tenderam a afetar a conversão alimentar, evidenciando que ingredientes predominantemente amiláceos, embora

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

energeticamente viáveis, exigem calibração cuidadosa da relação proteína-energia e da fração digestível da dieta.

Quando comparados aos coprodutos frutíferos e oleaginosos, os resíduos agrícolas analisados apresentam maior previsibilidade nutricional após processamento adequado, mas ainda assim exigem avaliação específica de digestibilidade para a espécie. A substituição parcial de milho por ingredientes regionais pode contribuir para redução de dependência logística; entretanto, a literatura analisada ainda não apresenta dados consolidados sobre impacto econômico em escala comercial, limitando inferências sobre competitividade real.

Os estudos de Santana (2017), Dairiki *et al.,* (2013) e Pereira Júnior *et al.,* (2013) demonstram que resíduos agrícolas regionais podem integrar formulações para tambaqui de forma tecnicamente viável, desde que respeitados limites de inclusão e considerados os efeitos do processamento. A viabilidade prática depende menos da origem do ingrediente e mais da sua compatibilidade com as exigências digestíveis e com o equilíbrio proteína-energia previamente estabelecido.

A partir dessas evidências, torna-se relevante examinar estratégias tecnológicas que permitam ampliar a utilização de ingredientes vegetais, especialmente enzimas exógenas e melhorias no processamento das dietas, uma vez que tais recursos podem modificar os coeficientes de digestibilidade e alterar os limites seguros de inclusão observados nos estudos experimentais.

3.5. Processamento e tecnologias nutricionais aplicadas à alimentação do tambaqui

A discussão sobre ingredientes regionais demonstra que a viabilidade técnica frequentemente depende menos da matéria-prima em si e mais da forma como ela é processada e integrada à dieta. No corpus analisado, três frentes tecnológicas aparecem como determinantes para ampliar o aproveitamento de ingredientes vegetais: o uso de enzimas exógenas, o processamento térmico e a melhoria da qualidade física do pellet.

O uso de fitase na alimentação do tambaqui foi investigado por Brandão *et al.*, (2015), que avaliaram a inclusão da enzima em dietas contendo ingredientes vegetais. Os resultados indicaram melhoria no aproveitamento do fósforo e resposta positiva no desempenho quando comparado a dietas sem suplementação enzimática. Esse achado é relevante sob dois aspectos. Primeiramente, do ponto de vista nutricional, a fitase contribui para liberar fósforo ligado ao fitato, aumentando sua disponibilidade. Em segundo lugar, há implicação ambiental, pois maior aproveitamento reduz a excreção de fósforo no ambiente aquático.

Mais recentemente, Carneiro *et al.,* (2025) avaliaram dietas vegetais suplementadas com fitase e xilanase, analisando não apenas desempenho e balanço de fósforo, mas também função intestinal e perfil bacteriano.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Os resultados demonstraram que a associação enzimática pode melhorar a eficiência nutricional e influenciar positivamente a fisiologia digestiva dos juvenis. A inclusão de xilanase, especificamente, está relacionada à degradação de polissacarídeos não amiláceos, comuns em ingredientes fibrosos, o que dialoga diretamente com as limitações observadas em palmiste, resíduos frutíferos e leguminosas discutidos anteriormente.

Esses estudos indicam que enzimas exógenas podem expandir os limites seguros de inclusão de ingredientes vegetais. No entanto, a resposta depende da composição da dieta e da concentração dos substratos enzimáticos presentes. A eficácia não é universal nem automática; ela está condicionada à adequação da matriz alimentar.

O processamento térmico também emerge como fator crítico. Dairiki *et al.,* (2013) demonstraram que a autoclavagem do feijão-caupi foi determinante para reduzir fatores antinutricionais e permitir sua inclusão sem prejuízo expressivo ao desempenho. O tratamento térmico modificou a qualidade nutricional do ingrediente, reforçando que a tecnologia de processamento pode alterar significativamente a resposta biológica do animal.

Além do tratamento de ingredientes isolados, a qualidade física da ração influencia diretamente o consumo, a homogeneidade de lote e a eficiência alimentar. Farias *et al.,* (2025) observaram que pellets de maior densidade contribuíram para melhor uniformidade de crescimento em juvenis de tambaqui. Embora o estudo não esteja centrado na composição nutricional, ele demonstra que a eficiência produtiva não depende apenas da formulação química, mas também das características físicas do alimento.

Esse conjunto de evidências amplia a compreensão de sustentabilidade nutricional. Ingredientes regionais com limitações de digestibilidade ou alto teor de fibra podem ter seu potencial ampliado por meio de processamento adequado e suplementação enzimática. Por outro lado, a adoção dessas tecnologias envolve custo adicional, o que exige avaliação técnica e econômica integrada, aspecto que ainda aparece de forma limitada nos estudos analisados.

A literatura mostra que o tambaqui responde de forma consistente a estratégias que melhoram a digestibilidade e a disponibilidade de nutrientes, mas também revela que a tecnologia não substitui o equilíbrio nutricional básico. Enzimas e processamento funcionam como ferramentas de ajuste fino, não como solução para formulações estruturalmente desbalanceadas.
A discussão sobre processamento e tecnologias nutricionais introduz, portanto, uma dimensão adicional ao conceito de sustentabilidade: a interação entre ingrediente, tecnologia e fisiologia do animal.

3.6. Indicadores fisiológicos e metabólicos na avaliação nutricional do tambaqui

A avaliação da nutrição do tambaqui exclusivamente com base em ganho de peso e conversão alimentar é insuficiente para compreender plenamente os efeitos das estratégias

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

dietéticas sobre o organismo. Parte do corpus analisado amplia essa perspectiva ao incorporar parâmetros hematológicos, bioquímicos e isotópicos, permitindo interpretar a resposta nutricional sob a ótica fisiológica e metabólica.

Fazio (2019), em revisão sobre hematologia de peixes aplicada à aquicultura, destaca que variáveis como hematócrito, hemoglobina e contagem de eritrócitos constituem ferramentas sensíveis para monitorar estado fisiológico, estresse e adequação nutricional. Embora o trabalho não seja específico para o tambaqui, ele fornece base conceitual para interpretar estudos que utilizam indicadores sanguíneos como complemento à análise produtiva.

No contexto específico da espécie, Silva *et al.,* (2020) avaliaram não apenas desempenho e digestibilidade com inclusão de farinha de banana integral, mas também variáveis hematológicas e bioquímicas. Os resultados indicaram que níveis adequados de substituição não provocaram alterações fisiológicas que sugerissem comprometimento sistêmico, reforçando que a resposta produtiva deve ser interpretada conjuntamente com indicadores internos. Entretanto, níveis mais elevados de inclusão exigem cautela, pois alterações metabólicas podem preceder quedas mais evidentes de desempenho.

De forma semelhante, Oliveira *et al.,* (2025), ao investigarem parâmetros hematológicos e bioquímicos em tambaquis submetidos a diferentes frequências e restrição alimentar em sistema de recirculação, demonstraram que estratégias nutricionais influenciam marcadores metabólicos, mesmo quando as diferenças de crescimento não são drasticamente evidentes. Isso evidencia que o manejo alimentar e a composição da dieta afetam a fisiologia além do que é capturado por métricas produtivas tradicionais.

No âmbito do metabolismo proteico e da assimilação de nutrientes, Nascimento (2015) investigou níveis de aminoácidos digestíveis associados ao turnover isotópico de carbono e nitrogênio no tecido muscular. O estudo demonstra que alterações na composição dietética influenciam a dinâmica de incorporação de nutrientes, fornecendo evidências de que o balanço aminoacídico impacta não apenas crescimento, mas também a eficiência metabólica de utilização do alimento.

Buzollo *et al.,* (2023) analisaram turnover isotópico em juvenis alimentados com diferentes níveis de proteína digestível, reforçando que a resposta metabólica está diretamente relacionada à qualidade proteica da dieta. Esses dados dialogam com as discussões do eixo 4.1, ao demonstrar que a formulação baseada em proteína bruta não captura integralmente a eficiência de assimilação.

A incorporação de enzimas exógenas também foi associada a efeitos sobre função intestinal e microbiota. Carneiro *et al.,* (2025) observaram que dietas vegetais suplementadas com fitase e xilanase influenciaram parâmetros relacionados à função digestiva e ao perfil bacteriano intestinal.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Embora o foco principal do estudo inclua desempenho e balanço de fósforo, os resultados indicam que a intervenção tecnológica pode alterar o ambiente intestinal, com possíveis reflexos sobre saúde e eficiência alimentar.

Os estudos analisados convergem para um ponto relevante: estratégias nutricionais que mantêm crescimento adequado podem, ainda assim, provocar alterações fisiológicas detectáveis. Por outro lado, pequenas variações hematológicas ou bioquímicas não necessariamente indicam prejuízo produtivo imediato. Essa dualidade reforça a necessidade de interpretação integrada.

O uso de indicadores fisiológicos fortalece a discussão sobre sustentabilidade, pois permite avaliar se a substituição de ingredientes convencionais por recursos regionais ocorre sem comprometer o estado metabólico do animal. Contudo, observa-se que a maior parte dos estudos ainda utiliza esses parâmetros de forma complementar, e não como variável central de decisão nutricional. Há espaço para investigações que integrem desempenho, metabolismo, microbiota e viabilidade econômica em um mesmo delineamento experimental.

A análise fisiológica evidencia que a nutrição sustentável não pode ser definida apenas pela origem regional do ingrediente ou pela manutenção do ganho de peso. Ela depende da compatibilidade metabólica da dieta com a espécie, da eficiência de assimilação e da manutenção do equilíbrio interno.

3.7. Manejo alimentar e eficiência produtiva

A formulação nutricional adequada não garante, por si só, eficiência produtiva. A forma como o alimento é ofertado — frequência, taxa de arraçoamento, densidade e condições de cultivo — influencia diretamente a utilização dos nutrientes e o desempenho final. Parte do corpus analisado demonstra que o manejo alimentar pode potencializar ou limitar os efeitos das estratégias nutricionais discutidas nos eixos anteriores.

Rodrigues *et al.,* (2024), ao avaliarem diferentes taxas e frequências de arraçoamento durante a fase de crescimento do tambaqui em viveiros escavados, observaram que ajustes no manejo impactam ganho de peso e conversão alimentar. O estudo indica que a oferta alimentar deve estar alinhada à fase produtiva e às condições do sistema, evitando tanto subalimentação quanto desperdício. A superalimentação pode elevar custos e comprometer qualidade de água, enquanto a restrição excessiva compromete crescimento e eficiência.

A influência da frequência alimentar também foi abordada por Oliveira *et al.,* (2025), que avaliaram restrição e frequência alimentar em sistema de recirculação. Mesmo quando as diferenças de desempenho não foram acentuadas, parâmetros hematológicos e bioquímicos indicaram respostas fisiológicas distintas, evidenciando que o manejo alimentar afeta o metabolismo independentemente do crescimento imediato.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Paz *et al.,* (2018) investigaram privação alimentar em juvenis de tambacu e observaram que a interrupção temporária do fornecimento de alimento não comprometeu o crescimento de forma significativa em determinadas condições experimentais. Embora o estudo não tenha sido conduzido exclusivamente com tambaqui puro, ele sugere que estratégias de manejo podem modular eficiência alimentar sem prejuízo produtivo imediato, desde que aplicadas com critério.

Outro elemento relevante refere-se à qualidade física da ração. Farias *et al.,* (2025) demonstraram que pellets de maior densidade melhoraram a homogeneidade de tamanho dos juvenis. A uniformidade de lote possui implicações diretas sobre competição alimentar e eficiência produtiva. Esse aspecto conecta-se à discussão sobre sustentabilidade, pois a redução de variação de tamanho pode diminuir desperdício e melhorar planejamento de colheita.

Os estudos analisados indicam que o manejo alimentar interage com a formulação da dieta. Uma ração tecnicamente balanceada pode apresentar desempenho inferior se ofertada em frequência inadequada ou em taxa incompatível com a capacidade de ingestão e digestão da espécie. Da mesma forma, ajustes no manejo podem compensar parcialmente limitações de formulação, dentro de certos limites.

Entretanto, observa-se que poucos estudos integram simultaneamente formulação com ingredientes regionais, suplementação tecnológica e manejo alimentar em um mesmo delineamento. A maioria das investigações aborda essas variáveis de forma isolada, o que dificulta extrapolações sistêmicas para a realidade produtiva.

O conjunto das evidências reforça que sustentabilidade nutricional no tambaqui não depende exclusivamente da escolha de ingredientes ou da precisão aminoacídica, mas da integração entre composição da dieta, processamento, fisiologia e manejo alimentar. Essa interação é particularmente relevante em sistemas amazônicos, nos quais variáveis ambientais e logísticas influenciam diretamente a eficiência produtiva.

Com base na síntese das evidências apresentadas nesta revisão, propõe-se um modelo conceitual integrador para a formulação sustentável de dietas destinadas ao tambaqui (*Colossoma macropomum*). Esse modelo organiza, de forma sequencial e interdependente, os principais fatores que influenciam a nutrição e o desempenho produtivo da espécie em sistemas de cultivo. Inicialmente, são consideradas as exigências nutricionais do peixe, especialmente em relação a aminoácidos digestíveis, energia e nutrientes essenciais, uma vez que esses parâmetros constituem a base para a formulação de dietas equilibradas. A partir dessa referência nutricional, torna-se possível orientar a seleção de ingredientes regionais disponíveis, incluindo coprodutos agroindustriais e matérias-primas amazônicas, cujo potencial de utilização depende da composição química, da disponibilidade regional e da viabilidade nutricional para a espécie.

Na sequência, o processamento tecnológico dos ingredientes exerce papel fundamental na melhoria da digestibilidade e na redução de fatores antinutricionais presentes em ingredientes

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

vegetais, contribuindo para ampliar o aproveitamento nutricional das dietas. Posteriormente, a fisiologia digestiva e o metabolismo do tambaqui determinam a capacidade efetiva de utilização desses nutrientes, influenciando respostas fisiológicas, parâmetros hematológicos e o desempenho zootécnico dos animais. Esses processos, por sua vez, orientam a definição de estratégias adequadas de manejo alimentar, incluindo frequência de alimentação, taxa de arraçoamento e densidade nutricional das dietas. A integração desses componentes estabelece uma abordagem sistêmica da nutrição do tambaqui, na qual formulação, digestibilidade, fisiologia e manejo alimentar atuam de forma interdependente, resultando em melhorias no desempenho produtivo, na eficiência alimentar e na sustentabilidade ambiental da piscicultura (Figura 1).

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Figura 1. Modelo conceitual integrador para formulação sustentável de dietas para tambaqui (*Colossoma macropomum*)



Fonte: Elaborado pelos autores, 2026.

4. CONSIDERAÇÕES

A nutrição sustentável do tambaqui (*Colossoma macropomum*) não se limita à simples substituição de ingredientes convencionais por recursos regionais. As evidências científicas indicam que a sustentabilidade nutricional depende da integração entre exigências em

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

aminoácidos digestíveis, digestibilidade efetiva dos ingredientes, tecnologias de processamento, resposta metabólica e manejo alimentar.

Os coprodutos amazônicos demonstram potencial técnico quando utilizados em níveis moderados e formulados com base em nutrientes digestíveis. Enzimas exógenas e processamento térmico ampliam o aproveitamento de ingredientes vegetais, mas sua eficácia está condicionada ao equilíbrio nutricional da dieta. Indicadores hematológicos, bioquímicos e isotópicos revelam que desempenho zootécnico isolado não é suficiente para avaliar eficiência nutricional.

O modelo integrador proposto organiza essas dimensões de forma sistêmica e reforça que a eficiência produtiva sustentável emerge da coerência entre formulação, digestibilidade e fisiologia do animal. Essa abordagem é particularmente relevante para a bioeconomia amazônica, onde a valorização de ingredientes regionais deve estar alinhada à estabilidade metabólica e à viabilidade produtiva.

Persistem lacunas quanto à padronização composicional de resíduos regionais, avaliação econômica integrada e estudos de longo prazo. Avanços futuros dependem da integração entre desempenho produtivo, metabolismo, impacto ambiental e competitividade regional.

Conclui-se que a sustentabilidade nutricional do tambaqui está associada à formulação baseada em nutrientes digestíveis, ao uso estratégico de ingredientes regionais e à articulação entre tecnologia e manejo. Essa perspectiva sistêmica pode orientar pesquisas, formulações comerciais e políticas voltadas ao fortalecimento da piscicultura amazônica.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Charlle Anderson Lima de. **Caracterização do desenvolvimento embrionário e desempenho de pós-larvas de tambaqui (Colossoma macropomum, Cuvier, 1818) alimentados com diferentes dietas**. 2014. 42 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2014.

AROUCHA, R. J. N.; RIBEIRO, F. B.; COSTA, M. A. D.; COSTA, J.; MARCHÃO, R. S.; NAGIB DO NASCIMENTO, D. C. Digestible methionine plus cystine requirement in tambaqui (Colossoma macropomum) diets: Growth performance and plasma biochemistry. **Aquaculture Reports**, v. 32, 101725, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2023.101725

BRANDÃO, L. V.; HUNGRIA, A. P.; SILVA, F. N. L.; SILVA, F. L.; FREITAS JÚNIOR, J. R. da C.; PEREIRA, T. M.; CAVERO, B. A. S.; ROUBACH, R. Digestibility and performance of tambaqui fed diets containing passion fruit (Passiflora edulis) and tucumã (Astrocaryum vulgare) residues. **Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana**, v. 23, n. 4, p. 01–20, 2025. DOI: https://doi.org/10.55905/oelv23n4-017

BRANDÃO, L. V.; TENÓRIO, G. L. O.; BRANDÃO, V. M. D.; COSTA, L. C. O.; PEREIRA JÚNIOR, G. P.; ROUBACH, R. Influência da adição de fitase em dietas para tambaqui. **Boletim do Instituto de Pesca**, São Paulo, v. 41, n. 4, p. 1025–1032, 2015.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

BUZOLLO, H.; SANDRE, L. C. G. de; NEIRA, L. M.; NASCIMENTO, T. M. T. do; JOMORI, R. K.; CARNEIRO, D. J. Isotopic turnover of carbon $\delta^{13}C$ and nitrogen $\delta^{15}N$ in the muscle tissue of tambaqui (Colossoma macropomum) juveniles fed diets containing different levels of digestible protein. **Animal Feed Science and Technology**, v. 303, 115712, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2023.115712

CARNEIRO, C. L. da S.; SANTOS, B.; MONTEIRO, L. P. C.; SATURNINO, F. R.; OLEGÁRIO, M. M.; QUADROS, A. S. G.; ALMEIDA, M. G. O. de; LUZ, R. K.; MENDES, T. A. O.; CASTRO, F.; FURUYA, W. M.; SALARO, A. L. Growth performance, phosphorus balance, gut function and bacteriome of juvenile Amazonian tambaqui (Colossoma macropomum) fed plant-based diets supplemented with phytase and/or xylanase-β-glucanase. **Aquaculture**, v. 607, 742679, 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2025.742679

COSTA, D. A.; OLIVEIRA, A. V. D. de; MOREIRA, G. R.; SOUZA, C. L. de; FERNANDES, L. F.; SILVA, J. M. de A.; BEBER, P. M.; NOGUEIRA, M. M. B. Residue from the extraction of oil from the Brazil nut in diets for tambaqui juveniles. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 8, n. 7, p. 50115–50128, jul. 2022. DOI: https://doi.org/10.34117/bjdv8n7-092

COSTA, M. N. F.; FURTADO, Y. I. C.; MONTEIRO, C. C.; BRASILIENSE, A. R. P.; YOSHIOKA, E. T. O. Physiological responses of tambaqui (Colossoma macropomum) fed diets supplemented with silage from fish and vegetables residues. **Brazilian Journal of Biology**, v. 84, e255493, 2024. https://doi.org/10.1590/1519-6984.255493

COSTA, R. L. da; GUEDES, G. G.; COSTENARO-FERREIRA, C.; COSTA, D. L. da; HURTADO, F. B. Farinha da polpa do fruto de Mauritia flexuosa em dietas para Colossoma macropomum. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 14, n. 2, p. 441–454, 2021. DOI: https://doi.org/10.17765/2176-9168.2021v14n2e7879

DAIRIKI, J. K.; CORREA, R. B.; INOUE, L. A. K. A.; MORAIS, I. da S. de. Feijão-caupi autoclavado na nutrição de juvenis de tambaqui. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 4, p. 450–453, abr. 2013. https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000400014

DAIRIKI, J. K.; SILVA, T. B. A. da. **Revisão de literatura:** exigências nutricionais do tambaqui – compilação de trabalhos, formulação de ração adequada e desafios futuros. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2011. 44 p. (Embrapa Amazônia Ocidental. Documentos, 91).

FARIAS, A. B. de S.; PRESTES, A. G.; DANTAS, F. de M.; OISHI, C. A.; PASTRANA, Y. M.; YAMAMOTO, F. Y.; CARVALHO, T. B.; GONÇALVES, L. U. Feeding a high-density pellet improves the size homogeneity of juvenile tambaqui (Colossoma macropomum). **Animal Feed Science and Technology**, v. 325, 116355, 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2025.116355

FAZIO, F. Fish hematology analysis as an important tool of aquaculture: A review. **Aquaculture**, v. 500, p. 237–242, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.10.030

FERREIRA, C. S. M.; SILVA, E. C.; GASPAR, F. D. S.; VENEZA, I. B. Torta de buriti (Mauritia flexuosa) como ingrediente alternativo em rações para juvenis de tambaqui (Colossoma macropomum). **Research, Society and Development**, v. 10, n. 8, e24510817345, 2021. DOI: http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i8.17345.

GONÇALVES JÚNIOR, L. P.; SOUSA, J. G. S.; SELVATICI, P. D. C.; MENDES, L. F.; VARGAS JÚNIOR, J. G.; MENDONÇA, P. P. Metionina + cistina digestível para juvenis de tambaqui.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, v. 69, n. 3, p. 711–717, 2017. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/1678-4162-9052

GUIMARÃES, I. G.; MIRANDA, E. C.; ARAÚJO, J. G. Coefficients of total tract apparent digestibility of some feedstuffs for tambaqui (Colossoma macropomum). **Animal Feed Science and Technology**, v. 188, p. 150–155, 2014. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2013.11.007

NASCIMENTO, T. M. T. do. **Níveis de aminoácidos digestíveis para juvenis de tambaqui (Colossoma macropomum) e turnover isotópico do carbono-13 e do nitrogênio-15 no tecido muscular**. 2015. 90 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2015.

OISHI, C. A. **Resíduo da castanha da Amazônia (Bertholletia excelsa) como ingrediente em rações para juvenis de tambaqui (Colossoma macropomum).** 2007. 60 f. Dissertação (Mestrado em Biologia de Água Doce e Pesca Interior) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2007.

OISHI, C. A.; NWANNA, L. C.; PEREIRA FILHO, M. Optimum dietary protein requirement for Amazonian Tambaqui, Colossoma macropomum Cuvier, 1818, fed fish meal free diets. **Acta Amazonica**, v. 40, n. 4, p. 757–762, 2010.

OLIVEIRA, C. P. F.; HOLANDA, A. F. M.; FERREIRA, A. C.; BRANDÃO, L. V.; PEREIRA, T. M.; CAVERO, B. A. S. Parâmetros hematológicos e bioquímicos de tambaqui submetidos à restrição e frequência alimentar em sistema de recirculação para aquicultura "RAS". **Revista Aracê**, São José dos Pinhais, v. 7, n. 12, p. 10101–10118, 2025. DOI: https://doi.org/10.56238/arev7n2-316

PAUL, J.; LIM, W. M.; O'CASS, A.; HAO, A. W.; BRESCIANI, S. Scientific procedures and rationales for systematic literature reviews (SPAR-4-SLR). **International Journal of Consumer Studies**, v. 45, n. 4, p. 1–16, 2021. DOI: https://doi.org/10.1111/ijcs.12695

PAZ, A. de L.; PASTRANA, Y. M.; BRANDÃO, L. V. Food deprivation does not affect growth performance of juvenile tambaqui. **Acta Amazonica**, v. 48, n. 3, p. 207–210, 2018. DOI: https://doi.org/10.1590/1809-4392201800591

PEREIRA JUNIOR, G. P.; PEREIRA, E. M. O.; FILHO, M. P.; BARBOSA, P. S.; SHIMODA, E.; BRANDÃO, L. V. Desempenho produtivo de juvenis de tambaqui (Colossoma macropomum Cuvier, 1818) alimentados com rações contendo farinha de crueira de mandioca (Manihot esculenta, Crantz) em substituição ao milho (Zea mays). **Acta Amazonica**, v. 43, n. 2, p. 217–226, 2013.

RODRIGUES, A. P. O.; FREITAS, L. E. L.; CARVALHO, C. W. P.; ASCHERI, J. L. R. Digestibilidade aparente de ingredientes proteicos para juvenis de tambaqui. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, Palmas, TO, n. 31. jun. 2024a.

RODRIGUES, A. P. O.; FREITAS, L. E. L.; MACIEL-HONDA, P. O.; LIMA, A. F.; LIMA, L. K. F. Feeding rate and feeding frequency during the grow-out phase of tambaqui (Colossoma macropomum) in earthen ponds. **Aquaculture Reports**, v. 35, 102000, 2024b. DOI: https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2024.102000

RODRIGUES, A. T. **Exigências de lisina e metionina digestíveis em dietas para tambaqui (Colossoma macropomum) em fase de crescimento e seus efeitos no metabolismo lipídico**.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

2023. 189 f. Tese (Doutorado em Aquicultura) – Universidade Estadual Paulista, Centro de Aquicultura, Jaboticabal, 2023.

RODRIGUES, A. T.; OLIVEIRA, M. S.; CAMPOS, D. W. J. de; COSTA, J. I. da; MANSANO, C. F.; CARNEIRO, D. J. Digestible lysine requirement in diets for tambaquis (Colossoma macropomum) in growth phase from 100 g to 500 g. **Aquaculture**, v. 613, 743385, 2026. DOI: https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2025.743385

SANTANA, P. M. dos S. **Digestibilidade aparente da quirera e farelo de arroz para o tambaqui (Colossoma macropomum, Cuvier, 1818)**. 2017. 44 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2017.

SILVA, A. F.; COPATTI, C. E.; OLIVEIRA, E. P. de; BONAFÁ, H. C.; MELO, J. V.; CAMARGO, A. C. S.; MELO, J. F. B. Effects of whole banana meal inclusion as replacement for corn meal on digestibility, growth performance, haematological and biochemical variables in practical diets for tambaqui juveniles (Colossoma macropomum). **Aquaculture Reports**, v. 17, 100307, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100307

SILVA, R. S.; SANTO, R. V. E.; BARBOSA, A. V. C.; SANTOS, M. A. S.; CORRÊA, R. O.; MARTINS JÚNIOR, H.; LOURENÇO JÚNIOR, J. B. Digestibilidade aparente do farelo de palmiste em tambaqui (Colossoma macropomum). **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 71, n. 5, p. 1595–1600, 2019. DOI: https://doi.org/10.1590/1678-4162-10968

SNYDER, H. Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. **Journal of Business Research**, v. 104, p. 333–339, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039

SOUSA, M. N. A. de; BEZERRA, A. L. D.; EGYPTO, I. A. S. do. Trilhando o caminho do conhecimento: o método de revisão integrativa para análise e síntese da literatura científica. **Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana**, Curitiba, v. 21, n. 10, p. 18448–18483, 2023. DOI: https://doi.org/10.55905/oelv21n10-212

SOUZA, M. T.; SILVA, M. D.; CARVALHO, R. de. Revisão integrativa: o que é e como fazer. **Einstein** (São Paulo), v. 8, n. 1, pt. 1, p. 102–106, 2010.

XAVIER, D. T. O.; BRANDÃO, V. M. D.; SILVA, F. N.; BRANDÃO, L. V.; SOUZA, R. A. L. de. Torta de cupuaçu (Theobroma grandiflorum) em dietas para juvenis de tambaqui (Colossoma macropomum Cuvier, 1818). **PUBVET**, v. 10, n. 11, p. 795–803, nov. 2016. DOI: https://doi.org/10.22256/pubvet.v10n11.795-803

XAVIER, D. T. O.; SOARES, P. P.; ROSSETTO, J. F.; SOUZA, H. B.; BRISQUELEAL, J. C. P.; SILVA, F. N. L.; SOUZA, R. A. L. Substituição do farelo de milho por farinha de torta de tucumã em dietas para tambaqui. **PUBVET**, v. 13, n. 9, a407, p. 1–8, set. 2019. DOI: https://doi.org/10.31533/pubvet.v13n9a4071.1-8

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.