INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO AMAPÁ
CURSO DE TECNOLOGIA EM ALIMENTOS

ÁDRIA DE SOUZA VASCONCELOS
ALICIA BIANCA SAMPAIO MONTEIRO
GLYCIA ALMEIDA GÓS

# ELABORAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA FARINHA DA SEMENTE DO CUPUAÇU (Theobroma grandiflorum Schum)

MACAPÁ – AP
2026

ÁDRIA DE SOUZA VASCONCELOS
ALICIA BIANCA SAMPAIO MONTEIRO
GLYCIA ALMEIDA GÓS

# ELABORAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA FARINHA DA SEMENTE DO CUPUAÇU *(Theobroma grandiflorum* Schum*)*

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à coordenação do curso de Tecnologia em Alimentos como requisito avaliativo para obtenção do título de Tecnólogo em Alimentos. Orientadora: Drª. Marília de Almeida Cavalcante.

MACAPÁ – AP
2026

Biblioteca Institucional - IFAP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

V331e Vasconcelos, Ádria De Souza
Elaboração e caracterização da farinha da semente do cupuaçu (Theobroma grandiflorum Schum) / Ádria De Souza Vasconcelos, Alicia Bianca Sampaio Monteiro, Glycia Almeida Gós. - Macapá, 2026.
54 f.: il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -- Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá, Campus Macapá, Tecnologia em Alimentos, 2026.

Orientadora: Dra. Marília de Almeida Cavalcante.

1. Secagem. 2. Liofilização. 3. Composição centesimal. I. Monteiro, Alicia Bianca Sampaio . II. Gós, Glycia Almeida . I. Cavalcante, Dra. Marília de Almeida, orient. II. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica do IFAP
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

ÁDRIA DE SOUZA VASCONCELOS
ALICIA BIANCA SAMPAIO MONTEIRO
GLYCIA ALMEIDA GÓS

# ELABORAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA FARINHA DA SEMENTE DO CUPUAÇU *(Theobroma grandiflorum Schum)*

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à coordenação do curso de Tecnologia em Alimentos como requisito avaliativo para obtenção do título de Tecnólogo em Alimentos.

BANCA EXAMINADORA

gov.br
Documento assinado digitalmente
MARILIA DE ALMEIDA CAVALCANTE
Data: 20/07/2026 20:27:21-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof.ª Drª. Marília de Almeida Cavalcante (Orientadora)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá

gov.br
Documento assinado digitalmente
ALAN NASCIMENTO VILHENA
Data: 27/07/2026 10:15:53-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Me. Alan Nascimento Vilhena
Membro externo

gov.br
Documento assinado digitalmente
LUANA FAGUNDES TEIXEIRA
Data: 03/08/2026 11:06:30-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Profª Ma. Luana Fagundes Teixeira
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá

Apresentado em: 30 / 04 / 2026.
Conceito/Nota: 100.

A todos que contribuíram para nossa formação, especialmente nossas famílias, pelo apoio incondicional e por nunca nos deixarem desistir.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por nos conceder força, saúde e sabedoria para chegar até aqui, iluminando cada passo desta jornada.

Às nossas famílias, pelo amor incondicional, apoio diário e compreensão nos momentos de ausência e cansaço. Vocês foram nosso alicerce e motivação para nunca desistir, e cada conquista nossa é também de vocês.

Aos nossos professores e a nossa magnífica orientadora Marília Cavalcante, pela dedicação, paciência e compromisso com o ensino. Suas orientações foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho e para nossa evolução acadêmica e profissional.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá – IFAP (Campus Macapá), pela oportunidade de formação, pelos recursos disponibilizados e pelo ambiente de aprendizagem que contribuiu significativamente para nossa trajetória acadêmica.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), pelo suporte técnico e científico, bem como pelo auxílio nas diversas análises realizadas ao longo deste trabalho. A contribuição da equipe foi essencial para a obtenção de resultados confiáveis e para o fortalecimento da qualidade da pesquisa desenvolvida.

Por fim, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste Trabalho de Conclusão de Curso. Nossa gratidão é sincera e eterna.

“O que muitas vezes é descartado pode se tornar fonte de valor nutricional e inovação.”

(SILVA NETO et al., 2020).

## RESUMO

O aproveitamento de subprodutos agroindustriais representa uma estratégia promissora para a valorização de recursos regionais e para o fortalecimento da bioeconomia amazônica. O cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum) é um fruto Amazônico amplamente usado para obtenção e beneficiamento especialmente da polpa, entretanto suas sementes, que correspondem a aproximadamente 20% da massa do fruto, ainda não são utilizadas, apesar do seu reconhecido potencial nutricional. Diante disso, o presente estudo teve como objetivo a obtenção e caracterização de farinhas obtidas a partir de sementes de cupuaçu através de dois métodos de desidratação: secagem térmica em estufa nas temperaturas de 55, 65 e 75 °C, e liofilização, avaliando-se a influência dos processos sobre as propriedades físicas, físico-químicas, composição centesimal e perfil mineral. Inicialmente, foram determinadas as características físicas das sementes in natura, incluindo dimensões médias (altura, largura e espessura) e variação do número de sementes por fruto. Posteriormente, as farinhas produzidas foram caracterizadas quanto ao pH e acidez titulável, além da determinação da composição centesimal (umidade, cinzas, proteínas e lipídios). Além disso. Foi feita a quantificação dos teores de potássio (K), cálcio (Ca), fósforo (P), ferro (Fe), cobre (Cu), zinco (Zn) e manganês (Mn). Os resultados demonstraram que o método de secagem exerceu influência significativa sobre os parâmetros avaliados, especialmente no teor de umidade residual, concentração mineral e estabilidade físico-química. A liofilização apresentou maior preservação de micronutrientes, enquanto a secagem térmica promoveu variações associadas ao gradiente de temperatura aplicado. Observou-se elevado teor de potássio e zinco, evidenciando o potencial nutricional da farinha obtida. Conclui-se que as sementes de cupuaçu constituem matéria-prima viável para a produção de farinha com potencial aplicação tecnológica e nutricional, contribuindo para a redução de resíduos agroindustriais e agregação de valor à cadeia produtiva regional.



Palavras-chave: secagem; liofilização; composição centesimal; perfil mineral; bioeconomia amazônica.

## ABSTRACT

The utilization of agro-industrial by-products represents a promising strategy for adding value to regional resources and strengthening the Amazonian bioeconomy. Cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum) is widely exploited for pulp production; however, its seeds, which correspond to approximately 20% of the fruit mass, remain underutilized despite their recognized nutritional potential. Therefore, this study aimed to elaborate and characterize flours obtained from cupuaçu seeds subjected to two dehydration methods: hot air drying at 55 °C, 65 °C, and 75 °C, and freeze-drying, evaluating the influence of these processes on physical properties, physicochemical characteristics, centesimal composition, and mineral profile. Initially, the physical characteristics of fresh seeds were determined, including average dimensions (length, width, and thickness) and variation in the number of seeds per fruit. The produced flours were subsequently analyzed for pH, titratable acidity, moisture content, and ash content, as well as proximate composition (proteins, lipids, and total minerals). Additionally, macro- and micronutrients were quantified, including potassium (K), calcium (Ca), phosphorus (P), iron (Fe), copper (Cu), zinc (Zn), and manganese (Mn). The results demonstrated that the drying method significantly influenced the evaluated parameters, particularly residual moisture content, mineral concentration, and physicochemical stability. Freeze-drying showed greater preservation of micronutrients, whereas hot air drying promoted variations associated with the applied temperature gradient. High potassium levels were observed among macrominerals, and zinc stood out among micronutrients, highlighting the nutritional potential of the obtained flour. It can be concluded that cupuaçu seeds represent a viable raw material for flour production with technological and nutritional potential, contributing to agro-industrial waste reduction and value addition within the regional production chain.



Keywords: hot air drying; freeze-drying; proximate composition; mineral profile; Amazon bioeconomy.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Imagens do Cupuaçu (Theobroma grandiflorum Schum). 16
Figura 2 - Fluxograma de obtenção das sementes. 23
Figura 3 - Fluxograma de processamento das farinhas. 24
Figura 4 - Semente seca e farinha seca a 55 °C. 25
Figura 5 - Semente seca e farinha seca a 65 °C. 25
Figura 6 - Semente seca e farinha seca 75 °C. 26
Figura 7 - Liofilizador Ltda (LIOBRAS). 27
Figura 8 - Liofilização das sementes de cupuaçu. 27
Figura 9 - Fluxograma de obtenção das farinhas liofilizadas. 28
Figura 10 - Farinha liofilizada da semente de cupuaçu. 28

## LISTA DE TABELAS


Tabela 1 - Propriedades físicas das sementes do cupuaçu. 37
Tabela 2 - Caracterização físico-química das sementes do cupuaçu. 37
Tabela 3 - Valores de cor (L*, a*, b*) das sementes de cupuaçu. 38
Tabela 4 - Composição centesimal das sementes. 39
Tabela 5 - Valores de cor (L*, a*, b*) das farinhas. 40
Tabela 6 - Caracterização físico-química das farinhas. 40
Tabela 7 - Composição centesimal das farinhas. 41
Tabela 8 - Valores de cor (L*, a*, b*) das farinhas liofilizadas. 42
Tabela 9 - Caracterização físico-química das farinhas liofilizadas. 42
Tabela 10 - Composição centesimal das farinhas liofilizadas. 43
Tabela 11 - Conteúdo em minerais das farinhas. 45

**SUMÁRIO**


**1 INTRODUÇÃO 14**

**2 OBJETIVOS 15**

**2.1 Objetivo Geral 15**

**2.2 Objetivo Específico 15**

**3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 16**

**3.1 Cupuaçu 16**

**3.2 Secagem 18**

3.2.1 Secagem em estufa 20

3.2.2 Secagem por liofilização 20

**3.3 Reaproveitamento de resíduos 21**

**4 MATERIAL E MÉTODOS 23**

**4.1 Obtenção dos frutos 23**

**4.2 Obtenção dos frutos para produção das farinhas 23**

**4.3 Farinha liofilizada 26**

**4.4 Caracterização física das sementes 29**

**4.5 Composição centesimal das sementes e das farinhas 29**

4.5.1 Análise de lipídios 29

4.5.2 Umidade 30

4.5.3 Umidade em balança de infravermelho 30

4.5.4 Resíduo Mineral Fixo 31

4.5.5 Proteína bruta pelo método de Kjedahl 31

**4.6 Análises físico-químicas das sementes e das farinhas 32**

4.6.1 Acidez Total Titulável 32

4.6.2 pH 33

4.6.3 Cor 33

**4.7 Determinação de minerais 34**

4.7.1 Fósforo 34

4.7.2 Cálcio 35

4.7.3 Potássio e Cu, Fe, Zn e Mn 35
**5 RESULTADOS E DISCUSSÃO 37**
**5.1 Análises físicas das sementes do cupuaçu 37**
5.1.1 Composição centesimal das sementes 39
**5.2 Análises físico-químicas das farinhas das sementes de cupuaçu 39**
5.2.1 Composição centesimal das farinhas das sementes de cupuaçu 41
**5.3 Análises físico-químicas das farinhas liofilizadas das sementes de cupuaçu 41**
5.3.1 Composição centesimal das farinhas liofilizadas das sementes de cupuaçu 43
**5.4 Determinação de minerais das farinhas das sementes de cupuaçu 44**
**6 CONCLUSÃO 48**
**REFERÊNCIAS 49**

# 1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda por sistemas alimentares mais sustentáveis tem impulsionado pesquisas voltadas ao aproveitamento integral de matérias-primas vegetais, especialmente no contexto da redução de desperdícios agroindustriais. A valorização de subprodutos representa não apenas alternativa ambientalmente adequada, mas também opo rtunidade de inovação tecnológica e geração de novos ingredientes com potencial funcional (PARFITT et al., 2021; ZHANG et al., 2022; SANTOS et al., 2023).

Nesse cenário, o cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*), espécie nativa da Amazônia, destaca-se pelo expressivo valor econômico regional. Embora sua polpa seja amplamente utilizada na produção de sucos, doces e derivados, as sementes ainda são frequentemente descartadas ou destinadas a usos limitados, apesar de apresentarem composição rica em lipídios, proteínas e minerais (SILVA et al., 2021; SOUSA et al., 2022; OLIVEIRA et al., 2023).

O uso das sementes para obtenção de farinha constitui uma estratégia viável para ampliar sua aplicação na indústria de alimentos. No entanto, o processamento tecnológico, especialmente a secagem, pode influenciar diretamente a qualidade nutricional e estrutural do produto (ONWODE et al., 2021; WANG et al., 2022).

A secagem térmica por convecção de ar quente é amplamente utilizada devido à sua simplicidade operacional e viabilidade econômica. Entretanto, a exposição a altas temperaturas pode provocar alterações na matriz alimentar (ERBAY; İCİER, 2020; ONWODE et al., 2021).

Por outro lado, a liofilização utiliza a remoção da água por sublimação em baixas temperaturas e pressão reduzida, favorecendo a preservação das características nutricionais e estruturais. Apesar do maior custo operacional, esse método apresenta maior eficiência na manutenção de compostos sensíveis (NOWAK; JAKUBCZYK, 2020; WANG et al., 2022).

A composição mineral dos alimentos desempenha papel essencial na nutrição humana, sendo os macrominerais e micronutrientes fundamentais para funções metabólicas, estruturais e regulatórias. Assim, compreender a influência dos métodos de secagem sobre o perfil mineral das farinhas de sementes de cupuaçu torna-se relevante tanto do ponto de vista tecnológico quanto nutricional (COZZOLINO, 2020; SANTOS et al., 2021).

Diante disso, o presente estudo teve como objetivo avaliar o impacto da secagem térmica em diferentes temperaturas e da liofilização sobre a composição mineral de farinhas produzidas a partir de sementes de cupuaçu, contribuindo para a valorização sustentável desse subproduto amazônico.

# 2 OBJETIVOS

## 2.1 Objetivo Geral

Avaliar o impacto de diferentes métodos de secagem sobre a composição mineral da farinha de sementes de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*).

## 2.2 Objetivo Específico

- Produzir farinha a partir das sementes de cupuaçu;
- Submeter as sementes a diferentes métodos de secagem: secagem térmica (em diferentes temperaturas) e liofilização;
- Determinar a composição mineral das farinhas obtidas;
- Comparar os efeitos dos métodos de secagem nos minerais;
- Avaliar o potencial de aproveitamento das sementes como matéria-prima.

# 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

## 3.1 Cupuaçu

O cupuaçu, fruto típico da Região Amazônica, pertence ao gênero Theobroma, que inclui espécies de importância econômica como o cacau. A árvore do cupuaçu apresenta porte médio (10 a 18 m), copa densa e frutos alongados, de casca espessa e sementes envoltas por uma polpa branca altamente aromática. Suas condições ideais de crescimento incluem clima quente e úmido, solos bem drenados e alta pluviosidade, típicas da floresta amazônica (EMBRAPA, 2010).

Pesquisas recentes sugerem que o cupuaçu é resultado de um longo processo de domesticação indígena, estimado entre 5.000 e 8.000 anos. Evidências revelam que populações da Bacia do Rio Negro selecionaram plantas com frutos maiores e mais carnudos, influenciando diretamente a genética atual da espécie (USP, 2024). Além disso, há indícios de que o cupuaçu tenha evoluído a partir de espécies selvagens, como o *Theobroma grandiflorum*, embora a divergência taxonômica continue em debate (SILVA, R. et al., 2023).

A espécie Theobroma grandiflorum Schum, popularmente conhecida como cupuaçu (Figura 1), é uma frutífera nativa da Amazônia brasileira, muito apreciada pelo seu valor nutricional e sensorial in natura e industrializado (CUNHA JÚNIOR; TAVARES, 2020). Esta planta tropical reto e cilíndrico, com casca lisa e de coloração cinza. Essa frutífera pertence à família Malvaceae, a mesma família do cacau (Theobroma cacao), enquadrando-se como espécies desse gênero que detém cultivo comercial (ALVES et al., 2013).

Figura 1 - Imagens do Cupuaçu (*Theobroma grandiflorum Schum),* onde: A. Árvore do cupuaçu; B. Fruto do cupuaçu; C. Interior do fruto.




Fonte: Barbosa (2021); Shutterstock (2007); FAPEAM (2015).

O cupuaçuzeiro não somente contribui para a biodiversidade da Amazônia, mas também desempenha um papel importante na cultura local utilizado em diversas receitas tradicionais. Sua adaptação ao solo e clima da região amazônica, juntamente com suas características botânicas únicas, fazem do cupuaçuzeiro uma planta de grande relevância ecológica e econômica (GOMES et al., 2012; SILVA et al., 2016).

A Amazônia é considerada um dos ecossistemas mais ricos em biodiversidade do planeta, sendo fundamental a utilização sustentável de seus recursos naturais para reduzir o desmatamento e a degradação ambiental (SCHWARTZ et al., 2009). Nesse contexto, o cupuaçu destaca-se como importante espécie nativa da região amazônica.

O cultivo do cupuaçu é predominante no Brasil, especialmente nos estados do Pará, Amazonas e Rondônia, ocorrendo também em países como Peru, Colômbia e Bolívia (SCHWARTZ et al., 2009). O interesse pelo fruto está relacionado às suas características nutricionais e sensoriais, além do potencial de geração de renda para comunidades extrativistas e agricultores familiares.

No estado do Pará, o cupuaçu foi identificado em áreas de terra firme e várzea, com registros em regiões como Médio Tapajós, Rio Xingu, Rio Guamá e Rio Tocantins (SOUZA et al., 1999; ALVES et al., 2014). Atualmente, sua cultura encontra-se amplamente disseminada na bacia amazônica.

Dessa forma, o cultivo e o aproveitamento sustentável do cupuaçu representam alternativa econômica importante, contribuindo para a preservação ambiental e para o desenvolvimento social das comunidades locais (SCHWARTZ et al., 2009).

O fruto, que é do tipo baga, possui uma casca lenhosa e recoberta por pêlos, auxiliando na proteção contra as pragas e na retenção de umidade. Em termos de formato, os frutos do cupuaçuzeiro podem ser oblongos, ovalados ou redondos, com um comprimento de 12 a 25 cm (HAMMERSTONE et al., 1994; RODRIGUES, 2016). É reconhecido por seu sabor característico e valor nutricional, apresenta importância econômica para a região amazônica, principalmente devido à utilização de sua polpa na fabricação de sucos, sorvetes, geleias, licores, cremes e outros derivados (CARVALHO, 2004; ALMEIDA et al., 2007).

A polpa do cupuaçu é fibrosa, de cor amarela, com um sabor ácido e um aroma característico, valorizado tanto pela indústria alimentícia quanto pela cosmética. Cada fruto contém de 30 a 50 sementes, ricas em gordura, especialmente valorizadas na produção de manteiga de cupuaçu, amplamente utilizadas para aplicações hidratantes e antioxidantes (CUNHA JÚNIOR; TAVARES, 2020).

As sementes possuem composição química semelhante às do cacau, destacando-se pelo elevado teor lipídico e potencial para produção de manteiga vegetal. Apesar disso, ainda são frequentemente tratadas como resíduo durante o processo de beneficiamento, sendo descartadas pelas indústrias e produtores (CARVALHO, 2004). Estudos demonstram o valor nutricional e tecnológico dessas sementes, indicando seu potencial de aproveitamento na indústria alimentícia e cosmética (CARVALHO et al., 1981; COUTINHO, 1969).

No processamento do fruto, fatores como armazenamento, tempo de estocagem e temperatura são determinantes para a manutenção da qualidade do cupuaçu, devido à elevada suscetibilidade à ação de fungos, bactérias e leveduras. Esses microrganismos podem comprometer a qualidade sensorial e a segurança do alimento, causando alterações de cor, odor, textura e sabor (USCS, 2021; OLIVEIRA; COSTA, 2003).

Nesse contexto, destaca-se a importância do aproveitamento dos subprodutos do fruto, especialmente das sementes, que correspondem a cerca de 20% do peso total e apresentam relevante valor nutricional. O uso dessas sementes contribui para a redução de resíduos agroindustriais, além de ampliar o potencial econômico da cadeia produtiva e favorecer práticas mais sustentáveis na exploração do cupuaçu (CARVALHO, 2004).

## 3.2 Secagem

A secagem é uma etapa pós-colheita essencial para a preservação de sementes e frutos, reduzindo o teor de água, inibindo a atividade microbiana e enzimática, e garantindo maior estabilidade físico-química do produto (ARANHA et al., 2023). No caso de sementes de frutos tropicais, como o cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum), a secagem não somente permite a conservação, mas também concentra compostos bioativos, lipídios e proteínas, fundamentais para o aproveitamento integral na forma de farinha (SILVA et al., 2024).

A secagem pode ser realizada ao sol ou mediante aquecimento, conforme as condições climáticas e a disponibilidade de recursos. Um dos principais objetivos do processo de secagem é a redução do teor de umidade das sementes, favorecendo a volatilização de compostos ácidos e, consequentemente, promovendo o aumento do pH. Esse processo contribui para a estabilização do produto e para a melhoria de suas características sensoriais. Entretanto, é fundamental adotar cuidados rigorosos durante essa etapa, a fim de prevenir a contaminação por microrganismos deteriorantes, como fungos e outros agentes de decomposição, incluindo espécies potencialmente toxigênicas. A proliferação desses microrganismos pode comprometer

a qualidade das sementes, ocasionando alterações indesejáveis no sabor e na segurança do produto final (EFRAIM et al., 2009; GUEHI et al., 2010; PARAMO et al., 2010).

A secagem representa um dos métodos de conservação mais antigos da história (MARTINS et al., 2020). Com a diminuição do teor de água, é possível estender a vida útil dos alimentos, uma vez que a água é o principal fator para o desenvolvimento de reações de degradação (CELESTINO, 2010). O principal tipo de secagem utilizado é o processo artificial, onde a quantidade de amostra, a velocidade de secagem e a temperatura do ar são os principais fatores que influenciam no processo (GARCIA et al., 2004).

Diversos métodos de secagem têm sido estudados, cada um com impactos específicos sobre a qualidade do produto. A **s**ecagem convectiva, utilizando ar quente em estufas, é amplamente empregada devido ao controle de temperatura e umidade, possibilitando secagem uniforme e preservação de nutrientes (CONVECTIVE, 2024). Já a secagem ao sol ou natural apresenta limitações, como baixa velocidade, maior risco de contaminação e menor reprodutibilidade (WANDERLEY et al., 2023). Técnicas híbridas e métodos inovadores, incluindo desumidificação química ou combinação de secagem convectiva com infravermelho, têm ganhado destaque por melhorar eficiência energética e preservar propriedades funcionais (OLIVEIRA et al., 2023).

A compreensão da cinética de secagem é fundamental para o planejamento do processo. Estudos recentes demonstram que variáveis como temperatura, umidade inicial e fluxo de ar influenciam diretamente a taxa de secagem, difusividade efetiva e energia de ativação, permitindo prever a evolução da umidade ao longo do tempo e otimizar o protocolo para preservar nutrientes. Modelos matemáticos ajustados aos dados experimentais são amplamente utilizados para definir parâmetros ideais de secagem, garantindo reprodutibilidade e qualidade da farinha obtida (MORAIS et al., 2023; ARANHA et al., 2023).

A secagem influencia significativamente as propriedades físico-químicas e funcionais das sementes. Estudos recentes indicam que o controle adequado da temperatura minimiza perdas de compostos bioativos, antioxidantes e proteínas funcionais, assegurando que a farinha resultante apresente alto valor nutricional e potencial de aplicação em alimentos e cosméticos (WANDERLEY et al., 2023; OLIVEIRA et al., 2023).

Segundo Oliveira e Costa (2003), o processo de secagem adequado também influencia diretamente a qualidade final da farinha. Um nível inadequado de umidade pode causar a deterioração rápida do produto, comprometendo sua viabilidade comercial. Portanto, o controle de temperatura e tempo de secagem é crucial para garantir um produto final de qualidade.

O planejamento da secagem das sementes de cupuaçu deve considerar: (1) seleção adequada do método, (2) controle preciso de temperatura e umidade, (3) monitoramento da cinética de secagem, e (4) preservação das propriedades físico- químicas. A literatura recente evidencia que estas práticas são essenciais para garantir a viabilidade tecnológica, segurança e qualidade nutricional da farinha obtida, contribuindo para o aproveitamento integral do fruto e sustentabilidade da cadeia produtiva amazônica (SILVA et al., 2024; ARANHA et al., 2023).

### 3.2.1 Secagem em estufa

A secagem em estufa é um dos métodos convencionais mais empregados na desidratação de matérias-primas alimentícias, especialmente em escala laboratorial e experimental, em razão da simplicidade operacional, do controle preciso de temperatura e do custo relativamente reduzido. O processo baseia-se na transferência de calor por convecção, na qual o ar aquecido circula no interior da câmara, promovendo a evaporação da água presente no alimento e, consequentemente, a redução do seu teor de umidade (FELLOWS, 2017; MUJUMDAR, 2020).

O mecanismo de secagem ocorre em duas etapas principais: inicialmente, há a remoção da água livre presente na superfície do material; em seguida, verifica-se a difusão da umidade do interior para a superfície, etapa que tende a ocorrer de forma mais lenta influenciada por fatores como temperatura, tempo de exposição, espessura da amostra e velocidade do ar. O aumento da temperatura eleva geralmente a taxa de secagem, reduzindo o tempo do processo; entretanto, temperaturas excessivas podem ocasionar alterações físico-químicas indesejáveis, como escurecimento não enzimático, degradação de compostos bioativos e modificações estruturais em proteínas e lipídios (SANTOS et al., 2019; ERBAY; İCİER, 2018).

No caso de sementes, como as de cupuaçu, a secagem em estufa desempenha papel fundamental na redução da atividade de água (aw), fator diretamente relacionado à estabilidade microbiológica e à vida útil do produto. A diminuição da umidade limita o crescimento de microrganismos deteriorantes e patogênicos, além de favorecer operações subsequentes, como a moagem, possibilitando a obtenção de farinhas com maior estabilidade durante o armazenamento (MUJUMDAR, 2020; FELLOWS, 2017).

Dessa forma, a secagem em estufa constitui uma etapa tecnológica estratégica no processamento de sementes, devendo ser conduzida sob condições controladas de temperatura e tempo, a fim de preservar as características físico-químicas, microbiológicas e sensoriais do produto.

### 3.2.2 Secagem por liofilização

A liofilização é um método de desidratação usado para preservar alimentos perecíveis, que produz alimentos secos com uma elevada qualidade em suas características sensoriais que podem ser percebidos pelos sentidos humanos, tais como cor, brilho, luz, odor, textura, sabor e valor nutricional. Estes produtos conseguem apresentar uma vida útil prolongada, evitando deste modo a utilização de uma abundante quantidade de aditivos. O processo envolve a remoção de água do alimento, de uma transferência direta do líquido para a fase de gás por um método de sublimação (HAMMAMI; RENE, 1997).

A liofilização consiste em congelar o produto e remover a água por sublimação sob pressão reduzida, permitindo que compostos termossensíveis sejam preservados. Estudos recentes demonstram que a liofilização mantém melhor os teores de fenóis totais, flavonoides e a atividade antioxidante em polpas tropicais, quando comparada à secagem por ar quente (BARBOSA; CARVALHO et al., 2024; BARBOSA et al., 2023). Além disso, a estrutura porosa resultante da sublimação facilita a moagem e a produção de farinhas finas e estáveis.

Embora existam desvantagens a este processo, uma vez que é um método dispendioso, a baixa temperatura requerida durante o processo não afeta as características sensoriais, tanto quanto outros métodos mais baratos, os quais são mais comumente usados. Garcia (2009) afirma que o processo de liofilização se mostra eficiente quando é comparado com outros meios de desidratação, frente características como contração do produto, perda de voláteis, decomposição térmica, ações enzimáticas e desnaturação de proteínas, merecendo destaque.

Este método precisa de algumas condições especiais. De acordo com Fellows (2009), é necessário o uso de baixa pressão extrema para atingir um estado de vácuo, são necessárias temperaturas de congelamento para remover a água dos produtos sem a utilização de uma temperatura elevada. Além disso, este processo requer um longo tempo, entre cerca de 4 e 12 horas, mais do que os outros métodos convencionais.

A aplicação da liofilização na semente de *Theobroma grandiflorum* representa uma oportunidade de desenvolver uma farinha com maior estabilidade, qualidade nutritiva e potencial tecnológico para uso na indústria de alimentos.

## 3.3 Reaproveitamento de resíduos

Os resíduos agroindustriais são materiais descartados durante o processamento de produtos agrícolas, que, se não tratados corretamente, podem representar sérios impactos

ambientais e econômicos. Eles incluem uma ampla variedade de sobras, como cascas, sementes, polpas e bagaços, os quais são muitas vezes considerados subprodutos sem valor comercial. No entanto, esses resíduos podem ser reaproveitados de forma inovadora e sustentável, contribuindo para a redução do desperdício e para a criação de novos produtos com maior valor agregado (BIDONE; PIEDADE, 2004).

A geração de resíduos pela indústria alimentícia é uma preocupação crescente, pois estes podem representar tanto problemas ambientais quanto oportunidades de inovação. Segundo Oliveira e Costa (2003), resíduos ricos em nutrientes e compostos bioativos, como as sementes de frutas, podem ser aproveitados na elaboração de novos produtos, contribuindo para a sustentabilidade da cadeia produtiva. O reaproveitamento desses subprodutos é uma prática que visa não só à redução de impactos ambientais, mas também ao desenvolvimento de novos produtos com valor agregado, como biscoitos à base de farinha de sementes de cupuaçu (SCHWARTZ et al., 2009).

A reutilização de resíduos na indústria alimentícia não somente reduz os custos de descarte e minimiza a poluição, mas também promove a inovação através do desenvolvimento de novos produtos. Em consonância com as práticas de sustentabilidade, o aproveitamento integral dos recursos se alinha com os conceitos de economia circular e responsabilidade socioambiental (OLIVEIRA; COSTA, 2003). Portanto, transformar resíduos em insumos valiosos pode ser uma estratégia relevante para a conservação ambiental e para o fortalecimento da economia local.

O tratamento de resíduos agroindustriais é um desafio relevante no contexto da sustentabilidade e do desenvolvimento econômico. Resíduos, muitas vezes descartados pelas indústrias, representam não somente uma perda de recursos potenciais, mas também um impacto ambiental significativo (OLIVEIRA et al., 2010). No caso do processamento de frutas, como o cupuaçu, uma parte substancial de resíduos é gerada, principalmente na forma de sementes e cascas. Essas sementes, que constituem cerca de 20% do peso do fruto, são geralmente descartadas, representando um desperdício de material com alto valor nutricional (CARVALHO,2004).

Essa abordagem não só contribui para o desenvolvimento de novos produtos e para a diversificação do mercado, mas também promove uma economia mais circular, onde o desperdício é minimizado e os subprodutos são valorizados (ALMEIDA et al., 2007).

# 4 MATERIAL E MÉTODOS

## 4.1 Obtenção dos frutos

O fruto do cupuaçu foi adquirido em uma feira local situada no município de Macapá – AP. Posteriormente, os frutos foram submetidos ao processo de higienização, seguindo os padrões de qualidade recomendados, e despolpados, realizando-se a separação entre polpa e sementes. Após o despolpamento, obteve-se um total de 55 sementes, sendo 28 provenientes do fruto 1 e 27 do fruto 2. As sementes foram acondicionadas em saco tipo *ziplock* e transportadas ao Laboratório de Tecnologia em Alimentos do Instituto Federal do Amapá (IFAP), onde foram mantidas sob refrigeração até a realização das etapas de processamento. Para o estudo, foram selecionadas 12 sementes, distribuídas proporcionalmente entre os dois frutos, destinadas ao processo de maceração e às análises propostas. A Figura 2 apresenta o fluxograma geral referente à etapa de obtenção e preparo inicial dos frutos.

Figura 2 - Fluxograma de obtenção das sementes.




Fonte: autoria própria, 2026.

## 4.2 Obtenção dos frutos para produção das farinhas

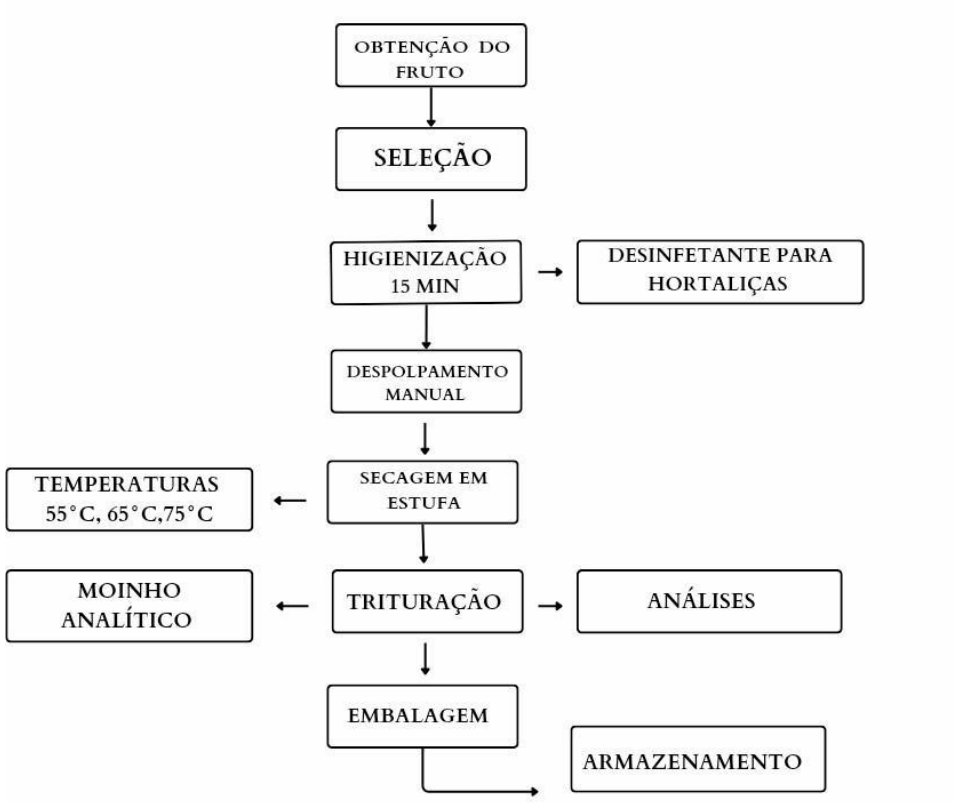
As sementes de cupuaçu utilizadas neste estudo foram cedidas pela empresa Flor da Sumaúma, situada no município de Macapá–AP. Após a doação, as sementes foram encaminhadas ao Laboratório de Tecnologia de Alimentos do Instituto Federal do Amapá (IFAP) – Campus Macapá. Inicialmente, no laboratório, as amostras foram pesadas e

acondicionadas em sacos plásticos do tipo ziplock, sendo posteriormente armazenadas sob congelamento até o início do processamento.

Na etapa seguinte, as sementes foram submetidas ao processo de secagem em estufa, nas temperaturas de 55, 65 e 75 °C. Após a secagem, procedeu-se à trituração das sementes em moinho analítico, visando à obtenção das farinhas. As farinhas produzidas foram acondicionadas sob refrigeração até a realização das análises. Por fim, foram conduzidas as análises de caracterização físico-química das farinhas obtidas.

As Figuras 3, 4, 5 e 6 apresentam, respectivamente, o fluxograma do processo de produção das farinhas e os produtos obtidos nas temperaturas de 55, 65 e 75 °C.

Figura 3 - Fluxograma de processamento das farinhas.




Fonte: autoria própria, 2026.

Figura 4 - Semente seca e farinha seca a 55 °C.



Fonte: autoria própria, 2026.

Figura 5 - Semente seca e farinha seca a 65 °C.



Fonte: autoria própria, 2026.

Figura 6 - Semente seca e farinha seca 75 °C.



Fonte: autoria própria, 2026.

## 4.3 Farinha liofilizada

A obtenção das sementes destinadas à produção da farinha liofilizada seguiu rigorosamente o procedimento descrito no item 3.2 deste trabalho. As análises de composição centesimal e de propriedades físicas foram conduzidas conforme os procedimentos estabelecidos nos itens 3.5 e 3.6, respectivamente, sendo ambas realizadas sobre a farinha obtida após o processo de liofilização.

A liofilização consiste no congelamento prévio do material, seguido da remoção da água por sublimação em condições de baixa pressão, caracterizando um método eficaz para a preservação de compostos termossensíveis e para a manutenção das propriedades físico-químicas e sensoriais do produto (HAMMAMI; RENE, 1997).

As Figuras 7, 8, 9 e 10 ilustram, respectivamente, o equipamento utilizado para a desidratação das sementes de cupuaçu, a etapa do processo de liofilização, o fluxograma da obtenção da farinha liofilizada e o produto obtido. Essas figuras auxiliam na visualização e compreensão das etapas metodológicas adotadas no estudo.

Figura 7 - Liofilizador Ltda (LIOBRAS).



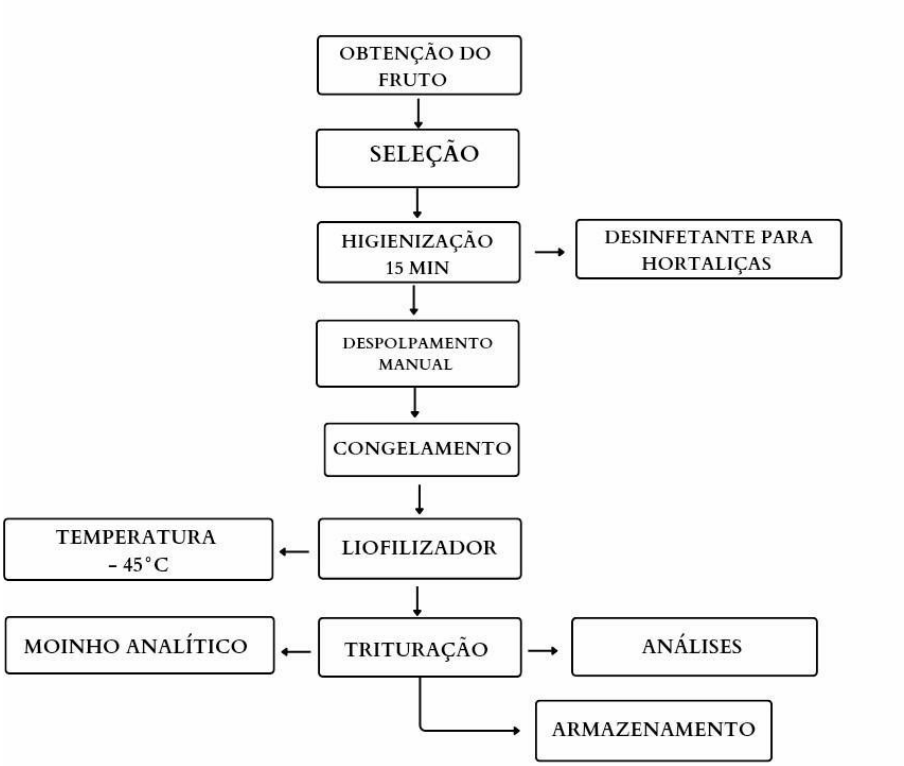
Fonte: autoria própria, 2026.

Figura 8 - Liofilização das sementes de cupuaçu.



Fonte: autoria própria, 2026.

Figura 9 - Fluxograma de obtenção das farinhas liofilizadas.




Fonte: autoria própria, 2026.

Figura 10 - Farinha liofilizada da semente de cupuaçu.



Fonte: autoria própria, 2026.

Assim, as etapas ilustradas nas figuras acima sintetizam o procedimento adotado para a obtenção da farinha liofilizada, assegurando a padronização do processo e a reprodutibilidade dos resultados apresentados nas seções subsequentes. A compreensão dessas etapas é essencial para interpretação adequada das análises realizadas, que serão discutidas nos tópicos a seguir.

## 4.4 Caracterização física das sementes

As propriedades físicas das sementes foram determinadas por meio de medições realizadas com o auxílio de um paquímetro, com resultados expressos em centímetros (cm).

As sementes provenientes do primeiro fruto analisado apresentaram, predominantemente, formato quase circular e aspecto achatado. As dimensões médias obtidas foram de 2,19 cm de altura, 1,78 cm de largura e 0,78 cm de espessura. Observou-se ainda que a quantidade de sementes por fruto variou de 1 a 24 unidades.

No segundo fruto avaliado, verificou-se variação nas dimensões das sementes em comparação ao primeiro, sendo registradas médias de 2,40 cm de altura, 1,90 cm de largura e 0,96 cm de espessura. Para esse fruto, o número de sementes variou de 1 a 22 unidades.

De modo geral, os resultados evidenciam variabilidade nas características dimensionais entre os frutos analisados, o que pode estar associado a fatores genéticos, condições de cultivo e estágio de maturação.

## 4.5 Composição centesimal das sementes e das farinhas

### 4.5.1 Análise de lipídios

A determinação de lipídios consiste na extração da fração gordurosa da amostra utilizando um solvente orgânico. No método Soxhlet, o solvente é aquecido, evapora e condensa repetidamente, dissolvendo as gorduras presentes no alimento. Após a extração, o solvente é evaporado, e o resíduo lipídico restante é pesado. A diferença entre a massa inicial do frasco e a massa final corresponde ao teor de lipídios da amostra (IAL, 2008).

Foram pesados de 2 a 5 g da amostra, os quais foram acondicionados em cartucho de papel filtro apropriado. Em seguida, o sistema de extração Soxhlet foi devidamente montado, utilizando-se o solvente previamente selecionado. A extração foi iniciada e mantida sob refluxo contínuo por um período de 4 a 6 horas, garantindo a completa extração da fração lipídica da amostra.

Ao término do processo, o solvente foi evaporado, o cartucho foi retirado do sistema e colocado em estufa para secagem. Posteriormente, o material foi resfriado em dessecador até atingir temperatura ambiente e, por fim, foi realizada a pesagem final para determinação do teor de lipídios.

A metodologia empregada baseou-se nos procedimentos descritos pelo Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008), conforme método oficial para determinação de extrato etéreo por extração contínua em aparelho de Soxhlet.

### 4.5.2 Umidade

A determinação umidade foi realizada conforme metodologia (IAL, 2008), baseando-se na perda de massa da amostra após o aquecimento em estufa a 105 °C até o peso constante. O resíduo obtido após o aquecimento foi considerado resíduo seco.

Inicialmente, os cadinhos de porcelana foram previamente tarados, sendo mantidos em estufa a 105 °C por 2 horas, posteriormente foram transferidos para o dessecador por aproximadamente 1 hora e pesados em balança analítica, registrando-se a massa. Em seguida, aproximadamente 1 g da amostra foi pesada nos cadinhos, previamente tarados. As amostras foram submetidas à secagem em estufa (105 °C) por 6 horas. Após esse período, os cadinhos foram retirados da estufa e mantidos em dessecador por 30 a 60 minutos. Decorrido esse tempo, foram novamente pesados em balança analítica, e os valores obtidos foram registrados. O teor de umidade foi calculado pela diferença de massa antes e após a secagem.

### 4.5.3 Umidade em balança de infravermelho

A determinação do teor de umidade foi realizada por meio de balança determinadora digital modelo DSH, que utiliza o método de secagem por lâmpada de halogênio. Nesse sistema, a amostra é submetida ao aquecimento controlado entre 50 a 180 °C, promovendo a evaporação da água presente na amostra.

A perda de massa decorrente da secagem é monitorada continuamente por um sensor de alta pressão, permitindo o cálculo automático do percentual de umidade e sólidos. O equipamento encerra a análise de forma automática quando ocorre estabilidade da massa.

Realizou-se a calibração do equipamento utilizando o peso padrão fornecido pelo fabricante. Uma cápsula metálica foi colocada no prato, tarada, e adicionou-se aproximadamente 3 a 5 g de amostra, conforme a recomendação técnica. A amostra foi distribuída de maneira uniforme na cápsula para garantir secagem homogênea. O tempo de secagem foi ajustado e mantido no modo automático, no qual o equipamento finaliza a análise ao atingir a estabilidade da massa. Durante o processo, foram registrados no visor digital: percentual de umidade, percentual de sólidos, massa e tempo de secagem.

### 4.5.4 Resíduo Mineral Fixo

A determinação do teor de cinzas foi realizada por meio de calcinação da amostra em forno tipo mufla, visando eliminar toda a matéria orgânica presente. O teor de cinzas foi obtido pela diferença entre a massa do cadinho vazio e a massa do cadinho contendo o resíduo mineral após a incineração.

Inicialmente, um cadinho de porcelana foi previamente calcinado em mufla a 550 °C por 30 minutos, a fim de eliminar possíveis impurezas. Após a temperatura da mufla reduzir para aproximadamente 100 °C, o cadinho foi retirado, acondicionado em dessecador por 30 minutos e, posteriormente, pesado em balança analítica com precisão de 0,0001 g.

Em seguida, foram pesados de 1 a 2 g da amostra no cadinho previamente tarado. O conjunto foi levado novamente à mufla, sendo a temperatura elevada gradativamente, em intervalos de 100 °C, até atingir 550 °C, permanecendo nesta temperatura por 4 horas para completa incineração da matéria orgânica.

Após o período de calcinação, a mufla foi desligada e aguardou-se a redução da temperatura para aproximadamente 100 °C. O cadinho foi então retirado com auxílio de pinça e luvas térmicas e colocado em dessecador contendo sílica gel ou cloreto de cálcio, onde permaneceu por cerca de 30 minutos para resfriamento. Por fim, realizou- se a pesagem final em balança analítica (0,0001 g) para determinação do teor de cinzas.

### 4.5.5 Proteína bruta pelo método de Kjedahl

A determinação de proteínas baseia-se na quantificação de nitrogênio, pelo processo de digestão de Kjeldahl. Este método é composto por três etapas: digestão, destilação e titulação. Na digestão, a matéria orgânica existente na amostra é decomposta em ácido sulfúrico concentrado, com auxílio de catalisador, de forma que o nitrogênio presente é transformado em sal amoniacal. Na destilação, o sal amoniacal é destilado na presença de hidróxido liberando amônia, sendo recebida numa solução ácida de volume e concentração conhecidos. Na titulação, determina-se a quantidade de nitrogênio presente na amostra titulando-se o excesso do ácido utilizado na destilação com hidróxido (IAL, 2008).

Inicialmente, pesou-se, com auxílio de espátula de aço inoxidável, aproximadamente 0,1 a 0,5 g da amostra seca e moída, acondicionando-a em um pedaço de papel filtro. Em seguida, o papel foi cuidadosamente dobrado, formando um embrulho, e introduzido no tubo de digestão. Foi realizada simultaneamente uma prova em branco, contendo todos os reagentes

utilizados na análise, exceto a amostra, incluindo o pedaço de papel filtro. Posteriormente, adicionou-se cerca de 2 g da mistura catalisadora a cada tubo, seguida da adição de 5 mL de ácido sulfúrico concentrado, utilizando frasco dosador ou pipeta graduada de 10 mL. Os tubos foram então levados à capela de exaustão e posicionados no bloco digestor, permanecendo em aquecimento até que a solução se tornasse completamente clara, apresentando coloração verde brilhante, a uma temperatura aproximada de 350 °C. Após a digestão, os tubos foram retirados do bloco digestor e deixados em repouso até atingirem a temperatura ambiente. Em seguida, adicionaram-se aproximadamente 20 mL de água destilada para evitar a cristalização da mistura, e os tubos foram acoplados ao micro destilador. Em um erlenmeyer de 125 mL, foram adicionados 10 mL da solução receptora-indicadora, no qual foi imerso o bico de saída do condensador do sistema de destilação. Posteriormente, adicionaram-se cuidadosamente 20 mL de hidróxido de sódio (NaOH) a 50%, vertendo lentamente a solução no tubo digestor, iniciando-se o aquecimento. Durante esse processo, todos os registros do sistema de destilação permaneceram fechados, direcionando o vapor produzido exclusivamente para o condensador. A destilação foi conduzida por aproximadamente 10 minutos, sendo finalizada quando o volume total coletado no erlenmeyer atingiu cerca de 50 mL. Ao término, o erlenmeyer foi retirado, a extremidade do tubo condensador foi lavada com água destilada, recolhendo-se o líquido no próprio erlenmeyer. Mantendo o tubo ainda sobre o erlenmeyer, porém não imerso na solução, deixou-se destilar por alguns segundos adicionais, garantindo a lavagem completa da parede interna do tubo. A solução final apresentou coloração verde cristalina. Por fim, o conteúdo do erlenmeyer foi titulado com ácido clorídrico 0,1 $mol \cdot L^{-1}$ ou ácido sulfúrico 0,5 $mol \cdot L^{-1}$, utilizando bureta, até o aparecimento de coloração rósea clara, indicando o ponto final da titulação.

## 4.6 Análises físico-químicas das sementes e das farinhas

### 4.6.1 Acidez Total Titulável

A determinação de acidez pode fornecer um dado valioso na apreciação do estado de conservação de um produto alimentício. Um processo de decomposição, seja por hidrólise, oxidação ou fermentação, altera quase sempre a concentração dos íons de hidrogênio. Os métodos de determinação da acidez podem ser os que avaliam a acidez titulável ou fornecem a concentração de íons de hidrogênio livres, por meio do pH. Os métodos que avaliam a acidez titulável resumem-se em titular com soluções de álcali padrão a acidez do produto ou de

soluções aquosas, ou alcoólicas do produto e, em certos casos, os ácidos graxos obtidos dos lipídios. Pode ser expressa em mL de solução molar por cento ou em gramas do componente ácido principal.

Foram pesados de 1 a 5 g da amostra, ou pipetados de 1 a 10 mL, conforme a natureza da amostra, e transferidos para um erlenmeyer de 125 mL. Em seguida, adicionaram-se aproximadamente 50 mL de água destilada para diluição.

Posteriormente, foram adicionadas de 2 a 4 gotas da solução indicadora de fenolftaleína, e a mistura foi titulada com solução padronizada de hidróxido de sódio (NaOH) até o aparecimento de coloração rósea persistente, indicando o ponto final da titulação.

### 4.6.2 pH

O pH é definido como uma medida da acidez ou alcalinidade de uma solução, influenciando diretamente a estabilidade microbiológica, a qualidade sensorial e as reações químicas dos alimentos. Sua determinação é realizada utilizando-se um pHmetro, equipamento que mede a atividade dos íons hidrogênio ($H^+$) presentes na solução, fornecendo um valor numérico correspondente ao grau de acidez ou alcalinidade da amostra (IAL, 2008).

Inicialmente, o pHmetro foi ligado e devidamente calibrado com soluções tampão padrão de pH 4,0 e 7,0, a fim de garantir a confiabilidade das medições. Em seguida, foram pesados de 1 a 10 g da amostra, que foram diluídos em 90 mL de água destilada, em um béquer de 100 mL. A solução foi homogeneizada e mantida em repouso por aproximadamente 10 minutos, para permitir a estabilização do sistema.

Posteriormente, o eletrodo foi inserido na solução, aguardando-se a estabilização da leitura no visor do equipamento. Após a estabilização, o valor de pH obtido foi registrado para posterior análise.

### 4.6.3 Cor

A determinação da cor foi realizada utilizando o colorímetro portátil Konica Minolta CR-400, que opera segundo o sistema de medição CIE L*a*b*. O equipamento emite luz mediante uma fonte interna e detecta a radiação refletida pela superfície da amostra, convertendo-a em coordenadas colorimétricas padronizadas.

O parâmetro L* indica luminosidade (0 = preto; 100 = branco), enquanto a* representa a variação entre o verde (–) e o vermelho (+), e b* entre o azul (–) e o amarelo (+). A calibração do instrumento é realizada utilizando uma placa branca padrão fornecida pelo fabricante.

Realizou-se a calibração do colorímetro portátil Konica Minolta CR-400 utilizando a placa branca padrão, posicionando a cabeça de leitura sobre a superfície da placa e confirmando no menu de calibração do equipamento. A amostra foi preparada de modo a apresentar superfície lisa, limpa e homogênea, garantindo a leitura correta da luz refletida. O sensor do CR-400 foi posicionado diretamente sobre a superfície da amostra, evitando a entrada de luz externa. Foi acionado o comando de leitura para registrar os valores colorimétricos. O equipamento forneceu automaticamente os parâmetros: L* (luminosidade), a* (eixo verde–vermelho), b* (eixo azul–amarelo). Cada leitura foi repetida conforme necessidade da análise, e a média dos valores resultou no resultado.

## 4.7 Determinação de minerais

### 4.7.1 Fósforo

A determinação de fósforo foi realizada por método espectrofotométrico na região do visível, baseado na formação de complexo entre o fósforo e o reagente vanado-molibdato de amônio, conforme metodologia descrita pelo (IAL, 2008).

Inicialmente, as amostras foram submetidas ao processo de incineração para obtenção das cinzas (POP 03.01.01.02). As cinzas obtidas foram dissolvidas em 10 mL de ácido clorídrico (HCl) e adicionadas de 1 a 2 mL de ácido nítrico ($HNO_3$) concentrado. A mistura foi levada à ebulição por aproximadamente 5 minutos, para promover a hidrólise dos polifosfatos. Após resfriamento, o conteúdo foi transferido para balão volumétrico de 100 mL, sendo o volume completado com água destilada e deionizada. Paralelamente, foi preparado um branco dos reagentes.

Para a construção da curva padrão, alíquotas da solução padrão de fósforo, correspondentes a concentrações entre 0,2 e 1,0 mg, foram pipetadas em balões volumétricos de 50 mL. Em seguida, foram adicionados 10 mL da solução de vanadato- molibdato de amônio, completando-se o volume com água destilada. Após homogeneização, as soluções permaneceram em repouso por 10 minutos para o desenvolvimento da coloração característica do complexo.

As leituras de absorbância foram realizadas em espectrofotômetro UV/VIS previamente ajustado para comprimento de onda de 420 nm, utilizando-se o branco para calibração do equipamento. A concentração de fósforo nas amostras foi determinada por interpolação na curva padrão, conforme metodologia do (IAL, 2008).

### 4.7.2 Cálcio

A determinação de cálcio foi realizada por titulação complexométrica com EDTA, conforme metodologia descrita pelo (IAL, 2008). O método baseou-se na mineralização da amostra e posterior determinação de cálcio na presença de magnésio, utilizando o sal dissódico do ácido etilenodiamino tetracético (EDTA) como agente titulante e mistura de ácido calconcarboxílico, alaranjado de metila e cloreto de sódio como indicador.

Inicialmente, as amostras foram submetidas ao processo de incineração para obtenção das cinzas (POP 03.01.01.02). As cinzas obtidas foram dissolvidas em 10 mL de ácido clorídrico (HCl) e adicionadas de 1 a 2 mL de ácido nítrico ($HNO_3$) concentrado. A solução foi levada à ebulição por aproximadamente 5 minutos, para promover a hidrólise dos polifosfatos. Após resfriamento, o conteúdo foi transferido para balão volumétrico de 100 mL, sendo o volume completado com água destilada e deionizada. Paralelamente, foi preparado um branco contendo todos os reagentes utilizados.

Para a determinação, uma alíquota da solução mineralizada, contendo aproximadamente 5 mg de cálcio, foi transferida para Erlenmeyer de 125 mL. Em seguida, foram adicionados 50 mL de água destilada, e o pH foi ajustado para a faixa de 12 a 14 com pastilhas de hidróxido de sódio (NaOH) ou hidróxido de potássio (KOH). Após a adição da solução indicadora, até o desenvolvimento da coloração vinho, procedeu-se à titulação com solução de EDTA 0,01 M, sob agitação constante, até a mudança de cor para verde persistente, indicando o ponto final da titulação.

O branco foi titulado nas mesmas condições, utilizando-se todos os reagentes empregados na amostra. O teor de cálcio foi calculado com base no volume de EDTA gasto na titulação, conforme metodologia do (IAL, 2008).

### 4.7.3 Potássio e Cu, Fe, Zn e Mn

A determinação de potássio (K) e dos minerais cobre (Cu), ferro (Fe), zinco (Zn) e manganês (Mn) foi realizada por espectrometria de absorção atômica com chama, utilizando

espectrofotômetro modelo Thermo Scientific iCE 3000 Series, conforme metodologias descritas por (SILVA & QUEIROZ, 2002; IAL, 2008).

Inicialmente, as amostras foram submetidas à decomposição por via seca, mediante incineração em mufla para obtenção das cinzas. Posteriormente, as cinzas foram solubilizadas com solução de ácido clorídrico (HCl) e ácido nítrico ($HNO_3$), garantindo a completa dissolução dos minerais presentes. O extrato obtido foi transferido para balão volumétrico e o volume completado com água destilada e deionizada.

As leituras foram realizadas em espectrômetro de absorção atômica com chama, sob condições operacionais específicas para cada elemento, utilizando-se curvas de calibração previamente construídas com soluções padrão dos respectivos minerais. A quantificação foi realizada por comparação das absorbâncias das amostras com as obtidas na curva padrão.

Os resultados foram expressos em mg/100 g de amostra, conforme as metodologias de referência (SILVA & QUEIROZ, 2002; IAL, 2008).

# 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

## 5.1 Análises físicas das sementes do cupuaçu

As análises físicas e físico-químicas das sementes de cupuaçu são fundamentais para compreender seu potencial tecnológico e orientar etapas posteriores de processamento, como secagem e obtenção de farinha. Os resultados obtidos, apresentados nas Tabelas 1, 2 e 3, correspondem às médias e desvios-padrão das análises realizadas em triplicata, assegurando a confiabilidade dos dados.

Tabela 1 - Propriedades físicas das sementes do cupuaçu.

| Altura | Largura | Espessura |
|---|---|---|
| 2,30 ± 0,28 | 1,84 ± 0,20 | 0,9 ± 0,28 |

Fonte: autoria própria, 2026.

Os resultados referentes às propriedades físicas das sementes de cupuaçu (Tabela 1) indicaram valores médios de altura de 2,30 ± 0,28 cm, largura de 1,84 ± 0,20 cm e espessura de 0,90 ± 0,28 cm. Esses valores estão em consonância com os reportados por Cruz (2007), que descreve variações dimensionais nas sementes de cupuaçu associadas a fatores genéticos, estágio de maturação do fruto e condições ambientais.

A uniformidade relativa observada nas dimensões das sementes é um fator importante para o processamento industrial, uma vez que influencia diretamente a eficiência das operações unitárias, como secagem, moagem e extração de compostos bioativos. Sementes com dimensões semelhantes tendem a apresentar comportamento mais homogêneo durante a secagem, reduzindo gradientes de umidade e perdas de qualidade (MUJUMDAR, 2020).

Tabela 2 - Caracterização físico-química das sementes do cupuaçu.

| Acidez total titulável (%) | Água retirada | Sólidos totais | pH |
|---|---|---|---|
| 7,49 ± 1,18 | 54,41 ± 5,84 | 45,59 ± 5,84 | 4,28 ± 0,16 |

Fonte: autoria própria, 2026.

A Tabela 2 apresenta os resultados da caracterização físico-química das sementes de cupuaçu, destacando acidez total titulável, teor de água retirada, sólidos totais e pH. O valor médio de acidez total titulável foi de 7,49 ± 1,18%, indicando elevada presença de ácidos

orgânicos, característica comum em sementes de frutos amazônicos e compatível com os valores relatados por Carvalho et al. (2004).

O teor de água retirada foi de 54,41 ± 5,84%, evidenciando o elevado conteúdo de umidade inicial das sementes, justificando a necessidade da aplicação de métodos de secagem adequados para garantir estabilidade microbiológica e conservação do material. Resultados semelhantes foram observados por Cruz (2007), que destaca a sensibilidade das sementes de cupuaçu à perda de água e a importância do controle rigoroso da secagem.

Os sólidos totais apresentaram valor médio de 45,59 ± 5,84%, indicando que as sementes possuem fração significativa de constituintes sólidos, como lipídios, proteínas e carboidratos estruturais. Segundo Carvalho et al. (1981), a semente de cupuaçu apresenta composição próxima à do cacau, com elevado teor lipídico, reforçando seu potencial para aproveitamento tecnológico.

O pH médio de 4,28 ± 0,16 caracteriza as sementes como ligeiramente ácidas, condição que pode favorecer a estabilidade microbiológica inicial, porém também influencia reações químicas durante o processamento, como oxidação lipídica e escurecimento não enzimático (FELLOWS, 2009). Dessa forma, o controle do pH e da umidade torna-se essencial durante a secagem e armazenamento das sementes e da farinha obtida.

Tabela 3 - Valores de cor (L*, a*, b*) das sementes de cupuaçu.

| L* (Luminosidade) | a* (Verde/Vermelho) | b* (Azul/Amarelo) |
|---|---|---|
| 27,61 ± 0,94 | 8,94 ± 0,33 | 22,70 ± 1,18 |

Fonte: autoria própria, 2026.

Os valores de cor das sementes de cupuaçu, expressos no sistema CIELab (Tabela 3), apresentaram luminosidade (L*) de 27,61 ± 0,94, indicando uma coloração relativamente escura. Valores reduzidos de L* são característicos de sementes com elevada concentração de compostos fenólicos e pigmentos naturais, comuns em espécies do gênero *Theobroma* (OLIVEIRA; COSTA, 2003).

O parâmetro a* apresentou valor positivo (8,94 ± 0,33), indicando predominância de tonalidade avermelhada, enquanto o parâmetro b* (22,70 ± 1,18) evidenciou forte tendência à coloração amarela. Esses resultados estão conforme os descritos por Carvalho et al. (1981) e Almeida et al. (2007), que relatam coloração amarronzada a amarelada para sementes de cupuaçu, atribuída principalmente à presença de lipídios, compostos fenólicos e produtos de oxidação natural.

A caracterização da cor é relevante, pois esse atributo pode sofrer alterações durante processos térmicos, como a secagem, influenciando a aceitação do produto final e suas aplicações tecnológicas.

### 5.1.1 Composição centesimal das sementes

A composição centesimal das sementes de cupuaçu, apresentada na Tabela 4, evidencia o elevado potencial nutricional desse subproduto. O teor de umidade observado (49,77 ± 4,05%) indica que as sementes apresentam alto conteúdo de água, característica comum a sementes frescas de frutos amazônicos, reforçando a necessidade da aplicação de métodos adequados de secagem para garantir estabilidade microbiológica e maior vida útil (CRUZ, 2007).

Tabela 4 - Composição centesimal das sementes.

| **Umidade (%)** | **Cinzas (%)** | **Lipídios (%)** |
|---|---|---|
| 49,77 ± 4,05 | 1,62 ± 0,31 | 78,49 ± 5,37 |

Fonte: autoria própria, 2026.

O teor de cinzas (1,62 ± 0,31%) reflete a presença de minerais essenciais, estando em concordância com os valores reportados por Almeida et al. (2007), que descrevem teores de cinzas variando entre 1,0 e 2,0% para sementes de *Theobroma grandiflorum*. Esses minerais são importantes tanto do ponto de vista nutricional quanto tecnológico, podendo influenciar reações químicas durante o processamento.

O elevado teor de lipídios (78,49 ± 5,37%) destaca-se como o principal constituinte das sementes, corroborando os achados de Carvalho et al. (1981), que relatam composição lipídica expressiva e comparável à do cacau. Esse resultado reforça o potencial das sementes de cupuaçu para aplicação na indústria de alimentos, cosméticos e farmacêutica, especialmente na obtenção de manteiga e farinhas funcionais.

## 5.2 Análises físico-químicas das farinhas das sementes de cupuaçu

Os valores de cor das farinhas de semente de cupuaçu obtidas nas temperaturas de 55 °C, 65 °C e 75 °C estão apresentados na Tabela 5. Observou-se aumento progressivo da luminosidade (L*) com o incremento da temperatura de secagem, variando de 37,30 ± 1,36 a

43,66 ± 1,19. Esse comportamento pode estar relacionado à redução do teor de umidade e à maior dispersão da luz em matrizes mais secas e porosas (OLIVEIRA; COSTA, 2003).

Tabela 5 - Valores de cor (L*, a*, b*) das farinhas.

| Temperaturas (°C) | L* (Luminosidade) | a* (Verde/Vermelho) | b* (Azul/Amarelo) |
|---|---|---|---|
| 55 | 37,30 ± 1,36 | 9,35 ± 0,35 | 24,55 ± 0,47 |
| 65 | 42,51 ± 1,66 | 8,06 ± 0,38 | 22,76 ± 0,69 |
| 75 | 43,66 ± 1,19 | 7,23 ± 0,20 | 21,62 ± 0,39 |

Fonte: autoria própria, 2026.

O parâmetro a* apresentou tendência de redução com o aumento da temperatura, indicando diminuição da tonalidade avermelhada. Esse efeito pode ser atribuído à degradação parcial de pigmentos naturais e compostos fenólicos sensíveis ao calor (FELLOWS, 2009). Já o parâmetro b*, associado à coloração amarela, apresentou valores mais elevados nas temperaturas intermediárias, sugerindo influência tanto da concentração de sólidos quanto de possíveis reações químicas, como oxidação lipídica e início de escurecimento não enzimático.

Resultados semelhantes foram observados por Barbosa et al. (2023), que relataram alterações significativas nos parâmetros de cor de farinhas vegetais submetidas a diferentes condições de secagem, ressaltando a importância do controle térmico para manutenção da qualidade visual do produto.

Tabela 6 - Caracterização físico-química das farinhas.

| Temperaturas (°C) | Acidez total titulável (%) | Água retirada | Sólidos totais | pH |
|---|---|---|---|---|
| 55 | 2,44 ± 1,60 | 12,14 ± 0,60 | 87,86 ± 0,60 | 4,50 ± 0,05 |
| 65 | 2,73 ± 0,57 | 12,52 ± 1,02 | 87,48 ± 1,02 | 4,71 ± 0,02 |
| 75 | 2,09 ± 0,01 | 13,10 ± 0,95 | 86,87 ± 0,90 | 4,68 ± 0,04 |

Fonte: autoria própria, 2026.

A caracterização físico-química das farinhas, apresentada na Tabela 6, demonstra que a temperatura de secagem influenciou significativamente os parâmetros analisados. A acidez total titulável apresentou valores entre 2,09 ± 0,01% e 2,73 ± 0,57%, indicando redução da acidez em temperaturas mais elevadas, possivelmente devido à volatilização ou degradação de ácidos orgânicos durante o processo de secagem (CARVALHO, 2004).

O teor de água retirada aumentou gradualmente com o aumento da temperatura, evidenciando maior eficiência do processo de secagem em temperaturas mais elevadas. Os

valores de sólidos totais permaneceram elevados em todas as condições estudadas, acima de 86%, indicando boa eficiência na remoção da umidade e estabilidade do produto obtido.

Os valores de pH variaram entre 4,50 ± 0,05 e 4,71 ± 0,02, caracterizando as farinhas como ligeiramente ácidas. Segundo Fellows (2009), valores de pH nessa faixa podem contribuir para a estabilidade microbiológica, embora seja necessário controle adequado do armazenamento para evitar reações indesejáveis, especialmente em produtos com alto teor lipídico.

### 5.2.1 Composição centesimal das farinhas das sementes de cupuaçu

A composição centesimal das farinhas obtidas em diferentes temperaturas de secagem está apresentada na Tabela 7. O teor de umidade variou entre 11,32 ± 0,35% e 12,84 ± 0,16%, valores considerados adequados para farinhas vegetais, conforme estabelecido pela legislação brasileira e pela literatura técnica (BRASIL, 2022).

Tabela 7 - Composição centesimal das farinhas.

| Temperaturas (°C) | Umidade (%) | Cinzas (%) | Lipídios (%) | Proteínas (%) |
|---|---|---|---|---|
| 55 | 11,32 ± 0,35 | 2,93 ± 0,07 | 52,47 ± 0,94 | 8,64 ± 0,28 |
| 65 | 11,83 ± 0,09 | 3,16 ± 0,51 | 55,47 ± 3,43 | 9,10 ± 0,31 |
| 75 | 12,84 ± 0,16 | 2,71 ± 0,03 | 53,48 ± 1,92 | 9,57 ± 0,58 |

Fonte: autoria própria, 2026.

Os teores de cinzas variaram entre 2,71 ± 0,03% e 3,16 ± 0,51%, indicando concentração mineral superior à observada nas sementes in natura, resultado esperado devido à remoção de água durante a secagem. O teor de lipídios manteve-se elevado em todas as temperaturas, variando de 52,47 ± 0,94% a 55,47 ± 3,43%, confirmando que o processo de secagem não promoveu perdas significativas dessa fração, conforme também observado por Carvalho et al. (1981).

Os teores de proteínas apresentaram leve aumento com a elevação da temperatura de secagem, atingindo 9,57 ± 0,58% a 75 °C. Esse comportamento pode ser explicado pela concentração dos sólidos após a remoção da água, além da maior exposição das proteínas durante a moagem do material seco (MUJUMDAR, 2020).

## 5.3 Análises físico-químicas das farinhas liofilizadas das sementes de cupuaçu

A avaliação das características físico-químicas das farinhas liofilizadas das sementes de cupuaçu é fundamental para compreender os efeitos da liofilização sobre a qualidade do produto. Os resultados apresentados nas Tabelas 8, 9 e 10 demonstram que esse método de secagem promove alterações significativas em comparação às farinhas obtidas por secagem em estufa, especialmente no que se refere à cor, teor de umidade e preservação dos constituintes nutricionais.

Tabela 8 - Valores de cor (L*, a*, b*) das farinhas liofilizadas.

| L* (Luminosidade) | a* (Verde/Vermelho) | b* (Azul/Amarelo) |
|---|---|---|
| 48,09 ± 0,16 | 7,73 ± 0,29 | 24,80 ± 0,26 |

Fonte: autoria própria, 2026.

Os valores de cor das farinhas liofilizadas, expressos no sistema CIELab (Tabela 8), indicaram luminosidade (L*) de 48,09 ± 0,16, valor superior ao observado para as farinhas-secas em estufa, evidenciando um produto mais claro. Segundo Oliveira e Costa (2003), valores mais elevados de L* estão associados à menor ocorrência de reações de escurecimento, confirmando a eficiência da liofilização na preservação da aparência do produto.

O parâmetro a* apresentou valor positivo (7,73 ± 0,29), indicando leve tonalidade avermelhada, enquanto o parâmetro b* (24,80 ± 0,26) revelou predominância da coloração amarela. Esses resultados são compatíveis com os descritos por Fellows (2009), que destaca que a liofilização preserva pigmentos naturais e minimiza reações químicas indesejáveis, como a oxidação e o escurecimento não enzimático, comuns em processos térmicos convencionais.

Dessa forma, a farinha liofilizada apresenta características visuais mais atrativas, fator importante para sua aceitação e aplicação tecnológica na indústria de alimentos.

Tabela 9 - Caracterização físico-química das farinhas liofilizadas.

| Acidez total titulável (%) | Água retirada | Sólidos totais | pH |
|---|---|---|---|
| 42,25 ± 2,62 | 6,94 ± 0,32 | 93,06 ± 0,32 | 4,62 ± 0,17 |

Fonte: autoria própria, 2026.

A caracterização físico-química das farinhas liofilizadas (Tabela 9) revelou valor de acidez total titulável de 42,25 ± 2,62%, significativamente superior ao observado nas farinhas-secas em estufa. Esse comportamento pode ser atribuído à concentração de ácidos orgânicos promovida pela remoção quase total da água, além da preservação desses compostos devido às baixas temperaturas utilizadas na liofilização (HAMMAMI; RENE, 1997).

O teor de água retirada foi de 6,94 ± 0,32%, evidenciando a elevada eficiência da liofilização na redução da umidade. Esse resultado é inferior aos valores observados nas farinhas-secas por estufa, confirmando que a liofilização é mais eficiente na remoção da água ligada, resultando em produtos com maior estabilidade físico-química e microbiológica (MUJUMDAR, 2020).

Os sólidos totais apresentaram valor elevado (93,06 ± 0,32%), indicando concentração significativa dos constituintes sólidos da semente, como lipídios, proteínas e minerais. Esse elevado teor é desejável para farinhas destinadas ao uso tecnológico, uma vez que contribui para maior estabilidade durante o armazenamento.

O pH da farinha liofilizada foi de 4,62 ± 0,17, caracterizando o produto como levemente ácido. Valores de pH nessa faixa são considerados adequados para produtos de origem vegetal e podem auxiliar na redução do crescimento microbiano, embora não dispensem boas práticas de armazenamento (FELLOWS, 2009).

### 5.3.1 Composição centesimal das farinhas liofilizadas das sementes de cupuaçu

A composição centesimal das farinhas liofilizadas das sementes de cupuaçu está apresentada na Tabela 10. O teor de umidade observado (4,77 ± 0,13%) foi consideravelmente inferior ao das farinhas obtidas por secagem em estufa, evidenciando a superioridade da liofilização na obtenção de produtos com baixa umidade residual. Segundo Mujumdar (2020), teores de umidade abaixo de 5% são altamente desejáveis para farinhas, ao reduzirem reações químicas e microbiológicas durante o armazenamento.

Tabela 10 - Composição centesimal das farinhas liofilizadas.

| **Umidade (%)** | **Cinzas (%)** | **Lipídios (%)** | **Proteínas (%)** |
|---|---|---|---|
| 4,77 ± 0,13 | 3,48 ± 0,17 | 55,01 ± 0,75 | 8,94 ± 0,43 |

Fonte: autoria própria, 2026.

O teor de cinzas (3,48 ± 0,17%) foi superior ao observado nas sementes in natura, resultado esperado devido à concentração dos minerais após a remoção da água. Esse comportamento também foi descrito por Almeida et al. (2007) em estudos com sementes amazônicas submetidas a processos de secagem.

Os lipídios apresentaram valor elevado (55,01 ± 0,75%), confirmando que a liofilização preserva eficientemente essa fração, conforme relatado por Carvalho et al. (1981), que destacam o elevado teor lipídico das sementes de cupuaçu e sua similaridade com o cacau.

A manutenção desse teor indica que não houve degradação significativa ou perdas durante o processo.

O teor de proteínas (8,94 ± 0,43%) mostrou-se expressivo, reforçando o potencial nutricional da farinha liofilizada. A preservação proteica é um dos principais benefícios da liofilização, uma vez que o processo ocorre em baixas temperaturas, reduzindo a desnaturação proteica (HAMMAMI; RENE, 1997).

De modo geral, os resultados demonstram que a liofilização proporcionou farinhas com menor teor de umidade, maior preservação da cor e elevada concentração de sólidos, quando comparadas às farinhas obtidas por secagem em estufa. Esses fatores indicam maior estabilidade físico-química e melhor qualidade tecnológica da farinha liofilizada da semente de cupuaçu, reforçando seu potencial de aplicação na indústria de alimentos e no desenvolvimento de produtos com valor agregado.

### 5.4 Determinação de minerais das farinhas das sementes de cupuaçu

A composição mineral das farinhas obtidas das sementes de cupuaçu submetidas aos diferentes métodos de secagem (55 °C, 65 °C, 75 °C e liofilização) encontra-se apresentada na Tabela 11. Foram determinados os macrominerais potássio (K), cálcio (Ca) e fósforo (P), expressos em g/kg, e os microminerais ferros (Fe), cobre (Cu), zinco (Zn) e manganês (Mn), expressos em mg/kg.

Tabela 11 - Conteúdo em minerais das farinhas.

| Identificação | K | Ca | P | Fe | Cu | Zn | Mn |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | g/Kg | | | mg/kg | | | |
| 55 °C | 9,50 ± 0,21 | 8,54 ± 0,27 | 1,46 ± 0,07 | 12,29 ± 3,14 | 18,73 ± 1,32 | 39,26 ± 0,70 | 8,08 ± 1,49 |
| 65 °C | 8,68 ± 0,30 | 3,53 ± 0,78 | 1,62 ± 0,05 | 6,16 ± 0,00 | 19,71 ± 0,87 | 39,71 ± 0,75 | 8,34 ± 0,39 |
| 75 °C | 9,71 ± 1,19 | 2,28 ± 0,58 | 1,56 ± 0,03 | 8,30 ± 0,00 | 20,99 ± 0,48 | 40,47 ± 0,37 | 6,23 ± 1,14 |
| Liofilizada | 9,36 ± 0,41 | 1,20 ± 0,25 | 1,63 ± 0,06 | 7,68 ± 2,89 | 16,69 ± 0,53 | 47,54 ± 0,18 | 13,57 ± 1,08 |

Fonte: autoria própria, 2026.

De modo geral, observou-se que o potássio foi o macromineral presente em maior concentração em todas as amostras, com valores variando entre 8,68 e 9,71 g/kg. O maior teor foi verificado na amostra seca a 75 °C (9,71 g/kg). Esse resultado está em consonância com a literatura, que aponta o potássio como um dos principais minerais presentes em sementes e subprodutos de frutos amazônicos, desempenhando papel fundamental na regulação do equilíbrio osmótico e na função neuromuscular (CARVALHO et al., 2009).

O cálcio apresentou variação significativa entre os tratamentos, com maior valor na amostra seca a 55 °C (8,54 g/kg) e redução progressiva nas demais temperaturas, atingindo 2,28 g/kg a 75 °C e 1,20 g/kg na amostra liofilizada. Embora os minerais não sofram degradação térmica, essas variações podem estar associadas à concentração relativa em função da perda de umidade, à heterogeneidade da matriz e às possíveis interações com componentes estruturais da semente (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010).

O fósforo apresentou valores relativamente estáveis entre os tratamentos (1,46 a 1,63 g/kg), indicando que o processamento térmico não exerceu influência expressiva sobre sua concentração. Esse comportamento é esperado, visto que os minerais são compostos inorgânicos estáveis ao calor, podendo ocorrer apenas alterações na concentração expressa com base na matéria seca.

Entre os micronutrientes, destacou-se o zinco, com valores elevados em todas as amostras (39,26 a 47,54 mg/kg), sendo a maior concentração observada na farinha liofilizada. O zinco é essencial para a atividade enzimática, síntese proteica e funcionamento do sistema imunológico, reforçando o potencial nutricional da farinha (PHILIPPI, 2014).

O ferro apresentou variação entre 6,16 e 12,29 mg/kg, com maior valor na amostra seca a 55 °C. Essa oscilação pode estar relacionada à distribuição não homogênea do mineral na amostra ou a diferenças na concentração decorrentes do teor de umidade final. De acordo com Cozzolino (2016), alimentos de origem vegetal apresentam variações naturais na composição mineral, influenciadas por fatores como solo, cultivo e processamento.

Os teores de cobre variaram entre 16,69 e 20,99 mg/kg, enquanto o manganês apresentou valores entre 6,23 e 13,57 mg/kg, sendo o maior teor observado na amostra liofilizada. Esses minerais participam de sistemas antioxidantes e de diversas reações metabólicas, sendo frequentemente encontrados em concentrações relevantes em sementes oleaginosas.

A comparação entre os métodos de secagem evidenciou diferenças na concentração relativa dos minerais. A liofilização apresentou maiores teores para alguns micronutrientes, especialmente zinco e manganês. Esse resultado pode ser explicado pelo princípio do processo,

que remove a água por sublimação em baixa temperatura e pressão reduzida, preservando melhor a estrutura da matriz alimentar (FELLOWS, 2006).

Na secagem em estufa, o aumento da temperatura não apresentou tendência linear uniforme para todos os minerais. Observou-se maior concentração de potássio a 75 °C, enquanto o cálcio apresentou redução com o aumento da temperatura. Essas variações podem estar relacionadas à concentração em base seca e às alterações estruturais da matriz durante o aquecimento.

Embora os minerais não sejam degradados pelo calor, o processamento térmico pode influenciar sua disponibilidade e a forma como estão associados aos componentes da matriz alimentar (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010). A liofilização, por operar em condições mais brandas, tende a preservar melhor a integridade estrutural, refletindo em maior uniformidade nos resultados analíticos.

Do ponto de vista tecnológico, a secagem térmica apresenta maior viabilidade econômica e operacional, enquanto a liofilização, apesar do maior custo, demonstrou melhor preservação do perfil mineral. Assim, a escolha do método deve considerar o equilíbrio entre qualidade nutricional e viabilidade industrial.

Os resultados demonstram que a farinha das sementes de cupuaçu possui composição mineral relevante, com destaque para os teores de potássio, zinco e manganês, evidenciando seu potencial como ingrediente nutricionalmente enriquecedor. As variações observadas entre os métodos de secagem indicam que o processamento pode influenciar a concentração relativa dos minerais, embora não haja degradação térmica dos mesmos. Dessa forma, o aproveitamento tecnológico das sementes de cupuaçu mostra-se promissor, tanto do ponto de vista nutricional quanto sustentável.

# 6 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos demonstram que as sementes de cupuaçu constituem matéria-prima de elevado potencial nutricional, destacando-se pela presença significativa de potássio, fósforo e zinco. A produção de farinha a partir desse subproduto revelou-se alternativa tecnologicamente viável e alinhada aos princípios de sustentabilidade e economia circular.

A comparação entre os métodos de secagem evidenciou que a liofilização apresentou maior tendência de preservação de determinados micronutrientes, possivelmente em função da ausência de exposição prolongada ao calor e menor degradação estrutural da matriz. Contudo, a secagem térmica também resultou em farinhas com composição mineral relevante, especialmente nas temperaturas intermediárias, indicando viabilidade para aplicação industrial em larga escala.

As variações observadas entre as temperaturas sugerem que o processamento térmico pode influenciar a concentração relativa dos minerais, ainda que não haja degradação direta desses compostos inorgânicos. Tais diferenças podem estar associadas a alterações estruturais, redistribuição mineral ou efeitos de concentração decorrentes da redução de umidade.

Do ponto de vista tecnológico e econômico, a secagem em estufa apresenta maior aplicabilidade industrial, enquanto a liofilização se destaca pela preservação qualitativa superior. Assim, a escolha do método deve considerar o equilíbrio entre custo operacional e qualidade nutricional desejada.

Conclui-se que o aproveitamento das sementes de cupuaçu na forma de farinha representa alternativa promissora para agregação de valor, desenvolvimento de novos produtos e fortalecimento da bioeconomia amazônica. Recomenda-se que estudos futuros avaliem biodisponibilidade mineral, compostos bioativos e aplicação tecnológica em formulações alimentícias.

# REFERÊNCIAS


ALMEIDA, M. L.; SILVA, C. E. S.; COSTA, T. M. O cultivo de cupuaçu: características gerais. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 29, n. 2, p. 112-118, 2007.

ALMEIDA, S. P.; SILVA, J. A.; RODRIGUES, L. V. Potencial econômico do cupuaçu. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 29(2): 277-280, 2007.

ALVES, R. M.; SILVA, C. R. D. S.; SILVA, M. S. D. C.; SILVA, D. C. D. S.; SEBBENN, A. M. Diversidade genética em coleções amazônicas de germoplasma de cupuaçuzeiro [Theobroma grandiflorum (Willd. ex Spreng.) Schum.]. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 3, p. 818-828, 2013.

ALVES, R. M.; FILGUEIRAS, G. C.; HOMMA, A.K.O. Aspectos socioeconômicos do cupuaçuzeiro na Amazônia: do extrativismo a domesticação. In: SANTANA, A. C. (ed.). **Mercado, cadeias produtivas e desenvolvimento rural na Amazônia.** 1.ed. Belém, PA: UFRA, p.197-223. 2014.

ARANHA, A. C. R.; LOPES FERRARI, A.; MOSSELLA NASCIMENTO, F.; MATOS JORGE, L. M.; OLIVEIRA DEFENDI, R. Avaliação da temperatura de secagem e umidade inicial na cinética de secagem e propriedades de transporte em sementes de feijão e milho. **Scientia Plena**, v. 19, n. 4, 2023.

BARBOSA-CARVALHO, A. P. P. et al. Oven-Dried Cupuaçu and Bacuri Fruit Pulps as Amazonian Resources**. Resources**, v. 13, p. 55-68, 2024.

BARBOSA, G.; CARVALHO, A. P. et al. Drying technologies applied to Amazon fruits: impacts on bioactive compounds. **Food Reviews International**, 2023.

BRASIL. **Agência Nacional de Vigilância Sanitária.** Resolução RDC nº 711, de 1º de julho de 2022. Disponível em: https://www.gov.br/anvisa/pt-br/centraisdeconteudo/publicacoes/alimentos/perguntas-e-respostas-arquivos/cereais-integrais#:~:text=A%20Resolu%C3%A7%C3%A3o%20RDC%20n%C2%BA%20263,%2C%20farinhas%2C%20farinhas%20integrais%2C%20massas Acesso em: 14/12/2025.

CARVALHO, A. V. **Extração, concentração e caracterização físico-química e funcional das proteínas de semente de cupuaçu (Theobroma grandiflorum Schum)**. 2024. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campina**s,** Campinas, 2004.

CARVALHO, A. V. et al. Caracterização físico-química e composição mineral de sementes e derivados de cupuaçu. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 31, n. 2, p. 512–520, 2009.

CARVALHO, J. E. Aproveitamento integral do cupuaçu: produção e processamento. **Revista Agroindústria Amazônica**, v. 22, n. 1, p. 23-30, 2004.

CARVALHO, J. E. et al. A composição química das sementes de cupuaçu. **Acta Amazônica**, v. 11, n. 4, p. 5-10, 1981.

CARVALHO, J. R. de C.; ROCHA FILHO, G.N. da; SERRUYA, H. Análise dos óleos dos três frutos comestíveis da região amazônica: cupuaçu (Theobroma grandiflorum Spreng. Shum., Sterculiaceae), mari (Poraqueiba paraensis. Icacinaceae) e uxi (Endopleura uchi, Humiricaceae). In: ENCONTRO DE PROFISSIONAIS DA QUÍMICA DA AMAZÔNIA, 1. e 2., 1980, 1981. Belém, São Luiz. **Anais**... Belém: Conselho Regional de Química, 1981. p. 187-196.

CELESTINO, S. M. C. **Princípios de secagem de alimentos**. Embrapa Cerrados, p. 51, 2010. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc /883845. Acesso em: 15/11/2025.

CONVECTIVE drying characteristics and moisture transfer properties of *Jatropha curcas* L. seeds. **Scientific African**, v. 23, e02122, 2024.

COZZOLINO, S. M. F. **Biodisponibilidade de nutrientes**. 5. ed. Barueri: Manole, 2020.

CUNHA JUNIOR, J. B. D.; TAVARES, L. B. **Fenologia do cupuaçuzeiro (Theobroma grandiflorum (Willd. ex. Spreng.) Schum.) em um sistema agroflorestal, submetido à diferentes lâminas de irrigação no município de Castanhal**, PA. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2020. Belém, PA, 2020.

CRUZ, E. D. Drying and germination of cupuassu (*Theobroma grandiflorum*) seeds. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 29, n. 3, p. 23–30, 2007.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de alimentos de Fennema**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Cupuaçu:** sistema de produção e características agronômicas. Brasília, DF: Embrapa, 2010. Disponível em: https://www.embrapa.br/. Acesso em: 28 nov. 2025.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sequenciamento do genoma do cupuaçu revela genes relacionados à resistência e qualidade do fruto.** 2023. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/. Acesso em: 28 nov. 2025.

EFRAIM, P. **Contribuição à melhoria de qualidade de produtos de cacau no Brasil, por meio da caracterização de derivados de cultivares resistentes a vassoura-de-bruxa e de sementes danificadas pelo fungo**. Tese (Doutorado), Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2009.

ERBAY, Z.; İCİER, F. Revisão da secagem em camada fina de alimentos: teoria, modelagem e resultados experimentais. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 60, n. 2, p. 230–250, 2020.

FARIA, R. Q. et al. Cinética de secagem de sementes de crambe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 5, p. 573–583, 2012.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos:** princípios e práticas. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

GARCIA, D. C.; BARROS, A. C. S. A.; PESKE, S. T.; MENEZES, N. L. A secagem de sementes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 2, p. 603-608, mar./abr. 2004.

GARCIA, L. P. **Liofilização aplicada a alimentos**. 2009. 45p. Trabalho Acadêmico (Graduação Bacharelado em Química de Alimentos) - Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, RS, 2009.

GOMES, AM et al. Cupuaçu: A Fruta da Amazônia. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 1, pág. 1-10, 2012.

GUEHI, T. G. et al. Performance of different drying methods and their effects on the chemical quality attributes of raw cocoa material. **Int J Food Sci Technol**, v. 45, n. 8, p. 1564–1571, 2010.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos:** normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz. 4. ed. 1. ed. digital. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. Disponível em: site oficial do Instituto Adolfo Lutz. Acesso em: 28 nov. 2025.

HAMMAMI, C., AND RENÉ, F. (1997) Determination of Freeze-drying Process Variables for Strawberries‟, **International Journal Of Food Science & Technology**, 32: 133-154.

MATOS, L. et al. Composição mineral e potencial nutricional de subprodutos do cupuaçu. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 38, n. 3, p. 456–463, 2018.

MARTINS, F. P. et al. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, Viçosa/MG, BR, v. 6, n. 4, p. 0600–0607i, 2020. DOI: 10.18540/jcecvl6iss4pp0600-0607i. Disponível em: https://periodicos.ufv.br/jcec/article/view/11743. Acesso em: 15 nov. 2025.

MORAIS, S. J.; DEVILLA, I.; PONTESFERREIRA, D.; TEIXEIRA, I. Modelagem matemática das curvas de secagem e coeficiente de difusão de grãos de feijão-caupi (Vigna unguiculata). **Revista Ciência Agronômica**, 2023.

MUJUMDAR, A. S. **Manual de secagem industrial**. 5. ed. Boca Raton: CRC Press, 2020.

NEVES, L. C. et al. Avaliação da composição química de sementes de cupuaçu (Theobroma grandiflorum). **Acta Amazônica**, Manaus, v. 45, n. 4, p. 381–388, 2015.

NOWAK, D.; JAKUBCZYK, E. Liofilização de alimentos: princípios e aplicações. **Foods**, v. 9, n. 10, p. 1488, 2020.

OLIVEIRA, T. D.; COSTA, M. P. Fatores que afetam a qualidade do cupuaçu durante o armazenamento. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, n. 4, p. 45-50, 2003.

OLIVEIRA, G. H. H.; OLIVEIRA, A. P. L. de; MANÇANO, L. F.; et al. Kinetics and thermodynamic properties of drying winter melon seeds (Benincasa hispida), **Journal of Foods Process Engineering**, [S. I., v. 46, n. 4, e14298, Apr. 2023. DOI: 10.1111/jfpe.14298.

ONWODE, O. D. et al. Técnicas de secagem de alimentos e seus efeitos na qualidade nutricional. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 98, 2021.

ORDÓÑEZ, J. A. **Tecnologia de alimentos**. Porto Alegre: Artmed, 2005.

PARAMO, D. et al. Mass transfer of water and volatile fatty acids in cocoa beans during drying. **J. Food Eng**., v. 99, n. 3, p. 276–283, 2010.

PÓS, USCS. **"Microbiologia de alimentos"**. 2021. Disponível em: https://www.posuscs.com.br/microbiologia-de-alimentos/noticia/2283#:~:text=Microrganismos%20deteriorantes%20s%C3%A3o%20agentes%2C%20sejam,causas%20da%20deteriora%C3%A7%C3%A3o%20dos%20alimentos. Acesso em: 15/11/2025.

PHILIPPI, S. T. **Tabela de composição de alimentos:** suporte para decisão nutricional. 5. ed. Barueri: Manole, 2014.

RODRIGUES, João Paulo. **Avaliação e seleção de progênies de cupuaçuzeiro (Theobroma grandiflorum [Willd. ex Spreng.] Schum). submetidas à inundação**. Belém, 2016. 55 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, 2016.

SANTOS, D. et al. Valorização de resíduos agroindustriais: tecnologias emergentes e aplicações. **Sustainability**, v. 13, n. 4, 2021.

SILVA, JA et al. Theobroma grandiflorum: Uma revisão de sua botânica, cultivo e importância econômica. **Journal of Agricultural Science**, v. 8, n. 3, p. 45-52, 2016.

SILVA, R. et al. Domesticação do cupuaçu: revisão crítica baseada em genética, arqueologia e etnobotânica. **SciELO Preprints**, 2023. Disponível em: https://preprints.scielo.org/. Acesso em: 15 nov. 2025.

SILVA, F. B.; GOMES, J. P.; PAIVA, Y. F.; ARAÚJO, K. T. A.; SILVA, J. G. da. Secagem do resíduo do pseudofruto do cajueiro para produção de farinhas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 17, n. 1, p. 413–427, 2024.

SOUZA, C.A.S.; AGUILAR, M.A.G.; DIAS, L.A.S. Cacau. In: MONTEIRO, José Eduardo B. A. et al (org.). Agrometeorologia dos Cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília: Instituto Nacional de Meteorologia–Inmet**, Part. 3. p. 334-350. 2009.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (USP). Cupuaçu surgiu com domesticação antiga por povos indígenas amazônicos, mostra estudo genético. **Jornal da USP**, 2024. Disponível em: https://jornal.usp.br/. Acesso em: 28 nov. 2025.

SCHWARTZ, G. et al. O cultivo do cupuaçu como alternativa sustentável ao desmatamento na Amazônia. **Revista Agroflorestal Brasileira**, v. 12, n. 2, p. 17-25,2009.

WANDERLEY, R. d. O. S.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. d. M.; et al. The temperature influence on drying kinetics and physico-chemical properties of pomegranate peels and seeds. **Foods**, 12(2):286, 2023.

WANG, W. et al. Efeitos dos métodos de secagem nas propriedades físico-químicas e nutricionais de alimentos: uma revisão. **Food Chemistry,** v. 378, 2022.

ZHANG, H. et al. Gestão e valorização de resíduos alimentares: uma perspectiva global. **Science of the Total Environment**, v. 817, 2022.