



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
BIOTECNOLOGIA-PPGBIOTEC



ROSIMEIRY BELEM DUTRA VIEGAS

PROCESSO DE BIOTRANSFORMAÇÃO DAS SEMENTES DE CUPUAÇU
PARA USO INDUSTRIAL NA AMAZÔNIA BRASILEIRA

MANAUS -AM

2025

ROSIMEIRY BELEM DUTRA VIEGAS

**PROCESSO DE BIOTRANSFORMAÇÃO DAS SEMENTES DE CUPUAÇU
PARA USO INDUSTRIAL NA AMAZÔNIA BRASILEIRA.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Biotecnologia.

ORIENTADOR: PROF. DIMAS JOSÉ LASMAR

CO-ORIENTADORA: MARIA KATHERINE SANTOS DE OLIVEIRA

MANAUS - AM

2025

Ficha Catalográfica

Elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

V656p	Viegas, Rosimeiry Belem Dutra Processo de biotransformação das sementes de cupuaçu para uso industrial na amazônia brasileira. / Rosimeiry Belem Dutra Viegas. - 2025. 62 f. : il., color. ; 31 cm. Orientador(a): Dimas José Lasmar. Coorientador(a): Maria Katherine Santos de Oliveira. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Amazonas, Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia, Manaus , 2025. 1. Cupuaçu. 2. Biotransformação. 3. Frações lipídicas. 4. Fermentação. 5. Sustentabilidade. I. Lasmar, Dimas José. II. Oliveira, Maria Katherine Santos de. III. Universidade Federal do Amazonas. Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia. IV. Título
-------	---

AGRADECIMENTOS

A jornada para a conclusão desta dissertação foi repleta de desafios, aprendizados e conquistas, e não teria sido possível sem o apoio de tantas pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para este momento.

Primeiramente, agradeço a Deus, por permitir alcançar mais uma vitória e por me conceder saúde e força para superar as dificuldades, mostrando-me o caminho nas horas incertas e suprimindo as minhas necessidades.

Agradeço ao professor Dimas José Lasmar, por sua orientação, paciência e incentivo ao longo de todo o processo e pelo apoio acadêmico e pessoal.

A professora Katherine Oliveira, o meu sincero agradecimento pelo compartilhamento de conhecimento.

Ao senhor Claudimar Mendonça da agroindústria Unifruit, por contribuir com doação dos resíduos de cupuaçu, gerados no processo de despolpe na agroindústria.

Sou imensamente grata à minha família, que sempre acreditou em mim e apoiou-me incondicionalmente, oferecendo palavras de incentivo nos momentos difíceis e comemorando cada pequena conquista ao longo do caminho.

Aos meus pais, Lourival Dutra Vieira *in memoriam* e Raimunda Belém Vieira, meus irmãos e amigos, por compreenderem minhas ausências e me lembrarem da importância de equilibrar dedicação e descanso, meu muito obrigado.

Expresso meu reconhecimento e gratidão ao Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia (PPGBiotec/UFAM) e a todos os professores do programa, cujas contribuições acadêmicas, ensinamentos e dedicação foram fundamentais para minha formação científica e para a concretização desta pesquisa.

Também deixo o meu reconhecimento, ao Centro de Bionegócios da Amazônia (CBA) no Núcleo de Produção de Extratos (NPE) cuja colaboração foi essencial para a realização deste estudo.

Agradeço ainda ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de mestrado, que possibilitou a dedicação a esta pesquisa.

Por fim, agradeço a todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram para que esta dissertação se tornasse realidade. A cada um de vocês, minha eterna gratidão.

Rosimeiry Belem Dutra Viegas.

RESUMO

Este estudo teve como objetivo desenvolver e avaliar um processo biotecnológico de biotransformação das sementes de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum) visando aplicações industriais na Amazônia brasileira, priorizando a qualidade da amêndoa e da manteiga, quanto a redução da acidez. Para tanto, foi conduzido um estudo em fermentação em estado sólido, associado a etapas de desidratação e extração por prensagem a frio. Foram avaliadas variações nos parâmetros físico-químicos, como pH, acidez, umidade, lipídios, proteínas e densidade, em sementes fermentadas e não fermentadas. Os resultados evidenciaram que a fermentação promoveu mudanças significativas na composição das sementes, incluindo aumento do pH (de 4,55 para 5,88), redução da acidez titulável (de 8,97% para 2,55%) e diminuição do teor de lipídios (de 36,02% para 21,52%). Esses ajustes favorecem a estabilidade do produto e ampliam sua aplicabilidade na indústria alimentícia e cosmética. A caracterização físico-química das frações lipídicas demonstrou que o processo de fermentação influenciou significativamente o índice de acidez, sem comprometer a densidade e o pH das amostras, mantendo características compatíveis com os padrões industriais. Além disso, a fermentação reduziu o tempo de desidratação, melhorando a eficiência do processo. O estudo também propôs diagrama do modelo do biorreator de biotransformação em estado sólido como modelo conceitual inovador, não se tratando de um protótipo físico, mas de uma proposta voltada a processos mais eficientes, sustentáveis e adaptados à realidade regional, visando processos sustentáveis e escalonáveis. A pesquisa contribui para o aproveitamento integral dos resíduos agroindustriais, com agregação de valor às sementes de cupuaçu, fortalecendo a bioeconomia amazônica e reduzindo impactos ambientais. Os resultados abrem perspectivas para estudos futuros de validação em escala piloto e industrial, consolidando a biotransformação como alternativa inovadora para a valorização do cupuaçu e desenvolvimento sustentável regional.

Palavras-chave: Cupuaçu. Biotransformação. Frações lipídicas. Fermentação. Sustentabilidade.

ABSTRACT

This study aimed to develop and evaluate a biotechnological process for the biotransformation of cupuaçu seeds (*Theobroma grandiflorum* Schum) targeting industrial applications in the Brazilian Amazon, with an emphasis on improving the quality of the almond and butter through acidity reduction. To achieve this, a solid-state fermentation process was conducted, associated with dehydration and cold-press extraction stages. Variations in physicochemical parameters such as pH, acidity, moisture, lipids, proteins, and density were analyzed in fermented and non-fermented seeds. The results showed that fermentation promoted significant changes in seed composition, including an increase in pH (from 4.55 to 5.88), a reduction in titratable acidity (from 8.97% to 2.55%), and a decrease in lipid content (from 36.02% to 21.52%). These adjustments favor product stability and broaden its applicability in the food and cosmetic industries. The physicochemical characterization of the lipid fractions demonstrated that the fermentation process significantly influenced the acidity index without affecting the density and pH of the samples, maintaining characteristics consistent with industrial standards. Furthermore, fermentation reduced dehydration time, improving process efficiency. The study also proposed a conceptual model diagram of a solid-state biotransformation bioreactor, not as a physical prototype, but as an innovative proposal for more efficient, sustainable, and regionally adapted processes, aiming at scalable and environmentally responsible production. This research contributes to the full utilization of agro-industrial residues, adding value to cupuaçu seeds, strengthening the Amazonian bioeconomy, and reducing environmental impacts. The results open new perspectives for future validation studies at pilot and industrial scales, consolidating biotransformation as an innovative alternative for the valorization of cupuaçu and the sustainable development of the Amazon region.

Keywords : Cupuaçu. Biotransformation. Lipid fractions. Fermentation. Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Aspecto morfológico da árvore de cupuaçu (<i>Theobroma grandiflorum</i> Schum) com frutos em fase de maturação.....	13
Figura 2 - Mapa de distribuição geográfica da espécie no Brasil.....	15
Figura 3 - Resíduo, sementes de cupuaçu.....	23
Figura 4 - Localização da Agroindústria Unifruit polpas da Amazônia em Itacoatiara – Am.....	24
Figura 5 – Biotransformação das Sementes de Cupuaçu (A)-Início e (B)-Final do Processo.....	25
Figura 6 - Prensagem a frio das amêndoas de cupuaçu em prensa extratora Ecirtec modelo 100 kg/h.....	26
Figura 7 - Processo de filtração a vácuo da fração lipídica.....	26
Figura 8 - Diagrama do biorreator para fermentação em estado sólido das sementes de cupuaçu.....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados das médias dos dias de fermentação das sementes de cupuaçu.....	37
Tabela 2 - Dinâmica de perda de umidade das sementes de cupuaçu durante a desidratação entre amostras fermentadas e não fermentadas em estufa a 60 °C	40
Tabela 3 - Caracterização físico-química das amêndoas de cupuaçu desidratadas.....	42
Tabela 4 - Rendimento de extração da fração lipídica das amêndoas de cupuaçu fermentadas e não fermentadas por prensagem a frio.....	44
Tabela 5 - Caracterização físico-química das frações lipídicas das amêndoas de cupuaçu.....	46

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Distribuição espacial da temperatura °C na caixa de fermentação no tempo 0 hora de fermentação.....	32
Gráfico 2 - Distribuição espacial da temperatura °C na caixa de fermentação no tempo 24 horas de fermentação.....	33
Gráfico 3 - Distribuição espacial da temperatura °C na caixa de fermentação no tempo 48 horas de fermentação.....	33
Gráfico 4 - Distribuição espacial da temperatura °C na caixa de fermentação no tempo 72 horas de fermentação.....	34
Gráfico 5 - Distribuição espacial da temperatura °C na caixa de fermentação no tempo 96 horas de fermentação.....	34
Gráfico 6 - Distribuição espacial da temperatura °C na caixa de fermentação no tempo 120 horas de fermentação.....	35
Gráfico 7 - Distribuição espacial da temperatura °C na caixa de fermentação no tempo 144 horas de fermentação.....	35
Gráfico 8 - Distribuição espacial da temperatura °C na caixa de fermentação no tempo 168 horas de fermentação.....	36
Gráfico 9 - Parâmetros físicos durante a fermentação das sementes de cupuaçu.....	38
Gráfico 10 - Parâmetros Químicos durante a Fermentação das Sementes de Cupuaçu...	39
Gráfico 11 – Dinâmica de Perda de umidade das sementes de cupuaçu (desidratação a 60°C)	40
Gráfico 12 - Parâmetros Físico-Químico das amêndoas de cupuaçu desidratadas.....	43
Gráfico 13 - Rendimento de Extração da Fração Lipídica das Amêndoas de Cupuaçu...	45
Gráfico 14 - Caracterização Físico-Química das Frações Lipídicas das Amêndoas de Cupuaçu.....	47
Gráfico 15 - Curvas termogravimétrica TG / DTG das sementes de cupuaçu fermentadas (CPF) e sementes sem fermentação (CPS/F)	48

LISTA DE ABREVIATURAS

A - Acidez

N - Nitrogênio

P - Proteína

MO - Matéria orgânica

TG - Termogravimetria

DA - Densidade Absoluta

DTG - Termogravimetria Derivada

CPF - Cupuaçu fermentado

CPS/F - Cupuaçu sem fermentar

LISTA DE SIGLAS

AISI American Iron and Steel Institute

UCI Indicador Controlador de Umidade

TCI Controlador Indicador de Temperatura

FES Fermentação em Estado Sólido

UVA Ultravioleta A

UVB Ultravioleta B

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	7
1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
1.1 Resíduos Agroindustriais	12
1.2 Cupuaçu (<i>Theobroma grandiflorum Schum</i>)	12
1.3 Distribuição Geográfica.....	15
1.4 Composição e Valor Nutricional.....	16
1.4.1 Metabolismo dos compostos bioativos de resíduos de cupuaçu	16
1.5 Aplicações Biotecnológicas	18
1.5.1 Fermentação em estado sólido.....	18
1.5.2 Biotransformação em estado sólido	18
1.6 Fermentação das Sementes de Cupuaçu.....	19
1.7 Secagem das Sementes de Cupuaçu	20
1.8 Extração da Manteiga de Cupuaçu	21
2 METODOLOGIA	23
2.1 Matéria - Prima (sementes de cupuaçu)	23
2.2 Biotransformação das Sementes de Cupuaçu <i>in natura</i>	24
2.3 Desidratação das Sementes de Cupuaçu <i>in natura</i>	25
2.4 Extração por Prensagem a Frio	25
2.5 Caracterização Físico-Química.....	26
2.5.1 Potencial hidrogeniônico (pH)	27
2.5.2 Umidade.....	27
2.5.3 Cinzas	27
2.5.4 Acidez total titulável.....	27
2.5.5 Densidade.....	28
2.5.6 Lipídios	28
2.5.7 Proteínas – Método de Kjeldahl clássico	29
2.5.8 Análise termogravimétrica (TG/DTG)	30

2.6 Análise Estatística.....	30
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
3.1 Monitoramento do Processo Fermentativo de Sementes de Cupuaçu (<i>Theobroma grandiflorum Schum</i>)	31
3.2 Rendimento e Caracterização das Amostras Desidratadas.....	39
3.3 Característica Físico-Química das Amostras Desidratadas	41
3.4 Rendimento do Processo de Extração da Fração Lipídica das Amêndoas de Cupuaçu	44
3.5 Caracterização Físico-Química das Frações Lipídicas das Amêndoas de Cupuaçu	45
3.6 Análise Termogravimétrica (TG/DTG)	48
3.7 Proposta de biorreator para biotransformação em fermentação em estado sólido (FES) de sementes de cupuaçu	49
4 CONCLUSÃO	51
5 LIMITAÇÕES DA PESQUISA	51
6 RECOMENDAÇÕES	52
REFERÊNCIAS	53
ANEXOS.....	62
ANEXO A - Acompanhamento do Processo Fermentativo e Análises Físico- Químicas de Cupuaçu (<i>Theobroma grandiflorum Schum</i>).....	62

INTRODUÇÃO

Este trabalho aborda o estudo do processo de biotransformação das sementes de cupuaçu para uso industrial na Amazônia brasileira. Destaca, outrossim, a importância do cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum) na economia regional e nacional.

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de frutas, com cerca de 45 milhões de toneladas ao ano, das quais 65% são consumidas internamente e 35% são destinadas ao mercado externo (Embrapa, 2021).

Além de ser o quarto maior exportador mundial de frutas, tem na sua biodiversidade da Amazônia uma rica fonte de frutos e oleaginosas com potencial para o mercado interno e externo. Dentre os principais destinos das exportações oriundas do Brasil, destacam-se: União Europeia, Portugal, Itália, França e os Estados Unidos (Martins *et al.*, 2021).

A base agrícola da cadeia produtiva de frutas abrange 2,6 milhões de hectares e ocasiona seis milhões de empregos diretos. No mercado externo, a presença brasileira representa 5,7% da produção mundial, com oferta de frutas tropicais e de clima temperado ao longo do ano devido a fatores favoráveis como extensão territorial do país, posição geográfica e condições de clima e solo favorecido (Donadon e Santos, 2018).

A cadeia produtiva de frutas no Brasil, responsável por cerca de 5,9% do Produto Interno Bruto (PIB), apresenta grande potencial para a geração de subprodutos com maior valor agregado. Além disso, evidencia-se a importância da utilização sustentável de resíduos agroindustriais. Nesse sentido, estudos realizados pela Embrapa (2020) apontam alternativas de reaproveitamento e biotransformação, contribuindo para o aprimoramento da qualidade dos produtos já existentes.

A fim de minimizar o desperdício de resíduos agroindustriais, pesquisadores, autoridades governamentais, organizações não governamentais e indústrias alimentícias têm direcionado esforços para o desenvolvimento de soluções inovadoras e integradas, que não apenas promova a sustentabilidade ambiental, reduzindo o desperdício e o impacto negativo na natureza, mas também impulse a inovação e a competitividade no setor agroindustrial (Ojha, Busler e Schluter, 2020).

O processamento de produtos oriundos da agroindústria produz, ao longo de sua cadeia produtiva, toneladas de resíduos orgânicos agroindustriais, ocasionando diversas pendências ambientais decorrentes do seu acúmulo e despejo em locais inapropriados. No entanto, esta quantidade de subprodutos gerados apresenta um grande potencial a ser explorado (Corrêa *et al.*, 2019).

A biomassa residual de frutas são os resíduos alimentares mais abundantes, oriundos principalmente da produção de óleo, suco, vinho e açúcar. Geralmente são descartados ou usados como ração ou na compostagem, são grandes fontes de polifenóis, vitaminas e minerais e seu potencial para o reaproveitamento foi estimado em milhões de toneladas a cada ano (Dilucia *et al.*, 2020).

O aproveitamento de resíduos agroindustriais se mostra, como uma grande oportunidade para o desenvolvimento de coprodutos com valor agregado, bem como para a utilização sustentável desses resíduos (Costa Filho *et al.*, 2017).

Entre os frutos nativos da Amazônia, o cupuaçu apresenta grande importância extrativista e fomenta a economia regional e nacional. Seu mercado vai conquistando e penetrando em outras regiões nacionais e internacionais. Como produto novo, praticamente desconhecido fora da Amazônia até pouco tempo atrás, tem condições de se consolidar nesses mercados. Mas, para isso, é necessária organização, competência e agressividade por parte do segmento produtivo (Santos *et al.*, 2018).

Devido à grande demanda por frutas tropicais e produtos à base de frutas, a indústria agroalimentar vem buscando soluções para o aproveitamento e valorização das sementes de cupuaçu que muitas vezes são descartadas como resíduo e acabam no lixo, são ricas em compostos bioativos como gorduras, proteínas, minerais e outros nutrientes com características e potencial para aplicação em produtos cosméticos e farmacêuticos (Souza *et al.*, 2020).

O cupuaçu, por ser da mesma família do cacau (*Theobroma cacao*), as sementes do fruto possuem características botânicas e propriedades químicas parecidas e vêm despertando interesse no mercado nacional e internacional, sendo diversos os produtos que podem ser obtidos dessa matéria-prima (Dias *et al.*, 2019).

As sementes de cupuaçu constituem a matéria-prima para a extração do óleo utilizado na indústria cosmética e para a produção de “cupulate”, produto semelhante ao chocolate. O cupuaçu (*Theobroma grandiflorum Schum*) é uma das mais importantes espécies frutíferas da região amazônica e a expansão do seu plantio pode desempenhar um importante papel social, econômico e ambiental. (Barbalho *et al.*, 2022).

As sementes do cupuaçu correspondem a cerca de 20% do fruto. Após fermentadas, secas, torradas e moídas, gerando um produto de sabor e textura semelhante aos do chocolate convencional, mas livre de cafeína e teobromina. O Cupulate pode ser apresentado em barra ou pó, nos sabores ao leite, meio amargo e branco, é obtido a partir das amêndoas do cupuaçu e foi desenvolvido e patentado na década de 1980 pela Embrapa Amazônia Oriental, do estado do Pará (Embrapa, 2015).

Segundo Alvarez *et al.* (2018), apesar da existência de inúmeras pesquisas sobre fermentação de sementes de cupuaçu, que abordam o processamento propriamente dito, a identificação de microrganismos presentes nas sementes fermentadas, carece de mais estudos que visem permitir o aumento de escala, avaliando e obtendo métodos de fermentação controlada, aumentando o tempo de armazenamento.

As sementes de cupuaçu contêm aproximadamente 45% de óleo fixo que possui composição complexa, devido à presença de diferentes triglicerídeos, polifenóis e fitoesteróis. Além disso, pelo fato de sua prensagem ser a frio, envolve a produção de outros resíduos e apresenta uma oportunidade para a utilização integral da semente. Os resíduos sólidos resultantes do processo de extração podem ser empregados como fertilizante natural, contribuindo para o ciclo sustentável de produção, fornecendo uma fonte rica em nutrientes para o solo, promovendo a saúde do solo e o crescimento das plantas (Costa *et al.*, 2019).

O cupuaçu possui grande importância econômica no Brasil, com grande potencial para sua aceitação no mercado internacional devido aos múltiplos usos de suas sementes e celulose. No entanto, para produzir o cupulate, as sementes necessitam passar por diversas transformações, que ocorrem durante a fermentação, secagem e torração (Braga *et al.*, 2018).

Conforme Punaro *et al.* (2019), enquanto as pesquisas atuais sobre a gordura de cupuaçu se concentram principalmente em suas propriedades antioxidantes, existe um vasto campo relacionado às suas aplicações alimentícias e terapêuticas. Uma exploração mais aprofundada desses potenciais pode abrir novos caminhos para o uso dessa rica gordura, beneficiando a indústria, os consumidores e a região amazônica na totalidade.

Recentemente, os consumidores têm buscado adotar um estilo de vida saudável, levando a indústria alimentícia a investigar maneiras de integrar ingredientes que não só enriquecem o valor nutricional dos alimentos, mas também contribuem para a redução de calorias, gorduras e açúcares. Nesse contexto, as sementes de cupuaçu emergem como uma opção promissora, graças à sua versatilidade e benefícios para a saúde. A partir dessas sementes, é possível extrair o licor de cupuaçu, um ingrediente inovador na formulação de chocolates, oferecendo uma alternativa mais saudável sem comprometer o sabor (Carlos *et al.*, 2019).

A busca por novas moléculas bioativas levou pesquisadores a prospectar novos bioprodutos e tecnologias sustentáveis, a partir de recursos naturais, tendo como foco a economia circular, onde o subproduto de uma determinada escala de produção é empregado na geração de um novo produto ou serviço. Um dos protagonistas desse novo

cenário econômico-industrial é o fruto de cupuaçu em que estudos demonstram que a espécie possui grande potencial para a prospecção de moléculas bioativas (Yukikogyo CO.LTD, 2019).

Considerando as publicações científicas em âmbito nacional e internacional, reconhece-se o alto valor terapêutico, sensorial, nutricional e reológico dos bioativos naturalmente presentes nas matérias-primas oriundas da região amazônica. Esses compostos apresentam propriedades funcionais e tecnológicas de grande interesse para as indústrias alimentícia, farmacêutica e cosmética. Nesse contexto, a biotransformação das sementes de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum) surge como uma oportunidade relevante para o desenvolvimento de produtos inovadores, sustentáveis e economicamente viáveis. Tal processo permite agregar valor a um subproduto frequentemente descartado, promovendo o uso integral dos recursos regionais e contribuindo para o fortalecimento da economia local.

A justificativa deste estudo fundamenta-se na necessidade de aproveitar de forma racional os resíduos agroindustriais gerados pelas cadeias produtivas amazônicas. Na região, os processos de transformação de matérias-primas vegetais resultam em grandes volumes de resíduos, ricos em substâncias bioativas com potencial de reaproveitamento. Entretanto, a ausência de protocolos padronizados limita o avanço de bioprocessos voltados à valorização da biodiversidade e à promoção da bioeconomia. O desenvolvimento de metodologias de biotransformação contribui para a criação de rotas biotecnológicas replicáveis e escalonáveis, atendendo às demandas da indústria regional e nacional.

Além do potencial econômico, a valorização das sementes de cupuaçu por meio da biotransformação apresenta impactos positivos no campo social e ambiental. A utilização desses resíduos reduz perdas ao longo da cadeia produtiva, gera novas oportunidades de emprego e renda e fortalece a bioeconomia amazônica. Ao mesmo tempo, promove inclusão social e capacitação técnica das comunidades envolvidas. Dessa forma, o presente trabalho alinha-se aos princípios do desenvolvimento sustentável, articulando ciência, tecnologia e inovação em prol do uso responsável dos recursos amazônicos.

Diante desse cenário, o objetivo geral deste estudo é desenvolver um processo eficiente de biotransformação das sementes de cupuaçu, com foco na obtenção de amêndoas fermentadas e manteiga de elevada qualidade, apresentando redução de acidez e adequação às exigências dos setores alimentício e cosmético. Busca-se, assim, aumentar

a valorização econômica desse subproduto e contribuir para a sustentabilidade ambiental e o desenvolvimento socioeconômico das comunidades produtoras da Amazônia.

Para atingir o objetivo geral, propõem-se os seguintes objetivos específicos:

- i. caracterizar as sementes de cupuaçu quanto às suas propriedades físico-químicas, a fim de compreender seu potencial de biotransformação e avaliar sua qualidade inicial;
- ii. desenvolver métodos mais eficientes e sustentáveis para o processo de biotransformação, priorizando a melhoria da qualidade das amêndoas e da manteiga, especialmente no que se refere à acidez e estabilidade;
- iii. propor um esquema de biotransformação em fermentação em estado sólido, que assegure a sustentabilidade do processo, a padronização tecnológica e a qualidade do produto.

Assim, este estudo busca não apenas gerar conhecimento científico sobre o aproveitamento integral do cupuaçu, mas também oferecer subsídios técnicos para o fortalecimento das cadeias produtivas regionais e a consolidação de práticas sustentáveis alinhadas aos princípios da bioeconomia amazônica.

1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A fruticultura é um importante setor do agronegócio brasileiro, com alta expectativa nacional, pois possui uma das maiores diversidade biológica do mundo, tornando dessa forma, a produção de frutas uma das principais atividades do país (Virgolin *et al.*, 2017).

Estas podem ser utilizadas em sua forma *in natura* ou processada, levando a geração de subprodutos ou coprodutos (Nieto *et al.* 2021).

Frutas e hortaliças fornecem nutrientes e vitaminas essenciais para metabolismo humano (Wallace *et al.* 2020).

O uso sustentável dos resíduos do setor agroindustrial é fundamental para a biotecnologia, especialmente na Amazônia e seu ecossistema. Esse aproveitamento permite a valorização da biomassa residual sem exigir expansão territorial, assegurando destinações adequadas e de alto valor agregado aos subprodutos do processamento.

1.1 Resíduos Agroindustriais

A crescente ênfase na sustentabilidade em sistemas de produção modernos tem impulsionado a exploração de usos alternativos para resíduos agroindustriais (Vidal *et al.*, 2021).

Segundo Maia *et al.*, (2022), essas biomassas residuais amazônicas podem ser deslocadas à posição de valiosas matérias-primas para a obtenção de produtos de valor agregado, o que está em consonância com os princípios da economia circular.

No Brasil, segundo estudos de Beltrão e Oliveira (2007), Mobarak *et al.* (2014) e Santos (2021), as principais aplicações derivadas do uso das oleaginosas são como lubrificantes para uso em correntes de motosserras, graxas, aplicações marítimas, óleo dois tempos, além de serem utilizadas pelas indústrias alimentícia e farmacêutica.

Os resíduos possuem composições variadas, incluindo minerais, químicas e bioquímicas, que podem ser reaproveitadas em diversas aplicações. Esse aproveitamento garante uma fonte alternativa e proporciona benefícios econômicos e sociais aos produtores.

1.2 Cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum)

O cultivo do cupuaçu começou na década de 1970, com a produção inicialmente concentrada no Sudeste do Pará e Noroeste do Maranhão, regiões consideradas o centro

de origem e diversidade do cupuaçu. Atualmente, a área cultivada no Estado do Pará alcança cerca de 8,5 mil hectares, com um rendimento médio de 3,2 toneladas por hectare (LSPA/IBGE/SEDAP-PA, 2019).

Além disso, a maioria do mercado de cupuaçu está na região Norte do Brasil, seguida pelo Nordeste e uma pequena parcela no Centro-Oeste (IBGE, 2017).

O cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum) é uma fruta nativa da região amazônica, destacando-se como uma das árvores frutíferas mais promissoras da Amazônia, tanto pelo seu valor econômico quanto pelo potencial de industrialização de sua polpa e sementes (Figura 1).

Figura 1- Aspecto morfológico da árvore de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum) com frutos em fase de maturação.



Fonte: Próprio autor (2024)

O cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*, Schum) produz frutos que podem pesar entre 200g e 4000g, contendo de 15 a 50 sementes envoltas por uma polpa. Pertencente à mesma família do cacau (*Theobroma cacao*), compartilha algumas propriedades sensoriais e físico-químicas. Entre essas semelhanças, destaca-se a capacidade de suas sementes, após fermentação e secagem/torrefação se transformarem em amêndoas de alto valor (Ramos *et al.*, 2020, p.318).

É uma fruteira perene com desenvolvimento espontâneo nas florestas da Amazônia Ocidental e atualmente distribuída em todos os estados brasileiros, sendo considerada uma importante fonte de renda e emprego para os produtores dessas regiões (Lima- Primo *et al.*, 2018).

O cupuaçu é apreciado por sua polpa ácida e aroma intenso, sendo utilizado em uma variedade de produtos como sucos, cremes, sorvetes, doces e até mesmo como matéria-prima para um produto similar ao chocolate, denominado cupulate ou "chocolate de cupuaçu" (Da Silva e Farias, 2018).

A produção de sucos e doces a partir da polpa de cupuaçu gera uma abundância de subprodutos, formados principalmente por sementes. Quando processadas, essas sementes podem resultar em manteiga de cupuaçu, que se solidifica a 5°C e é altamente valorizada, especialmente na indústria cosmética, devido ao seu excelente potencial emoliente (Da Costa *et al.*, 2019).

Segundo López (2015), o cupuaçu destaca-se pelas diversidades de suas utilizações e por serem relativamente simples as tecnologias de obtenção e processamento a partir do fruto (polpa, semente e casca) que podem ser facilmente desenvolvidas pela agricultura familiar.

A agricultura familiar desempenha um papel crucial na região amazônica, em que o cupuaçu representa uma importante fonte de renda e emprego, especialmente para pequenas propriedades que se dedicam ao seu cultivo e processamento (Guimarães *et al.*, 2015).

O fruto, cupuaçu, além de seu potencial econômico, é rico em compostos fitoquímicos e antioxidantes, como o ácido ascórbico (vitamina C), que contribuem para uma dieta saudável (Magwaza *et al.*, 2017).

Existem duas principais formas de despolpe do cupuaçu, que é a separação da polpa das sementes. O primeiro trata-se do método manual que consiste no corte da polpa com tesouras ou facas; e o método mecânico que é a separação feita por despolpadeira removendo a polpa de fruta de suas sementes (Silva e Farias, 2018).

No entanto, independentemente do método manual ou mecânico, o controle de qualidade é essencial para garantir a segurança alimentar (Costa *et al.*, 2003; Jesus *et al.*, 2018; Silva Júnior *et al.*, 2018).

A indústria alimentícia e cosmética tem explorado as propriedades das sementes de cupuaçu, gerando demanda por tecnologias de processamento que permitam o aproveitamento integral da fruta (Cohen *et al.*, 2005).

A crescente demanda por produtos derivados do cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum) aponta para a necessidade de desenvolvimento de práticas de cultivo e processamento ambientalmente sustentáveis. Isso inclui a valorização da biodiversidade amazônica e o estímulo à economia local através da geração de empregos e renda, destacando o cupuaçu como um recurso valioso para a região e para o país (Souza *et al.*, 2020; Pereira *et al.*, 2017; Pereira *et al.*, 2018; Costa *et al.*, 2019).

O percentual de 15 a 20% de sementes, normalmente, são descartados pela agroindústria como resíduo de produção, no entanto, esse material aparentemente sem utilidade apresenta estudos que demonstram que se pode obter das sementes do cupuaçu

um chocolate semelhante ao do cacau, sendo necessário passar por processo de transformações bioquímicas para desenvolver as características peculiares do chocolate (Costa *et al.*, 2017).

O Cupuaçu se apresenta como uma alternativa atrativa para substituição do cacau na produção de chocolates, uma vez que sua manteiga e a manteiga de cacau possuem características semelhantes como suas cristalizações, ponto de fusão dentre outros aspectos (Ayres, 2019).

1.3 Distribuição Geográfica

O gênero *Theobroma grandiflorum* Schum, tipicamente neotropical, contém 22 espécies, e encontra-se distribuído nas florestas tropicais úmidas do hemisfério ocidental, entre as latitudes 18° norte e 15° sul, estendendo-se do México ao sul da floresta amazônica (Cuatrecasas, 1964).

Conforme mostra a Figura 2, no Brasil, *Theobroma grandiflorum* Schum ocorre na Região Norte, nos estados do Acre, Amazonas, Pará e Rondônia e no Nordeste do Maranhão (Colli-Silva e Pirani, 2020).

Figura 2- Mapa de distribuição geográfica da espécie no Brasil



Fonte: Flora do Brasil, (2018).

O fruto pertence à família *Malvaceae* de denominação *Theobroma grandiflorum* Schum. É uma fruta típica da Amazônia, mas também cultivada em outros estados. A sua polpa possui um forte aroma e um notável sabor ácido, empregada em doces no geral e possui maior comercialização quando congelada (Lima *et al.*, 2017).

A produção de cupuaçu, estimada em mais de 20.000 hectares, é uma atividade significativa nos estados do Pará, Amazonas, Rondônia e Acre, com o Amazonas apresentando pequenas áreas produtivas em quase todos os seus municípios (Alves *et al.*, 2014).

O cupuaçu também é encontrado em estado silvestre na parte do Sul e Sudeste da Amazônia Oriental, mas está atualmente disseminado por toda a bacia Amazônica, Norte do Maranhão e ocasionalmente em outros países como Colômbia, Venezuela, Equador, Costa Rica e Peru, onde o fruto é consumido (Almeida e Santos, 2020).

1.4 Composição e Valor Nutricional

As sementes de cupuaçu são ricas em lipídios, ácido oleico, esteárico e palmítico. Na indústria, a parte mais utilizada do fruto é a polpa, que tem um sabor distintivo e é usada na produção de uma variedade de produtos, como sucos, sorvetes, geleias e até mesmo cupulate, produto similar ao chocolate (Dal Sasso, 2023).

As sementes, que representam aproximadamente 20% do peso do fruto, em função do alto conteúdo lipídico (aproximadamente 60% de sua composição) são utilizadas atualmente para a obtenção de gordura, além de potencial fonte de compostos fenólicos e polissacarídeos (Oliveira e Genovese, 2013).

Óleos e gorduras saudáveis são estudados como fontes alternativas para substituírem os usados tradicionalmente em formulações como cremes vegetais, margarinas, chocolates, gorduras especiais para frituras, panificação e confeitaria, além de fornecerem quantidades significativas de proteínas e fibras alimentares (Silva *et al.*, 2019).

O seu alto teor de gorduras saudáveis as torna uma excelente matéria-prima para a produção de manteiga vegetal, com aplicações na indústria de alimentos, cosméticos e farmacêutica.

1.4.1 Metabolismo dos compostos bioativos de resíduos de cupuaçu

O cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum) é uma fruta abundantemente cultivada na Amazônia, cujos subprodutos gerados durante o processamento são cascas e sementes e possuem grande potencial para aproveitamento sustentável devido à presença de compostos bioativos (Das Neves Selis *et al.*, 2021).

Estudos mostram que os resíduos do cupuaçu são ricos em polifenóis, flavonoides e proantocianidinas, compostos conhecidos por seus efeitos antioxidantes e anti-

inflamatórios. Essas transformações resultam em metabólitos que podem exercer efeitos benéficos à saúde, como a modulação da glicose e do perfil lipídico (Assmann *et al.*, 2021).

O metabolismo desses compostos ocorre ao longo do trato gastrointestinal, onde são transformados e absorvidos, apresentando interação com a microbiota intestinal (Alcântara *et al.*, 2021).

Flavonoides como a catequina e epicatequina, quercetina, kaempferol, sofrem metabolização por bactérias intestinais, o que influencia diretamente sua biodisponibilidade e potencial bioativo (Farkhondeh *et al.*, 2020).

O potencial de aproveitamento dos resíduos de cupuaçu é promissor em diversas áreas industriais (Galvão *et al.*, 2024).

Na indústria alimentícia, os resíduos podem ser incorporados como ingredientes funcionais ricos em antioxidantes (Rodrigues *et al.*, 2023).

Na cosmética e farmacêutica, os compostos bioativos oferecem propriedades que podem ser exploradas em produtos de cuidado da pele (Dini *et al.*, 2021) (Yanes *et al.*, 2017) e suplementos alimentares (Becker *et al.*, 2018).

Além disso, há oportunidades para o uso desses resíduos como fonte de bioenergia e na produção de biofertilizantes (Coelho *et al.*, 2021).

Apesar do potencial identificado, ainda há lacunas na literatura sobre o impacto desses compostos bioativos em estudos clínicos e a eficiência de diferentes métodos de extração (Torres *et al.*, 2019).

A valorização dos resíduos do cupuaçu representa uma oportunidade de promover práticas sustentáveis e a economia circular, transformando subprodutos em recursos de alto valor agregado, com benefícios para a saúde e a indústria (Barros *et al.*, 2016).

Além disso, a utilização sustentável dos resíduos de cupuaçu alinha-se com os princípios da economia circular, onde os resíduos são reaproveitados para criar produtos, reduzindo assim o impacto ambiental e aumentando a eficiência econômica (Da Silva *et al.*, 2024).

Ao integrar os subprodutos do cupuaçu em aplicações comerciais, as indústrias podem reduzir os custos de produção e contribuir para a preservação ambiental na região amazônica.

1.5 Aplicações Biotecnológicas

Referem-se ao uso de processos metabólicos em sistemas controlados para o desenvolvimento de produtos, serviços e tecnologias em setores como o alimentício, agrícola, ambiental, industrial e farmacêutico, promovendo inovação e sustentabilidade.

1.5.1 Fermentação em estado sólido

A fermentação em estado sólido é um processo fermentativo caracterizado pelo crescimento de microrganismos e formação de produtos na superfície de uma matriz sólida, ocorrendo na ausência ou quase ausência de água livre (Garcia-Galindo, 2019).

Para alcançar altos rendimentos neste processo, é crucial considerar os fatores físico-químicos envolvidos, como temperatura, pH, aeração, atividade de água e umidade, além da natureza do substrato sólido (Ambrozim, 2019).

Nesse contexto, os resíduos agroindustriais têm sido explorados em estudos de processos fermentativos, buscando-se desenvolver estratégias de otimização que permitam ajustar os parâmetros nas diversas etapas do processo para melhorar o rendimento do produto (Salomão, 2018).

É reconhecido que o controle do processo natural de fermentação do cacau e do cupuaçu é complexo e é nesta fase que os sabores desejáveis começam a ser formados. Embora existam semelhanças com o cacau, o conteúdo e as características das sementes de cupuaçu são muito distintos, tanto em quantidade quanto em qualidade na percepção sensorial, acidez e teor de açúcar (Păcularu-burada *et al.*, 2020).

Compreender as transformações bioquímicas durante a fermentação, secagem e torra das sementes de cupuaçu é crucial para determinar o potencial nutricional e a qualidade do produto e suas possíveis aplicações em diversos segmentos (Marasca *et al.*, 2022).

Além de otimizar rendimentos, a fermentação em estado sólido contribui para a reutilização e valorização de resíduos, minimizando impactos ambientais negativos relacionados ao descarte inadequado e à queima ao ar livre.

1.5.2 Biotransformação em estado sólido

A biotransformação é um processo biotecnológico que busca compreender e utilizar o metabolismo diante de diferentes substratos, empregando processos de baixo custo e seguindo os princípios da química verde (Takahashi *et al.*, 2022).

Os processos de biotransformação aumentam a competitividade industrial por serem mais econômicos, sustentáveis e energeticamente eficientes. Permitem gerar produtos inovadores e de alta qualidade, com menor impacto ambiental. Substituem processos químicos, reduzindo custos e promovendo a sustentabilidade (Bommarius *et al.*, 2007 e Kircher *et al.*, 2011).

1.6 Fermentação das Sementes de Cupuaçu

O cupuaçu, *Theobroma grandiflorum* Schum, é um recurso natural de grande valor para a agroindústria amazônica, com ampla aplicação industrial. Embora existam estudos sobre o aproveitamento dos resíduos gerados durante o seu processamento, uma parte significativa ainda é descartada sem aproveitamento, causando impactos ambientais negativos (Fraife Filho, 2016).

A fermentação das sementes de cupuaçu guarda semelhanças com a fermentação do cacau, sendo uma das etapas iniciais na transformação tecnológica do cacau em chocolate, desempenhando um papel fundamental na criação do sabor e aroma característicos deste produto. Este processo ocorre de forma espontânea na presença de diversos microrganismos (Pereira *et al.*, 2018).

O processo de fermentação ocorre de forma espontânea, sendo conduzido por leveduras, bactérias ácido-acéticas e ácido-láticas, e se desenvolve em duas fases: anaeróbica e aeróbica. Na primeira fase, as leveduras proliferam-se devido à presença de açúcares e ao pH ácido da polpa, consumindo oxigênio e açúcares enquanto produzem etanol. Na fase aeróbica, a oxidação de compostos pode modificar a adstringência, o amargor e a coloração das sementes, um processo que continua durante a secagem até que a umidade atinja um nível ideal para reduzir a atividade enzimática (Janek *et al.*, 2016).

Conforme descreve Grimaldi (1978, p.306), a fermentação das sementes de cupuaçu, um processo bioquímico essencial para a produção de chocolate, envolve a morte do embrião e a cura das sementes, essa fermentação, que é exotérmica e ocorre nos primeiros três dias, seguida por um processo de cura, eleva a temperatura da semente, acelerando os processos enzimáticos essenciais para conservar as sementes e desenvolver o seu sabor, cor, aroma e outras características físicas

A fermentação dura cerca de sete dias e não deve ser prolongada para evitar a degradação proteica, que compromete sabor e aroma. O processo inicia até 24 horas após a quebra dos frutos, preservando a qualidade. Geralmente, é feito em caixas de madeira,

com as sementes cobertas por folhas de bananeira ou sacos de juta para manter a temperatura e evitar o ressecamento (CEPLAC, 1980).

A temperatura durante a fermentação pode atingir entre 35° e 40 °C, exigindo o revolvimento das sementes a partir do segundo dia para evitar que ultrapasse 45 °C, o que inativa as enzimas produzidas. Este processo resulta na perda da capacidade germinativa da semente, transformando-a em amêndoa e dando início a complexas reações bioquímicas promovidas por microrganismos. Estes são responsáveis pelos precursores do sabor e aroma característicos do cupulate (Garcia, 2006 e Schwan, 1998).

Durante o processo de fermentação, a semente passa por transformações físicas, químicas e bioquímicas que resultam na criação de compostos conhecidos como precursores de aroma e sabor. Esse processo natural e microbiológico é impulsionado pela ação de leveduras, bem como bactérias produtoras de ácido acético e lático, ao longo de um período que varia de 6 a 7 dias. Este ambiente favorece o desenvolvimento das leveduras, que consomem oxigênio e açúcares da massa, produzindo etanol como um subproduto da reação (Toker *et al.*, 2020, p.580).

O despolpamento prévio é essencial para a fermentação das sementes, pois alterações na microbiota endógena podem afetar significativamente a formação de compostos precursores de sabor. A caracterização físico-química desses processos tem sido objeto de estudo para garantir a qualidade constante das sementes de cupuaçu (Souza *et al.*, 2018).

O monitoramento do processo de fermentação e a realização de análises físico-químicas do Cupuaçu envolvem à avaliação de parâmetros críticos como pH, temperatura, compostos bioativos, atividade antioxidante e reações enzimáticas. Vários estudos destacam à importância do monitoramento em tempo real nos processos de fermentação para otimizar o rendimento do produto e a utilização de recursos (Xie *et al.*, 2023).

1.7 Secagem das Sementes de Cupuaçu

Entende-se por secagem o processo de transferência de calor e massa de água entre a semente e o ar, resultando na redução do teor de água das sementes à medida que a temperatura aumenta e a umidade relativa do ar diminui (Werncke, 2020).

A secagem é classificada em dois grupos: natural e artificial. A secagem natural é um processo espontâneo na natureza, ocorrendo com as sementes ainda antes de atingirem o ponto de maturidade fisiológica, tornando-as vulneráveis às condições climáticas,

insetos, roedores e microrganismos. Já a secagem artificial resulta da intervenção humana, com controle da temperatura, umidade e corrente de ar (Martins *et al.*, 2019).

Após a fermentação, a etapa de secagem inicia imediatamente e pode ser realizada ao sol ou por aquecimento, dependendo das condições climáticas e dos recursos disponíveis para o produtor. Um dos objetivos da secagem é reduzir o teor de umidade das amêndoas e volatilizar os ácidos, elevando o pH. No entanto, é importante tomar precauções para evitar a contaminação por microrganismos que podem alterar o sabor da amêndoa (Efraim *et al.*, 2009; Guehi *et al.*, 2010 e Páramo *et al.*, 2010).

A torração das amêndoas provoca a oxidação dos compostos devido às altas temperaturas na presença de oxigênio, resultando no escurecimento acentuado das amêndoas. Esse processo, conhecido como escurecimento não enzimático ou reação de Maillard, é responsável pelas características aromáticas e sensoriais do produto (Jinap *et al.*, 2010; Zambrano *et al.*, 2010 e Token *et al.*, 2020).

As condições climáticas, como temperatura e umidade relativa do ambiente, são fatores que influenciam a qualidade das sementes, atuando de forma mais intensa após o ponto de maturidade fisiológica. Nesse momento, é crucial iniciar o processo de secagem para preservar as qualidades físico-químicas das sementes e permitir seu armazenamento adequado (Sales, Soglia e Girotto, 2019).

Após a secagem, a amêndoa é prensada para extrair a manteiga. O resíduo da amêndoa, conhecido como torta de cupuaçu, possui em média 11% de Extrato Etéreo (EE), 19% de Proteína Bruta (PB) e 89% de Matéria Seca (MS), (Pereira, 2009; Geron *et al.*, 2013).

1.8 Extração da Manteiga de Cupuaçu

A extração da manteiga de cupuaçu ocorre por prensagem a frio natural, um método mais vantajoso do que a extração tradicional com solvente, pois produz uma manteiga mais estável. No entanto, o material residual, ou seja, o subproduto das amêndoas de cupuaçu, é geralmente desperdiçado pelas indústrias cosmética e alimentícia. Estudos demonstraram que o extrato bruto desse subproduto ainda possui uma potente atividade antioxidante devido à presença de compostos fenólicos (Silva *et al.*, 2019).

A manteiga das amêndoas de cupuaçu apresenta ácidos graxos semelhantes à manteiga de cacau (*Theobroma cacao* L.), sendo uma fonte importante dos ácidos graxos

oleico, araquidônico e linoleico, além de possuir propriedades antioxidantes que a tornam adequada para uso industrial em alimentos e cosméticos (Alviárez *et al.*, 2016).

Na indústria de cosméticos, a manteiga de cupuaçu é utilizada na produção de cremes para a pele. Já na indústria de alimentos, pesquisas indicam que ela pode contribuir para o combate à dislipidemia (gordura no sangue), devido ao equilíbrio dos três principais ácidos graxos (oleico, linoleico e araquídico) presentes nessa fruta, acelerando assim o processo de redução do colesterol (Ferreira, 2015).

Além disso, a manteiga de cupuaçu, obtida das amêndoas, é utilizada na indústria farmacêutica devido às suas propriedades antioxidantes. Ela também tem potencial para uso na indústria alimentícia, principalmente na produção de cupulate, um produto semelhante ao chocolate. (Franklin e Nascimento, 2020).

Embora algumas empresas já comercializem a manteiga de cupuaçu, a maioria das sementes ainda é descartada durante o processo de obtenção da polpa, realizado por indivíduos e cooperativas de agricultura familiar. Esse desperdício é significativo, considerando-se que a gordura contida na semente é altamente umectante, rica em diversos nutrientes e possui elevado valor comercial (Leonardi *et al.*, 2019).

A manteiga de cupuaçu é um triacilglicerol composto de ácidos graxos saturados e insaturados, com baixo ponto de fusão e aparência sólida. Ela contém nutrientes essenciais, vitaminas e antioxidantes, que promovem a elasticidade da pele, tem ação antienvhecimento, melhoram a hidratação da pele e protegem contra os efeitos dos raios UVA e UVB (Pereira *et al.*, 2015).

A torta de cupuaçu é o resíduo da extração por prensagem, da qual se retira cerca de 80% da manteiga total, resultando um resíduo com aproximadamente 11% de Extrato Etéreo (Geron *et al.*, 2013).

2 METODOLOGIA

Este estudo refere-se ao processo de biotransformação das sementes de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum), o qual consiste em um conjunto de operações biotecnológicas que visam modificar a matriz bioquímica das amêndoas por meio da fermentação controlada. Nessa etapa, microrganismos naturalmente presentes atuam sobre seus compostos bioativos, promovendo modificações químicas e enzimáticas. Para monitorar o processo fermentativo, foram realizadas análises físico-químicas periódicas, incluindo pH, densidade e acidez total titulável, ao longo dos dias de fermentação.

Após o processo fermentativo, as amêndoas são submetidas a procedimentos controlados de desidratação, com o objetivo de reduzir o teor de umidade e estabilizar o produto. Em seguida, realiza-se a extração das frações lipídicas, etapa essencial para a obtenção e avaliação da manteiga de cupuaçu resultante.

Por fim, as amostras passam por análises físico-químicas destinadas à caracterização das amêndoas e da fração lipídica obtida, permitindo avaliar as modificações promovidas pela biotransformação e assegurar a padronização das matérias-primas produzidas para fins industriais e biotecnológicos.

2.1 Matéria - Prima (sementes de cupuaçu)

O fruto cupuaçu é submetido a um processo de extração em despoldadeira, que resulta na polpa da fruta como produto. Durante esse processo, são gerados resíduos compostos por casca, sementes e restos de polpa aderidos como visualizado na Figura 3.

Nesta pesquisa foram utilizados 60 kg de sementes de cupuaçu, foram transportadas para o Centro de Biotecnologia da Amazônia (CBA) em Manaus-Am.

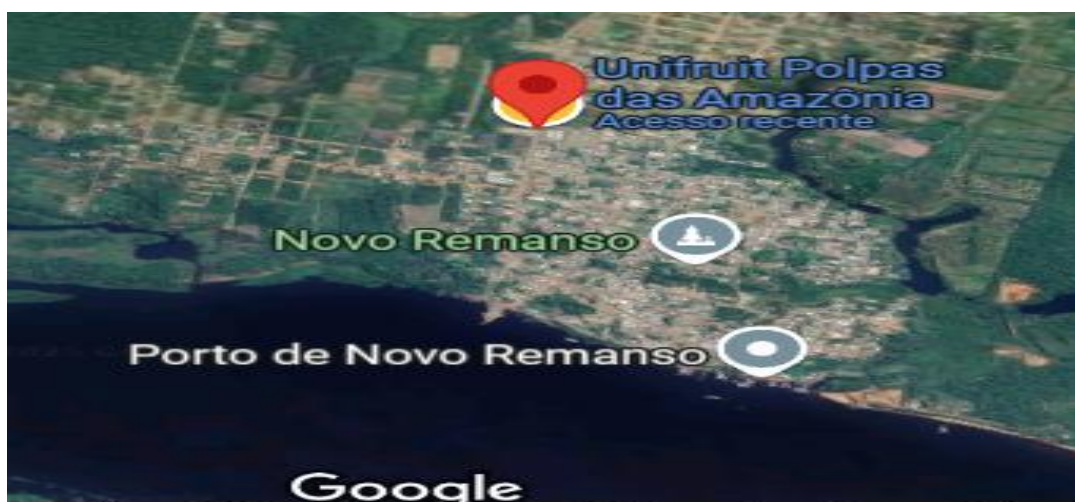
Figura 3 – Resíduo, sementes de cupuaçu



Fonte: Próprio autor, (2024).

O resíduo do processamento de cupuaçu sementes foram adquiridas da Agroindústria Unifruit Polpas da Amazônia, situada em Novo Remanso, no Município de Itacoatiara - Amazonas, conforme mostra a Figura 4, nas coordenadas geográficas 3°12'27,71"S e 59°01'37,76"W. As sementes passaram por um total descongelamento, selecionadas, pesadas e porcionadas em duas quantidades de 30kg, para os processos de biotransformação e desidratação das sementes *in natura*.

Figura 4 – Localização da Agroindústria Unifruit polpas da Amazônia em Itacoatiara – Am.



Fonte: Próprio autor, por meio da Google, (2025).

2.2 Biotransformação das Sementes de Cupuaçu *in natura*

Os 30 kg de sementes *in natura* em temperatura ambiente foram dispostos, em caixa plástica marfinita vazadas, com as seguintes dimensões:

- Internas: altura 29cm, largura 32cm e comprimento 51cm
- Externas: altura 31cm, largura 36cm e comprimento 55cm

Para garantir condições básicas de higiene, as caixas foram cobertas com tecido TNT de gramatura 20, evitando o contato das sementes com insetos ou animais.

A Figura 5 apresenta o início do processo (A), a fermentação espontânea, ocorre intensa biotransformação dos constituintes da biomassa residual, mediada pela microbiota nativa, contribuindo para a formação de compostos com maior valor agregado e final do processo (B), as sementes de cupuaçu apresentam melhoria significativa em sua qualidade.

Figura 5 – Biotransformação das Sementes de Cupuaçu (A)-Início e (B)- Final do Processo



Fonte: Próprio autor, (2024).

No início do processo, foram estabelecidas atividades diárias para monitoramento, incluindo a coleta de dados de temperatura em vários pontos da caixa, retirada de amostras para análise e revolvimento diário das sementes. Ao término do processo, as amêndoas seguiram para a etapa de desidratação, sob temperatura de 60 °C por 48 horas, até a umidade ideal entre 6 e 8%, posteriormente foram pesadas e seguiram para a extração por prensagem a frio em prensa Ecirtec 100kg/h.

2.3 Desidratação das Sementes de Cupuaçu *in natura*

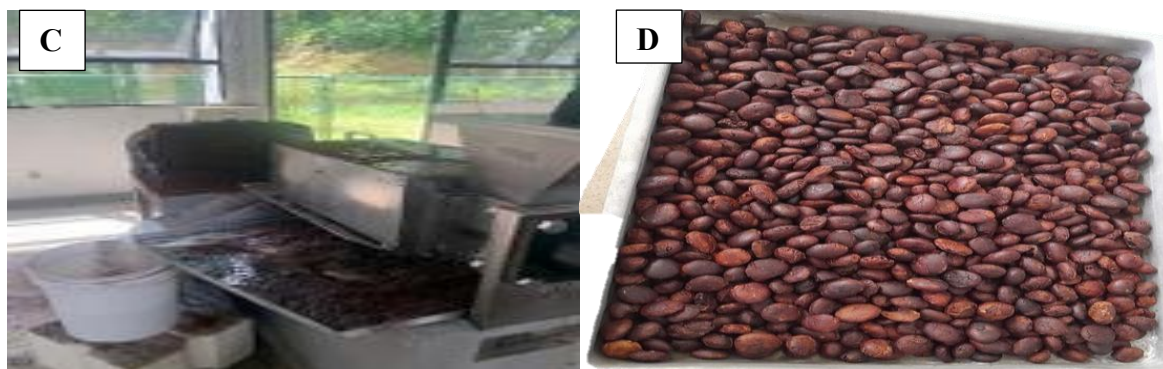
Os 30 kg de sementes *in natura*, utilizados para o processo de desidratação, foram pesados e dispostos em bandejas de aço inox da estufa de secagem com circulação de ar (Marconi), sob temperatura de 60 °C por 48 horas até a umidade ideal entre 6 e 8%.

Ao término da desidratação, as amêndoas foram pesadas e seguiram para o processo de extração por prensagem a frio em prensa Ecirtec 100kg/h.

2.4 Extração por Prensagem a Frio

A extração por prensagem a frio em prensa extratora Ecirtec modelo 100 kg/h é um método mecânico utilizado para extrair gorduras vegetal de sementes de frutos oleaginosos sem o uso de calor adicional, com monitoramento de temperatura por meio do ajuste de pressão de compactação. A Figura 6 demonstra o processo de prensagem e amêndoas padronizadas para a extração. No processo ocorre a separação da manteiga e do resíduo sólido torta. O produto manteiga é filtrado para remoção de resíduo da extração e o subproduto torta é armazenada.

Figura 6- Prensagem a frio das amêndoas de cupuaçu em prensa extratora Ecirtec modelo 100 kg/h



Fonte: Próprio autor, (2025).

C – Prensa Ecirtec100Kg/h, **D** – Amêndoas de cupuaçu

A filtração a vácuo da fração lipídica, utilizando funil de Büchner acoplado a um frasco de Kitasato conectado a bomba de vácuo. Inicialmente, posicionou-se papel de filtro adequado, previamente umedecido para garantir a vedação. Em seguida, a amostra foi adicionada ao funil e submetida à sucção, o que acelerou a separação e a retenção do material sólido sobre o filtro, permitindo maior eficiência no processo (Figura 7).

Figura 7- Processo de filtração a vácuo da fração lipídica



Fonte: Próprio autor, (2025).

2.5 Caracterização Físico-Química

Em cada processo, foram retiradas amostras de amêndoas desidratadas (sem fermentar e fermentadas). As amostras foram moídas em moinho de facas, sendo feito o peneiramento na tela do próprio moinho para padronização, as amostras das frações

lipídicas, foram retiradas após filtração, as análises físico-químicas, foram realizadas em triplicata.

2.5.1 Potencial hidrogeniônico (pH)

O pH das amostras foi determinado por método potenciométrico, utilizando pHmetro digital de bancada da marca Marconi, previamente calibrado com soluções tampão de pH 4,0 e 7,0. Para a análise, foram pesados 5 g de amostra, os quais foram homogeneizados com 50 mL de água destilada, sendo posteriormente filtrados para obtenção do extrato. As leituras de pH foram realizadas a partir desse filtrado, considerando amostras coletadas ao longo dos diferentes dias de fermentação, bem como das amostras desidratadas. Para a fração lipídica, as medições foram realizadas a partir do filtrado obtido após o processo de extração. Todas as determinações foram conduzidas em triplicata, conforme as normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz (2008).

2.5.2 Umidade

O teor de umidade foi determinado pelo método gravimétrico, por secagem em estufa a 105 °C até massa constante. Foram pesados 2 g de amostra em cápsulas previamente secas e taradas, sendo posteriormente levadas à estufa. Após o período de secagem, as amostras foram resfriadas em dessecador e pesadas. O procedimento foi realizado em triplicata, conforme normas do Instituto Adolfo Lutz (2008).

2.5.3 Cinzas

O teor de cinzas foi determinado por incineração em forno mufla a 550 °C. Pesou-se 5 g de amostra foram previamente carbonizados e, em seguida, incinerados até obtenção de resíduo mineral de coloração clara. Após resfriamento em dessecador, as amostras foram pesadas. As análises foram realizadas em triplicata, conforme Instituto Adolfo Lutz (2008).

2.5.4 Acidez total titulável

A acidez total titulável (ATT) foi determinada por titulação ácido-base. Para a análise, foram pesados 5 g das amostras, referentes aos diferentes dias de fermentação e

às amostras desidratadas, as quais foram diluídas em 50 mL de água destilada, homogeneizadas e posteriormente filtradas. Ao filtrado, foram adicionadas três gotas de fenolftaleína como indicador, sendo a solução titulada com hidróxido de sódio (NaOH) 0,1 M até o ponto de viragem, caracterizado pelo aparecimento de coloração rósea persistente. As análises foram realizadas em triplicata, conforme metodologia descrita pelo Instituto Adolfo Lutz (2008).

A acidez da fração lipídica foi determinada por titulação, conforme metodologia do Instituto Adolfo Lutz (2008). Para a análise, foram pesados 2 g da amostra previamente homogeneizada e em estado líquido, aos quais foram adicionados 25 mL de solução neutra de éter-álcool (2:1, v/v). Em seguida, adicionaram-se duas gotas de fenolftaleína como indicador, e a mistura foi titulada com solução de hidróxido de sódio (NaOH) 0,1 M até o aparecimento de coloração rósea persistente por, no mínimo, 30 segundos, indicando o ponto final da reação. As determinações foram realizadas em triplicata.

2.5.5 Densidade

A densidade das amostras foi determinada conforme a metodologia descrita pelo Instituto Adolfo Lutz (2008), utilizando picnômetro, em função da elevada precisão do método, que permite a determinação de massas em volumes rigorosamente definidos sob temperatura controlada.

As análises foram realizadas em três etapas distintas: (i) amostras de sementes ao longo dos diferentes dias de fermentação; (ii) amostras de amêndoas desidratadas; e (iii) fração lipídica previamente extraída e filtrada. Todas as determinações foram conduzidas em triplicata.

A avaliação da densidade constitui um parâmetro relevante para o monitoramento do processo fermentativo, uma vez que reflete alterações na composição interna das sementes, como a degradação de açúcares, lipídios e proteínas, além da redução do teor de umidade e do aumento da porosidade estrutural. Essas modificações físico-químicas influenciam diretamente os valores de densidade, permitindo sua correlação com outros parâmetros analíticos, como pH e acidez, na estimativa do estágio de fermentação.

2.5.6 Lipídios

O teor de lipídios foi determinado por extração contínua com solvente orgânico, utilizando extrator tipo Soxhlet, conforme metodologia do Instituto Adolfo Lutz (2008).

Para a análise, 3 g de amostra previamente desidratada foram acondicionados em cartucho confeccionado com papel de filtro, devidamente fechado, e transferidos para o aparelho extrator.

O balão de fundo chato foi previamente seco em estufa a 105 °C por 1 hora, resfriado em dessecador por 20 minutos e, em seguida, tarado. Posteriormente, adicionou-se éter de petróleo (30–60 °C) em volume suficiente para permitir a extração contínua no sistema Soxhlet. A extração foi conduzida por aproximadamente 4 horas, sob aquecimento em chapa elétrica.

Ao término da extração, o cartucho foi removido e o solvente recuperado por destilação. O balão contendo o resíduo lipídico foi novamente levado à estufa a 105 °C por cerca de 1 hora, resfriado em dessecador até temperatura ambiente e pesado para determinação do teor de lipídios. Todas as análises foram realizadas em triplicata.

2.5.7 Proteínas – Método de Kjeldahl clássico

O teor de proteína total foi determinado pelo Método Kjeldahl, em um processo de três etapas (digestão, destilação e titulação). Para a etapa de digestão, foi pesado 0,2 g da amostra em papel de seda, transferindo-os (papel+amostra) e/ou branco (papel de seda) para o tubo micro Kjeldahl, no qual, foram adicionados 5mL de ácido sulfúrico e cerca de 2g da mistura catalítica e aquecido em bloco digestor a 400 °C, na capela de exaustão, até a solução se tornar azul-esverdeada e livre de material não digerido (pontos pretos).

Para prosseguir com a etapa de destilação, o tubo foi conectado ao destilador de nitrogênio modelo SL-74 da marca Solab. Na saída do condensador de vidro, foi posicionado um frasco Erlenmeyer contendo 10 mL de uma solução de ácido bórico e três gotas de um indicador misto. Para a adição de hidróxido de sódio a 30%, utilizou-se o copo dosador do equipamento.

Posteriormente, a torneira do copo dosador foi cuidadosamente aberta, permitindo a adição da solução de NaOH (hidróxido de sódio) a 30% ao frasco da amostra digerida e adicionado 10 mL de água destilada no copo dosador do equipamento. Em seguida, o sistema foi aquecido até entrar em ebulição, resultando em cerca de 100 mL de destilado. Na etapa final, o destilado foi titulado com uma solução de HCl (ácido clorídrico) a 0,1M até a virada de cor usando indicador misto. A partir do conteúdo gasto na titulação foi realizado o cálculo com o resultado expresso em porcentagem, conforme a metodologia descrita na norma (Instituto Adolfo Lutz, 2008).

2.5.8 Análise termogravimétrica (TG/DTG)

As técnicas termoanalíticas utilizadas foram: termogravimetria (TG) - a técnica na qual a variação de massa de uma substância (Δm) é medida quando esta é submetida a uma programação controlada de temperatura. A termogravimetria derivada (DTG) é um recurso matemático (Wendtlendt, 1986) que fornece a derivada primeira da curva TG.

2.6 Análise Estatística

Para finalizar, os resultados foram submetidos à análise de variância e Teste complementar de Tukey a 1% e 5% de probabilidade, com auxílio do programa Bioestat versão 5.0 (Ayres *et al.*, 2007).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos nos diferentes tratamentos das sementes de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum) são apresentados e discutidos, correlacionando parâmetros físico-químicos e composição lipídica com a qualidade e o potencial industrial das amêndoas.

3.1 Monitoramento do Processo Fermentativo de Sementes de Cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum)

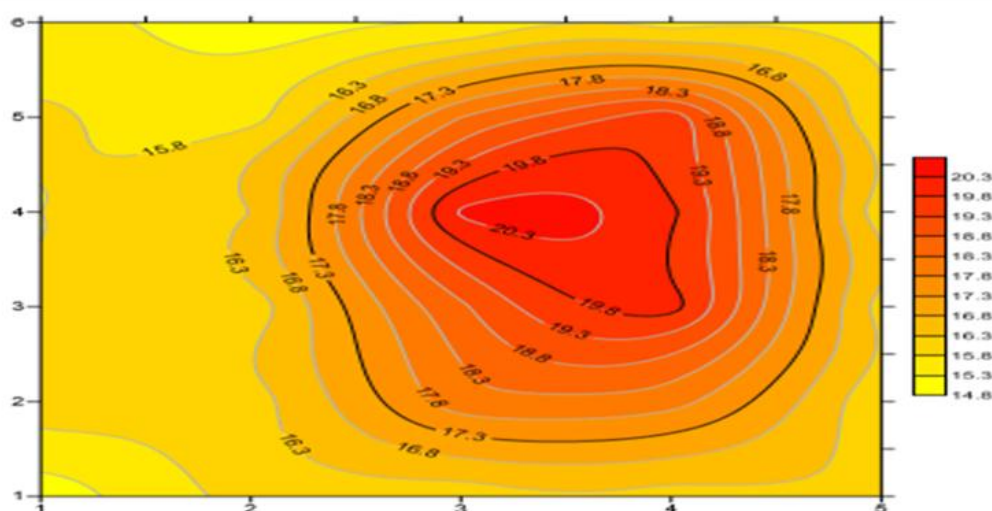
O monitoramento do processo fermentativo foi realizado diariamente, com a finalidade de avaliar os parâmetros físico-químicos associados à dinâmica do processo. As medições incluíram: registro de temperatura em pontos distribuídos uniformemente no interior da caixa de fermentação, visando caracterizar a distribuição espacial e a variação térmica ao longo do tempo; pesagem da massa das sementes, a fim de monitorar alterações associadas à perda de umidade e degradação da matéria orgânica; e retirada de porções de sementes para determinação de pH, densidade absoluta e acidez total titulável em extrato aquoso.

A evolução da temperatura constituiu um dos principais indicadores do progresso fermentativo, estando diretamente associada à atividade microbiana e à ação de enzimas endógenas. Durante a fermentação espontânea, observa-se a atuação sequencial de diferentes grupos de microrganismos, inicialmente com predominância de leveduras, responsáveis pela conversão de açúcares em etanol e dióxido de carbono em condições parcialmente anaeróbias. Em seguida, bactérias ácido-láticas promovem a formação de ácido láctico, contribuindo para a redução do pH do meio. Posteriormente, com o aumento da aeração, bactérias ácido-acéticas oxidam o etanol a ácido acético, liberando calor e intensificando a elevação da temperatura. A despolpa prévia das sementes favoreceu a aeração inicial, acelerando essas etapas metabólicas nas primeiras horas de fermentação, a aeração potencializou esse efeito, promovendo homogeneização térmica e maior disponibilidade de oxigênio. O controle das condições do processo, como temperatura, aeração, umidade e tempo de fermentação, é fundamental para direcionar a atividade desses microrganismos, uma vez que condições inadequadas podem favorecer o desenvolvimento de microbiota indesejável, comprometendo a qualidade final das sementes, enquanto condições controladas promovem biotransformações desejáveis, como a formação de precursores aromáticos, redução da acidez excessiva e melhoria das propriedades tecnológicas da matéria-prima.

Os resultados foram organizados em gráficos que representam a distribuição espacial da temperatura (°C) no interior da caixa de fermentação, ao longo de 0 a 168 horas de processo. O monitoramento da temperatura foi realizado por meio de termômetro digital de haste, inserido em diferentes pontos da caixa fermentativa, permitindo a obtenção de medidas de temperatura do sistema. A avaliação da distribuição espacial da temperatura na caixa de fermentação ao longo do tempo, revela o comportamento dinâmico do processo fermentativo, diretamente associado à atividade metabólica da microbiota presente. Estes dados evidenciam diferenças significativas e gradientes térmicos no interior do sistema, refletindo a complexa interação entre fatores físicos, químicos e biológicos durante a fermentação.

No tempo inicial, 0 hora, observa-se uma condição homogênea, com valores próximos à temperatura ambiente. Essa uniformidade reflete a ausência de atividade microbiana significativa, funcionando como ponto de partida para a análise das modificações subsequentes (Gráfico 1).

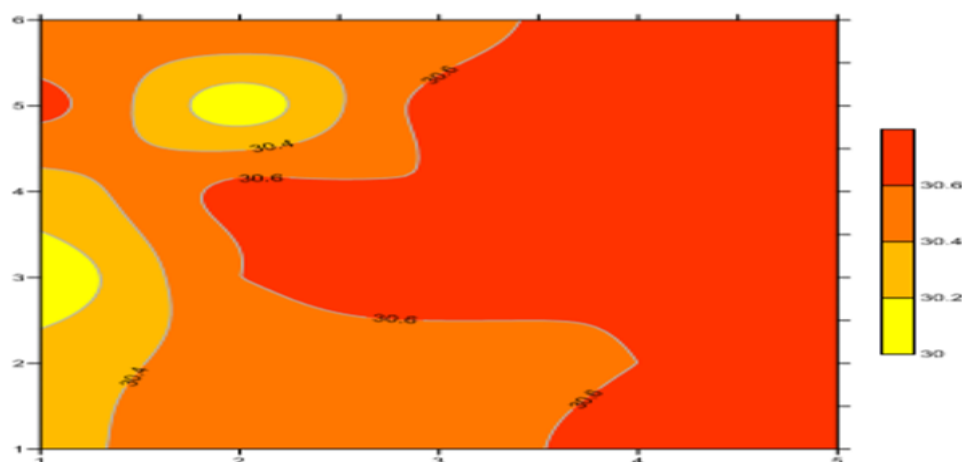
Gráfico 1 - Distribuição espacial da temperatura °C na caixa de fermentação no tempo 0 hora de fermentação.



Fonte: Próprio autor, (2024).

Após 24 horas, a massa fermentada começa a apresentar alterações, principalmente no núcleo da caixa, conforme o Gráfico 2. Onde a temperatura tende a se elevar em comparação às bordas. Esse fenômeno está relacionado à intensificação do metabolismo inicial, em que microrganismos, especialmente leveduras e bactérias, iniciam a degradação dos substratos disponíveis, liberando calor como subproduto. Nesse estágio, ainda se nota um gradiente moderado, com as extremidades dissipando calor para o meio externo.

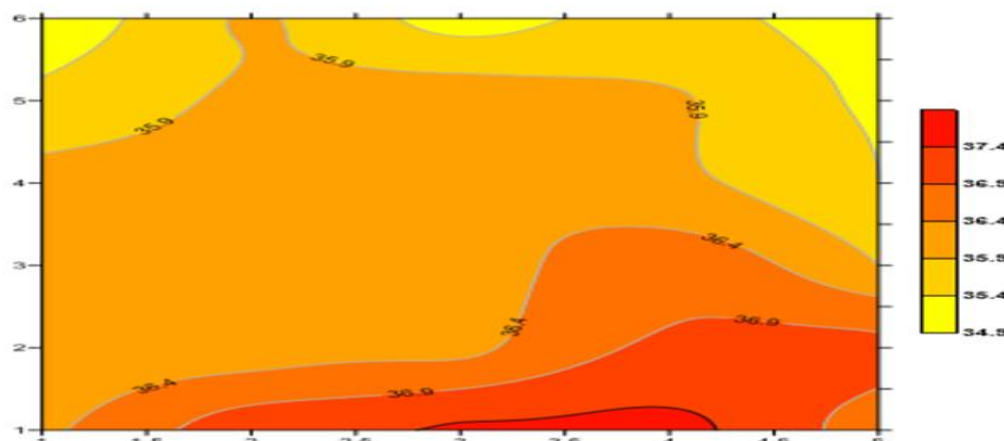
Gráfico 2 - Distribuição espacial da temperatura °C na caixa de fermentação no tempo 24 horas de fermentação.



Fonte: Próprio autor, (2024).

Com 48 horas de fermentação, o gradiente térmico se torna mais acentuado. O centro da caixa atinge valores superiores, resultado do pico de crescimento microbiano e da elevada produção de calor metabólico. Essa etapa é crítica, pois concentra a maior atividade bioquímica do processo. O acúmulo de calor pode acelerar reações desejáveis, mas também apresenta riscos de superaquecimento e inibição do metabolismo se não houver monitoramento adequado (Gráfico 3).

Gráfico 3 - Distribuição espacial da temperatura °C na caixa de fermentação no tempo 48 horas de fermentação.

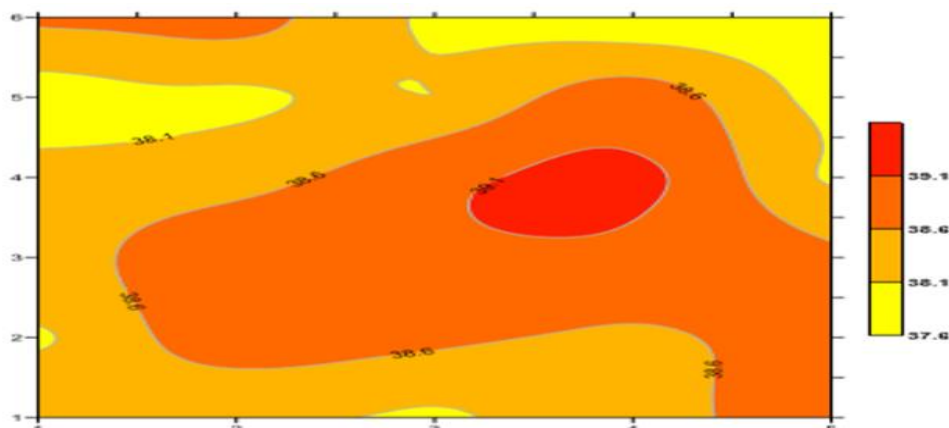


Fonte: Próprio autor, (2024).

Na marca de 72 horas, a distribuição térmica, Gráfico 4, tende a um equilíbrio parcial. Embora o núcleo permaneça mais aquecido que as bordas, a diferença já não é tão intensa quanto no período anterior. Essa estabilização é explicada pela difusão térmica, que gradualmente dissipa o calor acumulado, e pela redução da taxa de

crescimento microbiano em razão da diminuição da disponibilidade de substratos facilmente metabolizáveis.

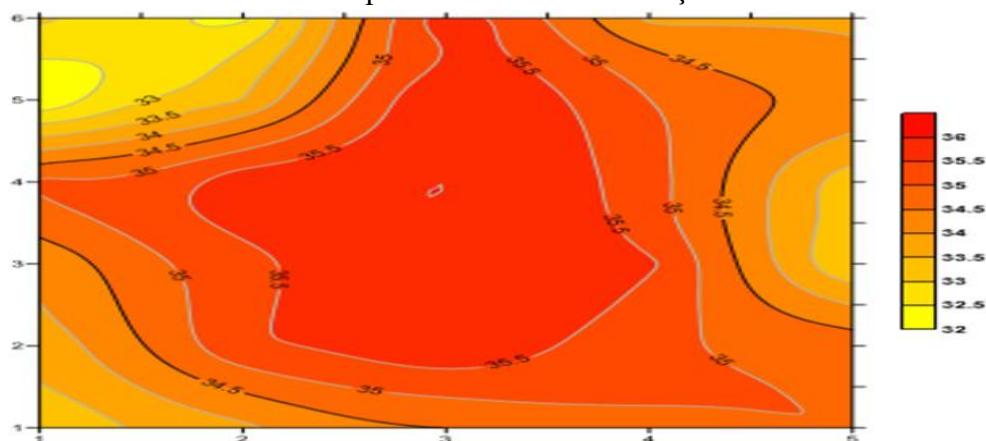
Gráfico 4 - Distribuição espacial da temperatura °C na caixa de fermentação no tempo 72 horas de fermentação.



Fonte: Próprio autor, (2024).

A distribuição espacial da temperatura na caixa de fermentação após 96 horas de fermentação, no Gráfico 5. Nesse estágio intermediário, a temperatura apresentou elevação gradual em relação às fases iniciais, evidenciando o aumento da atividade microbiana. As regiões centrais da massa mostraram temperaturas ligeiramente superiores às zonas periféricas, indicando o acúmulo de calor gerado pela respiração microbiana e pela degradação dos compostos orgânicos.

Gráfico 5 - Distribuição espacial da temperatura °C na caixa de fermentação no tempo 96 horas de fermentação.

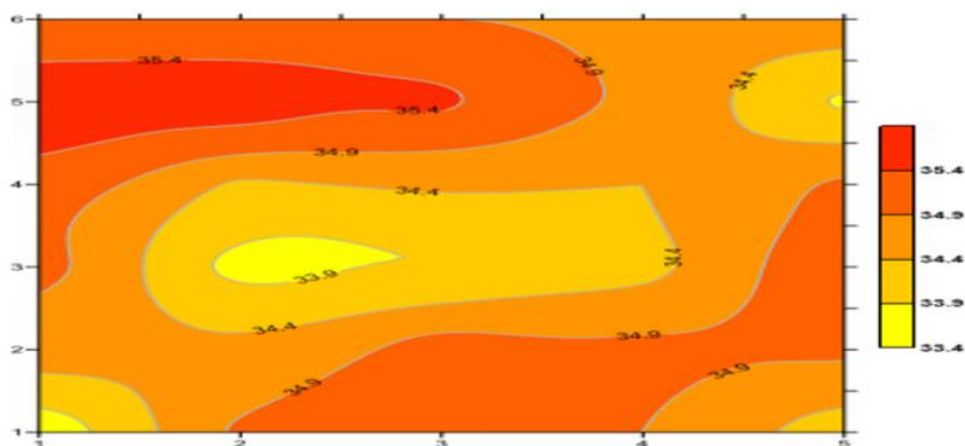


Fonte: Próprio autor, (2024).

A intensificação do gradiente térmico interno, com valores mais elevados concentrados no núcleo da massa fermentativa, conforme o Gráfico 6. Esse

comportamento está associado ao pico de atividade metabólica dos microrganismos, fase em que ocorre a oxidação mais acentuada dos substratos e liberação de calor. A diferença de temperatura entre o centro e as extremidades evidencia a importância da aeração para a uniformidade do processo.

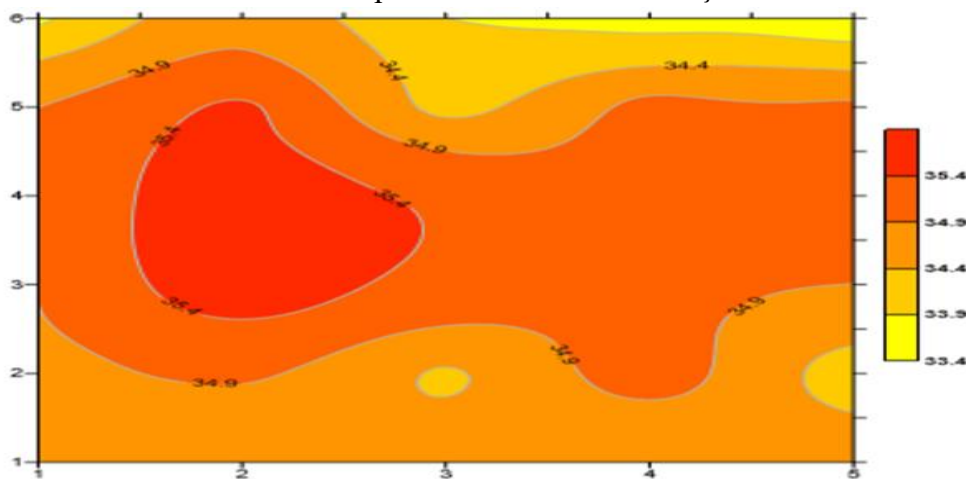
Gráfico 6 - Distribuição espacial da temperatura °C na caixa de fermentação no tempo 120 horas de fermentação



Fonte: Próprio autor, (2024).

Às 144 horas de fermentação, demonstra uma tendência de estabilização térmica, com redução gradual das temperaturas médias, conforme o Gráfico 7. Esse declínio sugere uma diminuição da atividade microbiológica, possivelmente devido à redução dos nutrientes disponíveis e ao acúmulo de metabólitos secundários. Mesmo com menor intensidade, o núcleo da massa ainda apresentou temperaturas levemente superiores às bordas, mantendo um gradiente moderado.

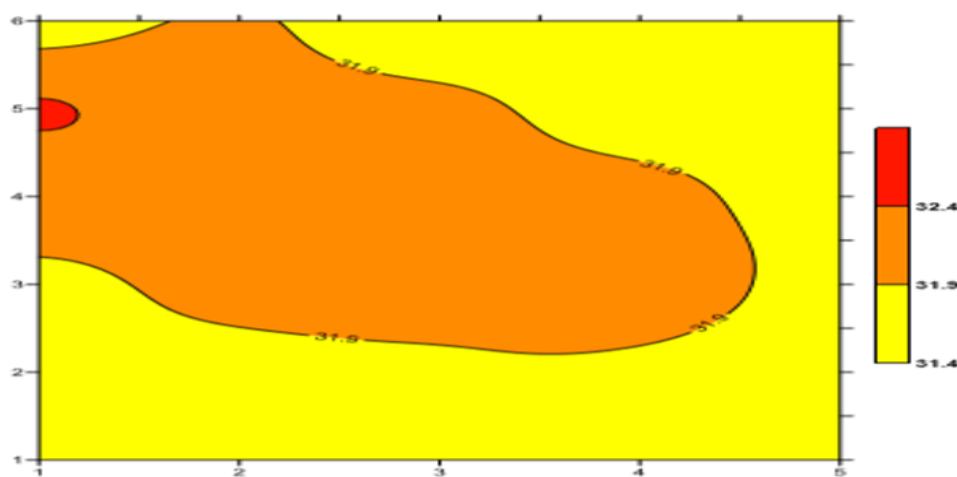
Gráfico 7 - Distribuição espacial da temperatura °C na caixa de fermentação no tempo 144 horas de fermentação.



Fonte: Próprio autor, (2024).

A distribuição da temperatura após 168 horas de fermentação, mostra uma queda mais acentuada dos valores térmicos em toda a massa fermentativa. Esse comportamento é característico da fase final do processo, na qual a atividade microbiana se torna limitada e o sistema tende à estabilização térmica. A homogeneização observada nas temperaturas indica o término da fermentação ativa e a transição para a etapa de desidratação das amêndoas (Gráfico 8).

Gráfico 8 - Distribuição espacial da temperatura °C na caixa de fermentação no tempo 168 horas de fermentação.



Fonte: Próprio autor, (2024).

A evolução térmica observada ao longo dos gráficos segue o padrão típico da dinâmica microbiana em processos fermentativos: fase inicial de homogeneidade, crescimento exponencial com acúmulo de calor, estabilização parcial e posterior declínio. Esse comportamento reforça a importância do monitoramento da temperatura como ferramenta de controle de qualidade, uma vez que o perfil térmico não apenas reflete a intensidade da atividade microbiana, mas também permite prever o ponto ótimo de condução e término da fermentação.

Os resultados referentes às determinações de temperatura em média, massa, pH, densidade absoluta e acidez total titulável dos dias de fermentação estão apresentados na Tabela 1 e representados nos Gráficos a seguir.

Tabela 1 -Dados das médias dos dias de fermentação das sementes de cupuaçu.

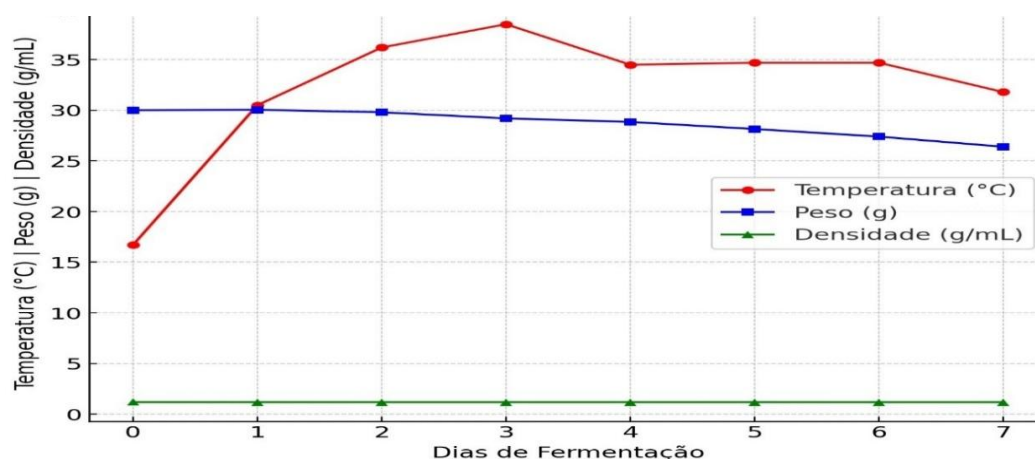
Semente de cupuaçu nos dias de fermentação					
Dias de fermentação	Médias temperatura °C	Peso (kg)	pH extrato aquoso	Densidade absoluta (g/mL)	Acidez (%)
0	16,7±1,6	30.000	*4,52a	*1,179 ^a	*4,78a
1	30,5±0,2	30.050	*4,36b	*1,178a	*4,54a
2	36,2±0,7	29.800	*4,16c	*1,177a	*8,02b
3	38,5±0,5	29.200	*3,91d	*1,177a	*5,89c
4	34,5±1,1	28.850	*5,00e	*1,177a	*1,51d
5	34,7±0,6	28.150	*6,54f	*1,177a	*0,74e
6	34,7±0,6	27.400	*6,58f	*1,175a	*0,64e
7	31,8±0,2	26.400	*6,32g	*1,176a	*0,83e

Fonte: Próprio autor, (2024).

Os parâmetros físicos, conforme o Gráfico 9, mostra que na temperatura, observou-se uma elevação progressiva da temperatura desde 16,7 °C no início, atingindo o pico de 38,5 °C, seguido de uma redução gradual até cerca de 31,8 °C.

Esse comportamento é característico do processo fermentativo, no qual a atividade microbiana gera calor, promovendo o aumento da temperatura interna da massa, e a redução está associada à diminuição da atividade biológica. A perda de massa (g) ocorreu uma redução contínua da massa, de 30 Kg para 26.400 Kg. Essa perda está relacionada principalmente à evaporação de água e à liberação de compostos voláteis durante a fermentação, além da degradação de açúcares e lipídios, que contribuem para diminuição do peso total. Na densidade absoluta (g/mL), os valores permaneceram praticamente constantes, variando de 1,179 g/mL a 1,176 g/mL.

Essa estabilidade indica que, embora tenham ocorrido perda de massa e transformações bioquímicas, não alteraram significativamente a densidade.

Gráfico 9 - Parâmetros físicos durante a fermentação das sementes de cupuaçu

Fonte: Próprio autor, (2025).

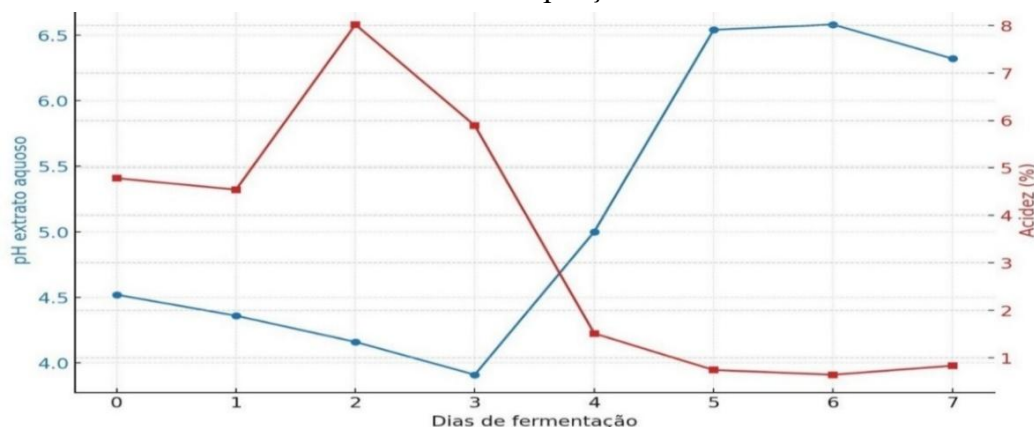
Os parâmetros químicos evidenciam uma dinâmica típica do processo fermentativo, na qual o pH inicial de 4,52 apresentou redução para 3,91 no quarto ponto de observação. Esse comportamento indica uma acidificação progressiva do meio, atribuída principalmente à atividade metabólica dos microrganismos, que promovem a conversão de substratos em ácidos orgânicos, como ácidos lácticos e acéticos. A diminuição do pH, nesse contexto, reflete o avanço da fermentação e contribui para alterações nas características físico-químicas do sistema, influenciando diretamente a estabilidade e a qualidade do produto, conforme ilustrado no Gráfico 10.

Após, observou-se a elevação do pH para 6,32 ao final do processo, indicando uma reversão do quadro de acidificação inicialmente estabelecido. Esse comportamento sugere a redução da concentração de ácidos orgânicos no meio, seja por seu consumo metabólico ou por processos de degradação. Tal mudança está associada à transição da microbiota predominante, com diminuição de microrganismos acidogênicos e maior atuação de grupos capazes de metabolizar esses compostos. Além disso, a intensificação da atividade enzimática sobre polifenóis e proteínas contribui para a liberação de substâncias de caráter menos ácido ou até mesmo alcalino, promovendo, assim, o aumento do pH na fase final do processo fermentativo.

A acidez titulável (%) apresenta um comportamento dinâmico ao longo do processo, iniciando em 4,78% e elevando-se até um pico de 8,02% por volta do terceiro dia. Esse aumento está relacionado à intensa atividade fermentativa, na qual microrganismos convertem os substratos disponíveis em ácidos orgânicos, promovendo o acúmulo desses compostos no meio. Posteriormente, observa-se uma redução acentuada para 0,83%, indicando a diminuição desses ácidos, possivelmente em função de seu

consumo por microrganismos secundários, volatilização ou transformação em outros compostos menos ácidos. Esse comportamento reflete a transição entre as fases do processo fermentativo e a reestruturação metabólica da microbiota ao longo do tempo.

Gráfico 10 - Parâmetros Químicos durante a Fermentação das Sementes de Cupuaçu



Fonte: Próprio autor, (2025).

Esse comportamento indica intensa produção de ácidos orgânicos na fase intermediária (atividade de leveduras e bactérias lácticas/acéticas) e consumo ou neutralização desses ácidos na fase final do processo.

3.2 Rendimento e Caracterização das Amostras Desidratadas.

O processo de desidratação é essencial para compreender os efeitos da fermentação sobre a qualidade do produto e avaliar a eficiência do processamento. Essa etapa permite interromper ou desacelerar as atividades metabólicas dos microrganismos envolvidos, preservando as características físico-químicas desenvolvidas durante a fermentação.

A caracterização físico-química das sementes fermentadas de cupuaçu, desempenha um papel importante na otimização dos processos de beneficiamento, agregando valor ao produto. Além disso, contribui para o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis na cadeia produtiva do cupuaçu.

Os dados na Tabela 2 e representados graficamente a seguir, evidenciam diferenças significativas no comportamento de desidratação entre as amostras de sementes de cupuaçu fermentadas (CPF) e não fermentadas (CPS/F) submetidas à secagem em estufa a 60 °C. Na literatura, não foram encontrados estudos que disponibilizem, no mesmo formato utilizado nesta dissertação (peso inicial, peso final,

rendimento percentual, perda de umidade percentual e tempo de desidratação), valores comparáveis para sementes ou amêndoas de *Theobroma grandiflorum* Schum.

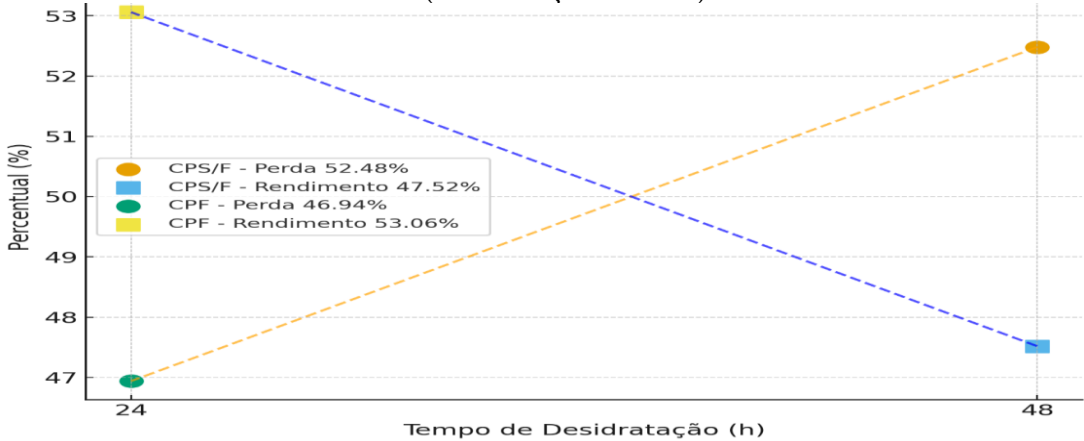
Tabela 2 – Dinâmica de perda de umidade das sementes de cupuaçu durante a desidratação entre amostras fermentadas e não fermentadas em estufa a 60 °C

Amostra	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Rendimento (%)	Perda de umidade no processo (%)	Tempo de desidratação (horas)
CPS/F	30.000,00	14.256,23	47,52	52,48	48 horas
CPF	26.230,00	13.917,64	53,06	46,94	24 horas
Dados da Literatura					
CPS/F	-	-	-	-	-
CPF	¹ 1.000,00	¹ 545,00	¹ 54,5	¹ 45,5	¹ Dias

Fonte: Próprio autor, (2024).
¹ (Nazaré, Barbosa e Viegas.1990).
CPS/F- cupuaçu sem fermentar e CPF- cupuaçu fermentada.

De acordo com o Gráfico 11, as sementes sem fermentação (CPS/F) demandaram maior tempo de desidratação (48 h) para atingir um teor de umidade residual de 47,52% de rendimento, associado a uma perda de 52,48% de água. Em contraste, as sementes fermentadas (CPF) alcançaram valores superiores de rendimento (53,06%) com menor perda de umidade (46,94%) em apenas 24 h de secagem.

Gráfico 11 – Dinâmica de Perda de umidade das sementes de cupuaçu (desidratação a 60 °C)



Fonte: Próprio autor, (2025).

O efeito positivo da fermentação pode ser atribuído às modificações estruturais e bioquímicas promovidas pela atividade microbiana durante o processo, as quais favorecem a quebra parcial de componentes da parede celular e a reorganização da matriz interna das amêndoas. Tais alterações resultam em maior eficiência na difusão da água,

acelerando a cinética de secagem e reduzindo o tempo necessário para atingir a estabilidade.

Esses estudos prévios indicam a fermentação como etapa capaz de otimizar a desidratação de sementes e amêndoas oleaginosas, impactando diretamente na conservação e na qualidade da matéria-prima destinada à extração lipídica. A redução no tempo de processamento e o aumento no rendimento representam vantagens significativas, uma vez que contribuem para maior eficiência, melhor preservação de compostos bioativos e maior agregação de valor ao produto.

3.3 Característica Físico-Química das Amostras Desidratadas

A caracterização físico-química é uma etapa essencial na avaliação da qualidade das sementes fermentadas de cupuaçu. Por meio dessa análise, é possível compreender as transformações que ocorrem durante os processos de fermentação e desidratação, permitindo o controle e a padronização dos parâmetros que influenciam diretamente na estabilidade, valor nutricional e aplicabilidade tecnológica do produto.

A determinação de parâmetros como teor de sólidos, umidade, cinzas, matéria orgânica, pH, acidez, densidade, lipídios e composição orgânica (P e N) fornece informações cruciais sobre a composição química e o comportamento físico das amostras. Esses dados são fundamentais para:

- i. Ajustar os processos de secagem e armazenamento, garantindo maior eficiência e menor perda de qualidade.
- ii. Avaliar a estabilidade, uma vez que a redução da umidade e o controle do pH são determinantes para a conservação do produto.
- iii. Identificar o potencial nutricional e funcional, especialmente no que diz respeito à presença de compostos bioativos, lipídios e minerais.
- iv. Orientar o desenvolvimento de novos produtos, como ingredientes para formulações alimentícias, cosméticos ou nutracêuticos.

Assim, a caracterização físico-química não apenas assegura a qualidade do produto, mas também contribui para a inovação tecnológica e o fortalecimento da bioeconomia Regional, em especial na Amazônia, onde o cupuaçu representa uma importante fonte de renda e biodiversidade.

Os resultados referentes a caracterização físico-química das amêndoas de cupuaçu desidratadas, estão apresentados na Tabela 3 e representados graficamente a seguir.

Tabela 3- Caracterização físico-química das amêndoas de cupuaçu desidratadas

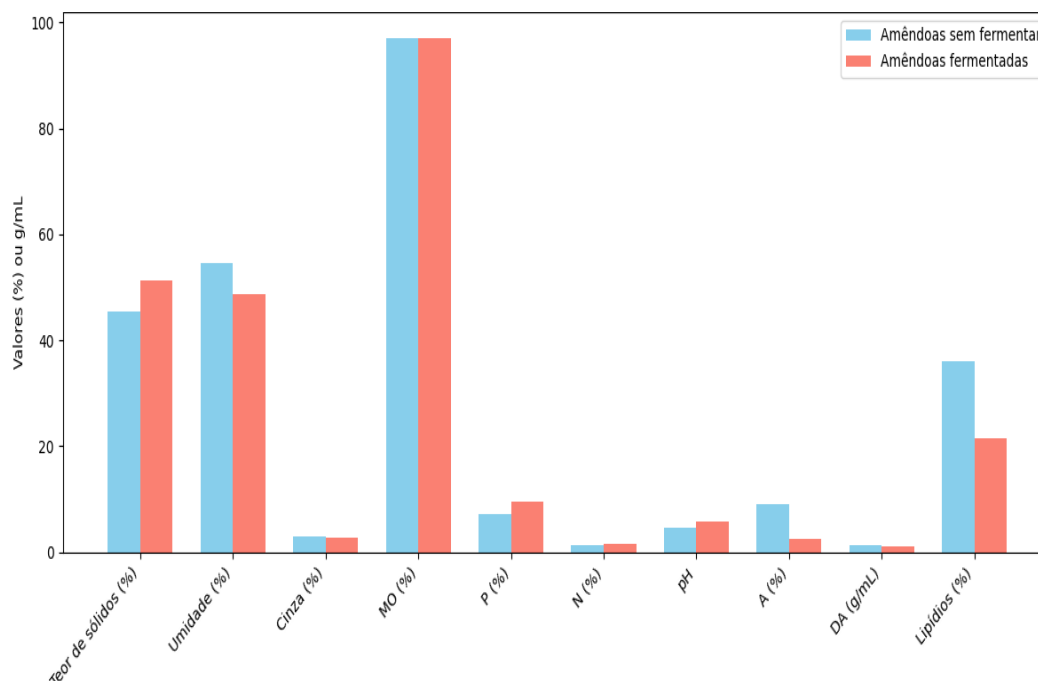
Amostras desidratadas	Teor de sólidos (%)	Umidade (%)	Cinza (%)	MO (%)	P (%)	N (%)	pH	A (%)	DA (g/mL)	Lipídios (%)
Amêndoas sem fermentar	45,52±0,04	54,48±0,04	2,96	97,04	7,15	1,21	4,55	8,97	1,254	36,02
Amêndoas fermentadas	51,30±0,02	48,70±0,02	2,83	97,17	9,58	1,47	5,88	2,55	1,132	21,52
Dados da Literatura										
Amêndoas fermentadas	-	¹ 51,97	¹ 2,29	-	¹ 9,27	-	¹ 5,34	¹ 8,26	-	⁴ 64,90
	-	² 43,28	² 2,18	-	² 10,56	² 1,69	² 2,20	-	-	⁵ 45,30
	-	³ 57,25	³ 2,12	-	³ 8,95	-	³ 3,66	-	-	

Fonte: Próprio autor, (2025).

MO-Matéria orgânica, **N**- Nitrogênio, **P**- proteína e **A** – acidez, **DA**-Densidade Absoluta, ¹ (Vasconcelos,1999), ² (Aragão,1992), ³ (Cohen et al. 2003), ⁴ (Carvalho et al. 2005), ⁵ (Silva et al. 2018).

Os parâmetros físico-químicos, com ilustrado no Gráfico 12, apresenta uma análise comparativa entre amêndoas de cupuaçu sem fermentação e fermentadas.

Gráfico 12 - Parâmetros Físico-Químico das amêndoas de cupuaçu desidratadas



Fonte: Próprio autor, (2025).

O teor de sólidos foi significativamente maior nas amêndoas fermentadas (51,30%) em comparação às sem fermentação (45,52%), indicando uma menor retenção de umidade e, conseqüentemente, maior concentração de compostos sólidos. Essa diferença é confirmada pela redução da umidade nas amêndoas fermentadas (48,70%), o que favorece a estabilidade microbiológica e o tempo de prateleira do produto.

A composição mineral, representada pelo teor de cinzas, apresentou leve redução nas amêndoas fermentadas (2,83%), enquanto a matéria orgânica (MO) manteve-se elevada em ambas as amostras, com pequena variação (97,04% vs. 97,17%). Proteínas (P) e nitrogênio (N) foram significativamente maiores nas amêndoas fermentadas, sugerindo que o processo fermentativo favorece a liberação e/ou transformação de compostos minerais e nitrogenados, o que pode estar relacionado à liberação de nutrientes durante o processo de fermentação.

O pH das amêndoas fermentadas foi mais elevado (5,88), indicando uma redução da acidez em relação às amêndoas sem fermentação (pH 4,55). Essa tendência é corroborada pela redução da acidez titulável (A), que passou de 8,97% para 2,55% após

a fermentação. Tais alterações são características do metabolismo microbiano durante a fermentação, que consome ácidos orgânicos e gera compostos menos ácidos.

A densidade absoluta (DA) foi menor nas amêndoas fermentadas (1,132 g/mL), o que pode estar relacionado à degradação de estruturas celulares e à formação de espaços porosos. Por fim, o teor de lipídios apresentou uma redução expressiva nas amêndoas fermentadas (21,52%) em comparação às sem fermentação (36,02%), possivelmente devido à oxidação lipídica ou à atividade enzimática durante o processo fermentativo.

Esses resultados demonstram que a fermentação influencia significativamente a composição e as propriedades físico-químicas das amêndoas de cupuaçu, podendo impactar diretamente a qualidade sensorial, o valor nutricional e a aplicabilidade industrial do produto.

3.4 Rendimento do Processo de Extração da Fração Lipídica das Amêndoas de Cupuaçu

O rendimento da extração da fração lipídica das amêndoas de cupuaçu, apresentado na Tabela 4, é essencial para avaliar a eficiência tecnológica e a viabilidade econômica da produção de manteiga.

Tabela 4-Rendimento de extração da fração lipídica das amêndoas de cupuaçu fermentadas e não fermentadas por prensagem a frio

	Peso Inicial (g)	Torta (g)	Fração lipídica (g)	Perda nos processos de extração e filtração (%)	Rendimento de extração Fração lipídica (%)
CPF	13.917,64	8.321,36	4.704,16	6,41	33,80
CPS/F	14.256,23	9.254,95	4.080,14	6,46	28,62
Dados da Literatura					
CPF	² 300.000,0	-	-		² 45,00
CPS/F	¹ 3.200,00	-	-		¹ 21,89

Fonte: Próprio autor, (2025).

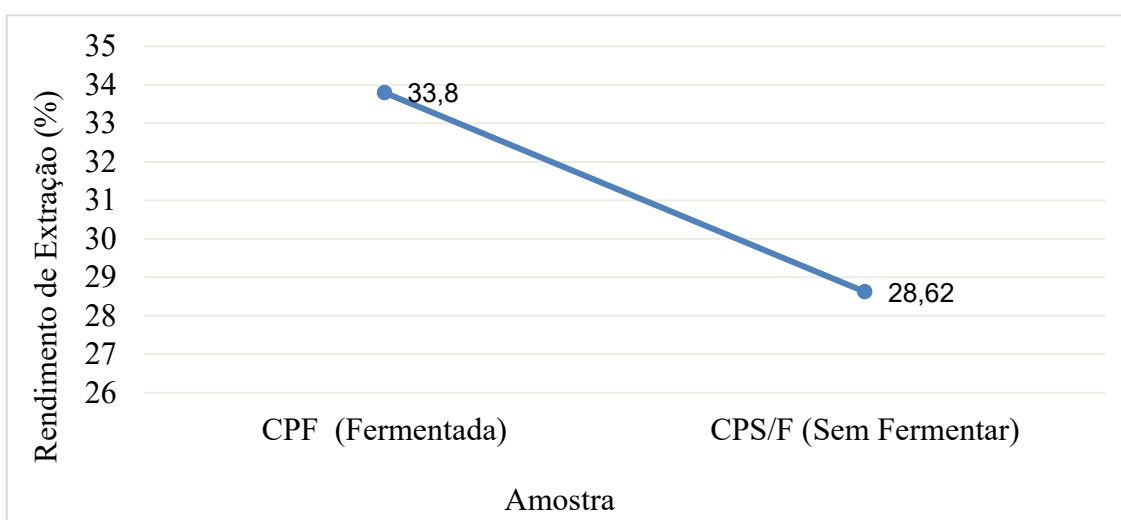
CPF- cupuaçu fermentada, **CPS/F**- cupuaçu sem fermentar, ¹ (Ribeiro & Seravalli,2004), ² (Nazaré *et al.*, 1990)

O pré-tratamento das amêndoas influencia diretamente ao rendimento, no processo de fermentação, que pode facilitar a liberação dos lipídios ao modificar a

estrutura celular. Já as amêndoas não fermentadas mantêm maior integridade, exigindo mais energia mecânica na extração. Assim, o controle do tempo de fermentação, da temperatura e das condições de secagem é determinante para elevar o rendimento e garantir qualidade físico-química e sensorial adequada aos padrões industriais.

O rendimento da extração da fração lipídica obtida das amêndoas de cupuaçu fermentadas (CPF) e sem fermentação (CPS/F) por prensagem a frio, está representado no Gráfico 13.

Gráfico 13 - Rendimento de Extração da Fração Lipídica das Amêndoas de Cupuaçu



Fonte: Próprio autor, (2025).

Observa-se que a amostra fermentada apresentou rendimento de 33,80%, enquanto a sem fermentação apresentou 28,62%, indicando uma redução de 5,18 pontos percentuais. Esse resultado sugere que o processo de fermentação pode ter ocasionado alterações estruturais nas amêndoas, possivelmente promovendo degradação parcial dos lipídios ou retenção de gordura na torta residual. Assim, a amostra fermentada demonstrou maior eficiência no processo de extração, mantendo rendimento superior dentro das condições experimentais adotadas.

3.5 Caracterização Físico-Química das Frações Lipídicas das Amêndoas de Cupuaçu

A caracterização físico-química das frações lipídicas das amêndoas de cupuaçu é fundamental para compreender suas propriedades funcionais e tecnológicas. Por meio dessa análise, é possível determinar parâmetros que influenciam diretamente a qualidade,

estabilidade e aplicabilidade da manteiga obtida. Esses dados permitem avaliar o grau de pureza e o potencial de oxidação do produto, além de indicar as condições ideais de extração e armazenamento. A caracterização também orienta o uso industrial nas áreas alimentícia, cosmética e farmacêutica, garantindo conformidade com padrões de qualidade e segurança.

Os resultados da caracterização físico-química das frações lipídicas obtidas das amêndoas de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum) nas condições fermentada (CPF) e sem fermentação (CPS/F), está apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 - Caracterização físico-química das frações lipídicas das amêndoas de cupuaçu

Amostra	pH	Acidez (%)	Densidade (g/mL)
CPF	5,0	0,81	1,061
CPS/F	5,0	1,21	1,065
Dados da Literatura			
CPF	¹ 5,7	¹ 1,68	¹ 0,87
CPS/F	² 4,67	² 2,15	-

Fonte: Próprio autor, (2025).

CPF- cupuaçu fermentada, **CPS/F**- cupuaçu sem fermentar, ¹(Ribeiro & Seravalli, 2004), ²(Nazaré et al., 1990),

* Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey 1% de significância.

Observa-se que o pH se manteve constante em ambas as amostras (5,0), indicando que o processo de fermentação não promoveu alterações significativas na acidez potencial do meio. Esse valor levemente ácido é típico de óleos e manteigas vegetais naturais, refletindo a presença de compostos fenólicos e ácidos graxos livres em equilíbrio.

O índice de acidez é um parâmetro que indica a quantidade de ácidos graxos livres presentes em uma amostra lipídica, sendo diretamente relacionado ao grau de hidrólise dos triglicerídeos e à qualidade da gordura. No presente estudo, observou-se que a amostra fermentada (CPF) apresentou índice de acidez de 0,81%, enquanto a amostra sem fermentação (CPS/F) apresentou 1,21%, evidenciando diferença entre os tratamentos.

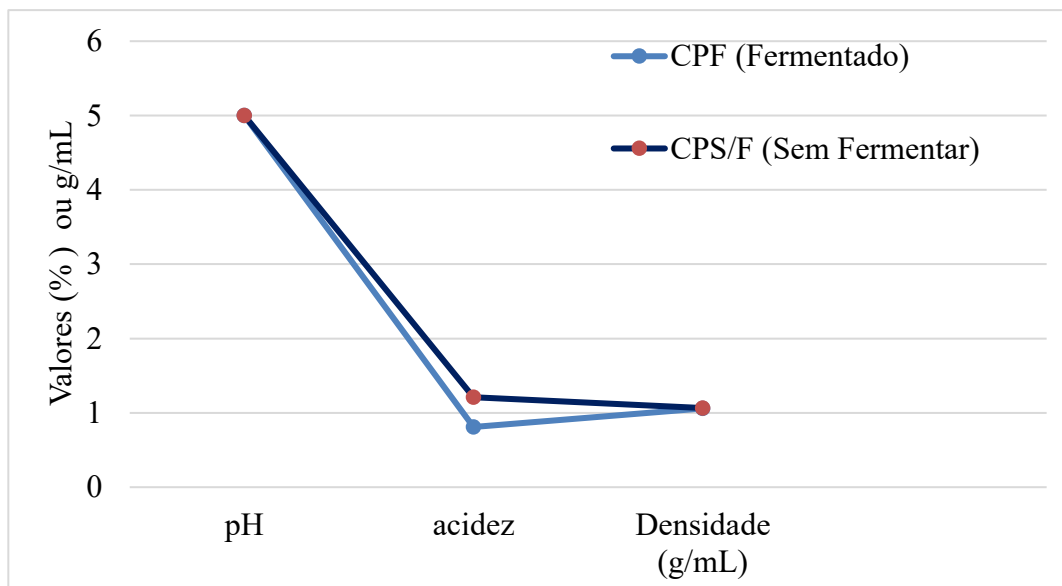
O menor valor de acidez na amostra fermentada sugere que o processo de fermentação pode ter contribuído para reduzir a concentração de ácidos graxos livres, possivelmente pela ação microbiana controlada, que favorece a estabilização da fração lipídica e inibe a oxidação. Por outro lado, o valor mais elevado na amostra sem

fermentação pode estar associado à ausência de atividade microbiana benéfica, permitindo maior degradação dos lipídios por reações químicas espontâneas, como a hidrólise e a oxidação.

Ambos os valores se encontram dentro dos limites estabelecidos para óleos e manteigas vegetais não refinados (até 4,0 mg KOH/g, conforme a IN nº 87/2021 da ANVISA), indicando boa qualidade da matéria-prima e adequada estabilidade da manteiga. Esses resultados demonstram que o controle do processo fermentativo é uma estratégia eficiente para melhorar a qualidade e prolongar a vida útil da manteiga de cupuaçu, mantendo suas características físico-químicas dentro dos padrões desejáveis.

Quanto à densidade, os valores permaneceram semelhantes entre as amostras (1,061 g/mL para CPF e 1,065 g/mL para CPS/F), sem diferença estatística significativa. Isso demonstra que a fermentação não alterou de forma expressiva a estrutura físico-química global da matriz lipídica. Densidades próximas de 1,06 g/mL são típicas de manteigas vegetais ricas em triglicerídeos saturados e insaturados de cadeia média e longa. Os resultados da caracterização físico-química das frações lipídicas das amêndoas de cupuaçu nas condições fermentada (CPF) e sem fermentação (CPS/F), está no Gráfico 14.

Gráfico 14 - Caracterização Físico-Química das Frações Lipídicas das Amêndoas de Cupuaçu



Fonte: Próprio autor, (2025).

Observa-se que o pH se manteve constante em ambas as amostras (5,0), enquanto a acidez variou de 0,81% na amostra fermentada e 1,21% na sem fermentar, a menor

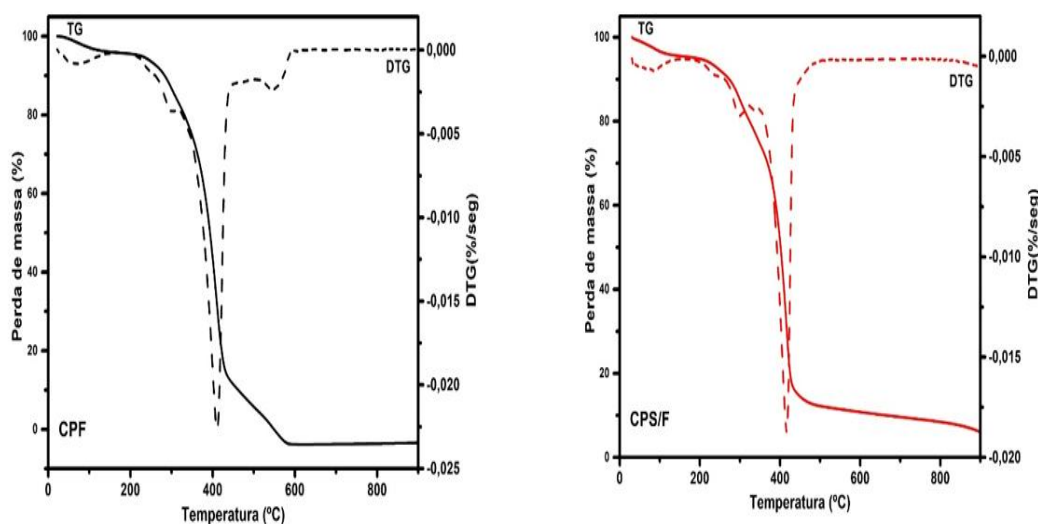
acidez observada na amostra fermentada sugere que o processo de biotransformação contribuiu para estabilizar a fração lipídica, reduzindo a formação de ácidos graxos livres.

A densidade apresentou valores próximos (1,061 e 1,065 g/mL), demonstrando estabilidade estrutural da matriz lipídica mesmo após a fermentação. Esses resultados mostram que o processo fermentativo influenciou a acidez, mas não alterou de forma significativa as propriedades físicas da manteiga, mantendo características adequadas para aplicação tecnológica e industrial.

3.6 Análise Termogravimétrica (TG/DTG)

A estabilidade térmica das amostras foi avaliada usando termogravimetria com um equipamento (DTG-60H, Shimadzu Company, Kyoto, Japão). As amostras foram colocadas em um cadinho de alumina, e os testes foram conduzidos sob uma atmosfera de nitrogênio a uma vazão de 100 mL/min. A taxa de aquecimento foi fixada em 10 °C/min, partindo da temperatura ambiente até 900 °C. Curvas TG/DTG foram analisadas para determinar a estabilidade térmica. Os dados do teste estão apresentados no Gráfico 15.

Gráfico 15 - Curvas termogravimétrica TG / DTG das sementes de cupuaçu fermentadas (CPF) e sementes sem fermentação (CPS/F).



Fonte: Santos, Jamily, LEEN/UFAM (2025)

As curvas termogravimétricas (TG) e suas respectivas derivadas (DTG) obtidas para as sementes de cupuaçu fermentadas (CPF) e não fermentadas (CPS/F) apresentaram perfis típicos de materiais lignocelulósicos e oleaginosos, evidenciando distintas etapas de perda de massa ao longo do aquecimento.

Na primeira etapa, até aproximadamente 120 °C, observou-se uma perda inicial atribuída à eliminação de água adsorvida e de compostos voláteis leves. Essa perda foi ligeiramente mais acentuada nas amostras não fermentadas (CPS/F), indicando maior teor de umidade residual em comparação às sementes fermentadas (CPF), que apresentaram maior estabilidade inicial.

A segunda etapa de degradação, mais pronunciada entre 200 °C e 380 °C, correspondeu à decomposição de constituintes orgânicos, como polissacarídeos estruturais (celulose e hemicelulose), além da fração proteica e lipídica. Nesse intervalo, as curvas DTG mostraram picos de máxima taxa de degradação distintos entre as amostras: as sementes fermentadas (CPF) exibiram um deslocamento do pico para temperaturas ligeiramente mais elevadas, sugerindo modificações estruturais promovidas pelo processo fermentativo que resultaram em maior resistência térmica.

Na terceira etapa, acima de 400 °C, a perda de massa esteve associada à degradação da lignina e de resíduos carbonáceos. Tanto nas amostras fermentadas quanto nas não fermentadas, observou-se uma redução gradual da taxa de decomposição, com maior resíduo carbonoso nas sementes fermentadas, o que indica que o processo de fermentação pode favorecer rearranjos químicos que aumentam a formação de material carbonáceo estável.

De modo geral, as análises TG/DTG evidenciaram diferenças significativas no comportamento térmico entre sementes fermentadas e não fermentadas. As sementes fermentadas (CPF) apresentaram maior estabilidade térmica e maior resíduo final em relação às sementes sem fermentação (CPS/F), resultados que corroboram a influência do processo fermentativo sobre a composição química e a resistência térmica do material.

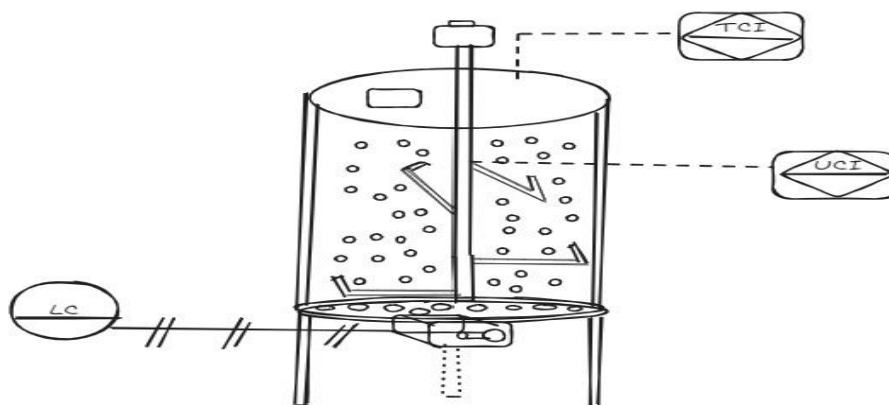
3.7 Proposta de biorreator para biotransformação em fermentação em estado sólido (FES) de sementes de cupuaçu

O biorreator proposto para fermentação em estado sólido das sementes de cupuaçu, composto por tanque perfurado, misturador axial vertical de pás largas e baixa rotação para aeração e escoamento de líquidos, controlador-indicador de temperatura programado para acionar o revolvimento garantindo homogeneidade do processo e qualidade do produto.

Propõe-se um biorreator cilíndrico vertical, Figura 8, construído em aço inoxidável AISI 304, com controlador indicador de temperatura (TCI), um indicador–controlador de umidade (UCI), um misturador axial vertical, de pás largas e baixa rotação

com controlador de nível (gaveta). O projeto do biorreator visa oferecer uma solução tecnológica para a condução da fermentação em estado sólido (FES) de sementes de cupuaçu e assegurar a homogeneidade do processo.

Figura 8 – Diagrama do biorreator para fermentação em estado sólido das sementes de cupuaçu.



Fonte: Paiva, João, UFAM (2025)

A inclusão do diagrama do biorreator proposto tem como finalidade ilustrar, de forma clara e objetiva, o conceito de um sistema adaptado para a fermentação em estado sólido das sementes de cupuaçu. O desenho permite visualizar os principais componentes do equipamento, como a estrutura perfurada para aeração e drenagem, o controlador-indicador de temperatura programado para acionar o revolvimento e o misturador axial vertical de pás largas. A representação gráfica facilita a compreensão do funcionamento do sistema e sua aplicabilidade em escala industrial, além de reforçar a proposta metodológica deste trabalho voltada para a sustentabilidade do processo e a padronização da qualidade do produto.

4 CONCLUSÃO

O presente estudo teve como objetivo geral desenvolver um processo eficiente de biotransformação das sementes de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum Schum*), com foco na melhoria da qualidade da amêndoa fermentada e da manteiga obtida, reduzindo a acidez e ampliando seu potencial de uso. As etapas experimentais permitiram compreender as transformações durante o processo fermentativo e sua influência nas propriedades físico-químicas das sementes e frações lipídicas. O resultado foi a obtenção de matérias-primas mais estáveis, com redução da acidez e características adequadas às exigências dos setores alimentício e cosmético, reforçando o potencial de aproveitamento desse subproduto amazônico.

Em relação aos objetivos específicos da pesquisa, foi possível caracterizar as sementes quanto aos parâmetros físico-químicos iniciais e avaliar as modificações promovidas pela fermentação, confirmando a eficácia do processo na melhoria da qualidade das amêndoas e na padronização das frações lipídicas.

O estudo também propôs um modelo de biotransformação em fermentação em estado sólido (FES), que, mesmo em escala experimental, demonstrou viabilidade e alinhamento com práticas sustentáveis. A partir dos dados obtidos, observou-se que o controle de variáveis como temperatura, umidade e tempo de fermentação é determinante para a eficiência do processo e para a estabilidade dos compostos de interesse.

Os resultados validam a importância do uso de metodologias biotecnológicas na valorização de resíduos agroindustriais da Amazônia, contribuindo para a geração de produtos de maior valor agregado, redução de impactos ambientais e fortalecimento das cadeias produtivas locais. Além disso, reforçam o papel estratégico da biotransformação como alternativa sustentável para o desenvolvimento regional, ao promover inovação tecnológica, inclusão social e estímulo à bioeconomia.

5 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Durante o desenvolvimento deste estudo, algumas limitações experimentais foram observadas, impactando a execução de determinadas etapas. Entre elas, destaca-se a impossibilidade de realizar as análises de perfil de ácidos graxos na fração lipídica das sementes de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum Schum*), devido à indisponibilidade de coluna cromatográfica e de padrões específicos necessários para a identificação e quantificação dos compostos, impedindo a caracterização detalhada da composição lipídica das amostras.

Outra limitação relevante foi a não confecção do biorreator planejado para a condução do processo fermentativo em escala controlada. O elevado custo dos materiais e componentes necessários para sua construção impediu a implementação dessa etapa no projeto. Assim, a fermentação foi realizada em sistema alternativo, de forma adaptada, mantendo o rigor técnico possível dentro das condições experimentais estabelecidas.

Apesar dessas limitações, os resultados obtidos fornecem subsídios importantes para pesquisas futuras, que poderão incluir a análise detalhada do perfil graxo e o uso de biorreator automatizado. Tais avanços permitirão aprofundar o conhecimento dos efeitos da biotransformação sobre a fração lipídica do cupuaçu, contribuindo para o desenvolvimento de processos biotecnológicos mais eficientes e sustentáveis.

6 RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se, para estudos futuros, a implementação do biorreator automatizado proposto neste trabalho, a fim de otimizar o controle das condições fermentativas e aumentar a reprodutibilidade dos resultados. Este estudo, portanto, abre perspectivas para futuras pesquisas voltadas à otimização e padronização do processo fermentativo, bem como à ampliação das aplicações industriais da manteiga de cupuaçu em mercados nacionais e internacionais.

A consolidação de políticas públicas voltadas ao fomento da pesquisa científica e tecnológica é fundamental para o fortalecimento de estudos como este, que buscam soluções sustentáveis e inovadoras para o aproveitamento de recursos amazônicos. No contexto do Estado do Amazonas, é essencial que órgãos governamentais e instituições de fomento ampliem os investimentos em programas de apoio à pesquisa aplicada, à formação de recursos humanos e à infraestrutura laboratorial. Iniciativas que integrem universidades, institutos de pesquisa, comunidades locais e o setor produtivo podem potencializar a geração de conhecimento e a transformação de resultados científicos em produtos e processos de impacto econômico e social.

O incentivo a políticas de financiamento contínuo, bolsas de pesquisa e parcerias público-privadas contribuirá não apenas para o avanço da biotecnologia regional, mas também para a valorização da biodiversidade e para o fortalecimento da bioeconomia como eixo estratégico de desenvolvimento sustentável da Amazônia.

REFERÊNCIAS

- ALCÂNTARA, L. K. S. *et al.* **Phytochemical aspects, cytotoxicity and antimicrobial activity of the methanolic extract of tropical fruit pulps on clinical isolates of *Escherichia coli*.** *Biointerface Research in Applied Chemistry*, v. 11, p. 8210–8217, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33263/BRIAC111.82108217>.
- ALMEIDA, A. F.; SANTOS, C. C. A. A. **Frutos amazônicos: biotecnologia e sustentabilidade.** Palmas: EDUFT, Universidade Federal do Tocantins, 2020.
- ÁLVARES, V. de S. *et al.* **Fungos associados a sementes de cupuaçu fermentadas e armazenadas.** In: **SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E PÓS-GRADUAÇÃO DA EMBRAPA ACRE**, 2., 2019, Rio Branco. *Anais...* Rio Branco: Embrapa Acre, 2019.
- ALVES, R. M.; FILGUEIRAS, G. C.; HOMMA, A. K. O. **Aspectos socioeconômicos do cupuaçuzeiro na Amazônia: do extrativismo à domesticação.** In: SANTANA, A. C. (org.). **Mercado, cadeia produtiva e desenvolvimento rural na Amazônia.** Belém: EDUFRA, 2014.
- ALVIÁREZ, E. G. *et al.* **Caracterización y extracción lipídica de las semillas del cacao amazónico (*Theobroma grandiflorum*).** *Ciencia en Desarrollo*, Tunja, v. 7, n. 1, p. 103–109, 2016.
- AMBROZIM, F. M. **Estudo das condições de fermentação em estado sólido para produção de celulases utilizando biomassa de cacau.** 2019. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, Espírito Santo, 2019.
- ASSMANN, C. E. *et al.* **Amazon-derived nutraceuticals: promises to mitigate chronic inflammatory states and neuroinflammation.** *Neurochemistry International*, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neuint.2021.105085>.
- AYRES, M.; AYRES, M. Jr.; AYRES, A. L.; SANTOS, A. S. **BioEstat 5.0 – Aplicações estatísticas nas áreas das ciências biológicas e médicas.** Brasília: CNPq; Sociedade Civil Mimirauá, 2007.
- AYRES, W. B. **Modificações estruturais e reológicas em chocolate amargo devido à alteração do tipo de gordura utilizada.** 2019. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.
- BARBALHO, G. N. *et al.* **Skin regenerative potential of cupuaçu seed extract (*Theobroma grandiflorum*), a native fruit from the Amazon: development of a topical formulation based on chitosan-coated nanocapsules.** *Pharmaceutics*, v. 14, n. 207, 2022.
- BARROS, H. R. de M. *et al.* **Evaluation of the distribution and metabolism of polyphenols derived from cupuassu (*Theobroma grandiflorum*) in mice gastrointestinal tract by UPLC-ESI-QTOF.** *Journal of Functional Foods*, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.02.009>.

BECKER, M. M.; MANDAJI, C. M.; CATANANTE, G.; MARTY, J. L.; NUNES, G. S. **Mineral and bromatological assessment and determination of the antioxidant capacity and bioactive compounds in native Amazon fruits.** *Brazilian Journal of Food Technology*, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/1981-6723.02218>.

BELTRÃO, N. D. M.; OLIVEIRA, M. **Oleaginosas potenciais do Nordeste para a produção de biodiesel.** *Embrapa Algodão – Documentos (INFOTECA-E)*, 2007. ISSN 0103-0205.

BOMMARIUS, A. S.; RIEBEL-BOMMARIUS, B. R. **Biocatalysis: Fundamentals and Applications.** Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2007.

BRAGA, S. C. G. N. *et al.* **Study of volatile profile in cocoa nibs, cocoa liquor and chocolate on production process using GC x GX-QMS.** *Microchemical Journal*, v. 141, p. 353–361, 2018.

CARLOS, S. A. V. *et al.* **Elaboração de sorvete de cupuaçu utilizando fibra de casca de maracujá como substituto de gordura.** *Evidência*, Joaçaba, v. 19, n. 1, p. 23–44, 2019.

CARVALHO, A. V.; GARCÍA, N. H. P.; WADA, J. K. A. **Caracterização físico-química e curvas de solubilidade proteica de sementes, amêndoas fermentadas e torradas de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum).** *Brazilian Journal of Food Technology*, v. 8, n. 2, p. 127–134, 2005.

CEPLAC. **Normas técnicas para o cultivo do cacau no recôncavo baiano.** Ilhéus: CEPLAC/CEPEC, 1980. 43 p.

COELHO, A. de P. C.; MARROCOS, P. C. L.; MIELKE, M. S.; DOS SANTOS, M. S.; GALLO, C. M.; GROSS, E. **Substrate for cupuaçu plantlets and the influence of cow urine as biofertilizer.** *Revista Brasileira de Fruticultura*, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/0100-29452021162>.

COHEN, K. O.; SOUSA, M. V.; JACKIX, M. N. H. **Parâmetros físicos e aceitabilidade sensorial de chocolate ao leite e de produtos análogos elaborados com licor e gordura de cupuaçu.** *Brazilian Journal of Food Technology*, v. 8, n. 1, p. 17–23, 2005.

COLLI, S. M.; PIRANI, J. R. **Theobroma in Flora do Brasil.** Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2020.

CORREA, B. A. *et al.* **Reaproveitamento de resíduos orgânicos regionais agroindustriais da Amazônia tocantina como substratos alternativos na produção de mudas de alface.** *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)*, v. 9, n. 1, p. 97-104, 2019.

COSTA FILHO, D. V.; SILVA, A. J.; SILVA, P. A. P.; SOUSA, F. C. **Aproveitamento de resíduos agroindustriais na elaboração de subprodutos.** In: **CONGRESSO INTERNACIONAL DAS CIÊNCIAS AGRÁRIAS**, 2., 2017, Natal. **Anais eletrônicos.** Natal: UFRN, 2017. 8 p.

COSTA, M. C. *et al.* **Conservação de polpa de cupuaçu [*Theobroma grandiflorum* (Willd. Ex Spreng.) Schum] por métodos combinados.** *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 25, n. 2, p. 213-215, 2003.

COSTA, M. P. et al. Consumer perception, health information, and instrumental parameters of cupuassu (*Theobroma grandiflorum*) goat milk yogurts. **Journal of Dairy Science**, v. 100, p. 1-12, 2017.

COSTA, R. S. et al. Optimization of spray drying conditions to microencapsulate cupuassu (*Theobroma grandiflorum*) seed by-product extract. **Natural Product Research**, v. 33, n. 18, p. 2600-2608, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/14786419.2018.1462178>.

CUATRECASAS, J. A. Cocoa and its allies: a taxonomic revision of the genus *Theobroma*. **Contributions from the United States National Herbarium**, v. 35, n. 6, p. 32-46, 1964.

DA SILVA, C. V. A. et al. Cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*): A multifunctional Amazonian fruit with extensive benefits. **Food Research International**, v. 192, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114729>.

DAL SASSO, A. P. **Cupuaçu: beneficiamento, processo de secagem e caracterização físico-química**. Dissertação (Mestrado Profissional em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais, Campus Rio Pomba, Rio Pomba, 2023. 83 p.

DAS NEVES SELIS, N. et al. Gardnerella vaginalis and Neisseria gonorrhoeae are effectively inhibited by Lactobacilli with probiotic properties isolated from Brazilian cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) fruit. **BioMed Research International**, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1155/2021/6626249>.

DIAS, U. D. M. et al. Desenvolvimento e avaliação das características físico-químicas e da aceitação sensorial de doce em massa de cupuaçu. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos (B. CEPPA)**, Curitiba, v. 36, n. 1, 2019.

DILUCIA, F. et al. Sustainable use of fruit and vegetable by-products to enhance food packaging performance. **Foods**, v. 9, n. 7, p. 857, 2020. DOI: 10.3390/foods9070857.

DINI, A. X. P.; COSTA, A. F.; FÁVARO, W. J.; DURÁN, N. Safety nanocosmetics: triblock copolymer nanostructured lipid carriers and application on hair cosmetics. In: **Journal of Physics: Conference Series**, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1953/1/012001>.

DONADON, F. A. B.; SANTOS, D. F. L. A relevância da eco-inovação para resíduos sólidos na agroindústria da fruticultura. **Revista Gestão & Tecnologia**, v. 18, n. 3, p. 225-246, 2018.

EFRAIM, P. **Contribuição à melhoria da 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 em Ciência de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

EMBRAPA. **Cupulate agora é marca registrada da Embrapa**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2015.

EMBRAPA. **Frutas e hortaliças**. 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/grandes-contribuicoes-para-a-agricultura-brasileira/frutas-e-hortalicas>.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Ciência que transforma: resultados e impactos positivos da pesquisa agropecuária na economia, no meio ambiente e na mesa do brasileiro**. Brasília: EMBRAPA, 2021.

FARKHONDEH, T.; POURBAGHER-SHAHRI, A.; ASHRAFIZADEH, M.; FOLGADO, S.; RAJABPOUR-SANATI, A.; KHAZDAIR, M.; SAMARGHANDIAN, S. Green tea catechins inhibit microglial activation which prevents the development of neurological disorders. **Neural Regeneration Research**, 2020. DOI: <https://doi.org/10.4103/1673-5374.280300>.

FERREIRA, J. P. S. **Bioimperialismo e direito de propriedade intelectual: disputas pelo acesso ao cupuaçu e ao conhecimento tradicional**. 2015.

FRAIFE FILHO, G. A. **Cultivo do cupuaçuzeiro**. Bahia: Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC), 2016.

FRANKLIN, B.; NASCIMENTO, F. D. C. A. Plants for the future: data compilation of nutritional composition of guava-boi, burity, cupuaçu, murici and peach palm. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 10174-10189, 2020. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n3-046>.

GALVÃO, R. J.; PANTOJA, C. V. M.; MAIA, S. K. B.; OHASHI, M. A.; SANTOS, S. K. O.; TAVARES, H. V.; MELO, D. C. G.; E. A. C. Use of agro-industrial waste for the development of Theobroma grandiflorum seedlings. **Revista Gestão Sustentável Ambiental**, 2024. DOI: <https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n1-059>.

GARCIA, I. P. **Enzimas produzidas durante os diferentes estágios de fermentação das sementes de cupuaçu (Theobroma grandiflorum (Willdenow ex Sprengel) Schumann)**. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Faculdade de Ciências da Saúde, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2006. 106 f.

GARCIA-GALINDO, I. New features and properties of microbial cellulases required for bioconversion of agroindustrial wastes. In: **Enzymes in Food Biotechnology**, p. 535-550, 2019.

GERON, L. J. V. Caju, canola, cevada, cupuaçu e seus resíduos utilizados na nutrição de ruminantes. **PUBVET**, v. 7, p. 1002-1136, 2013.

GRIMALDI, J. Les possibilités d'amélioration des techniques d'écabossage et de fermentation dans le processus artisanal de la préparation du cacao. **Café, Cacao, Thé**, v. 22, p. 306-316, 1978.

GUEHI, T. G. et al. Performance of different drying methods and their effects on the chemical quality attributes of raw cocoa material. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 45, n. 8, p. 1564–1571, 2010.

GUIMARÃES, P. V. P.; DURIGAN, M. F. B.; FONSECA, F. da S.; OLIVEIRA, R. L. C. Maturação de frutos de cupuaçu [*Theobroma grandiflorum* (Willd. ex Spreng.) Schum.] em sistema agroflorestal em Roraima. In: **ANAIS DO 2º SEMINÁRIO DE AGROECOLOGIA DA AMÉRICA DO SUL**, Dourados-MS, 2015.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Agricultural census: number of agricultural establishments, quantity produced and area harvested, by products from temporary crops**. 2017.

JANEK, K.; NIEWIENDA, A.; WÖSTEMEYER, J.; VOIGT, J. The cleavage specificity of the aspartic protease of cocoa beans involved in the generation of the cocoa-specific aroma precursors. **Food Chemistry**, v. 211, p. 320-328, 2016.

JESUS, L. M. S. et al. Avaliação microbiológica do açaí comercializado no bairro Santa Rita, Macapá-Amapá. **Revista Arquivos Científicos**, v. 1, n. 2, p. 21-27, 2018.

JINAP, S.; LIOE, H.; YUSEP, I.; NAZAMID, S. Role of carboxypeptidases to the free amino acids composition, methylpyrazine formation and sensory characteristics of under-fermented cocoa beans. **Food Research International**, v. 17, p. 763-774, 2010.

KIRCHER, M. The pharmaceutical industry needs more innovation in bioprocesses. **Future Medicinal Chemistry**, v. 3, n. 14, p. 1737-1740, 2011.

LEONARDI, B.; ARAUZ, L.; BARUQUE, R. J. Chemical characterization of Amazonian non-polar vegetal extracts (buriti, tucumã, Brazil nut, cupuaçu, and cocoa) by infrared spectroscopy (FTIR) and gas chromatography (GC-FID). **Infarma – Ciências Farmacêuticas**, v. 31, n. 3, p. 163-176, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.14450/2318-9312.v31.e3.a2019.pp163-176>.

LEVANTAMENTO SISTEMÁTICO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA 2018. **IBGE/SEDAP-PA**, 2019. Disponível em: <http://www.sedap.pa.gov.br/dados-agropecuarios/agropecuaria>.

LIMA, M. F.; SILVA, D. C.; VELLEZ, H. A. V.; SANTANA, A. A. Influência do mesocarpo de coco babaçu na formação de biofilmes aditivados com compostos antioxidantes – cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*). In: **XII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM INICIAÇÃO CIENTÍFICA**, São Carlos – SP, 16 a 19 de julho de 2017.

LIMA-PRIMO, H. E.; ALBUQUERQUE, T. S. C.; ARAÚJO, R. F.; ARAÚJO, R. S.; QUEIROZ, E. S.; GUIMARÃES, P. V. P. **Recuperação de pomar de cupuaçuzeiro com histórico de alta infestação da doença vassoura-de-bruxa em Roraima**. Brasília: Associação Brasileira de Agroecologia, 2018.

LOPÉZ, P. A. B. **Avaliação da cadeia produtiva do cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* (Willd. ex Spreng.) Schum) nos municípios de Itacoatiara, Presidente Figueiredo e Manaus**. 2015.

MAGWAZA, L. S.; MDISHWA, A.; TESFAY, S. Z.; OPARA, U. L. An overview of preharvest factors affecting vitamin C content of citrus fruit. **Scientia Horticulturae**, v. 216, p. 12–21, 2017.

MAIA, M. N. DOS S.; RAMOS, G. D. M.; ANTUNES, V. DE C. Uso de coprodutos agroindustriais na fabricação de biscoitos / Use of agroindustrial by-products in biscuit manufacturing. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 1, p. 1738–1747, 2022.

MARASCA, N. et al. Analysis of the potential of cupuaçu husks (*Theobroma grandiflorum*) as raw material for the synthesis of bioproducts and energy generation. **Food Science and Technology (Brazil)**, 2022.

MARTINS, H. F. et al. Maracujá-amarelo (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*): cinética da secagem artificial e natural da casca. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 5, n. 10, p. 23234-23245, 2019.

MARTINS, M. M. V. As exportações de frutas brasileiras: uma perspectiva da água virtual. **Revista de Economia e Agronegócio**, v. 18, n. 2, p. 1-22, 2021. DOI: <https://doi.org/10.25070/rea.v18i2.8267>.

MOBARAK, H. M.; MOHAMAD, E. N.; MASJUKI, H. H.; KALAM, M. A.; MAHMUD, K. A.; HABIBULLAH, M. The prospects of biolubricants as alternatives in automotive applications. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 33, p. 34-43, 2014. ISSN 1364-0321.

NAZARÉ, R. F. R. de; BARBOSA, W. C.; VIEGAS, R. M. F. **Processamento das sementes de cupuaçu para a obtenção de cupulate**. Belém, PA: EMBRAPA-CPATU, 1990. 37 p.

NIETO, G.; FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J.; PÉREZ-ÁLVAREZ, J. A. Valorization of citrus co-products: recovery of bioactive compounds and application in meat and meat products. **Plants**, 2021.

OJHA, S.; BUSLER, S.; SCLUTER, O. K. Valorização do desperdício de alimentos e conceitos de economia circular na produção e processamento de insetos. **Gestão de Resíduos (Nova Iorque)**, v. 118, p. 600-609, 2020.

OLIVEIRA, T. B. de; GENOVESE, M. I. Chemical composition of cupuassu (*Theobroma grandiflorum*) and cocoa (*Theobroma cacao*) liquors and their effects on streptozotocin induced diabetic rats. **Food Research International**, v. 51, n. 2, p. 929-935, 2013.

PĂCULARU-BURADA, B. et al. Selection of wild lactic acid bacteria strains as promoters of postbiotics in gluten-free sourdoughs. **Microorganisms**, 2020.

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

PEREIRA, A. L. F. et al. Impact of fermentation conditions on the quality and sensory properties of a probiotic cupuassu (*Theobroma grandiflorum*) beverage. **Food Research International**, v. 100, p. 603-611, 2017.

PEREIRA, A. L. F.; ABREU, V. K. G.; RODRIGUES, S. **Cupuassu – Theobroma grandiflorum**. In: **Exotic Fruits**. Elsevier Inc., 2018.

PEREIRA, M. G. Stabilization of the lipase of *Hypocrea pseudokoningii* by multipoint covalent immobilization after chemical modification and application of the biocatalyst in oil hydrolysis. **Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic**, v. 121, p. 82-89, 2015.

PUNARO, G. R. et al. Cupuaçu extract reduces nitrosative stress and modulates inflammatory mediators in the kidneys of experimental diabetes. **Clinical Nutrition**, v. 38, p. 364–371, 2019.

RAMOS, S. et al. Influence of pulp on the microbial diversity during cupuassu fermentation. **International Journal of Food Microbiology**, v. 318, 108465, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2019.108465>.

RODRIGUES, D. B. B.; PUNARO, G. R.; DE LIMA, D. Y.; RODRIGUES, A. M.; PUGLIERO, S.; HIGA, E. M. S. Cupuaçu extract protects the kidneys of diabetic rats by modulating Nrf2/NF- κ B p65 and iNOS. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/0001-3765202320220927>.

SALES, J. H.; SOGLIA, L. V.; GIROTTO, P. S. Sistema de secagem via energia solar e acumulador de calor para amêndoas de cacau. **Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão**, Paraná, v. 4, ed. 5, 2019.

SALOMÃO, G. S. B. Production of cellulases by solid state fermentation using natural and pretreated sugarcane bagasse with different fungi. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 17, p. 1-6, 2018.

SANTOS, A. M. T. S. et al. **Elaboração do Business Model Generation para uma nova variedade de cupuaçu**. In: **Tópicos em Administração**, v. 13. Belo Horizonte: Poisson, 2018.

SANTOS, T. A. D. Agroecologia e comunidades da Amazônia: um estudo da inserção das comunidades de Bragança (PA) na produção agroecológica. **Acta Geográfica**, v. 15, n. 37, p. 94-123, 2021. ISSN 2177-4307.

SILVA, C. R. et al. Antioxidant activity of an industrial cupuassu seed by-product: molecular modeling of phenolic compounds. **Chemical Engineering & Technology**, v. 42, n. 2, p. 397–406, 2019.

SILVA JUNIOR, A. C.; NASCIMENTO, J. F.; TOSTES, E. d. S. L.; SILVA, A. d. S. S. Análises microbiológicas de carne bovina moída comercializada em supermercados. **PUBVET**, v. 12, n. 10, p. 17, 2018.

SILVA, J. P. P.; RODRIGUES, A. M. C.; SILVA, L. H. M. Aqueous enzymatic extraction of buriti (*Mauritia flexuosa*) oil: yield and antioxidant compound. **The Open Food Science Journal**, v. 11, p. 9-17, 2019.

SOUZA, J. M. L. et al. Monitoring and optimization of cupuaçu seed fermentation, drying and storage processes. **Microorganisms**, v. 8, p. 1314, 2020.

SOUZA, P. C. Crédito rural: contribuição para a implantação de uma agroindústria de polpa de frutas no município de Rolim de Moura. **Revista Farol**, v. 6, n. 6, p. 137-163, 2018.

TAKAHASHI, J. A.; CONTIGLI, C.; MARTINS, B. A.; LIMA, M. T. N. S. Fungal metabolites: advances in contemporary industrial scenario. In: DESHMUKH, S. K.; SRIDHAR, K. R.; BADALYAN, S. M. (org.). **Fungal biotechnology: prospects and avenues**. 1. ed. Boca Raton: CRC Press, 2022. p. 87-129.

TOKER, O. S.; PALABIYIK, I.; PIROUZIAN, H. R.; AKTAR, T.; KONAR, N. Chocolate aroma: factors, importance, and analysis. **Trends in Food Science & Technology**, v. 99, p. 580-592, 2020.

TORRES, M. P. R.; RAISER, A. L.; ESPRENDOR, R. V. F.; RIBEIRO, E. B.; NOGUEIRA, R. M.; ANDRIGHETTI, C. R.; VALLADÃO, D. M. S. Development and stability study of products containing cupuaçu butter. **Scientific Electronic Archives**, 2019. DOI: <https://doi.org/10.36560/1262019998>.

VIDAL, T. do C. S.; SIMÃO, M. O. de A. R.; ALMEIDA, V. F. de A. Sustentabilidade da produção de óleos e manteigas vegetais em comunidade amazônica – RESEX Médio Juruá. **Research, Society and Development**, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i3.13478>.

VIRGOLIN, L. B.; SEIXAS, F. R. F.; JANZANTTI, N. S. Composition, content of bioactive compounds, and antioxidant activity of fruit pulps from the Brazilian Amazon biome. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, p. 933-941, 2017.

WALLACE, T. C.; BAILEY, R. L.; BLUMBERG, J. B.; et al. Fruits, vegetables, and health: a comprehensive narrative, umbrella review of the science and recommendations for enhanced public policy to improve intake. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 2020.

WENDTLENDT, W. **Thermal analysis**. New York: John Wiley & Sons, 1986. 200 p.

WERNCKE, I. **Qualidade de sementes de milho em função do tipo de secagem, armazenamento e aplicação de ozônio**. 80 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2020.

XIE, Y. et al. A new monitoring approach of time-varying and nonlinear processes with application to penicillin fermentation process. **Journal of Intelligent and Fuzzy Systems**, 2023.

YANES, C. V. I.; DE MELO FILHO, A. A.; RIBEIRO, P. R. E.; REIS MELO, A. C. G.; TAKAHASHI, J. A.; FERRAZ, V. P.; MOZOMBITE, D. M. S.; DOS SANTOS, R. C. Inhibition of acetylcholinesterase and fatty acid composition in *Theobroma grandiflorum* seeds. **Orbital: The Electronic Journal of Chemistry**, 2017. DOI: <https://doi.org/10.17807/orbital.v0i0.894>.

YUKIKOGYO CO. Ltd, D. Integrity issue. Avaliação da atividade antimicrobiana de extrato etanólico de folhas de cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum* Schum) frente a *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus*. **Ayan**, v. 8, n. 5, p. 1-55, 2019.

ZAMBRANO, A. et al. Evaluación química de precursores de aroma y sabor del cacao criollo merideño durante la fermentación en dos condiciones edafoclimáticas. **Agronomía Tropical**, v. 60, n. 2, p. 211-219, 2010.

ANEXOS

ANEXO A - Acompanhamento do Processo Fermentativo e Análises Fisíco-Químicas de Cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum)



DOI: 10.53660/CLM-3431-24142

Monitoring the Fermentation Process and Physico-Chemical Analysis of Cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum).

Acompanhamento do Processo Fermentativo e Análises Fisíco-Químicas de Cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum)

Rosimeiry Belem Dutra Viegas

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-1862-3861>

Programa de Pós-graduação em Biotecnologia – PPGBIOTEC, UFAM, Brasil

E-mail: rbdviegas@gmail.com

Vanderson Gabriel Souza Torres

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-9645-3897>

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Brasil

E-mail: vanderson.torres@unesp.edu

Dimas José Lasmar

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0473-9876>

Universidade Federal do Amazonas – UFAM, Brasil

E-mail: dimas_lasmar@ufam.edu.br

ANEXO B - Resíduos de Cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*): Metabolismo, Biodisponibilidade e Potencial de Aproveitamento Sustentável



Cupuaçu (*Theobroma Grandiflorum*) Waste: Metabolism, Bioavailability and Potential for Sustainable Use

Resíduos de Cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*): Metabolismo, Biodisponibilidade e Potencial de Aproveitamento Sustentável

Residuos de Cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*): Metabolismo, Biodisponibilidad y Potencial de Aprovechamiento Sostenible

DOI: 10.55905/oelv23n4-063

Receipt of originals: 3/3/2025

Acceptance for publication: 3/25/2025

Rosimeiry Belem Dutra Viegas

Master in Biotechnology

Institution: Universidade Federal do Amazonas

Address: Manaus, Amazonas, Brazil

E-mail: rosimeiry.viegas@conecthus.org.br