UNIVERSIDADE FEDERAL DE CIÊNCIAS DA SAÚDE DE PORTO ALEGRE

CURSO DE TECNOLOGIA EM ALIMENTOS

FERNANDA GONÇALVES DE SAIBRO

APROVEITAMENTO DA CASCA DE AMÊNDOA DE CACAU TORRADO COMO INGREDIENTE ALIMENTÍCIO

PORTO ALEGRE

2024

Fernanda Gonçalves de Saibro

APROVEITAMENTO DA CASCA DE AMÊNDOA DE CACAU TORRADO COMO INGREDIENTE ALIMENTÍCIO

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação apresentado ao curso de Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre (UFCSPA) como exigência parcial para a obtenção do título de Tecnólogo em Alimentos.

Orientador: Profa. Dra. Vivian Caetano Bochi

PORTO ALEGRE

2024

Catalogação na Publicação

Gonçalves de Saibro , Fernanda
APROVEITAMENTO DA CASCA DE AMÊNDOA DE CACAU TORRADO COMO INGREDIENTE ALIMENTÍCIO / Fernanda Gonçalves de Saibro . -- 2025.
25 f. : 30 cm.

Monografia (trabalho de conclusão de curso) -- Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre, Curso de Tecnologia em Alimentos, 2025.

Orientador(a): Vivian Caetano Bochi.

1. farelo de cacau. 2. subproduto. 3. alimentos funcionais. 4. sustentabilidade. 5. economia circular. I. Título.

Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da UFCSPA com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

RESUMO

O farelo de cacau, subproduto da torrefação de amêndoa de cacau torrado, apresenta um potencial para ser explorado pela indústria pela composição rica em fibras alimentares e compostos bioativos. Este estudo tem como objetivo investigar o uso do farelo de cacau como ingrediente funcional na indústria de alimentos, analisando suas características nutricionais, econômicas e ambientais. A metodologia incluiu uma revisão de literatura com abordagem narrativa para avaliar os impactos econômicos, ambientais e a composição química do farelo, além de uma abordagem integrativa para explorar suas aplicações em produtos alimentícios. Os resultados destacam que o farelo de cacau pode enriquecer alimentos como biscoitos, pães e infusões com compostos bioativos (teobromina, cafeína, fibras e proteínas), proporcionando benefícios nutricionais. No entanto, desafios como aceitação sensorial e custos de produção precisam ser superados. Outras áreas de aplicação incluem cosméticos, suplementos alimentares e fermentação para a produção de enzimas. Conclui-se que a valorização do farelo de cacau requer investimentos em tecnologias de extração e práticas sustentáveis, como tecnologias verdes e incentivos fiscais. Tais iniciativas podem reduzir impactos ambientais, promover a economia circular e aumentar a rentabilidade da indústria cacaueira.

Palavras-chave: farelo de cacau; subproduto; alimentos funcionais; sustentabilidade; economia circular.

ABSTRACT

Cocoa husk, a by-product of cocoa almond roasting, holds significant potential industrial applications due to the presence of fibers and other compounds with putative health effect to human diet. This study aims to investigate the use of cocoa husk as a functional ingredient in the food industry, analyzing its nutritional, economic, and environmental characteristics. The methodology included a literature review with a narrative approach to assess the economic and environmental impacts and the chemical composition of the husk, as well as an integrative approach to explore its applications in food products. The results highlight that cocoa husk can enrich foods such as biscuits, bread, and infusions with bioactive compounds (theobromine, caffeine, fibers, and proteins), offering nutritional benefits. However, challenges such as sensory acceptance and production costs need to be addressed. Other application areas include cosmetics, dietary supplements, and fermentation processes for enzyme production. It is concluded that the valorization of cocoa husk requires investments in extraction technologies and sustainable practices, such as green technologies and tax incentives. These initiatives can reduce environmental impacts, promote a circular economy, and increase the profitability of the cocoa industry.

Keywords: cocoa husk; by-product; functional foods; sustainability; circular economy.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 6

2. OBJETIVOS 7

2.1. OBJETIVO GERAL 7

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS ..... **Erro! Indicador não definido.**

3. METODOLOGIA 8

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO 10

4.1. TORREFAÇÃO DA AMÊNDOA COMERCIAL DE CACAU E IMPACTOS AMBIENTAIS DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS 10

4.2. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO FARELO DE AMÊNDOA DE CACAU. 13

4.3. SEGURANÇA, FERMENTAÇÃO E SUBSTÂNCIAS FORMADAS NO PROCESSO DE TORREFAÇÃO 15

4.4. **APLICAÇÕES DE FARELO DE CACAU COMO INGREDIENTE EM PRODUTOS ALIMENTÍCIOS**. 18

5. CONCLUSÃO 21

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 22

1. INTRODUÇÃO

O cacau é uma das commodities agrícolas mais importantes do mundo, com um impacto econômico significativo. O segundo maior país produtor da América Latina é o Brasil, ficando atrás apenas do Equador. No entanto, a crescente demanda por cacau e seus derivados tem gerado desafios significativos, tanto no que diz respeito à oferta da commodity quanto aos impactos ambientais do processamento. Nos últimos anos, a produção de cacau tem enfrentado uma redução considerável, enquanto o consumo de seus derivados tem aumentado significativamente, o que tem levado a uma oferta insuficiente dessa matéria-prima. Nesse contexto, uma das abordagens para aumentar a disponibilidade é descobrir e comercializar novos produtos ou encontrar novas aplicações para os subprodutos já existentes, como o farelo de cacau, que é frequentemente subutilizado (Okiyama, 2018).

O processamento do cacau envolve várias etapas que transformam a semente da fruta do cacaueiro (*Theobroma cacao*) até a obtenção de produtos como o chocolate. Após a colheita, as sementes são fermentadas, secas, torradas e, finalmente, trituradas para a extração dos nibs, que são a parte nobre do cacau. No entanto, durante esse processo, diversos resíduos são gerados, sendo a casca das sementes e o farelo de cacau (resultante da moagem dos nibs) os principais subprodutos. Embora o farelo de cacau seja considerado de menor valor agregado, ele possui um grande potencial para ser utilizado em diversas aplicações industriais, como em produtos alimentícios, cosméticos, e como matéria-prima para a produção de compostos bioativos. O manejo adequado desses resíduos pode não apenas reduzir os impactos ambientais do processamento do cacau, mas também abrir novas possibilidades para a indústria, que busca cada vez mais soluções sustentáveis (Niehues, 2023). O estudo e aproveitamento desses subprodutos são, portanto, fundamentais para promover a economia circular no setor, diminuindo desperdícios e criando valor a partir de materiais que, de outra forma, seriam descartados.

A produção nacional de cacau no Brasil, conforme a Conab (Companhia Nacional de Abastecimento), gira em torno de 250 mil a 300 mil toneladas anuais. Uma parte significativa desse cacau é processada para a produção de chocolate e seus derivados, incluindo nibs. Considerando que apenas 8% do peso do fruto é aproveitado pela indústria do cacau, a quantidade de subprodutos gerados durante a

torrefação das amêndoas é substancial. A torrefação resulta no farelo de cacau, que representa entre 10% e 17% do peso total das amêndoas. Esse farelo, formado por fragmentos de amêndoas e cascas, muitas vezes é descartado ou utilizado de maneira inadequada, apesar de suas propriedades que poderiam ser valorizadas como ingrediente na indústria alimentícia (Oliveira, 2022; Silva, 2021).

A composição da casca da amêndoa ou farelo de cacau varia significativamente, dependendo da origem do cacau e das condições de processamento. No entanto, essa casca apresenta mais de 50% de sua massa seca composta por fibras alimentares, um conteúdo quase três vezes superior ao encontrado nas amêndoas (Silva, 2021). Além disso, o farelo de cacau já era relatado em 2016 como fonte de vários compostos bioativos, como fibras dietéticas, antioxidantes e compostos fenólicos, que podem enriquecer o valor nutricional dos alimentos (Pimentel, 2016). No entanto, segundo Chagas (2023), esses resíduos representam uma carga ambiental considerável devido ao seu potencial de poluição e degradação do solo e dos corpos d'água, já que, se não devidamente manejados, podem contribuir para a degradação do meio ambiente, principalmente em regiões com grandes áreas de cultivo de cacau, como o estado do Pará (Hamada *et al.*, 2018). Esses estudos demonstram a importância do aprofundamento no conhecimento desses resíduos, tanto em relação à sua composição nutricional quanto à sua viabilidade para utilização pela indústria de alimentos.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Estudar o potencial do resíduo do processo de torrefação de amêndoa de cacau, o farelo de cacau, como um ingrediente para a indústria de alimentos.

- Analisar os impactos ambientais da geração de resíduos provenientes da torrefação da amêndoa de cacau, com foco no farelo de cacau.
- Pesquisar os dados disponíveis relativos à composição química do farelo de amêndoa de cacau.
- Investigar a segurança no consumo de farelo de cacau pela presença de contaminantes ambientais ou formados no processo de torrefação.
- Avaliar as aplicações de farelo de cacau como ingrediente em produtos alimentícios.

3. METODOLOGIA

Este trabalho consiste em uma revisão de literatura empregando diferentes metodologias dependendo dos objetivos específicos propostos. Para os objetivos específicos 1, 2 e 3 será utilizada a metodologia de revisão de literatura narrativa. Enquanto que para o objetivo 4, somente, relativo às aplicações do farelo como ingrediente na indústria de alimentos, será realizada uma revisão de literatura integrativa.

1. Estudo dos impactos ambientais do processo de torrefação do cacau: Serão consideradas as publicações no formato de artigos científicos, teses, monografias, dissertações e livros técnicos publicados nos últimos 10 anos. Os seguintes descritores de busca foram utilizados: “Torrefação” AND “Impacto ambiental” AND “Cacau;“Produção” AND “ Nibs de cacau” AND “Impacto ambiental”

2. Avaliação da composição química do farelo de amêndoa de cacau: mesma metodologia descrita no item 1. Para essa etapa foram utilizados os seguintes descritores:"Composição centesimal" AND "Farelo de cacau"; "Compostos fenólicos" AND "Farelo de cacau"; "Minerais" AND "Farelo de cacau";"Vitaminas" AND "Farelo de cacau";

3. Segurança química e microbiológica do farelo de amêndoa de cacau: mesma metodologia descrita no item 1. Para essa etapa serão utilizados os seguintes descritores: “Contaminantes químicos” AND “Farelo de cacau”;“Segurança microbiológica” AND “Farelo de cacau”

4. Aplicações na área de tecnologia de alimentos do farelo de amêndoa de cacau torrado: Somente artigos científicos do tipo experimentais, com aplicações do farelo no desenvolvimento de novos alimentos para consumo humano e que possuam dados de composição química e análise sensorial foram considerados nessa parte da revisão. Na busca serão utilizados os seguintes descritores: **“Farelo de cacau” AND “Alimentos”; “Farelo de cacau” AND “Análise sensorial”**

Para a identificação dos artigos relevantes ao estudo, os resultados das buscas foram fracionados em etapas: aplicação dos critérios de inclusão/exclusão **(ano de**

publicação; texto com acesso gratuito); leitura do título e do resumo; leitura de trabalhos disponíveis na íntegra. Inicialmente, muitos referências foram identificadas. Em seguida, foram excluídos os estudos que não atendiam aos critérios estabelecidos, como aqueles publicados fora do recorte temporal definido ou sem acesso ao texto completo. Após a leitura dos títulos e resumos, novos artigos foram descartados por não abordarem diretamente a área de interesse. Por fim, a leitura integral dos trabalhos restantes permitiu a seleção final das referências mais relevantes para compor esta revisão. Foram considerados relevantes os trabalhos que exploraram três variáveis propostas neste estudo: **o recorte temporal (últimos 10 anos), os temas de pesquisa e a disponibilidade de acesso ao texto integral**. Foi utilizado o software ChatGPT para a correção da ortografia e aprimoramento da fluidez do presente manuscrito.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. TORREFAÇÃO DA AMÊNDOA COMERCIAL DE CACAU E IMPACTOS AMBIENTAIS DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS

A produção global de cacau é um setor vital para a indústria de chocolate e outros produtos derivados. A partir da safra de 2019/2020, a produção mundial de grãos de cacau alcançou aproximadamente 4,7 milhões de toneladas (ICCO, 2020), com o Brasil sendo um dos maiores produtores da América Latina, especialmente nos estados do Pará e da Bahia. O Brasil, juntamente com outros países produtores, enfrenta um grande desafio em termos de aproveitamento total do cacau, considerando que a maioria da produção vem de pequenas propriedades familiares, responsáveis por cerca de 80% a 90% do total (Pinto, 2022).

Além do farelo de cacau, o processamento das amêndoas também gera outros resíduos como a casca (tegumento), que pode representar entre 12% e 20% do peso total da amêndoa (De Barros, 2019). Para calcular a quantidade de resíduo gerado, podemos estimar, com base na produção global de grãos de cacau de 4,7 milhões de toneladas na safra de 2019/2020 (ICCO, 2020), que aproximadamente 564.000 a 940.000 toneladas de casca (película ou tegumento) são produzidas globalmente, levando em consideração o percentual médio de 15% do peso da amêndoa. No Brasil, onde a produção de cacau é concentrada principalmente nos estados da Bahia e Pará, cerca de 10.000 toneladas de farelo de cacau são geradas anualmente (Veloso, 2020).

O processamento do cacau envolve várias etapas que começam com a seleção das amêndoas, seguida de fermentação, secagem e torrefação. Após a torrefação, as amêndoas de cacau têm suas cascas separadas dos nibs, os quais, ao serem triturados, originam a massa de cacau — um produto base para a fabricação do chocolate. Embora a casca representa entre 12% e 20% do peso da semente de cacau, ela é frequentemente subaproveitada, sendo, na maioria das vezes, descartada ou usada em aplicações de baixo valor agregado, como combustível para caldeiras, compostagem e ração animal (De Barros, 2019). Estima-se que o processamento de uma tonelada de amêndoas com 7% de umidade resulte na geração de 80 a 120 kg de tegumento, e na região sul da Bahia, cerca de 10.000 toneladas desse subproduto são geradas anualmente (Veloso, 2020).

Esse subproduto, denominado farelo de cacau, é um resíduo gerado durante a separação da casca, mas, em muitos casos, é relegado a funções secundárias. Seu

processamento, em grande parte, ainda não é otimizado para gerar produtos com maior valor agregado, apesar de seu grande potencial. No Brasil, as iniciativas para aproveitar o farelo de cacau têm ganhado relevância, especialmente em sistemas agrícolas sustentáveis, como o Sistema Agroflorestal (SAF), adotado por 43% dos agricultores de Paragominas, no Pará. O SAF é uma prática que integra o cultivo de culturas comerciais, como o cacau, com a preservação ou o plantio de espécies florestais nativas, criando um ambiente agrícola mais equilibrado e sustentável. Esse modelo não apenas contribui para a conservação ambiental, mas também promove a diversificação da produção e melhora a fertilidade do solo. Dessa forma, os sistemas SAF têm se mostrado uma alternativa viável para a produção de cacau de maneira mais sustentável, ao mesmo tempo em que incentivam a valorização dos subprodutos, como o farelo de cacau, no contexto de práticas agrícolas inovadoras (SEMAGRI, 2021), o utilizando como adubo orgânico, reaproveitando-o para enriquecimento do solo com nutrientes e matéria orgânica. Esse uso contribui para a recuperação de áreas degradadas, melhora a fertilidade do solo e ajuda na retenção de umidade e controle da erosão, promovendo a saúde do ecossistema agroflorestal (CHAGAS, 2023).

O farelo de cacau, por ser um subproduto abundante da produção de chocolate, tem sido comumente direcionado para processos como a compostagem ou como combustível para caldeiras em indústrias de processamento de cacau. Embora o uso do farelo para adubação seja uma prática sustentável, ele representa uma solução de baixo valor agregado, uma vez que a substância poderia ser explorada em outras indústrias, como na farmacêutica ou alimentícia, devido à presença de compostos bioativos, como compostos fenólicos, teobromina e cafeína, que possuem propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e estimulantes (Okiyama, 2018; De Barros, 2019; Paz et al., 2022).

De acordo com Veloso (2020), a utilização de farelo de cacau para compostagem ou como adubo já apresenta benefícios ambientais, pois contribui para a redução da quantidade de resíduos sólidos e promove a recuperação de áreas degradadas. No entanto, essas aplicações não maximizam o potencial do resíduo, que poderia ser melhor aproveitado em outras indústrias. Em um estudo comparativo, foi demonstrado que, ao integrar o farelo de cacau na fabricação de materiais como chapas e madeira plástica, é possível não apenas reduzir o desperdício de recursos, mas também gerar produtos com maior valor agregado (Veloso, 2020). Esse uso inovador do farelo não

só amplia as possibilidades de aproveitamento, mas também contribui para a sustentabilidade da cadeia produtiva do cacau, diminuindo o impacto ambiental do processo de torrefação.

O farelo de cacau, embora seja utilizado em ração animal, especialmente para ruminantes, não extrai o máximo potencial desse resíduo, pois não aproveita os compostos bioativos presentes, que poderiam agregar valor a outras indústrias, como a farmacêutica e alimentícia. Embora seja uma alternativa de baixo custo para a alimentação animal, sua utilização dessa forma não contribui de forma significativa para a economia circular, já que o farelo é tratado como um subproduto de baixo valor agregado, sem explorar suas potencialidades nutricionais e funcionais. Além disso, sua alta concentração de fibras pode prejudicar a digestibilidade e o valor energético da dieta dos ruminantes, limitando os benefícios desse resíduo quando utilizado exclusivamente para a alimentação animal (Figueiredo et al., 2018).

Outro destino comum para o farelo de cacau é o aterro sanitário, especialmente quando ele não é reaproveitado para compostagem ou como fonte de energia. Essa prática é altamente prejudicial ao meio ambiente, uma vez que o farelo de cacau, sendo orgânico, poderia ser reciclado ou utilizado de forma mais eficiente em diversas indústrias. A deposição em aterros também contribui para o aumento da quantidade de resíduos sólidos e o desperdício de recursos que poderiam ser transformados em novos produtos com maior valor agregado (IPEA, 2012).

O impacto ambiental do processo de torrefação do cacau pode ser reduzido significativamente com o uso de tecnologias que permitam o reaproveitamento de subprodutos, como o farelo de cacau. De acordo com Okiyama (2018), quando o farelo é utilizado para a produção de cosméticos ou suplementos alimentares, o impacto ambiental do processo de torrefação diminui em até 20%, uma vez que a energia necessária para o processamento é reduzida, e o volume de resíduos enviados para aterros é consideravelmente menor.

A maior parte do farelo de cacau gerado durante o processamento da amêndoa ainda é subaproveitada, sendo direcionada a aplicações como combustível, adubo ou ração animal. Embora essas soluções ofereçam benefícios ambientais, elas não maximizam o valor desse subproduto. O trabalho de Veloso (2020) aponta alternativas inovadoras, como o uso do farelo na fabricação de materiais como chapas e MDP, madeira plástica e gesso, destacando um limite máximo de adição sem perda de

qualidade. Esse achado reforça a necessidade de mais soluções para aproveitar integralmente o farelo, absorvendo-o de forma eficiente e sustentável.

Além disso, políticas públicas que incentivem o desenvolvimento de soluções tecnológicas para o reaproveitamento de subprodutos agrícolas, como o farelo de cacau, são essenciais. Incentivos fiscais para empresas que investem em tecnologias verdes e parcerias público-privadas para o financiamento de pesquisas poderiam acelerar a inovação e a adoção de práticas mais sustentáveis no setor (Veloso, 2020).

4.2. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO FARELO DE AMÊNDOA DE CACAU.

A composição centesimal das cascas de cacau varia consideravelmente de acordo com a origem e o processamento, como fermentação e torrefação, conforme observados nos estudos relatados na Tabela 1. Em um estudo realizado por Djali (2023), a composição do farelo denominado na língua inglesa de *Cocoa Bean Shell* (CBS) de diferentes cultivares revelou variações significativas em termos de cinzas e proteínas. Por exemplo, o CBS proveniente de frutos de cacau Criollo na indústria Kendeng Lembu apresentou teores de cinzas e proteínas em torno de 8,21% e 18,79%, respectivamente, enquanto o CBS do Cacau Forastero não fermentado mostrou valores mais baixos de 6,48% e 15,70%, respectivamente. Esses resultados são comparáveis aos dados observados nos estudos de Arlorio et al. (2001); Lecumberri et al. (2007); Martín-Cabrejas et al. (1994) e Martinez et al. (2012) que relataram valores de proteínas variando ente 11,6% e 18,12%, dependendo da origem do cacau e do processamento aplicado. Os dados indicam que a fermentação desempenha um papel fundamental na concentração de nutrientes, com a variedade Criollo apresentando um maior teor de proteínas e minerais.

Enquanto a pesquisa de Djali (2023) focou na composição centesimal, a de Rocha (2023) enfatizou os compostos voláteis, com destaque para a Tetra-Metil-Pirazina e outros compostos aromáticos, que conferem características de café torrado e chocolate. Essa diversidade de compostos presentes no farelo sugere que esse resíduo pode ser aproveitado de formas distintas, dependendo das necessidades da indústria alimentícia e dos processos a que são submetidos. Nos estudos de Okiyama (2018), foram observadas variações nos teores de lipídios, com valores entre 1,85% e 2,5%, próximos aos relatados por Martínez et al. (2012)

No estudo de Quiceno-Suarez et al. (2024), os teores de gordura (3,88 ± 0,2 g/100 g) e proteína bruta (17,6 ± 1,3 g/100 g) das cascas de cacau foram destacados. Além disso, o teor de cinzas foi de 10,78 ± 0,19, evidenciando uma significativa presença de minerais essenciais, como zinco (215 ± 6 mg kg^{-1}) e potássio (8,32 ± 0,2 g/100 g). Esses dados apresentam similaridade com os resultados de Djali (2023) e reforçam o potencial das cascas como ingrediente funcional em produtos alimentares, como pães e produtos de confeitaria, oferecendo não apenas sabor e aroma, mas também nutrientes importantes para dietas equilibradas. A casca de cacau também se destaca por seu elevado conteúdo de fibras (27% de fibra bruta), com potencial para a indústria de alimentos de baixo valor calórico (Quiceno-Suarez et al. 2024).

Com base nos dados apresentados, pode-se concluir que os principais nutrientes encontrados nas cascas de cacau incluem fibras, proteínas e lipídios em ordem decrescente de concentração. A utilização desse resíduo nas indústrias alimentícias, farmacêuticas e cosméticas é promissora, pois não apenas contribui para a redução do desperdício de cacau, mas também oferece benefícios nutricionais e funcionais, como o aumento de fibras, antioxidantes e minerais.

Porém, ainda existem algumas questões que precisam ser exploradas, como o impacto da variação de composição dependendo das condições usadas no processamento das amêndoas (fermentação e torrefação) e o custo-benefício de se utilizar esses resíduos na produção de alimentos funcionais e nutracêuticos. De modo geral, os autores dos estudos citados concordam com a aplicabilidade das cascas de cacau como um recurso subutilizado, com grande potencial para contribuir com a economia circular e a sustentabilidade da indústria de cacau. Contudo, acredito que há uma necessidade de mais pesquisas para otimizar os processos de extração e aplicação desses compostos de forma mais eficiente, visando um aproveitamento ainda maior e mais acessível do resíduo.

Tabela 1: Dados de composição centesimal de farelo de amêndoa torrada de cacau.

g% A.I.	Farelo A	Farelo B	Farelo C	Farelo D
Umidade	4,7 – 10,1	5,0 – 10,6	6,41 – 9,23	n.r
Proteínas	11,6 – 18,12	16,6 – 18,5	15,7 – 18,79	17,6
Lipídeos	1,85 – 6, 81	6,8 – 21,5	2,28 – 3,12	3,88
Fibras alimentares	50,4 – 60,6	39,4 – 44	15,6 – 21,52	28,81
Carboidratos	n.r – 17,8	n.r – 15	41,04 – 61,36	n.r
Minerais totais	n.r	6,08 – 9,19	n.r	n.r

n.r.: não relatado

Farelo A: Arlorio et al. (2001); Lecumberri et al. (2007); Martín-Cabrejas et al.(1994); Martinez et al. (2012).

Farelo B: Okiyama (2018).

Farelo C: Djali (2023).

Farelo D: Quiceno-Suarez et al. (2024).

4.3. SEGURANÇA E SUBSTÂNCIAS FORMADAS NO PROCESSO DE FERMENTAÇÃO E TORREFAÇÃO

O processo de fermentação do cacau é uma etapa importante para o desenvolvimento dos sabores e aromas característicos do chocolate. A fermentação pode ser realizada de diferentes formas, como em pilhas, recipientes, caixas de isopor ou plástico, ou até mesmo em bandejas. Esse processo ocorre em várias etapas e envolve importantes reações bioquímicas que afetam diretamente a qualidade do produto final. Para ilustrar essas etapas e os métodos aplicados, apresenta-se o fluxograma abaixo (Figura 1):



Figura 1 – Fluxograma de controle e descontaminação de amêndoas de cacau. ,Fonte: Própria autora (adaptado de: NIEHUES, 2023; ELIAS, 2023; ARAUJO, 2022).

São várias as maneiras de fermentar o cacau. Pode-se realizar a fermentação de maneira empilhada, em recipientes, em caixas de isopor ou plástico, ou até mesmo em bandejas. O processo de fermentação é dividido em três etapas. A primeira ocorre nas primeiras 24 a 36 horas, em condições anaeróbicas, com um pH inferior a 4,0 devido à produção de etanol. Na segunda etapa, com a transição para a fase aeróbica, e acidez aumenta, devido à formação de ácido acético (Niehues, 2023).

Durante a fermentação, ocorre uma série de reações realizadas por bactérias e leveduras que conferem ao produto final sabores, aromas e texturas desejáveis. Entre essas reações bioquímicas, destacam-se a hidrólise de açúcares e proteínas, a oxidação e hidrólise de polifenóis e taninos, a biossíntese de alcaloides, aminoácidos e álcoois, além da degradação de ácidos graxos. Como resultado dessas reações, formam-se diversos compostos de sabor, incluindo substâncias aromáticas, alifáticas, terpenos, lactonas, O-heterocíclos, assim como compostos que contêm enxofre e nitrogênio. Os açúcares redutores e aminoácidos livres, gerados pela hidrólise das

proteínas (como leucina, alanina, fenilalanina e tirosina), desempenham um papel crucial na formação de compostos de sabor durante as reações de *Maillard*, que ocorrem na fase de torrefação. Quando os microrganismos metabolizam os açúcares presentes na polpa de cacau, isso resulta em um aumento da temperatura da massa fermentada (35 a 40°C), além da produção de ácidos acético e láctico. Essa alteração de temperatura leva à morte do gérmen, o que impede o grão de germinar, geralmente nas primeiras 24 a 48 horas do processo de fermentação. Nesse momento, os compostos se espalham dentro da célula, iniciando uma série de reações enzimáticas que resultarão na produção de precursores de sabor e aroma. A secagem, quando feita ao sol, leva de 7 a 8 dias. No entanto, a utilização de métodos de secagem artificial pode elevar as temperaturas do cotilédone, provocando o endurecimento das sementes. Isso resulta na perda de ácidos voláteis, o que impacta de forma adversa o sabor final do chocolate (Elias, 2023; Niehues, 2023).

A secagem deve ser realizada de forma cuidadosa e imediatamente após a fermentação para evitar efeitos indesejáveis no produto. A secagem sendo lenta, pode propiciar o crescimento de fungos que produzem toxinas nocivas à saúde. Por outro lado, uma secagem excessivamente rápida, utilizando altas temperaturas, pode afetar o teor de manteiga de cacau no grão, fazendo com que essa substância migre para a testa (a película que reveste o grão). Ambas as situações podem causar impactos negativos no sabor e no aroma das amêndoas (Elias, 2023).

Afim de evitar mudanças nas propriedades físico-químicas dos grãos ou sementes, a secagem de produtos agrícolas pode assegurar a qualidade das sementes durante o armazenamento, ao reduzir a atividade biológica. Durante o beneficiamento, o teor de umidade adequado é de 8%, garantindo uma boa apresentação visual e um aroma natural. Para alcançar esse nível ideal de umidade nas sementes de cacau, podem ser empregadas curvas de secagem. Essas curvas não apenas auxiliam nos processos pós-colheita e na elaboração de equipamentos, mas também fornecem informações sobre o tempo necessário para a secagem do produto e o consumo energético. Assim, elas influenciam tanto o processamento quanto o custo final do produto. Com o intuito de garantir uma secagem uniforme, as amêndoas são reviradas ao serem secas ao ar livre em barcaças, tendo em vista que muitos agricultores da região amazônica utilizam a secagem em terreiro. Contudo, esse método é trabalhoso e exige tempo e espaço. Por outro lado, embora a secagem artificial seja eficiente, pode acarretar altos custos de investimento e operação. Portanto, é fundamental

considerar alternativas que ofereçam boas condições de secagem, além de benefícios em termos de custo e tempo para os produtores (Araujo, 2022).

Embora o processo de fermentação e secagem tenha impacto direto na qualidade do cacau, há lacunas na literatura quanto à segurança desses métodos. Não foram encontrados artigos que avaliem, por exemplo, a formação de micotoxinas na amêndoa e sua possível deposição na testa, ou que analisem a presença de contaminantes ambientais e de manejo da cultura, como metais, pesticidas e herbicidas. Tais aspectos representam um campo promissor para futuras pesquisas, com potencial de contribuir para uma produção mais segura e sustentável.

4.4. **APLICAÇÕES DE FARELO DE CACAU COMO INGREDIENTE EM PRODUTOS ALIMENTÍCIOS**.

Foram encontrados poucos estudos sobre o uso do farelo de cacau em produtos alimentícios. Os trabalhos encontrados tinham as abordagens principais focadas em sua aplicação em biscoitos, infusões e reaproveitamento agroindustrial para obtenção de compostos bioativos, como antioxidantes, fibras e flavonoides. Embora esses estudos apresentam resultados relevantes, a maioria se restringe a aplicações específicas e pequenas escalas de processamento, limitando a compreensão do seu potencial em produções mais amplas. A falta de pesquisas que abordem a viabilidade comercial e as possíveis aplicações em outros segmentos alimentícios ainda representa um desafio.

Pesquisas de Ludmilla Martins et al. (2022) e Jessanna Bellini et al. (2024) destacam o potencial do farelo de cacau na panificação, especialmente na produção de cookies. O estudo de Martins et al. (2022) demonstrou que a substituição de até 33% da farinha de trigo ou arroz por farelo de cacau resulta em biscoitos mais escuros, ricos em fibras e com maior dureza, mas com impacto negativo na aceitação sensorial em formulações com 50% ou mais de farelo. Bellini et al. (2024) corroboram essas alterações de textura e cor, além de ressaltar os benefícios nutricionais do farelo de cacau, como aumento de proteínas, lipídios e fibras, com redução de carboidratos e valor calórico. A inclusão desse resíduo melhora a composição química do alimento, mas pode comprometer a aceitação sensorial quando utilizado em grandes quantidades.

A inclusão de maiores teores de farelo de cacau em cookies, sem impacto negativo na aceitação sensorial, foi observada por De Barros (2019). Ao adicionar farinha de soja e banana verde, otimizadas pelo delineamento do tipo C*entróide-Simplex*, os cookies foram enriquecidos com proteínas, fibras e compostos antioxidantes. A formulação ideal, com 100% de farelo de cacau no lugar da farinha de trigo, teve a maior concentração de compostos fenólicos e boa aceitação sensorial. A combinação de farelo de cacau com soja e banana verde também melhorou a qualidade nutricional, mas a estabilidade, o custo e a viabilidade industrial das formulações ainda precisam ser investigados para viabilizar a produção em larga escala, além de uma comparação com biscoitos tradicionais.

Outros estudos demonstram a viabilidade do farelo de cacau como ingrediente funcional em biscoitos sem glúten, com aumento no teor de proteínas e fibras e redução de carboidratos (Sarques et al., 2023). Além disso, o farelo tem sido explorado como substrato para a produção de lipase por fermentação em estado sólido, o que amplia suas possibilidades de aplicação em processos biotecnológicos (Araújo et al., 2021).

Além da panificação, Oliveira (2022) investigou o farelo de cacau em infusões, constatando sua atividade antioxidante moderada e a presença de flavonoides, o que reforça sua viabilidade como ingrediente funcional. O uso do farelo de cacau também foi explorado na produção de enzimas, como xilanases e alfa-amilases, com destaque para sua eficácia na melhoria de alimentos integrais como pães, embora com menor eficiência em comparação com outros resíduos agroindustriais (Costa, 2020).

A casca de amêndoa de cacau apresenta grande potencial em alimentos funcionais devido à sua rica composição em polifenóis e metilxantinas, compostos bioativos associados a benefícios à saúde. Estudos demonstraram que esse material vegetal residual, quando adicionada a sorvetes, pode proteger a barreira intestinal contra oxisteróis dietéticos, inflamação e estresse oxidativo (Rossin et al., 2021). Além disso, o tratamento do resíduo com peróxido de hidrogênio alcalino melhorou suas propriedades tecnológicas/funcionais, como retenção de água e óleo, e atividade de emulsificação, destacando seu potencial como ingrediente de alto valor agregado (Bal, 2024).

Embora o farelo de cacau apresenta vantagens nutricionais, como o aumento de proteínas e fibras, e benefícios funcionais devido aos compostos antioxidantes, a aceitação sensorial pode ser afetada, especialmente devido à alteração de cor e

textura. O impacto desses fatores deve ser monitorado, principalmente quando utilizado em maiores quantidades. Além disso, limitações para a escalabilidade e os custos da aplicação em larga escala ainda precisam ser mais bem estudados. A busca por estratégias que maximizem os benefícios do farelo de cacau e minimizem os pontos negativos pode ampliar suas aplicações, atendendo à crescente demanda por alimentos mais saudáveis e sustentáveis. O farelo de cacau possui uma composição química promissora que permite expandir sua utilização para além dos testes em panificação e infusões, com potencial para inovações no setor de ciência e tecnologia de alimentos.

5. CONCLUSÃO

Com base nos estudos analisados, pode-se concluir que o farelo de cacau, resíduo gerado durante o processo de torrefação da amêndoa, apresenta grande potencial como ingrediente para a indústria de alimentos, devido à sua composição química rica em compostos bioativos como teobromina e cafeína, além de lipídios benéficos. No entanto, a sua valorização ainda enfrenta desafios significativos relacionados à estabilidade desses compostos após o processamento e ao seu reaproveitamento eficiente. A composição química do farelo de cacau tem sido amplamente estudada, destacando-se pela presença de antioxidantes e propriedades anti-inflamatórias, que podem ser aproveitadas em diversas aplicações alimentícias.

Apesar dos avanços, a segurança no consumo de farelo de cacau requer atenção, principalmente em relação aos contaminantes ambientais ou formados durante o processo de torrefação. É fundamental que mais pesquisas sejam realizadas para garantir que os níveis de contaminantes sejam controlados, assegurando a segurança do produto para o consumo humano.

As aplicações alimentícias do farelo de cacau, embora promissoras, ainda enfrentam dificuldades em alguns casos, como a estabilidade dos compostos bioativos e a aceitação do mercado. Alguns produtos testados, como ingredientes que suplementam características nutricionais, demonstraram bons resultados na composição final dos produtos acabados, no entanto, apresentaram desafios relacionados ao sabor e à textura.

Por fim, este estudo contribui para a compreensão do potencial do farelo de cacau como ingrediente em alimentos, destacando as vantagens e desafios do seu uso, e abre novas perspectivas para a valorização de resíduos agroindustriais em um setor de crescente demanda por soluções sustentáveis.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAUJO, Myrella Katlhen da Cunha de et al. Secagem e desenvolvimento de um protótipo para caracterização física das amêndoas de cacau (Theobroma Cacao l.). 2021.

ARAÚJO, S. C.; RAMOS, M. R. M. F.; DO ESPÍRITO SANTO, E. L.; DE MENEZES, L. H. S.; DE CARVALHO, M. S.; TAVARES, I. M. de C.; et al. Otimização da produção de lipase por *Penicillium roqueforti* ATCC 10110 através de fermentação em estado sólido utilizando resíduo agroindustrial com base em análise univariada. *Bioquímica Preparativa e Biotecnologia*, v. 52, n. 3, p. 325–330, 2021. DOI: 10.1080/10826068.2021.1944203. Disponível em: https://doi.org/10.1080/10826068.2021.1944203. Acesso em: 5 jan. 2025.

ARLORIO, M. et al. Characterization of Pectins and Some Secondary Compounds from *Theobroma cacao* Hulls. *Journal of Food Science*, v. 66, n. 5, p. 653–656, jun. 2001.

BARROS, Hanna Elisia Araújo de; NATARELLI, Caio Vinicius Lima; ABREU, Danilo José Machado de; OLIVEIRA, Ana Lázara Matos de; LAGO, Rafael Carvalho do. Application of chemometric tools in the development of food bars based on cocoa shell, soy flour and green banana flour. *International Journal of Food Science and Technology*, [S.l.], v. 56, n. 10, p. 5296-5304, out. 2021. DOI: https://doi.org/10.1111/ijfs.15127. Special Issue: Sustainable Nonthermal Technologies in Extraction, Stabilization and Application of Bioactive Compounds.

BAL, M. Produção e caracterização de fibras alimentares de cascas de grãos de cacau. 2024. Dissertação (Mestrado em Ciências) — Middle East Technical University, 2024.

BELLINI, Jessanna Dias Sarques et al. Uso do amido de milho, farinha de arroz e farelo de cacau no desenvolvimento de produtos glúten free. *Brazilian Journal of Development*, v. 8, n. 6, p. 42832-42855, 2022.

CERRI, M.; REALE, L.; ZADRA, C. Armazenamento de metabólitos em sementes de *Theobroma cacao* L.: Análises cito-histológicas e fitoquímicas. *Fronteiras em fitotecnia*, v. 10, p. 454587, 2019. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01599

CHAGAS, Eriky Johan Furtado; SANTOS, Gabriel Sousa dos. Desenvolvimento da cacauicultura (*Theobroma cacao* L.) no Município de Paragominas-PA: o caso do sítio Esperança. 2023.

COSTA, Rodrigo dos Santos. Reaproveitamento de coprodutos da agroindústria para a produção de enzimas de interesse e aplicação em pão integral. 2020.

CONCEIÇÃO, R. L. C. da et al. Specialization and competitiveness: analysis of Brazilian exports of cocoa beans and products. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, v. 11, n. 6, 2020.

DE BARROS, Hanna Elisia Araújo. Desenvolvimento de produto à base de farelo de cacau (*Theobroma cacao* L.): biscoito tipo cookie. 2019. Tese de doutorado. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia.

DJALI, Mohamad et al. Proximate Composition and Bioactive Compounds of Cocoa Bean Shells as a By-Product from Cocoa Industries in Indonesia. *Foods*, v. 12, n. 17, p. 3316, 2023.

ELIAS, Gabriela Cristina. Melhoria de flavor de amêndoas de cacau via processo fermentativo. 2023.

FIGUEIREDO, Mércia Regina Pereira de; SALIBA, Eloisa de Oliveira Simões; BARBOSA, Geraldo Sérgio Senra Carneiro; LOPES, Fernando César Ferraz; SILVA, Filipe Aguiar e; SILVA, Cecília Ribeiro da Mota e; NUNES, Andressa Nathalie; FIGUEIREDO, Meliza Cristina Pereira de. Cocoa byproduct in diets for dairy heifers. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 47, e20170126, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1590/rbz4720170126

GUIRLANDA, Christiano Pedro; DA SILVA, Geisa Gabriela; TAKAHASHI, Jacqueline Aparecida. Cocoa honey: agro-industrial waste or underutilized cocoa by-product? *Future Foods*, v. 4, p. 100061, 2021. ISSN 2666-8335. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100061.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). Diagnóstico dos resíduos orgânicos do setor agrossilvopastoril e agroindústrias associadas: relatório de pesquisa. Brasília: IPEA, 2012.

LECUMBERRI, E. et al. Dietary fibre composition, antioxidant capacity and physico-chemical properties of a fibre-rich product from cocoa (*Theobroma cacao* L.). *Food Chemistry*, v. 104, n. 3, p. 948–954, 2007.

MARTINS, Ludmilla et al. Avaliação física e sensorial de cookies com farinhas de casca de amêndoa de cacau, arroz e trigo. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 9, p. e45411931935-e45411931935, 2022.

MARTÍN-CABREJAS, M. A. et al. Cocoa Hull: A Potential Source of Dietary Fibre. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 66, n. 1991, p. 307–311, 1994.

MARTÍNEZ, R. et al. Chemical, technological and in vitro antioxidant properties of cocoa (*Theobroma cacao* L.) co-products. *Food Research International*, v. 49, n. 1, p. 39–45, nov. 2012.

NIEHUES, Ana Carolina Gonçalves et al. Uma revisão sobre a cadeia de processamento do cacau: alternativas para uma indústria mais sustentável. 2023.

OLIVEIRA, Daiene Alves de. Estudo fitoquímico e de bioatividade de plantas usadas para a preparação de infusões tradicionais ou inusitadas. 2022. Dissertação de Mestrado.

ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO CACAU. ICCO - International Cocoa Organization. Disponível em: https://www.icco.org/. Acesso em: 20 set. 2024.

ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO CACAU (ICCO). Cocoa Market Review. Disponível em: https://www.icco.org/statistics/#production. Acesso em: 16 nov. 2024.

OKIYAMA, Dayane Cristina Gomes. Reaproveitamento da casca de amêndoa de cacau para extração de gordura e biocompostos utilizando solventes alcoólicos. 2018. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo.

PAZ, M. E. A.; SÁ, D. M. A. T.; NASCIMENTO, M. E. N.; SILVA, P. S.; MENDES, J. B. G.; BALBINO, V. N.; CARNEIRO, L. T. Propriedades nutricionais e funcionais do cacau (*Theobroma cacao*) e seus benefícios para saúde: uma breve revisão. *Ciência e Tecnologia de Alimentos: o avanço da ciência no Brasil*, v. 2, Editora Científica Digital, 2022. ISBN 978-65-5360-225-0.

PIMENTEL, Alexandre Araújo. Avaliação da capacidade antioxidante e quantificação de constituintes fenólicos de nibs e chocolate de variedades clonais de cacaueiro. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos), 2016.

PINTO, Jailson Mauricio et al. Cacauicultura no Brasil: análise bibliográfica de como a luz altera a eficiência fotossintética em genótipos do cacau. *Agriculturae*, v. 4, n. 1, p. 22-31, 2022.

QUICENO-SUAREZ, Anny; CADENA-CHAMORRO, Edith M.; CIRO-VELÁSQUEZ, Héctor J.; ARANGO-TOBÓN, Julio C. By-products of the cocoa agribusiness: high value-added materials based on their bromatological and chemical characterization. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, v. 77, n. 1, p. 10585-10599, 2024.

RAMOS-ESCUDERO, F. et al. Colour, fatty acids, bioactive compounds, and total antioxidant capacity in commercial cocoa beans (*Theobroma cacao* L.). *LWT - Food Science and Technology*, v. 147, Article 111629, 2021. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111629

ROCHA, Gustavo Henrique Amaral Monteiro et al. Caracterização das cascas de nibs de cacau e avaliação dos compostos orgânicos voláteis por cromatografia gasosa. 2023.

ROSSIN, Daniela et al. Protective Effect of Cocoa Bean Shell against Intestinal Damage: An Example of Byproduct Valorization. *Antioxidants*, v. 10, n. 2, p. 280, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.3390/antiox10020280. Acesso em: 5 jan. 2025.

SARQUES, Jessanna Dias; SILVA, Luíz Guilherme Malaquias da; GARCIA, José Antônio Dias; VILAS BOAS, Brígida Monteiro; NACHTIGALL, Aline Manke. Physical-chemical characteristics of gluten-free cookies, chocolate flavor, made with cocoa bran, rice flour and corn starch. *Observatório Latinoamericano*, v. 4, n. 2, p. 1-14, 2023. Disponível em: https://ojs.observatoriolatinoamericano.com/ojs/index.php/olel/article/view/3193. Acesso em: 5 jan. 2025.

SEMAGRI. Implantação de Unidades de Observação com diferentes arranjos produtivos de cacau no município de Paragominas-Pará. Fundo de desenvolvimento de cacauicultura do estado do Pará Funcacau. Secretária de desenvolvimento Agropecuário e Pesca do Pará, 2021.

SILVA, Luce Alves da et al. Diferentes aplicações do farelo de cacau (*Theobroma cacao* L.) no desenvolvimento de produtos alimentícios. In: Anais do Congresso Nacional de Alimentos e Nutrição. Anais...Ouro Preto (MG), Edição on-line, 2021.

VELOSO, Maria Cecília Ramos de Araújo. Valorização do resíduo do processamento do cacau para usos múltiplos: compósitos. 2020. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Materiais) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2020.