



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA E ALIMENTOS
CURSO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS

Ana Carolina Gonçalves Niehues

**UMA REVISÃO SOBRE A CADEIA DE PROCESSAMENTO DO CACAU:
ALTERNATIVAS PARA UMA INDÚSTRIA MAIS SUSTENTÁVEL**

Florianópolis

2023

Ana Carolina Gonçalves Niehues

**UMA REVISÃO SOBRE A CADEIA DE PROCESSAMENTO DO CACAU:
ALTERNATIVAS PARA UMA INDÚSTRIA MAIS SUSTENTÁVEL**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Engenharia de Alimentos do Centro ou Campus de Florianópolis da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharela em Engenharia de Alimentos.

Orientador(a): Prof. Germán Ayala Valência

Ficha de identificação da obra elaborada pela autora, por meio do Programa de Geração Automática da
Biblioteca Universitária da UFSC.

Niehues, Ana Carolina Gonçalves

UMA REVISÃO SOBRE A CADEIA DE PROCESSAMENTO DO CACAU:
ALTERNATIVAS PARA UMA INDÚSTRIA MAIS SUSTENTÁVEL / Ana Carolina
Gonçalves Niehues ; orientador, Germán Ayala Valência, 2023.
58 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade
Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em
Engenharia de Alimentos, Florianópolis, 2023.

Inclui referências.

1. Engenharia de Alimentos. 2. Cacau. 3. Resíduos. 4. Mel de
Cacau. 5. Casca de cacau. I. Valência, Germán Ayala . II.
Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia
de Alimentos. III. Título.

Ana Carolina Gonçalves Niehues

**UMA REVISÃO SOBRE A CADEIA DE PROCESSAMENTO DO CACAU:
ALTERNATIVAS PARA UMA INDÚSTRIA MAIS SUSTENTÁVEL**

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharela em Engenharia de Alimentos e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia de Alimentos.

Florianópolis, 08 de dezembro de 2023.

Prof. Marco Di Luccio, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Germán Ayala Valência, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Marcelo Lanza, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Marcel Bueno, MSc.
Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado aos meus pais, pelo amor e apoio incondicionais.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer ao meu orientador, prof. Dr. Germán Ayala Valência, que foi paciente e solícito ao meu processo. Também agradeço à banca, por aceitarem o convite de avaliar este trabalho.

À UFSC por ter me possibilitado o acesso de forma gratuita a uma educação excelente, a todos os professores do Departamento de Engenharia Química e de Alimentos (EQA) e a todos os servidores que transformam essa universidade em tudo que ela é.

A minha mãe Maria e meu pai Vilson, que me ensinaram desde pequena o valor da educação e que sempre fizeram o possível e o impossível para me dar oportunidades.

Aos meus amigos, que foram a minha família quando a minha não estava por perto.

Por fim, gostaria de agradecer a minha companheira Rafaela, principalmente por não ter me deixado desistir. Mas também por todo o amor, suporte e orientação que tornaram este trabalho possível.

RESUMO

O cacau é uma das *commodities* agrícolas mais importantes do mundo, sendo a matéria-prima do chocolate. Esta fruta é principalmente cultivada na África, Sudeste Asiático e América Latina. Desta última região, o Brasil destaca-se pela sua produção. Durante o processamento do fruto do cacau, aproximadamente 70-80% do fruto é descartado como biomassa residual, incluindo cascas de vagem e suco de cacau. Esses resíduos são frequentemente descartados sem tratamento adequado, resultando em odores desagradáveis, doenças nas plantas e ocupação extensiva de áreas, gerando preocupações sociais e ambientais. A busca por inovações no aproveitamento desses resíduos é crucial para os países produtores; assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o estado da arte do processo produtivo do cacau, buscando oportunidades de aplicação de resíduos a fim de agregar valor na cadeia produtiva. Como metodologia, na análise de literatura foram utilizadas as bases de dados: Scopus (SCOPUS, 2023), SciELO (SCIELO, 2023), e o portal de Periódicos Capes (CAPES, 2023). A estratégia de busca foi elaborada cuidadosamente, incorporando termos específicos relacionados aos principais resíduos na indústria do cacau, como “cocoa honey”, “cocoa pod husk”, “cocoa sweating” e “cocoa residue”, visando identificar estudos que exploram práticas sustentáveis e inovadoras para estes subprodutos. Estabeleceram-se critérios claros para inclusão e exclusão de artigos, priorizando a relevância, atualidade e qualidade metodológica. A seleção de estudos envolveu uma triagem considerando títulos, resumos e conteúdo completo para garantir a escolha dos artigos mais pertinentes. A partir da análise da literatura, pode-se concluir que o mel de cacau e a casca de cacau são os principais resíduos gerados durante o beneficiamento do cacau. Estes resíduos podem ser aplicados na indústria alimentícia, diretamente no desenvolvimento de novos produtos, como bebidas provenientes do mel de cacau, biofertilizantes, na extração de pectina ou em aplicações mais sofisticadas, como a utilização da casca de cacau para a produção de bioetanol, biogás, biofilmes e até a produção de ácidos orgânicos, como o ácido propiônico. Destaca-se também a criação de novos produtos funcionais e nutracêuticos a partir desses resíduos, buscando não apenas minimizar o impacto ambiental, mas também transformar esses subprodutos em valiosas matérias-primas para diversas aplicações.

Palavras-chave: Cacau; Resíduos; Mel de Cacau; Casca de cacau.

ABSTRACT

Cocoa is one of the world's most important agricultural commodities, serving as the raw material for chocolate. Primarily cultivated in Africa, Southeast Asia, and Latin America, Brazil stands out for its production in the latter region. However, during cocoa fruit processing, approximately 70-80% of the fruit is discarded as residual biomass, including cocoa pod husks and juice. These waste materials are often improperly disposed of, leading to unpleasant odors, plant diseases, and extensive land use, raising social and environmental concerns. The quest for innovations in utilizing these residues is crucial for producing countries. Therefore, this study aims to assess the state of the art in cocoa production, exploring opportunities to add value to the production chain through waste application. The literature analysis utilized Scopus (SCOPUS, 2023), SciELO (SCIELO, 2023), and CAPES Periodicals Portal (CAPES, 2023). The search strategy incorporated specific terms related to key cocoa industry residues, such as "cocoa honey," "cocoa pod husk," "cocoa sweating," and "cocoa residue," aiming to identify studies exploring sustainable and innovative practices for these byproducts. Clear criteria for article inclusion and exclusion were established, prioritizing relevance, timeliness, and methodological quality. The study selection involved screening titles, abstracts, and full content to ensure the choice of the most relevant articles. From the literature analysis, it can be concluded that cocoa honey and cocoa pod husk are the main residues generated during cocoa processing. These residues can be applied in the food industry, directly in the development of new products such as beverages from cocoa honey, biofertilizers, pectin extraction, or more sophisticated applications, such as using cocoa pod husk for bioethanol and biogas production, biofilms, and even the production of organic acids like propionic acid. The creation of new functional and nutraceutical products from these residues is also highlighted, aiming not only to minimize environmental impact but also to transform these by-products into valuable raw materials for various applications.

Keywords: Cocoa; Residues; Cocoa honey; Cocoa pod husk.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Produção brasileira de cacau nos últimos 30 anos, de acordo com os principais estados produtores.....	18
Figura 2: Fruto maduro de cacau tipo forasteiro.....	21
Figura 3: Cadeia de processamento do fruto do cacau com os respectivos produtos e geração de resíduos.....	23
Figura 4: Processo de quebra do cacau.....	25
Figura 5: Fermentação da amêndoa de cacau.....	27
Figura 6: Processo de secagem a) com sol e b) artificial	29
Figura 7: Análise bibliométrica por (a) ano e (b) país.....	32
Figura 8: Tratamentos técnicos aplicados à valorização da casca de cacau.	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características biológicas das principais variedades de cacau.....	21
Tabela 2: Composição química do mel de cacau, segundo alguns autores.....	34
Tabela 3: Composição química da casca de cacau segundo diferentes autores.....	36
Tabela 4: Composição mineral da casca de cacau segundo diferentes autores.....	37
Tabela 5: Patentes relacionadas a aplicações do mel de cacau.....	39

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	14
2.1	OBJETIVO GERAL	14
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3	METODOLOGIA	15
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
4.1	CONTEXTO HISTÓRICO DA INDÚSTRIA DO CHOCOLATE	16
4.1.1	<i>A indústria do cacau no Brasil</i>	17
4.2	O CACAU COMO MATÉRIA PRIMA: DA FRUTA AO BENEFICIAMENTO	20
4.2.1	<i>Morfologia e características do cacau</i>	20
4.2.2	<i>Produção e beneficiamento do cacau</i>	22
4.3	OS PRINCIPAIS RESÍDUOS DA INDÚSTRIA DO CACAU	30
4.3.1	<i>Cocoa Honey: o “mel” de cacau</i>	33
4.3.2	<i>Cocoa Pod Husk: a casca do cacau</i>	35
4.4	A TRANSFORMAÇÃO DOS RESÍDUOS DO PROCESSAMENTO DE CACAU EM SUBPRODUTOS	37
4.4.1	<i>O potencial do mel de cacau na indústria alimentícia</i>	37
4.4.2	<i>Prospecção da casca de cacau: estratégias de valorização</i>	40
5	CONCLUSÕES	48
	REFERÊNCIAS	49

INTRODUÇÃO

O chocolate tem sua origem nas sementes do cacau, fruta obtida do cacauzeiro, o *Theobroma cacao*. O primeiro registro botânico do cacau se deu no início do século XVII por Charles de L'Écluse, como *Cacao fructus*. Mais tarde, em 1737, o botânico sueco Carolus Linneu descreveu o cacau como *Theobroma fructus*. Todavia, em 1753, o nome *Theobroma cacao* foi proposto pelo próprio Linneu (DE SOUZA et al., 2018). A palavra *Theobroma* significa alimento dos deuses e é inspirada na crença mesoamericana da origem divina do cacauzeiro. O termo cacau deriva da palavra *cacahuatl* do idioma nahuatl, falado pela civilização maia (AFOAKWA, 2016).

O cacau é uma das *commodities* agrícolas mais importantes do mundo e, de acordo com a Organização Internacional do Cacau (ICCO), a produção de cacau é estimada em mais de 10 milhões de hectares, suportando mais de 60 milhões de famílias ao redor do mundo. Essa produção tem sua concentração na África, América Latina e Sudeste Asiático, com destaque ao país africano Costa do Marfim que, sozinho, é responsável por 44% da rede global de exportação, seguido de Gana e Equador com 14% e 8% respectivamente (ICCO, 2022).

Dos países da América Latina, temos o Brasil como o segundo maior representante da produção, atrás apenas do Equador. Apesar do volume de produção ainda precisar de atenção quando pensamos no tamanho do Brasil, Fowler indica que a fruta tem sua origem nas matas da Amazônia (FOWLER; COUTEL, 2017). Foi apenas em 1528 que o cacau foi levado à Europa, onde se espalhou por todos os cantos do continente na forma de uma bebida amarga. Em 1848, teve sua produção evoluída para o chocolate como é conhecido atualmente e, deste então, teve seu consumo evoluído exponencialmente (DHOEDT, 2008).

Em 2022, o mercado global de cacau alcançou um valor de cerca de USD 14,5 bilhões. Projeta-se que este mercado cresça a uma taxa de crescimento anual de 4,7% no período de 2023 a 2028, atingindo um valor de USD 19,1 bilhões até 2028 (EMR, 2023). Tal projeção é feita devido ao aumento da produção em países asiáticos e ao crescimento da demanda por produtos *premium*, formulados a partir do cacau. No entanto, a indústria do cacau se depara com desafios na busca por métodos sustentáveis para aumentar a produção, ao mesmo tempo em que atende às demandas da sociedade contemporânea (EMR, 2023).

Durante a fase inicial do processamento do cacau, os agricultores descartam aproximadamente 70-80% do fruto como biomassa residual, incluindo cascas de vagem de cacau, cascas dos grãos de cacau e sucos de cacau. O descarte desses resíduos ocorre sem o devido tratamento, resultando em odores desagradáveis, propagação de doenças nas plantas e ocupação extensiva de terras, o que levanta preocupações sociais e ambientais. Desenvolver inovações para a utilização desses resíduos é crucial para os países produtores (GUIRLANDA; DA SILVA; TAKAHASHI, 2021).

Nesse contexto, diversas pesquisas têm investigado a valorização dos subprodutos do cacau, envolvendo a extração de componentes comuns na indústria e a geração de bioenergia e biomoléculas de alto valor agregado, com potencial aplicação nas indústrias de alimentos, farmacêutica e cosmética. Assim, se destaca a importância para buscar formas de alcançar o nível de produção projetado com iniciativas de inovação para reduzir o impacto social e ecológico da produção. Desde novas certificações, garantindo a segurança e a qualidade de vida dos produtores, até pesquisas encontrando novas formas de utilizar os resíduos gerados pela produção que contam com o descarte de aproximadamente por 80% da fruta (GUIRLANDA; DA SILVA; TAKAHASHI, 2021; VÁSQUEZ et al., 2019).

OBJETIVOS

OBJETIVO GERAL

Avaliar o estado da arte do processo produtivo do cacau, buscando oportunidades de aplicação de resíduos a fim de agregar valor na cadeia produtiva.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Revisar o processo produtivo da indústria de cacau;
- Investigar os resíduos gerados na indústria de cacau;
- Realizar o levantamento de inovações e oportunidades para minimizar os impactos avaliados.

METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho foi estruturada de forma abrangente para fornecer uma análise detalhada e atualizada dos processos e das aplicações de resíduos da indústria do cacau. Inicialmente, definiu-se o escopo da revisão, delineando os principais temas a serem abordados; dentre os resíduos, foram escolhidos como foco os de maior impacto nesta cadeia, o mel de cacau e casca de cacau.

Para garantir uma busca abrangente, foram selecionadas bases de dados relevantes, com destaque à utilização das bases Scopus (SCOPUS, 2023), SciELO (SCIELO, 2023), e o portal de Periódicos Capes (CAPES, 2023).

A estratégia de busca foi elaborada cuidadosamente, incorporando termos específicos relacionados aos resíduos na indústria do cacau, como *cocoa honey*, *cocoa pod husk*, *cocoa sweating* e *cocoa residue*, visando identificar estudos que exploram práticas sustentáveis e inovadoras nesse setor. Os critérios utilizados na seleção dos artigos foram estabelecidos com ênfase na sua relevância (considerando fator de impacto e reputação da revista), atualidade (publicações de 2010 a 2023) e qualidade metodológica (avaliando a rigorosidade e robustez dos métodos empregados). A seleção de estudos envolveu uma triagem considerando títulos, resumos e conteúdo completo para garantir a escolha dos artigos mais pertinentes.

A síntese e organização dos resultados foram realizadas de forma temática, proporcionando uma visão clara e lógica do panorama atual da aplicação de resíduos na indústria do cacau. A redação da revisão seguiu uma estrutura envolvendo o contexto histórico da indústria do cacau, a descrição do processo de obtenção e beneficiamento desta matéria prima e enfim a caracterização dos seus principais resíduos e suas possíveis aplicações.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

CONTEXTO HISTÓRICO DA INDÚSTRIA DO CHOCOLATE

O *Theobroma Cacao* é uma espécie nativa das florestas da América do Sul, tendo como centro de diversidade genética a região da bacia amazônica. A palavra cacau é derivada de línguas maias e o termo cacahuatl, termo de origem da palavra chocolate, é derivado dos astecas. Purdy e Schmidt (PURDY; SCHMIDT, 1996) relatam que os maias cultivam a planta desde 2000-4000 anos antes do contato com os espanhóis. E eles utilizavam a fruta tanto como moeda quanto como base para uma bebida amarga.

Todavia, foi apenas em 1737 que o botânico sueco Carolus Linnaeus nomeou o cacau de *Theobroma cacao*, da palavra grega “ambrosia” que remete aos alimentos dos deuses. Marcando as lendas antigas do cacau como um alimento divino (DE SOUZA et al., 2018). Na década de 1520, o espanhol Hernandos Cortés levou a bebida *chocolatl*, originada do cacau, para a Espanha e as técnicas de cultivo para Guiné (AFOAKWA, 2016), tendo ali lançado a fundação das futuras economias de muitos países da África Ocidental, que hoje produzem cerca de 73% do cacau mundial (ICCO, 2015).

Devido ao alto custo da bebida de chocolate, inicialmente esta era reservada para consumo pelas classes sociais mais altas. Somente no século XVII o consumo de chocolate começou a se popularizar em toda a Europa. Por volta de 1580 ela já era popular na Espanha, tendo navios regulares carregando a mercadoria da América. Menos de um século depois, a bebida já circulava pela Itália, França, Alemanha e Grã-Bretanha, com produção em larga escala na América Central (FOWLER; COUTEL, 2017).

No século XVIII, o chocolate ainda era consumido em sua forma líquida e era majoritariamente vendido como blocos prensados de uma massa granulosa que eram então dissolvidos em água ou leite para formar uma bebida de chocolate espumosa. Em 1728, foi fundada a primeira fábrica de chocolates, quando a família britânica Fry passou a produzir a massa em larga escala. Na fábrica, eram usados equipamentos hidráulicos para moer os grãos de cacau. Algumas décadas depois nasce a primeira fábrica dos Estados Unidos, construída pelo Dr. James Baker, nos

arredores de Boston. E em 1778 o francês Doret é o responsável por construir o primeiro moedor de cacau (DHOEDT, 2008).

Foi apenas em 1828 que o chocolate foi revolucionado pelo Coenraad Van Houtenc, que inventou uma prensa de cacau que conseguia separar os sólidos do cacau da manteiga de cacau com o objetivo de facilitar a diluição do cacau, considerando que o pó desengordurado dissolve em água ou outros líquidos muito mais facilmente. Essa invenção foi primordial para que em 1848 fosse desenvolvido, pela primeira vez, um chocolate da forma que conhecemos, produzido a partir da manteiga de cacau, licor de cacau e açúcar (DHOEDT, 2008).

Com o surgimento do novo produto, a demanda por chocolate cresceu rapidamente, exigindo métodos de produção mais mecanizados para atender às necessidades. Em 1876, Daniel Peters teve a ideia de adicionar leite em pó (que havia sido desenvolvido alguns anos antes por Henri Nestlé) à receita, criando assim o primeiro chocolate ao leite do mundo. Pouco depois, em 1880, Rudolphe Lindt inventou a máquina de conchagem, responsável pela textura cremosa que hoje é associada a um bom chocolate (AFOAKWA, 2016).

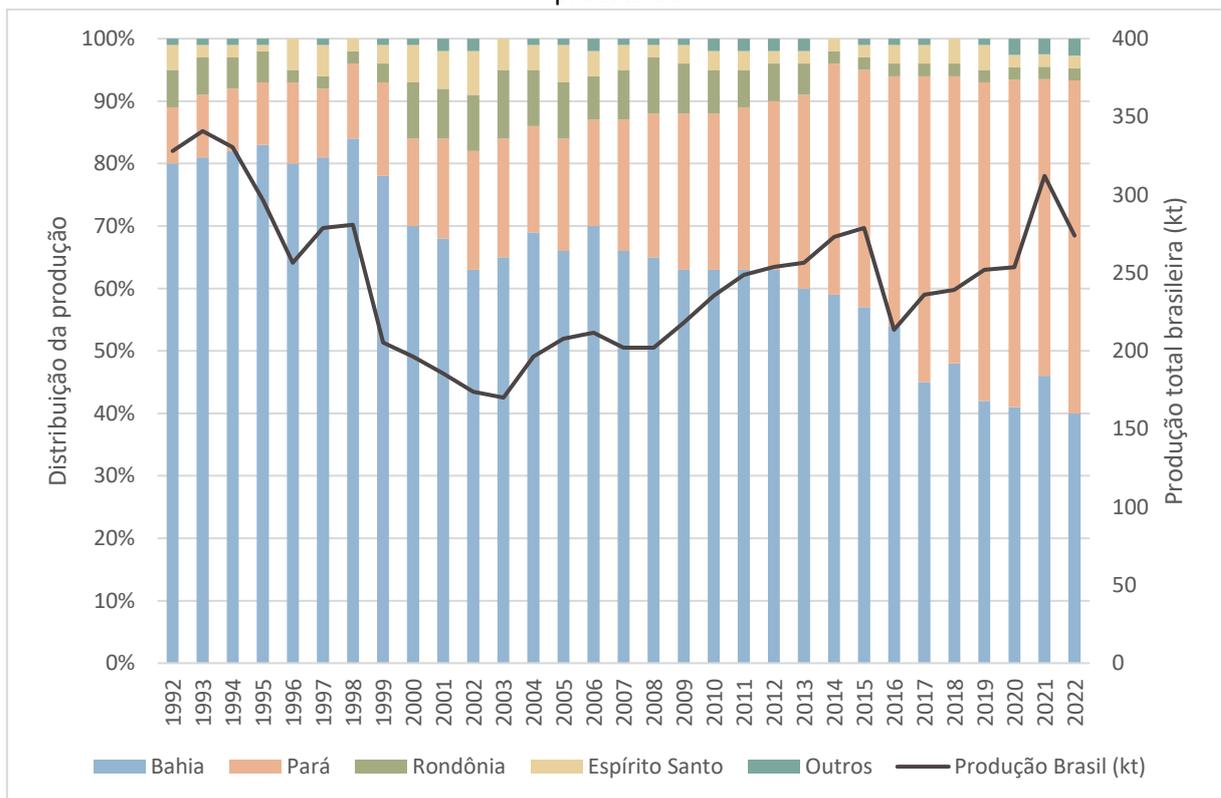
Entretanto, o chocolate ainda era um produto bastante exclusivo, no entanto, e foi somente em 1900, quando o preço dos dois principais ingredientes, cacau e açúcar, diminuiu consideravelmente, que o chocolate se tornou acessível à classe média. Entre os anos 1930 e 1940, existiu uma revolução nos processos de produção, com inovações e técnicas mais eficientes desenvolvidos a partir de diversas pesquisas por empresas europeias e americanas. Isso tornou, finalmente, o chocolate acessível para a população geral. Atualmente, o chocolate está presente em todos os aspectos do cotidiano, com uma média de consumo de cerca de 8 kg por pessoa ao ano em muitos países europeus (AFOAKWA, 2016).

1.1.1 A indústria do cacau no Brasil

Foram produzidas aproximadamente 4,834 milhões de toneladas de cacau em todo o mundo em 2018/19 para atender à demanda por esse produto. Essa quantidade representou um aumento de 3,9% em relação a 2017/18. De acordo com a Organização Internacional do Cacau (ICCO, 2019), atualmente, 85% da produção global de grãos de cacau está concentrada em sete países: Costa do Marfim, Gana, Equador, Camarões, Nigéria, Indonésia e Brasil.

Em contrapartida, o processamento e a industrialização do cacau predominam em regiões que não produzem a fruta, como a Europa (37%) e os Estados Unidos (8%). Algumas das maiores indústrias de chocolate estão localizadas na Europa, nos Estados Unidos e no Japão, mas a produção de cacau fora desses países reduz custos e é uma estratégia para aumentar a valorização de produtos de cacau com sabores refinados e artesanais nos mercados domésticos (GUIRLANDA; DA SILVA; TAKAHASHI, 2021). Ao contrário dos outros principais países produtores de cacau, o Brasil possui uma cadeia de produção bem estabelecida: ele produz a fruta, mantém um parque industrial de processamento de grãos de cacau e fabrica chocolate (CONCEIÇÃO et al., 2020)

Figura 1: Produção brasileira de cacau nos últimos 30 anos, de acordo com os principais estados produtores.



Fonte: Elaborado pela autora.

Por várias décadas, a Bahia foi uma região proeminente na área e produção de cacau. No entanto, a partir de 1990, um declínio significativo começou, afetando tanto a produção (-62,1%) quanto a área plantada (-24,7%) (IBGE, 2023). Essa queda foi atribuída a vários fatores, entre os principais fatores endógenos estavam a crise na cacauicultura devido a infestações dos fungos *Crinipellis pernicioso*,

causando a doença vassoura-de-bruxa, e *Phytophthora palmivora*, resultando na podridão parda. Outros fatores incluíam estiagens, descapitalização e endividamento dos produtores de cacau, falta de modernização na produção e falências de empresas do setor. Quanto aos fatores exógenos, destacavam-se a instabilidade macroeconômica, superprodução de cacau em outros países, queda nos preços do produto e mudanças estruturais no Brasil e no mundo (AGUIAR; PIRES, 2019).

Mais recentemente, uma expansão na produção de cacau impulsionada pela demanda por commodities atingiu o estado do sudeste do Pará (SCHROTH et al., 2016), que atualmente, responde por aproximadamente 53% da produção, enquanto o estado da Bahia representa 40% (Figura 1) (IBGE, 2023).

É importante destacar o papel significativo desempenhado pelo cultivo de cacau na preservação da Mata Atlântica. O Sul da Bahia ostenta uma Indicação Geográfica de procedência para o cacau, que abraça a tradição e a história da produção cabruca de cacau. Este tipo de cultivo ocorre sob a sombra de árvores nativas da Mata Atlântica, contribuindo para a conservação da biodiversidade. A certificação permite aos produtores valorizarem seu trabalho, estimulando um aumento na produtividade e na agregação de valor (SILVA et al., 2020). Além disso, o cacau pode ser cultivado em sistemas agroflorestais, possibilitando sua produção em outros biomas.

Em setembro de 2019, o Brasil recebeu o reconhecimento da Organização Internacional do Cacau (OIC) como um país exportador exclusivo de cacau fino e de aroma, caracterizado por apresentar sabores distintos, como frutados, florais e amadeirados. Essa certificação, concedida pela OIC, leva em consideração as características genéticas (origem), o *terroir* (local) e o tratamento pós-colheita das amêndoas. Embora o cacau fino e de aroma represente menos de 5% do total comercializado globalmente, seu preço é substancialmente mais elevado em comparação com o cacau comum negociado na bolsa de valores, podendo custar até três vezes mais do que o cacau a granel (MAPA, 2019).

A expectativa associada a essa certificação é a instauração de um novo ciclo na cadeia produtiva do cacau. Os produtores são motivados a oferecer amêndoas de alta qualidade, despertando o interesse do mercado internacional no cacau proveniente da Mata Atlântica e da Amazônia. Com isso, prevê-se a obtenção de melhores preços para o produto, impulsionando a renda dos produtores e

proporcionando recursos para a modernização da produção, resultando em um aumento significativo da produtividade do cacau.

O CACAU COMO MATÉRIA PRIMA: DA FRUTA AO BENEFICIAMENTO

1.1.2 Morfologia e características do cacau

O cacauzeiro é uma árvore de 4 a 8 metros de altura, de caule reto, madeira leve e casca fina. Os frutos atingem entre 15 e 25 cm de comprimento, contendo de 30 a 50 sementes embebidas em uma camada de polpa mucilaginosa. Existem diversas variedades de *T. Cacao*, mas os mais conhecidos e amplamente utilizados na produção de chocolate são o cacau Criollo, o cacau Forastero e o cacau Trinitário.

Inicialmente cultivado na América Central, o cacau Criollo gradualmente se espalhou para regiões como Venezuela, Madagascar, Sri Lanka e Samoa. Esta variedade é considerada um dos tipos mais nobres de cacau. Seus grãos são conhecidos por um sabor suave, aroma complexo e notas de sabores florais e frutados. No entanto, as árvores de cacau Criollo são mais sensíveis a doenças e pragas, o que as torna menos produtivas do que outras variedades (WAHYUNI et al., 2021).

O cacau Forastero é uma variedade mais comum e resistente e representa a maior parte da produção mundial de cacau. Ele é conhecido por seu sabor mais amargo e menos distintivo em comparação com o Criollo e o Trinitário. As árvores de cacau Forasteiro tendem a ser mais resistentes a doenças, o que as torna uma escolha popular para a produção em larga escala. A concentração de produção dessa variedade está na África Ocidental, sendo também bastante comum na região da Amazônia (FERREIRA et al., 2013).

Um grupo amplamente valorizado no mercado global de cacau devido ao seu potencial aromático é o tipo Trinitário. Esse grupo se originou de maneira espontânea a partir do cruzamento entre o cacau Criollo e o cacau Forastero, ocorrido naturalmente na ilha de Trinidad, no Caribe, durante o século XVIII. O Trinitário exibe características genéticas que se assemelham aos dois grupos progenitores (FERREIRA et al., 2013).

Além desses principais tipos, existem várias subvariedades e híbridos de cacau que podem oferecer uma ampla gama de sabores e características, dependendo do local de cultivo, das práticas de cultivo e do processamento. A diversidade do cacau é uma das razões pelas quais o chocolate pode ter uma ampla variedade de perfis de sabor, dependendo do tipo de cacau utilizado na sua produção.

Figura 2: Fruto maduro de cacau tipo forasteiro



Fonte: (SANTOS et al., 2015).

As principais diferenças biológicas são apresentadas na Tabela 1. As variedades de Forasteiro formam a maior parte do mercado de cacau a granel. A produção anual de grãos de cacau bate o valor de 4,23 milhões de toneladas, sendo os principais países produtores: Costa do Marfim, Gana, Indonésia, Nigéria, Equador, Camarões, Brasil e Malásia (AFOAKWA, 2016).

Tabela 1: Características biológicas das principais variedades de cacau.

	Criollo	Forastero	Trinitário
Textura da casca	Mole	Dura	Geralmente dura
Cor do fruto imaturo	Rosa	Verde	Variável
Cor do fruto maduro	Laranja	Amarelo ouro	Variável
Sementes por fruto	20 a 30	30 ou mais	30 ou mais
Cor das sementes	Branco, marfim ou violáceo	Violáceo leve a carregado	Branco a Violáceo

Fonte: elaborado pela autora.

Para se desenvolver, a planta precisa de climas quentes e úmidos, com chuvas regulares compreendendo uma precipitação anual de 1500 a 2000 mm. O solo deve ser profundo e fértil, o que traz um acréscimo nas chances de desenvolvimento de fungos e pragas (FERREIRA et al., 2013).

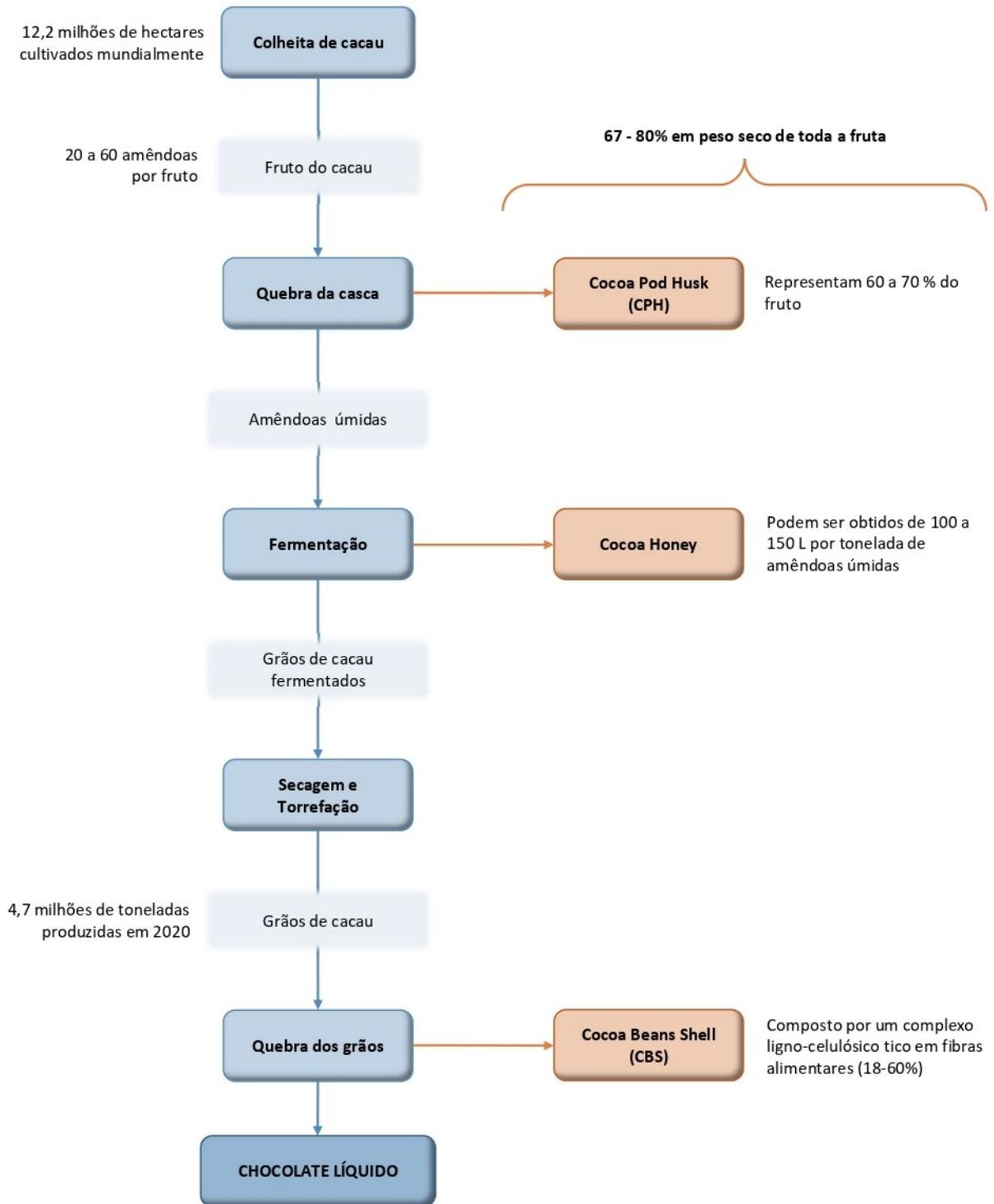
As sementes são constituídas por um gérmen e dois cotilédones, envolvidos pelo tegumento. É a partir dos cotilédones que será desenvolvido o chocolate, por conta disso, essa é a parte da planta de maior valor agregado. Eles são constituídos por dois tipos de células parenquimatosas de armazenamento: células polifenólicas e células lipoproteicas (BATALHA; ALMEIDA, 2010).

1.1.3 Produção e beneficiamento do cacau

O sabor, como um dos atributos sensoriais do chocolate, desempenha um papel fundamental na aceitação pelo consumidor e nas demandas do mercado. A distinção de sabor dos grãos de cacau, juntamente com os tratamentos pós-colheita e as técnicas de processamento, são fatores críticos que influenciam o sabor final dos produtos de cacau (WAHYUNI et al., 2021).

Esses sabores de chocolate são moldados não apenas pela variedade do cacau utilizado, mas também pelos tratamentos pós-colheita e pelas etapas de fabricação. A fermentação dos grãos de cacau representa o primeiro passo essencial no tratamento pós-colheita, desempenhando um papel crucial na formação dos precursores do sabor. Em seguida, os compostos de sabor do chocolate se desenvolvem durante os processos de torrefação e conchagem, como parte integrante das etapas de fabricação (AFOAKWA et al., 2008). A Figura 3 apresenta as principais etapas no processo de beneficiamento do cacau, que serão detalhadas nos próximos tópicos.

Figura 3: Cadeia de processamento do fruto do cacau com os respectivos produtos e geração de resíduos



Fonte: Adaptado de Vandenberghe et al., 2022.

1.1.3.1 Colheita

O *T. cacao* normalmente começa a produzir frutas após 3 anos, atingindo sua produção máxima após 8 a 9 anos. Frutos maduros podem ser encontrados nas árvores de cacau durante todo o ano, embora em alguns países haja duas temporadas de alta produção por ano. Alterações nas condições ambientais podem afetar a colheita, a produtividade e o rendimento da cultura (DI MATTIA et al., 2014; HILL et al., 2009).

O momento da colheita é identificado pela troca na cor do fruto, geralmente de verde ou vermelho para amarelo ou laranja, identificando o amadurecimento o cacau. Eles então são cortados à mão dos troncos utilizando facão, com a técnica e conhecimento do produtor para garantir que não ocorra a injúria da “almofada floral”. Esse termo é utilizado para descrever a área onde ocorrerá a nova floração no ano seguinte, e que nos casos em que ocorre uma ferida acaba por prejudicar a produtividade (BECKETT, 2009).

Como o amadurecimento não é simultâneo para todos os frutos, por isso, é necessária que a colheita ocorra por um período de vários meses em uma frequência de 2 a 4 semanas para evitar perdas para ratos, esquilos e doenças do cacauzeiro (WAHYUNI et al., 2021).

Nessa etapa, a parte mais crítica é a definição do estado de maturação. Isso porque, no momento certo a polpa estará suficientemente liquefeita com um alto teor de açúcares e sementes que se desprendem com facilidade. Quando o estágio de maturação ainda não foi alcançado fica mais difícil a separação das sementes e o estágio posterior de fermentação é afetado. Enquanto no cacau excessivamente maduro ocorre um maior potencial de doenças e podendo ter a presença de sementes germinadas que irão ser perdidas antes mesmo do início do processo de fermentação

1.1.3.2 Quebra

O chamado CPH (*cocoa pod husks*) é a parte externa do fruto (exocarpo) e é áspero, oval e relativamente grosso. Apresenta uma diversidade de cores (dependendo da espécie de cacau), o que promove proteção contra condições ambientais, pragas e danos mecânicos. O CPH é obtido após a retirada dos grãos e

representa 70-80% do peso seco do fruto (NAI, 2010), o que implica em uma ampla área para seu descarte e um sério desafio na gestão de resíduos.

O CPH tem uma composição rica em lignina, polissacarídeos não amiláceos (celulose, hemiceluloses e pectina), terpenóides (crisoplenol), flavonóides derivados de canferol, ramnetina), ácidos fenólicos e carboxílicos (protocatecuicos ácido salicílico, ácido cítrico e ácido tartárico) e alguns aminoácidos livres (glutamina, asparaginas, serina e lisina). Muitos agricultores optam por descartar essa biomassa no solo ou queimá-la (ADOMAKO, 1972; DONKOH et al., 1991; VÁSQUEZ et al., 2019).

Figura 4: Processo de quebra do cacau.



Fonte: Ferreira et al., 2013.

Com o fruto em mãos, é necessária fazer a quebra para separar as sementes da polpa e da casca. Essa etapa também costuma ser feita manualmente, e com cuidado para não danificar os grãos. Cada cacau apresenta cerca de 30 a 50 sementes presas à um núcleo central. Os grãos são ovais (ou em forma de amêndoa) e cobertos por uma polpa branca mucilaginosa doce. Por fim eles são separados e retirados do núcleo (BECKETT, 2009; NAI, 2010).

Nesta operação são retiradas as cascas, sendo esta representante de cerca de 70% da fruta em peso seco; e o principal resíduo da indústria de chocolate. Esse

resíduo possui grandes variedades nutricionais e é uma grande perda por ser, em maioria, descartados (NAI, 2010).

Também é comum que sementes imaturas, muito maduras, danificadas por insetos e as doentes sejam separadas das restantes, pois elas podem contribuir para reduzir a qualidade do cacau exportado, gerando mais um subproduto que é tradicionalmente descartado. No entanto, estas sementes podem ser fermentadas separadamente originando um cacau comercial de qualidade inferior (BATALHA; ALMEIDA, 2010).

1.1.3.3 *Fermentação*

A etapa de fermentação tem como objetivo remover a polpa que envolve as sementes, além de ser responsável por formar os compostos que vão dar o sabor e o aroma característico do chocolate posteriormente. Nela, ocorrem modificações químicas e bioquímicas nos cotilédones (BATALHA; ALMEIDA, 2010).

Esse processo começa com essa polpa de proteção das sementes se tornando um líquido mucilaginoso, também conhecido como “mel de cacau”. Esse líquido tem como características ser rico em açúcares e compostos bioativos além de possuir um sabor agridoce (GUIRLANDA; DA SILVA; TAKAHASHI, 2021). O material residual que fica nas sementes é rico em carboidratos, sendo assim um ótimo substrato para o desenvolvimento dos microrganismos responsáveis pela fermentação (SILVA et al., 2014).

O processo de fermentação pode ser dividido em três fases. A primeira etapa acontece entre as primeiras 24 e 36 h de processo e ocorre com um pH abaixo de 4,0 e em condições anaeróbicas (SCHWAN; WHEALS, 2010). Essa etapa começa um aumento na concentração de ácido acético e álcool e posteriormente com o controle de temperatura da massa de cacau para que esta não saia do intervalo entre 45 °C e 50 °C, favorecendo assim a ação enzimática. Ao final dessa etapa é possível denominar a semente de amêndoa de cacau (SILVA; MARQUES; REZENDE, 2022).

Figura 5: Fermentação da amêndoa de cacau.



Fonte: Ferreira et al., 2013 e o banco público de imagens Freepik.

A segunda etapa começa com o desenvolvimento de bactérias lácticas que se tornam dominantes entre 48h e 96h. O novo grupo de microrganismos passa a converter os açúcares e ácidos orgânicos presentes em ácido láctico. Por volta do terceiro dia, ocorre uma difusão dos conteúdos celulares, começando então as transformações de sabor, aroma e cor da matéria (SILVA; MARQUES; REZENDE, 2022).

Por fim, na terceira fase ocorre a ação das bactérias acéticas que são as responsáveis por converter o álcool em ácido acético. O tegumento passa a ser permeável, facilitando a ação das enzimas. Caso o processo seja feito da forma correta, nessa etapa também ocorre a oxidação dos polifenóis que vão ocasionar na redução da adstringência e do amargor da amêndoa (SILVA; MARQUES; REZENDE, 2022).

Existem diversas formas de fermentar o cacau. Como, por exemplo, de forma empilhada, em cochos, em caixas de isopor ou plástico ou até mesmo em bandejas. De acordo com (FERREIRA et al., 2013), a forma mais tradicional de se fermentar o cacau no sul da Bahia é utilizando cochos quadrados de madeira, forrados internamente com folhas de bananeira. Importante destacar que existem características do cocho que necessitam de cuidado na hora da escolha, como a dimensão da caixa e o tipo da madeira que deve ser seca, não porosa e que não transfira odores para a massa de cacau (SILVA; MARQUES; REZENDE, 2022).

1.1.3.4 *Secagem*

Após a fermentação, é necessária que seja feita a secagem do grão imediatamente para reduzir a perda de massa e prevenir o apodrecimento. Essas perdas podem ocorrer por conta das atividades microbiológicas, especialmente mofo (NDUKWU, 2009). O objetivo da secagem é reduzir a umidade da semente para um máximo de 8%, conseguindo assim garantir uma boa conservação do produto, e continuar a etapa de fermentação iniciada anteriormente (BATALHA; ALMEIDA, 2010).

Juntamente com a etapa de fermentação, a secagem constitui uma das operações unitárias-chaves para os produtores. Uma vez que esta operação impacta diretamente na qualidade dos grãos de cacau e conseqüentemente de seus subprodutos. Nesta etapa, existem três pontos críticos de controle: o método de secagem, a temperatura usada e a duração do processo (NDUKWU, 2009).

Durante a secagem, a semente é aquecida e a atividade de água é reduzida devido à redução na umidade. Essa etapa é considerada concluída quando a umidade em base seca alcançar um valor entre 5 e 8% (DZELAGHA; NGWA; BUP, 2020). Existem duas formas de secagem mais usadas. A primeira é a secagem com sol. Nela, as sementes são espalhadas no chão ou em plataformas em algum local com alcance direto dos raios de sol. Esses grãos são mexidos manualmente com uma certa frequência para garantir a secagem uniforme. Entretanto, quando as condições não são adequadas, é utilizada alguma forma de secagem artificial (NDUKWU, 2009).

Secagem artificial consiste basicamente em um motor com ventilador e aquecimento. Quando o ar ventilado é aquecido, a taxa de secagem aumenta proporcionalmente ao valor da temperatura utilizada. Apesar de ser uma forma prática para épocas de chuva, que impedem a utilização da secagem natural, a secagem artificial é arriscada por ter um difícil controle, sendo fácil acontecer do grão secar demais ou muito rápido, fatores que impactam na qualidade do mesmo.

Figura 6: Processo de secagem a) com sol e b) artificial



Fonte: Ferreira et al., 2013.

Quando os grãos de cacau são secos em excesso, eles perdem massa e isso resulta em um aumento significativo no consumo de energia. Por outro lado, uma secagem muito rápida impede que os processos químicos iniciados durante a fermentação sejam concluídos. Por esse motivo, é essencial realizar estudos e controlar cuidadosamente o tempo e a temperatura no processo de secagem do cacau (NDUKWU, 2009).

Na fermentação e posteriormente na secagem, ocorrem reações químicas que vão modificando o cotilédone e gerando o precursor de sabor característico do chocolate, além do desenvolvimento da cor marrom torrado. O processo de secagem dura de 7 a 8 dias quando no sol. Durante o processo, a maior parte das reações de oxidação de polifenol são catalisadas por polifenol oxidases, originando os novos componentes de sabor e a perda da integridade da membrana o que acarreta o surgimento da cor marrom. O uso da secagem artificial pode aumentar as temperaturas do cotilédone, causando o endurecimento da semente. Isso acarreta a perda de ácidos voláteis, que vão impactar negativamente no sabor final do chocolate produzido (AFOAKWA, 2016).

Para o armazenamento e transporte bem-sucedidos, a umidade dos grãos de cacau deve ser mantida abaixo de 8%, a fim de evitar o desenvolvimento de mofo. Alguns indicadores de que o processo de secagem foi eficaz incluem a observação de uma coloração marrom nos grãos de cacau, uma baixa adstringência e acidez, bem como a ausência de sabores indesejados, como notas defumadas e acidez excessiva (AFOAKWA, 2016).

Por fim, um processo de limpeza é realizado para eliminar quaisquer resíduos ou impurezas da matéria-prima. Em seguida, os grãos de cacau são

armazenados em sacos que atendem aos requisitos de qualidade alimentar. Posteriormente, esses grãos, agora prontos e conhecidos como cacau comercial, são exportados para diversos mercados e usos (AFOAKWA, 2016).

OS PRINCIPAIS RESÍDUOS DA INDÚSTRIA DO CACAU

Com o aumento progressivo na demanda global por cacau e chocolate, a indústria tem um grande desafio de melhorar a produção e sustentabilidade desta cadeia. Durante o processo inicial de processamento do cacau, os agricultores descartam cerca de 70-80% do fruto como biomassa residual, incluindo cascas de vagem de cacau, cascas de grãos de cacau e sucos de cacau. O descarte desses resíduos é feito sem tratamento adequado, resultando em odores desagradáveis, doenças nas plantas e ocupação de grandes áreas, o que gera preocupações sociais e ambientais. O desenvolvimento de inovações para o uso destes resíduos é de grande importância para os países produtores (GUIRLANDA; DA SILVA; TAKAHASHI, 2021).

Além dos desafios econômicos globais na década de 2020, as mudanças climáticas podem causar uma drástica redução na produção de cacau na África Ocidental, uma região que representa cerca de 70% da produção global de cacau. Conforme destacado por (VIGNATI; GÓMEZ-GARCÍA, 2020), é fundamental empreender esforços para enfrentar obstáculos como a baixa produtividade, as alterações climáticas e a segurança alimentar na produção de cacau na América Latina, visando aprimorar os padrões de qualidade e a diversidade de sabores, com um compromisso ambiental (GUIRLANDA; DA SILVA; TAKAHASHI, 2021).

O interesse e a utilização dos resíduos de cacau têm experimentado um aumento constante. Esses subprodutos, incluindo o mel de cacau e as cascas de cacau (CPH), têm sido objeto de exploração comercial e industrial por meio de pesquisas e desenvolvimento de patentes, aproveitando sua composição. Atualmente, as CPH estão sendo comercializadas, alcançando um volume de 221 mil toneladas exportadas, representando cerca de 206 milhões de dólares em 2019. Os principais protagonistas desse mercado são a Costa do Marfim (46%), os Países Baixos (18%) e a Alemanha (13%). Na realidade, os principais países importadores de cascas de cacau, cascas de vagem, pele e outros resíduos de cacau (em milhões de dólares) são os Estados Unidos (70,7 milhões), Alemanha (26,8 milhões), França

(9,49 milhões), Indonésia (8,15 milhões) e Países Baixos (8,15 milhões) (VANDENBERGHE et al., 2022).

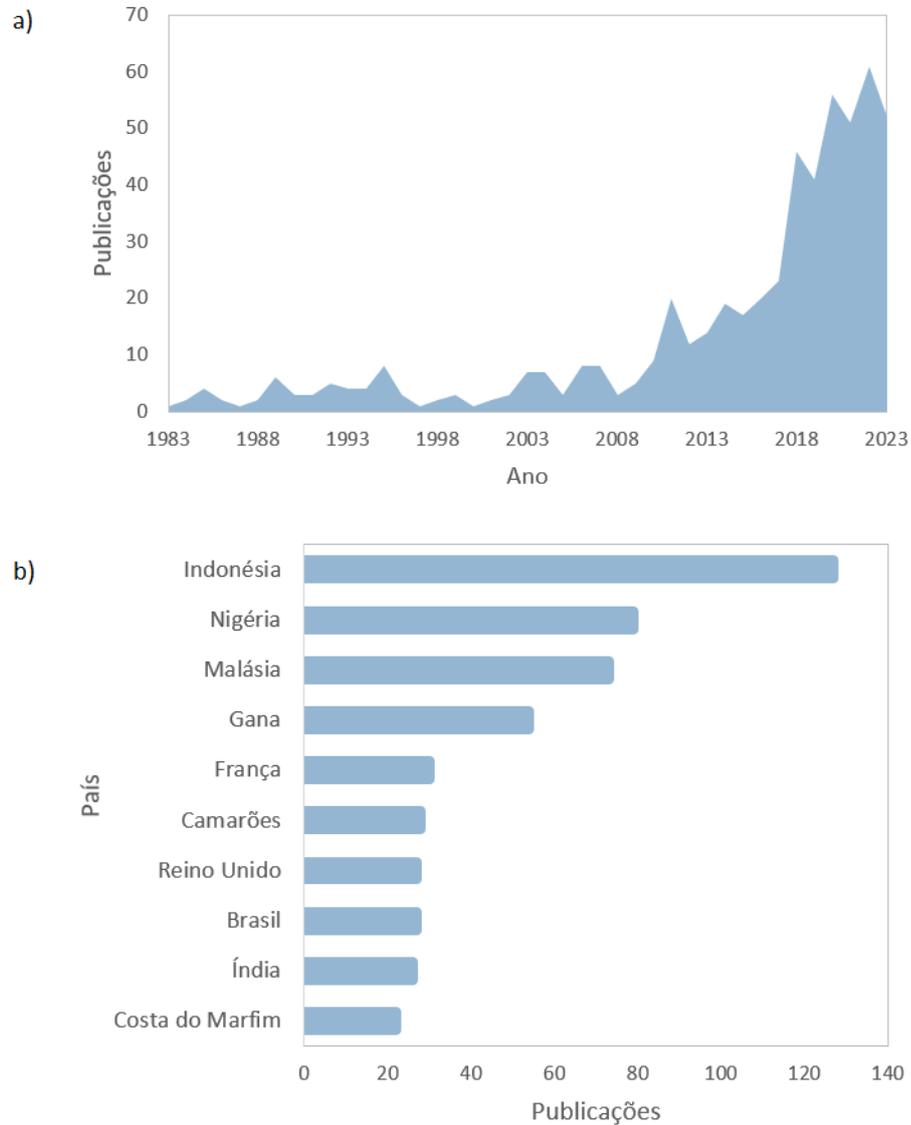
Nesse cenário, várias pesquisas têm explorado a valorização dos subprodutos do cacau, incluindo a extração de componentes comuns na indústria e a produção de bioenergia e biomoléculas de alto valor agregado com potencial aplicação nas indústrias de alimentos, farmacêutica e cosmética. De fato, abordagens biotecnológicas têm se mostrado uma alternativa viável para transformar esses resíduos em produtos de qualidade (VÁSQUEZ et al., 2019).

O aumento de publicações na área de aplicação e utilização de resíduos da indústria do cacau é apresentado na Figura 7, que mostra a análise bibliométrica por ano (a) e por país (b) na área. A literatura encontrada foi selecionada usando os termos TITLE("Cocoa" AND ("honey" OR "sweating" OR "pod" OR "CPH" OR "Residue")) por meio de busca no banco de dados (SCOPUS, 2023).

Alguns poucos artigos foram publicados na década de 1960 e o tema começou a ganhar relevância a partir da década de 2000, período a partir do qual o número de publicações cresceu significativamente, atingindo mais de 60 documentos publicados em 2022. Esses indicadores revelam a forte tendência de busca por destinos mais nobres aos resíduos da indústria do cacau. Entre as origens dos estudos publicados, destacam-se Indonésia, Nigéria, Malásia e Gana, como apresentado na Figura 7(b), sendo estes importantes países produtores de cacau.

Um exemplo do resultado destas pesquisas são as inovações recentes no processo de fermentação do cacau, que resultaram em tempos de produção mais curtos e na melhoria da qualidade do aroma no Equador. Além disso, essas inovações não requerem uma grande quantidade de mucilagem para iniciar a fermentação, o que resulta em um aumento na quantidade de subproduto disponível para descarte. Algumas pequenas empresas estão utilizando o mel de cacau (o suco da mucilagem de cacau) de forma artesanal como uma maneira de aumentar a renda dos produtores de médio porte (GINATTA; VIGNATI; GÓMEZ-GARCÍA, 2020).

Figura 7: Análise bibliométrica por (a) ano e (b) país.



Além do mel de cacau, outra iniciativa para valorizar este submercado inclui novas formas de utilização da casca do cacau. Essas cascas são o principal subproduto do processo de produção do cacau sendo responsáveis por até 75% do peso do fruto. Este resíduo tem sido estudado para produção de biocombustíveis, aplicação na indústria de alimentos e até mesmo na substituição da madeira de pinheiro em produtos da indústria madeireira (GUIRLANDA; DA SILVA; TAKAHASHI, 2021).

A valorização de resíduos e subprodutos com características organolépticas, nutricionais e funcionais essenciais para a saúde do ser humano requer a modernização de sistemas de produção, esses que são de importância crucial para a bioeconomia de países onde o cacau está entre as principais *comodites*

produzidas. É certo dizer que o mercado do cacau vai evoluir e se adaptar às novas preferências dos consumidores por produtos com selos de sustentabilidade.

1.1.4 Cocoa Honey: o “mel” de cacau

Gerado na etapa da fermentação, o “mel de cacau” é um líquido que começa a se soltar da semente no início do processo e vai sendo acumulado até a obtenção da amêndoa de cacau final a ser seca. Este resíduo tem uma aparência translúcida, uma textura pegajosa e um sabor adocicado e é chamado de *cocoa honey*, *cocoa sweating* ou “exsudado” (BALLADARES et al., 2016; VÁSQUEZ et al., 2019). Tais características macroscópicas são responsáveis pelo nome de mel, mesmo não sendo um produto originado da abelha.

Um problema inicial e de extrema importância para o desenvolvimento do mel de cacau é a pequena quantidade de artigos e pesquisas científicas que apresentam as diferentes formas de utilização do subproduto na literatura internacional (GUIRLANDA; DA SILVA; TAKAHASHI, 2021).

A composição do mel de cacau está descrita na literatura, sendo estabelecido ser um material rico em carboidratos e açúcares totais, ácido e com a presença de minerais tais quais cálcio, magnésio e fósforo. Seu pH varia de 2,8 (MELO et al., apud. GUIRLANDA; DA SILVA; TAKAHASHI, 2021) até 3,58 (BALLADARES et al., 2016), corroborando o sabor ácido do produto.

A composição dos carboidratos é estimada em 2,13 a 21,4 % de glicose, 1,06 a 4,42 % de frutose e 2,13 a 4,06 % de sucrose (ANVOH; BI; GNAKRI, 2009; BALLADARES et al., 2016; LEITE et al., 2019; ODDOYE; AGYENTE-BADU; GYEDU-AKOTO, 2013), sendo esses valores importantes para definir parâmetros de processamento, além de valores de temperatura ideal para tratamentos térmicos e controle dos eventos de degradação associados com a fermentação. Por fim, esses parâmetros ajudam a garantir a qualidade do produto e a detecção de possíveis alterações. A composição do mel de cacau é descrita na Tabela 2.

A presença natural de uma grande quantidade de microrganismos nas frutas de cacau, aliada às práticas artesanais no processo pós-colheita e ao uso de materiais inadequados em recipientes de fermentação, reduz significativamente a vida útil do mel de cacau, limitando seu uso. Mesmo após a extração do mel de cacau do processo de fermentação, os microrganismos continuam ativos, afetando

sua textura e sabor. Portanto, um desafio considerável ao utilizar o mel de cacau em sucos ou na indústria alimentícia é a necessidade de um armazenamento adequado para evitar a degradação devido à contínua atividade fermentativa (GUIRLANDA; DA SILVA; TAKAHASHI, 2021).

Tabela 2: Composição química do mel de cacau, segundo alguns autores.

Cinzas (%)	Carboidratos (%)	Gorduras totais (%)	Umidade (%)	Pectina (%)	Açúcares totais (%)	Proteínas totais (%)	Referência
0,36	19,5	1,45	86,38	0,51	18	0,62	NUNES et al., 2020
0,5	19,5	>0,2	78,7	NR	17	0,6	EFSA, 2019
0,59	11,8	0,19	85,56	0,36	14,7	1,2	LEITE et al., 2019
0,23	16,47	0,01	82,46	NR	NR	0,69	PACHECO; TRUJILLO, 2019
0,4	14,57	0,1	84,61	NR	15,49	0,22	SOSA; MANAYAY, 2017

NR Não relatado

Uma prática comum é congelar o mel de cacau in natura após a coleta, o que ajuda a preservá-lo durante o transporte antes do processamento (SANTOS et al., 2014). As temperaturas recomendadas para sua conservação estão entre -18 e -20 °C. Em alguns casos, a pasteurização a 70 °C por 20 minutos pode ser realizada antes do congelamento (LEITE et al., 2019). Todavia, o custo deste processamento e armazenamento tende a acrescentar uma parcela significativa ao valor total da matéria prima (GUIRLANDA; DA SILVA; TAKAHASHI, 2021).

O uso de metabissulfito é uma prática comum para preservação de vinhos, inibindo reações de escurecimento e o crescimento microbiano (AHMADI et al., 2018). Apesar de preocupações com a toxicidade, ele tem sido eficaz na produção de geleia de mel de cacau (HAN et al., 2020). Outras opções incluem o uso de micro-ondas e radiação gama para preservar antioxidantes, como ácido ascórbico e vitamina C no mel de cacau, evitando impactos negativos em sua qualidade (FIROUZI et al., 2021).

1.1.5 *Cocoa Pod Husk: a casca do cacau*

A casca do cacau, comumente descartada, é conhecida como CPH (do inglês, *Cocoa Pod Husk*), e representa uma grande problemática na indústria cacaujeira. Isso porque, ela apresenta um grande volume de desperdício, além de gerar problemáticas quando não tratado corretamente (LU et al., 2018).

Cada tonelada de grãos de cacau gera aproximadamente 10 toneladas de cascas de cacau úmidas, com cerca de 80% de umidade (CAMPOS-VEGA et al., 2018). Esse alto volume exige soluções eficientes para sua reutilização, pois contém uma quantidade significativa de energia (4.063 kcal/kg de cascas de cacau e 4.116 kcal/kg de cascas de grãos) que poderia suprir as necessidades industriais das etapas de processamento de cacau, que envolvem processos de pré-processamento, processo de licor, processo de prensagem (separação da manteiga de cacau) e processo de moagem (VANDENBERGHE et al., 2022).

A vagem de cacau pode exibir diferentes tonalidades, sendo verde para a espécie Forastero, vermelha para a espécie Criollo ou apresentando cores variáveis para a espécie Trinitario. As cascas das vagens de cacau são predominantemente compostas por cinzas (9,1%), celulose (35%), hemicelulose (11%), lignina (14,6%) e pectina (6,1%). Também estão presentes proteínas (5,9%) e minerais (0,32% de cálcio, 3,18% de potássio, 0,15% de fósforo) (CAMPOS-VEGA; NIETO-FIGUEROA; OOMAH, 2018). Essa composição rica amplia as possíveis aplicações das CPH, ressaltando sua relevância no mercado global.

Com base em sua composição química (Tabela 3), as CPH apresentam diversos polímeros com elevado potencial biotecnológico, que podem ser explorados na busca por diversas biomoléculas de alto valor agregado. A pectina proveniente das CPH tem sido extensivamente estudada e extraída com alto rendimento, tornando-se uma mercadoria importante na indústria alimentícia (VRIESMANN; PETKOWICZ, 2017).

A presença de polissacarídeos como celulose e hemicelulose, que são ricos em açúcares fermentáveis (C6 e C5), demonstram um grande potencial para a produção de biocombustíveis de segunda geração e outras biomoléculas (VALLADARES-DIESTRA et al., 2022). Xilano, arabinoxilano e arabinano são as principais hemiceluloses na CPH, deduzidas a partir da alta quantidade de arabinose e xilose isoláveis (LU et al., 2018). Outras hemiceluloses, como xiloglucanos,

galactomananos ou (galacto) glucomananos, também podem ser encontradas na CPH (VRIESMANN; AMBONI; PETKOWICZ, 2011).

Tabela 3: Composição química da casca de cacau segundo diferentes autores.

Celulose (% w/w)	Hemicelulose (% w/w)	Lignina (% w/w)	Cinzas (% w/w)	Extratos/Pectina (% w/w)	Referência
35,0	11,0	14,6	9,1	6,1	(CAMPOS-VEGA; et al. 2018)
31,7	27,0	21,7	3,7	16,8	(DAHUNSI et al., 2019)
15,45	11,47	30,18	8,35	33,46	(VALLADARES-DIESTRA et al., 2022)
32,3	21,4	6,7	15	NR	(VRIESMANN; PETKOWICZ, 2017)
35,4	37	15	12,3	17,6	(DAUD et al., 2013)
35,0	11	NR	9,1	6,1	(MANSUR et al., 2014)

NR Não relatado

A lignina é um heteropolímero aromático complexo, composto por unidades de fenilpropano, e está fortemente ligada à celulose e hemicelulose, proporcionando rigidez à parede celular vegetal (DAS; SINGH, 2004; LECUMBERRI et al., 2007). Os taninos condensados possuem estruturas altamente polimerizadas e podem estar ligados à lignina na CPH, com um teor de peso seco de 5,2% (YAPO et al., 2013). A pectina, associada à celulose e hemicelulose, é determinada como ácidos urônicos, contribuindo com 6,1 a 33,46% da CPH (VRIESMANN; AMBONI; PETKOWICZ, 2011; YAPO et al., 2013). Contudo, para uma exploração adequada visando a obtenção de biomoléculas e materiais, é necessário definir métodos de pré-tratamento, físico-químicos e/ou biológicos adaptados (HASSAN; WILLIAMS; JAISWAL, 2018; VANDENBERGHE et al., 2022).

O teor de cinzas da CPH varia de 3,7 a 15 % em peso, com uma variedade de minerais, como mostra a Tabela 4. Quantidades significativamente altas de potássio (K) (2,5 a 3,8% em peso) são observadas, seguidas por cálcio (Ca), fósforo (P) e magnésio (Mg) (VRIESMANN; AMBONI; PETKOWICZ, 2011). A CPH também é uma fonte de ácidos fenólicos, variando de 4,6 a 6,9 g GAE/100g (LU et al., 2018). Esta composição torna a CPH um substrato ideal para ser utilizado como biofertilizante (FIDELIS; RAJASHEKHAR RAO, 2017).

Tabela 4: Composição mineral da casca de cacau segundo diferentes autores.

Mineral	(ANTWI et al., 2019)	(FIDELIS; RAJASHEKHAR RAO, 2017)	(VRIESMANN; PETKOWICZ, 2017)	(LU et al., 2018)
N ^a	1,42	1,6	NR	NR
P ^a	0,4	0,3	NR	0,2
K ^a	3,2	2,5	2,8	3,8
Na ^a	0,5	NR	0,01	0,02
Mg ^a	0	0,3	0,1	0,3
Ca ^a	0,3	0,2	0,3	0,5
Al ^b	319	NR	NR	NR
Cu ^b	29,1	NR	6,2	NR
Mn ^b	50,1	NR	35,7	NR
Ni ^b	8,7	NR	NR	NR
Zn ^b	56,2	NR	39,7	NR
Fe ^b	351,2	NR	58	60
B ^b	54,9	NR	NR	NR
Co ^b	0,8	NR	NR	NR

^a % dos sólidos totais

^b mg/kg dos sólidos totais

NR Não relatado

A TRANSFORMAÇÃO DOS RESÍDUOS DO PROCESSAMENTO DE CACAU EM SUBPRODUTOS

1.1.6 O potencial do mel de cacau na indústria alimentícia

No mercado de cacau, as bebidas de cacau estão ganhando popularidade (EMR, 2023). Os principais motivos são a busca por novos sabores, o que inclui o sabor particular do mel de cacau; e a tendência no consumo de alimentos populares por suas propriedades funcionais, que frequentemente estão relacionadas a antioxidantes e fitoquímicos bioativos encontrados nessas frutas (CHANG; ALASALVAR; SHAHIDI, 2019).

Da mesma forma que outros subprodutos do cacau, o mel de cacau tem grande potencial para ser empregado como um meio rico para o desenvolvimento de microrganismos em diferentes indústrias. Ele apresenta uma composição rica em açúcares e minerais e ausência de alcaloides e outras substâncias tóxicas (VÁSQUEZ et al., 2019).

O sabor distintivo do mel de cacau justifica seu uso na indústria alimentícia. O mel de cacau fresco, coletado até 24 horas após a colheita da fruta, possui níveis adequados de pectina, açúcar e ácidos para a produção de geleias (SANTOS et al., 2014). Comunidades extrativistas, cooperativas e produtores de alimentos artesanais têm usado o mel de cacau para criar produtos como bebidas alcoólicas, xaropes, geleias e licores (GUIRLANDA; DA SILVA; TAKAHASHI, 2021).

Em Gana, o mel de cacau é utilizado desde os anos 90 para produção de bebidas alcoólicas (GARCÍA-RÍOS et al., 2021). Uma versão pasteurizada e congelada foi recentemente liberada pela Autoridade de Segurança Alimentar Europeia (EFSA) assegurando a segurança da comercialização do produto. Essa pode ser uma forma de disseminar e aumentar a comercialização do suco da polpa, considerando suas propriedades físico-químicas (GUIRLANDA; DA SILVA; TAKAHASHI, 2021). Outros exemplos incluem bebidas de kefir à base de mel de cacau (PUERARI; MAGALHÃES; SCHWAN, 2012), açaí misto e geleia de mel de cacau (NETO et al., 2013), e geleias sem açúcar (SANTOS et al., 2014).

Outra aplicação relevante para o mel de cacau é seu uso como açúcar, devido à sua composição rica em frutose (4,58 w/v de glicose e 3,25 w/v de frutose). (LEITE et al., 2019). A frutose é um carboidrato com metabolismo independente da insulina, resultando em uma absorção mais lenta (índice glicêmico 20) em comparação à glicose (índice glicêmico 100) (RYTZ et al., 2019). Dessa forma, o mel de cacau se faz um potencial substituto da cana-de-açúcar, o xarope de milho e o açúcar refinado em preparações alimentares (GUIRLANDA; DA SILVA; TAKAHASHI, 2021).

Outra propriedade do mel de cacau é seu teor de fitoquímicos com capacidade antioxidante, como flavonoides (7,19 µg/mL). A concentração de compostos fenólicos é relatada como $101,50 \pm 0,03$ mg de ácido gálico equivalente por 100 g em mel de cacau (SILVA et al., 2014), o que é comparável ao valor encontrado na polpa de cacau ($103,76 \pm 4,79$ mg de ácido gálico equivalente por 100 g) (ENDRAIYANI et al., 2017). O mel de cacau também contém ácidos orgânicos em sua composição, com destaque para ácidos ascórbico, cítrico e málico, com concentrações de $18,3 \pm 7,5$ mg/mL, $9,1 \pm 0,6$ mg/mL e $3,6 \pm 0,5$ mg/mL, respectivamente (VÁSQUEZ et al., 2019).

A alta viscosidade do mel de cacau se deve à presença de pectina, que pode atingir 1,5 g por 100 g (VÁSQUEZ et al., 2019). A pectina é um polissacarídeo

versátil com propriedades de geleificação e capacidade de se ligar a vários componentes naturais industriais, como proteínas, celulose, amido e quitosana (GAWKOWSKA; CYBULSKA; ZDUNEK, 2018). Estas propriedades permitem a utilização da pectina no desenvolvimento de produtos de alto valor, como polímeros, filmes comestíveis (JRIDI et al., 2020) e compostos bioativos encapsulados (ISHWARYA; SANDHYA; NISHA, 2022). Tais propriedades motivam o estudo tanto de novos métodos de extração quanto de novas fontes, tais como o mel de cacau e as cascas do cacau (MOLLEA; CHIAMPO, 2019).

Tabela 5: Patentes relacionadas a aplicações do mel de cacau.

Número da patente	Instituição depositante	Escopo da patente	Fonte
BR 102013 005053-9 B1	Universidade de São Paulo e Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (Brasil)	Composições alimentares de chocolate e sorvete comestível contendo mel de cacau	LANNES <i>et al.</i> , 2013
BR 102015 013975-6 A2	Universidade Federal Recôncavo da Bahia (Brasil)	Bebida carbonada funcional	SANTOS <i>et al.</i> , 2015
BR 102018 016061-3 A2	Depósito privado (Brasil)	Processo de produção de aguardente através da preparação, fermentação e destilação do mel de cacau	SCAMPINI, 2020
BR 102019 008474-0 A2	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial e Universidade Federal da Bahia (Brasil)	Bebida obtida a partir do mel de cacau e processo de fabricação da bebida referida	OLIVEIRA <i>et al.</i> , 2019
BR 102019 008742-0 A2	Depósito privado (Brasil)	Produção de cerveja artesanal usando mel de cacau como adjunto	RODRIGUES, 2019
EP 3 777 550 A1	Depósito privado (Alemanha)	Método para obtenção de uma substância contendo açúcar de cacau e uso da substância que contém açúcar na produção de chocolate	HOPPE; BACHMEIR; ARETZ, 2019.
WO 2017/044610 A1	Depósito privado (EUA)	Método de produção e uso de xarope derivado da polpa de frutas da vagem de cacau	TOTH <i>et al.</i> , 2016

Fonte: Adaptado de Guirlanda et al. (2021).

O estudo de Guirlanda e colaboradores aponta o potencial deste recurso através da relação de algumas patentes registradas nos últimos anos (GUIRLANDA; DA SILVA; TAKAHASHI, 2021). A Tabela 5 apresenta uma síntese dessa listagem.

Durante o processo de fermentação, são produzidos aproximadamente 100-150L de mel de cacau por tonelada de amêndoa úmida. O descarte inapropriado desse resíduo pode contaminar o solo e as correntes de água, tornando-se uma ameaça ao processo de colheita do cacau devido ao risco de infestação por pragas (VÁSQUEZ et al., 2019).

Em contraponto, este subproduto pode vir a se tornar uma fonte de renda. Em uma análise preliminar realizada por Kongor et al. (2018), o mel de cacau apresenta-se economicamente viável. O estudo estima que uma fazenda com produtividade média de 300 kg de amêndoas de cacau secas por hectare gera cerca de 0,59 kg de mel de cacau por kg de amêndoas secas. Portanto, em uma área cultivada de 100 hectares, a produção média de mel de cacau pode chegar a 17.700 kg por safra. Considerando um custo unitário de US\$ 1,96 por kg com um lucro de 150%, é possível atingir o ponto de equilíbrio com 590 kg. Assim, a receita mensal com a venda de mel de cacau pasteurizado e congelado pode atingir US\$ 1.947,00, com a recuperação do investimento inicial em até cinco anos.

1.1.7 Prospecção da casca de cacau: estratégias de valorização

1.1.7.1 Aplicações de baixo valor agregado à casca de cacau

Uma das utilizações mais intuitivas para a CPH é seu uso como biofertilizante. O alto teor mineral, citado na Tabela 4, contribui para a sua aplicação como substituto parcial de fertilizantes convencionais (GYEDU-AKOTO et al., 2015; LU et al., 2018). Estudos indicam que a substituição de até 50 % do fertilizante NPK (mistura de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, P_2O_5 e K_2O) por cinzas de CPH, resulta em efeitos positivos na produção de grãos e absorção de nutrientes na produção de milho (AYENI et al., 2008) e no crescimento, produção e fertilidade do solo na produção de tomate (AYENI, 2008). Tais aplicações podem auxiliar em maior acessibilidade a fertilizantes eficientes, além de contribuir para a saúde do solo, fornecendo matéria orgânica e minerais (LU et al., 2018).

Para tal aplicação, a CPH é normalmente submetida a tratamentos biológicos e enzimáticos. Os tratamentos biológicos têm sido aplicados por muitos anos na agricultura. Eles consistem na decomposição da biomassa por meio de mecanismos microbianos naturalmente presentes na área de cultivo. Esses resíduos são deixados nas áreas de cultivo, onde microrganismos do solo os decompõem ao longo do tempo, liberando nutrientes para o solo (FIDELIS; RAJASHEKHAR RAO, 2017).

Devido à presença de fibras, a CPH é considerada um potencial suplemento na produção de ração animal. No entanto, a presença de inibidores como a teobromina causa efeitos prejudiciais na fisiologia animal, tornando seu uso impossível em larga escala. Para tal, o tratamento da CPH com *Talaromyces verruculosus* foi estudado e promoveu a remoção eficiente da teobromina, permitindo a suplementação da CPH tratado com este fungo em uma porcentagem de 30%, misturado com milho, resultando em ganho de peso nos animais analisados (ODURO-MENSAH et al., 2020).

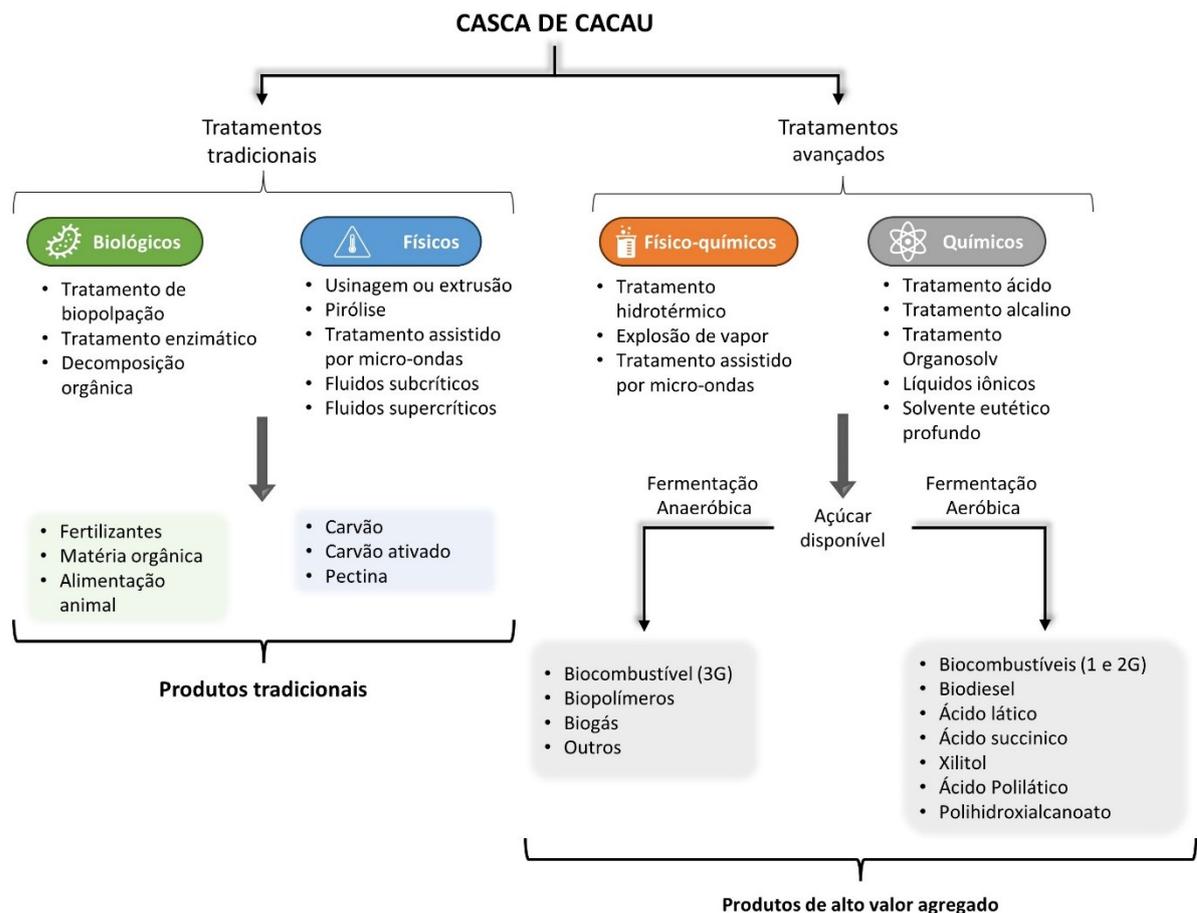
Métodos termofísicos têm sido extensivamente empregados como uma abordagem convencional na conversão da CPH em sólidos ricos em carbono de origem biológica, como carvão ativado e biocarvão (LU et al., 2018). A pirólise emerge como o método termofísico mais utilizado para essa produção, no qual a biomassa é exposta a altas temperaturas na ausência de oxigênio, resultando na carbonização do material (TSAI et al., 2018). Estudos de Tsai et al. (2018) evidenciaram que a produção de biocarvão com elevado teor de carbono (superior a 60%) pode ser alcançada por meio da pirólise de CPH em temperaturas moderadas (190–370 °C) e tempos de residência de 30–120 minutos, resultando em um valor calorífico superior a 25 MJ.kg⁻¹. Apesar de esse método ser inicialmente voltado para a obtenção de biocarvão, pesquisas indicaram um uso eficaz do processo, com a possibilidade de recuperação de bio-óleo.

A CPH também pode ser utilizada na produção de sabão. O processo envolve queimar a CPH para obter cinzas ricas em K₂O, lixiviar as cinzas para gerar hidróxido de potássio (KOH) de CPH, que é filtrado, concentrado e usado na saponificação com óleo para produzir sabões. Esses sabões têm boa solubilidade, consistência e capacidade de limpeza. A produção comercial de sabão com potassa da CPH é viável, impulsionada pela demanda por produtos de higiene naturais. Além disso, a CPH abundante e disponível localmente alivia a necessidade de importação

de produtos químicos, proporcionando uma alternativa de renda para os agricultores da África Ocidental, onde essa prática já ocorre (GYEDU-AKOTO et al., 2015).

A pectina, um componente importante da CPH, pode ser extraída por solventes em meio aquoso, com temperaturas de 40 a 100 °C (CHEN et al., 2021). O uso de ácidos, como ácido ascórbico, ácido acético ou ácido cítrico, é comum devido à eficiência e baixa toxicidade (VALLADARES-DIESTRA et al., 2022). A qualidade da pectina, avaliada pelo teor de ácido urônico, grau de esterificação e propriedades reológicas, é influenciada pelo método de extração (LU et al., 2018). Estudos mostram que a pectina de alto peso molecular pode ser preferencialmente extraída usando métodos subcríticos (MUÑOZ-ALMAGRO et al., 2019). A extração eficiente da pectina da CPH é crucial para aproveitar seu potencial em diversas aplicações, especialmente na indústria alimentícia.

Figura 8: Tratamentos técnicos aplicados à valorização da casca de cacau.



Fonte: Adaptado de Vandenberghe et al. (2022)

Como é possível observar, os métodos de tratamento convencionais descritos são utilizados principalmente para fins de extração e preparação de materiais. No entanto, nos últimos anos, com a abordagem da biorrefinaria, esses métodos estão sendo integrados a processos mais complexos para a exploração total da biomassa envolvida, com o objetivo de obter diferentes biomoléculas de alto valor agregado. Vandenbergue et al. (2022) dividiram as aplicações da CPH em Produtos Tradicionais e Produtos de Potencial alto valor agregado, como mostra a Figura 8.

1.1.7.2 *Aplicações de alto valor agregado à casca de cacau*

No contexto da biorrefinaria, a bioconversão dos carboidratos da biomassa lignocelulósica em bioprodutos comercialmente importantes é considerada uma abordagem sustentável (USMANI et al., 2021). O processo envolve a coleta de recursos, seguida por tratamento em etapas sequenciais para gerar hidrolisados ricos em açúcares, como glicose e xilose. Esses hidrolisados são então fermentados por microrganismos para produzir monômeros precursoras ou bioprodutos finais, como biocombustíveis (KAWAGUCHI et al., 2016). No entanto, a recalcitrância da biomassa, especialmente devido à presença de lignina, requer etapas de pré-tratamento para desintegrar a estrutura complexa, melhorando a biodegradabilidade e permitindo a liberação eficiente de açúcares para a fermentação (KUMAR et al., 2020). O processo visa tornar a cadeia de processamento mais sustentável e lucrativa (VANDENBERGHE et al., 2022).

O estudo da exploração de recursos abundantes, renováveis e econômicos de biomassa lignocelulósica (como milho, trigo e arroz) como substratos para fermentação microbiana na produção de biocombustíveis tem sido extensivamente investigado nos últimos 10 anos (LIN et al., 2013). O processo fundamental de produção de biocombustíveis a partir de biomassa lignocelulósica envolve etapas de pré-tratamento para aumentar a susceptibilidade de celulose/hemicelulose à hidrólise enzimática, resultando na produção de monossacarídeos assimiláveis. A hidrólise enzimática da biomassa lignocelulósica gera uma solução contendo misturas de açúcares hexoses e pentoses, que são fermentados por cepas de leveduras, como *Saccharomyces cerevisiae*, *Kluyveromyces marxianus* e *Pichia stipites* (MUSSATTO; TEIXEIRA, 2010; THOMSEN; KÁDÁR; SCHMIDT, 2014).

O potencial da casca de cacau como matéria-prima para fermentação ainda não foi investigado na prática. No entanto, um estudo recente estimou teoricamente a produção de bioetanol a partir da casca de cacau, com base em sua composição lignocelulósica e vários fatores de bioconversão (ou seja, fator de hidrólise e fator de conversão de etanol) (THOMSEN; KÁDÁR; SCHMIDT, 2014).

Thomsen et al. (2014) relataram que o rendimento teórico de bioetanol a partir da casca de cacau poderia ser cerca de 0,28 L de etanol (por kg de sólidos totais), o que é inferior aos obtidos com sabugos de milho (aproximadamente 0,51 L de etanol por kg de sólidos totais) e palha de arroz (aproximadamente 0,49 L de etanol por kg de sólidos totais), pois estes últimos contêm maior quantidade de carboidratos. Ao contrário de sabugos de milho e palha de arroz com baixo teor de lignina, o manuseio da casca de cacau com teores elevados de lignina requer etapas adicionais de processamento, como deslignificação e/ou pré-tratamento, para separar a lignina da celulose e hemicelulose. Isso pode ser alcançado por meio de várias tecnologias, incluindo (1) métodos químicos, como extração ácida ou alcalina ou o uso de solventes orgânicos, (2) métodos físicos, como explosão a vapor, e (3) métodos biológicos, como hidrólise enzimática (LU et al., 2018).

O pré-tratamento da casca de cacau visa melhorar a liberação de celulose e a obtenção de açúcares fermentáveis (NAZIR et al., 2016). O uso de produtos químicos, como ácidos, álcalis e solventes orgânicos, demonstrou reduzir significativamente o teor de lignina na CPH. Um protocolo suave de organossolvente, envolvendo butanol e ácido, produz correntes de produtos fermentáveis e uma lignina única com características estruturais-chave (LANCEFELD et al., 2017). Embora ainda não seja industrialmente aplicável, essa abordagem centrada em lignina proporciona uma alternativa na planificação de protocolos de valorização da biomassa.

A explosão a vapor, um método físico de pré-tratamento, pode aumentar o tamanho dos poros de materiais lignocelulósicos, facilitando a solubilização e a hidrólise da hemicelulose (IGBINADOLOR; ONILUDE, 2013). Esse processo envolve a aplicação de vapor em alta pressão, potencialmente com ácido/base, causando a quebra de ligações de hidrogênio e aril-éter entre celulose, hemicelulose e lignina (RAMOS, 2003). Embora existam estudos sobre o pré-tratamento de palha de trigo e arroz usando explosão a vapor, as informações sobre a casca de cacau (CPH) são limitadas. Um estudo sobre palha de trigo sugeriu que a combinação de explosão a

vapor com impregnação de ácido sulfúrico diluído melhorou significativamente a conversão de celulose em açúcares fermentáveis (AUXENFANS et al., 2017). Isso sugere que uma combinação de pré-tratamento químico, físico e biológico para a CPH pode fracioná-la de maneira seletiva e eficiente. A otimização de fatores como temperatura, concentração de ácido/base e tempo é crucial para obter frações desejáveis, maximizando o rendimento da fermentação, ao mesmo tempo em que se concentra em minimizar a formação de inibidores como furfural, 5-HMF, ácido ferúlico e ácido cumárico (MUSSATTO; TEIXEIRA, 2010).

O pré-tratamento biológico da casca de cacau tem sido realizado com fungos, incluindo *Phanerochaete chrysosporium* (LACONI; JAYANEGARA, 2015) e *Pleurotus ostreatus* (ALEMAWOR et al., 2009). O *P. ostreatus* demonstrou eficiência ao reduzir os teores de celulose, hemicelulose e lignina na CPH. A atividade celulolítica e hemicelulolítica desses fungos gera enzimas capazes de hidrolisar substratos de β -(1,4)-glucano e vários glicosídeos. A delignificação enzimática utiliza lacases e peroxidases isoladas de fungos filamentosos (ALEMAWOR et al., 2009). Contudo, há poucos estudos específicos sobre a CPH nesses sistemas. Sugere-se a combinação de tratamento físico, como explosão a vapor/alta pressão, com tratamento enzimático para aumentar a eficiência e economizar energia no refinamento da CPH (CHEN et al., 2010).

Esforços consistentes são necessários para o desenvolvimento de tecnologias inovadoras de pré-tratamento na biorrefinaria da CPH, dada a alta demanda por delignificação e a escassa exploração da hidrólise enzimática. Abordagens inovadoras, como solventes orgânicos e eutéticos profundos, apresentam os melhores resultados na literatura recente sobre delignificação (VANDENBERGHE et al., 2022). Quanto maior a pureza da lignina obtida da delignificação, maior o potencial de conversão em produtos de alto valor, seguindo o contexto de uma biorrefinaria centrada na lignina (RENDERS et al., 2017). Essas abordagens inovadoras destacam-se como promissoras para a eficiente utilização da CPH e aprimoramento geral da eficiência da biorrefinaria.

No cenário atual voltado para uma economia circular verde, as cascas de cacau têm sido empregadas como substrato para a produção de biomoléculas essenciais, como bioetanol e biogás. A produção de bioetanol, geralmente proveniente de alimentos como cana-de-açúcar, milho e mandioca, agora se beneficia de novas tecnologias de pré-tratamento, incluindo deslignificação, seguida

por hidrólise enzimática, utilizando resíduos orgânicos e biomassa lignocelulósica residual (VANDENBERGHE et al., 2022).

Um estudo realizado na Indonésia utilizou CPH como substrato para a produção de bioetanol por meio da *Zymomonas mobilis*. O processo incluiu o pré-tratamento da CPH, deslignificação e hidrólise para converter celulose em glicose, principal fonte de carbono metabolizada pela via Entner-Doudoroff. Essa rota pode oferecer menor geração de ATP, tolerância a altas temperaturas e resistência a baixo pH. Após a purificação e destilação, o bioetanol foi obtido ao longo de 8 dias a temperatura ambiente e pH 5, condições favoráveis para a *Z. mobilis*. Este experimento inovador utiliza bactérias, representando um avanço com abordagens tecnológicas simplificadas, embora a taxa de conversão precise de otimização futura, situando-se entre 10 e 12% (YOGASWARA et al., 2021).

O potencial de produção de biogás tem sido objeto de intensa pesquisa em várias fontes alternativas devido à crescente demanda por energia. Seguindo essa tendência, (ANTWI et al., 2019) conduziram experimentos para determinar o potencial de biogás da casca de cacau (CPH), alcançando 526,38 N L/kg de sólidos voláteis (VS) com um teor de metano de 55%. Esse resultado foi obtido por meio de um pré-tratamento hidrotérmico otimizado e digestão anaeróbica em condições mesofílicas usando um reator em escala de bancada (500 mL). Apesar de a CPH apresentar teoricamente um potencial de biogás de 922 N L/kg de VS, o processo de conversão de biogás demonstrou uma biodegradabilidade de 57%. Esses achados destacam a CPH como uma matéria-prima potencialmente significativa para a produção de biogás, com resultados comparáveis a outras biomassas, como resíduos domésticos, resíduos urbanos, algas pardas e silagem de milho.

O estudo brasileiro de Sarmiento-Vásquez et al. (2021) realizou um pré-tratamento alcalino da CPH seguido de hidrólise enzimática para a produção de ácido propiônico, utilizando a bactéria *Propionibacterium jensenii* DSM 20.274. As características físicas, estruturais e morfológicas da CPH crua e tratada foram analisadas. Os resultados corroboram a literatura discutida, confirmando a robustez da CPH com sua estrutura lignocelulósica; as análises revelaram que os pré-tratamentos sequenciais foram eficazes para abrir a matriz e liberar glicose (60,5 g/L) para fermentação subsequente. A concentração de ácido propiônico atingiu um máximo de $10,28 \pm 1,05$ g/L, com uma produtividade de $0,08 \pm 0,01$ g/L.h após 72 h de fermentação.

Outra aplicação importante foi proposta por Azmin et al. (2020), que utilizaram a celulose da CPH e as fibras do bagaço de cana-de-açúcar para desenvolver biofilmes para embalagens de alimentos. A produção de biofilmes com várias proporções de celulose:fibras foi testada, relacionando-a com a resposta nas propriedades físico-químicas do produto. Com a proporção otimizada de 75:25 (celulose:fibras), o biofilme apresentou desempenho adequado para embalagens de alimentos. Alta resistência à água é essencial para reduzir o crescimento de fungos na superfície do bioplástico, evitando o máximo possível o fenômeno de transferência de umidade entre o alimento e o ambiente. Além disso, a celulose tem uma natureza hidrofílica, o que ajudou na barreira física e mecânica ao vapor de água, onde as fibras reduziram a possível fragilidade e suscetibilidade à água da embalagem de biofilme.

CONCLUSÕES

A indústria moderna do cacau enfrenta a necessidade urgente de reduzir resíduos agroindustriais e valorizar subprodutos em busca de sustentabilidade no processamento de alimentos. A valorização de resíduos e subprodutos, como o mel, que possuem características organolépticas, nutricionais e funcionais benéficas para a saúde humana, requer uma modernização dos sistemas de produção. Assim como há necessidade de pesquisas adicionais e desenvolvimentos para alcançar a incorporação de novos bioprodutos no portfólio industrial da casca de cacau (CPH), como a seleção de cepas e maior eficiência no processo.

Estes recursos desempenham um papel fundamental na promoção da bioeconomia nos países onde o cacau é uma das principais commodities produzidas. O crescimento do mercado de cacau certamente se alinhará com a preferência dos consumidores por produtos com selos de sustentabilidade.

As pesquisas atuais e futuras sobre a aplicação destes resíduos devem ser consideradas na discussão de aspectos relevantes para incentivar a construção de políticas e agroindústrias nos países produtores de cacau. Essas ferramentas fundamentais, integradas com estratégias de transferência de tecnologia, plataformas de pesquisa e cooperação entre empresas, criarão possibilidades de desenvolvimento de novos bioprodutos e transferência de tecnologia dos resíduos de cacau para o setor produtivo.

SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Trabalhos futuros neste campo devem ter o propósito de ampliar oportunidades de aplicação do mel e da casca de cacau, explorando seus usos não apenas na indústria alimentícia, mas também na indústria farmacêutica e cosmética, contribuindo assim para tornar a produção de cacau mais sustentável ao transformar estes resíduos em matérias-primas.

REFERÊNCIAS

- ADOMAKO, D. Cocoa pod husk pectin. **Phytochemistry**, v. 11, n. 3, 1972.
- AFOAKWA, E. O. et al. Flavor Formation and Character in Cocoa and Chocolate: A Critical Review. <http://dx.doi.org/10.1080/10408390701719272>, v. 48, n. 9, p. 840–857, 2008.
- AFOAKWA, E. O. **Chocolate science and technology**. 2. ed. [s.l.] John Wiley & Sons, 2016.
- AGUIAR, P. C. B. DE; PIRES, M. D. M. A região cacauera do sul do estado da Bahia (Brasil): crise e transformação. **Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía**, v. 28, n. 1, 2019.
- AHMADI, F. et al. Preservation of fruit and vegetable discards with sodium metabisulfite. **Journal of Environmental Management**, v. 224, 2018.
- ALEMAWOR, F. et al. Effect of *Pleurotus ostreatus* fermentation on cocoa pod husk composition: Influence of fermentation period and Mn²⁺ supplementation on the fermentation process. **African Journal of Biotechnology**, v. 8, n. 9, 2009.
- ANTWI, E. et al. Anaerobic digestion and the effect of hydrothermal pretreatment on the biogas yield of cocoa pods residues. **Waste Management**, v. 88, 2019.
- ANVOH, K. Y. B.; BI, A. Z.; GNAKRI, D. Production and characterization of juice from mucilage of cocoa beans and its transformation into marmalade. **Pakistan Journal of Nutrition**, v. 8, n. 2, 2009.
- AUXENFANS, T. et al. Understanding the structural and chemical changes of plant biomass following steam explosion pretreatment. **Biotechnology for Biofuels**, v. 10, n. 1, 2017.
- AYENI, L. S. et al. Comparative and cumulative effect of cocoa pod husk ash and poultry manure on soil and maize nutrient contents and yield. **American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture**, v. 2, n. 1, 2008.

AYENI LS. Integrated Application of Cocoa Pod Ash and NPK Fertilizer on Soil Chemical Properties and Yield of Tomato. **Journal of Sustainable Agriculture**, v. 2, n. 3, 2008.

AZMIN, S. N. H. M.; HAYAT, N. A. B. M.; NOR, M. S. M. Development and characterization of food packaging bioplastic film from cocoa pod husk cellulose incorporated with sugarcane bagasse fibre. **Journal of Bioresources and Bioproducts**, v. 5, n. 4, 2020.

BALLADARES, C. et al. Physicochemical characterization of Theobroma cacao L. sweatings in Ecuadorian coast. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v. 28, n. 10, 2016.

BATALHA, P. G.; ALMEIDA, M. H. G. CARACTERIZAÇÃO DO CACAU CATONGO DE SÃO TOMÉ E PRÍNCIPE. **Instituto Superior de Agronomia. Universidade Técnica de Lisboa.**, 2010.

BECKETT, S. T. **Industrial chocolate manufacture and use.** [s.l.] Wiley-Blackwell, 2009. v. 2nd

CAMPOS-VEGA, R.; NIETO-FIGUEROA, K. H.; OOMAH, B. D. Cocoa (Theobroma cacao L.) pod husk: Renewable source of bioactive compounds. **Trends in Food Science & Technology**, v. 81, p. 172–184, 1 nov. 2018.

CAPES. Disponível em: <<https://www-periodicos-capes-gov-br.ezl.periodicos.capes.gov.br>>. Acesso em: 24 jul. 2023.

CHANG, S. K.; ALASALVAR, C.; SHAHIDI, F. **Superfruits: Phytochemicals, antioxidant efficacies, and health effects—A comprehensive review.** **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 2019.

CHEN, J. et al. Extraction temperature is a decisive factor for the properties of pectin. **Food Hydrocolloids**, v. 112, 2021.

CHEN, S. et al. **Biological pretreatment of lignocellulosics: Potential, progress and challenges.** **Biofuels**, 2010.

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.

DAHUNSI, S. O.; ADESULU-DAHUNSI, A. T.; IZEBERE, J. O. Cleaner energy through liquefaction of Cocoa (*Theobroma cacao*) pod husk: Pretreatment and process optimization. **Journal of Cleaner Production**, v. 226, 2019.

DAS, H.; SINGH, S. K. Useful Byproducts from Cellulosic Wastes of Agriculture and Food Industry - A Critical Appraisal. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 44, n. 2, 2004.

DAUD, Z. et al. Chemical Composition and Morphological of Cocoa Pod Husks and Cassava Peels for Pulp and Paper Production. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 7, n. 9, 2013.

DE SOUZA, P. A. et al. Cacao—*Theobroma cacao*. **Exotic Fruits Reference Guide**, p. 69–76, 1 jan. 2018.

DHOEDT, A. “Food of the gods” - The rich history of chocolate. **AGRO FOOD INDUSTRY HI-TECH**, v. 19, n. 3, p. 4–6, 2008.

DI MATTIA, C. et al. Effect of different conching processes on procyanidin content and antioxidant properties of chocolate. **Food Research International**, v. 63, 2014.

DONKOH, A. et al. Chemical composition of cocoa pod husk and its effect on growth and food efficiency in broiler chicks. **Animal Feed Science and Technology**, v. 35, n. 1–2, 1991.

DZELAGHA, B. F.; NGWA, N. M.; BUP, D. N. A Review of Cocoa Drying Technologies and the Effect on Bean Quality Parameters. 2020.

EMR. **Global Cocoa Market Outlook**.

ENDRAIYANI, V. et al. Total Phenolics and Antioxidant Capacity of Cocoa Pulp: Processing and Storage Study. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 41, n. 4, 2017.

FERREIRA, A. C. R. et al. **Guia de Beneficiamento de Cacau de Qualidade**. [s.l: s.n.]. v. 53

FIDELIS, C.; RAJASHEKHAR RAO, B. K. Enriched cocoa pod composts and their fertilizing effects on hybrid cocoa seedlings. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, v. 6, n. 2, 2017.

FIROUZI, S. et al. Evaluation of gamma and electron radiations impact on vitamins for onion preservation. **Applied Radiation and Isotopes**, v. 167, 2021.

FOWLER, M. S.; COUDEL, F. Cocoa beans: from tree to factory. **Beckett's Industrial Chocolate Manufacture and Use**, p. 9–49, 7 mar. 2017.

GARCÍA-RÍOS, E. et al. Thermo-adaptive evolution to generate improved *Saccharomyces cerevisiae* strains for cocoa pulp fermentations. **International Journal of Food Microbiology**, v. 342, 2021.

GAWKOWSKA, D.; CYBULSKA, J.; ZDUNEK, A. **Structure-related gelling of pectins and linking with other natural compounds: A review**. **Polymers**, 2018.

GINATTA, G.; VIGNATI, F.; GÓMEZ-GARCÍA, R. **Iniciativa Latinoamericana del Cacao: Boletín No. 9. Iniciativa Latino Americana del Cacao**Iniciativa Latinoamericana del Cacao. [s.l: s.n.].

GUIRLANDA, C. P.; DA SILVA, G. G.; TAKAHASHI, J. A. Cocoa honey: Agro-industrial waste or underutilized cocoa by-product? **Future Foods**, v. 4, p. 100061, 1 dez. 2021.

GYEDU-AKOTO, E. et al. Natural Skin-care Products: The Case of Soap Made from Cocoa Pod Husk Potash. **Advances in Research**, v. 4, n. 6, 2015.

HAN, X. et al. Mechanism analysis of toxicity of sodium sulfite to human hepatocytes L02. **Molecular and Cellular Biochemistry**, v. 473, n. 1–2, 2020.

HASSAN, S. S.; WILLIAMS, G. A.; JAISWAL, A. K. **Emerging technologies for the pretreatment of lignocellulosic biomass**. **Bioresource Technology**, 2018.

Hill, C. et al. Polyphenols in cocoa (*Theobroma cacao* L.). **As. J. Food Ag-Ind**, v. 2, n. 204, 2009.

IBGE. **Produção de Cacau no Brasil**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/cacau/br>>. Acesso em: 28 ago. 2023.

IGBINADOLOR, R. O.; ONILUDE, A. A. Bioprocess systems applied for the production of bio-ethanol from lignocellulosic biomass of cocoa pod husk (*Theobroma cacao* L.) and other agricultural residues: A review. **African Journal of Biotechnology**, v. 12, n. 35, 2013.

JRIDI, M. et al. Physicochemical, antioxidant and antibacterial properties of fish gelatin-based edible films enriched with orange peel pectin: Wrapping application. **Food Hydrocolloids**, v. 103, 2020.

KAWAGUCHI, H. et al. **Bioprocessing of bio-based chemicals produced from lignocellulosic feedstocks**. **Current Opinion in Biotechnology**, 2016.

KONGOR, J. E. et al. Constraints for future cocoa production in Ghana. **Agroforestry Systems**, v. 92, n. 5, 2018.

KUMAR, B. et al. **Current perspective on pretreatment technologies using lignocellulosic biomass: An emerging biorefinery concept**. **Fuel Processing Technology**, 2020.

LACONI, E. B.; JAYANEGARA, A. Improving nutritional quality of cocoa pod (*Theobroma cacao*) through chemical and biological treatments for ruminant feeding: In vitro and in vivo evaluation. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 28, n. 3, 2015.

LANCEFIELD, C. S. et al. Pre-treatment of lignocellulosic feedstocks using biorenewable alcohols: Towards complete biomass valorisation. **Green Chemistry**, v. 19, n. 1, 2017.

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, 2007.

LEITE, P. B. et al. Cocoa's Residual Honey: Physicochemical Characterization and Potential as a Fermentative Substrate by *Saccharomyces cerevisiae* AWRI726. **Scientific World Journal**, v. 2019, 2019.

LIN, C. S. K. et al. **Food waste as a valuable resource for the production of chemicals, materials and fuels. Current situation and global perspective.** **Energy and Environmental Science**, 2013.

LU, F. et al. Valorisation strategies for cocoa pod husk and its fractions. **Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry**, v. 14, p. 80–88, 1 dez. 2018.

MANSUR, D. et al. Conversion of cacao pod husks by pyrolysis and catalytic reaction to produce useful chemicals. **Biomass and Bioenergy**, v. 66, 2014.

MAPA. **Brasil é reconhecido como país exportador de cacau fino e de aroma.** Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/brasil-e-reconhecido-como-pais-exportador-de-cacau-fino-e-de-aroma>>. Acesso em: 25 set. 2023.

MOLLEA, C.; CHIAMPO, F. Valorization of cocoa husks: Pectin recovery. **International Journal of Food Science**, v. 2019, 2019.

MUÑOZ-ALMAGRO, N. et al. Structural characterisation of pectin obtained from cacao pod husk. Comparison of conventional and subcritical water extraction. **Carbohydrate Polymers**, v. 217, 2019.

MUSSATTO, S.; TEIXEIRA, J. Lignocellulose as raw material in fermentation processes. **applied Microbiology an Microbial Biotechnology**, v. 2, 2010.

NAI, K. P. **The Agronomy and Economy of Important Tree Crops of the Developing World.** [s.l: s.n.].

NAZIR, N. et al. Optimization of pre-treatment process of cocoa pod husk using various chemical solvents. **International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology**, v. 6, n. 3, 2016.

NDUKWU, M. C. Effect of Drying Temperature and Drying Air Velocity on the Drying Rate and Drying Constant of Cocoa Bean. **Agricultural Engineering International: CIGR Journal**, 23 abr. 2009.

NETO, B. A. DE M. et al. Chemical, physico-chemical and sensory characterization of mixed açai (*Euterpe oleracea*) and cocoa's honey (*Theobroma cacao*) jellies. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, n. 2, p. 587–593, jun. 2013.

ODDOYE, E. O. K.; AGYENTE-BADU, C. K.; GYEDU-AKOTO, E. Cocoa and Its By-Products: Identification and Utilization BT - Chocolate in Health and Nutrition. **Chocolate in Health and Nutrition**, 2013.

ODURO-MENSAH, D. et al. Nutritional value and safety of animal feed supplemented with *Talaromyces verruculosus*-treated cocoa pod husks. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, 2020.

PACHECO, N. C. H.; TRUJILLO, J. J. D. **Obtención de etanol por fermentación alcohólica a partir del exudado de la pulpa de cacao (*Theobroma cacao* L.)**. [s.l: s.n.].

PADMA ISHWARYA, S.; SANDHYA, R.; NISHA, P. **Advances and prospects in the food applications of pectin hydrogels**. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 2022.

PUERARI, C.; MAGALHÃES, K. T.; SCHWAN, R. F. New cocoa pulp-based kefir beverages: Microbiological, chemical composition and sensory analysis. **Food Research International**, v. 48, n. 2, 2012.

PURDY, L. H.; SCHMIDT, R. A. STATUS OF CACAO WITCHES' BROOM: biology, epidemiology, and management. **Annual review of phytopathology**, v. 34, p. 573–594, 1996.

RAMOS, L. P. **The chemistry involved in the steam treatment of lignocellulosic materials.** *Quimica Nova*, 2003.

RENDERS, T. et al. **Lignin-first biomass fractionation: The advent of active stabilisation strategies.** *Energy and Environmental Science*, 2017.

RYTZ, A. et al. Predicting glycemic index and glycemic load from macronutrients to accelerate development of foods and beverages with lower glucose responses. *Nutrients*, v. 11, n. 5, 2019.

SANTOS, C. O. et al. Use of “cocoa honey” (*Theobroma cacao* L) for diet jelly preparation: An alternative technology. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 36, n. 3, 2014.

SANTOS, E. S. L. et al. Genetic structure and molecular diversity of cacao plants established as local varieties for more than two centuries: The genetic history of cacao plantations in Bahia, Brazil. *PLoS ONE*, v. 10, n. 12, 2015.

SARMIENTO-VÁSQUEZ, Z. et al. Cocoa pod husk valorization: alkaline-enzymatic pre-treatment for propionic acid production. *Cellulose*, v. 28, n. 7, p. 4009–4024, 11 maio 2021.

SCHROTH, G. et al. Commodity production as restoration driver in the Brazilian Amazon? Pasture re-agro-forestation with cocoa (*Theobroma cacao*) in southern Pará. *Sustainability Science*, v. 11, n. 2, p. 277–293, 13 mar. 2016.

SCHWAN, R. F.; WHEALS, A. E. The Microbiology of Cocoa Fermentation and its Role in Chocolate Quality. <http://dx.doi.org/10.1080/10408690490464104>, v. 44, n. 4, p. 205–221, 2010.

SCIELO. Disponível em: <<https://www.scielo.org/pt/>>. Acesso em: 24 jul. 2023.

SCOPUS. Disponível em: <<https://www.scopus.com>>. Acesso em: 24 jun. 2023.

SILVA, A. B. DE C.; MARQUES, E. DE L. S.; REZENDE, R. PASSOS. **Cocoa fermentation and the use of yeast inoculum.** Disponível em: <<https://brazilianjournals.com/ojs/index.php/BRJD/article/view/46485/pdf>>. Acesso em: 14 out. 2022.

SILVA, C. M. L. et al. **Análise da produção de cacau: o desempenho cacauero no Brasil de 1990 a 2019**. Monografia de Bacharelado—São Paulo: UNIVERSIDADE CRUZEIRO DO SUL, 20 nov. 2020.

SILVA, E. N. et al. Nutritional value and antioxidant capacity of “cocoa honey” (*Theobroma cacao* L.). **Food Science and Technology**, v. 34, n. 4, p. 755–759, 2014.

SOSA, J. R.; MANAYAY, E. R. Aprovechamiento del Mucilago de Cacao (*Theobroma Cacao*) en la Formulación de una Bebida no Alcohólica. **Tesis**, 2017.

THOMSEN, S. T.; KÁDÁR, Z.; SCHMIDT, J. E. Compositional analysis and projected biofuel potentials from common West African agricultural residues. **Biomass and Bioenergy**, v. 63, 2014.

TSAI, C. H. et al. Thermochemical characterization of biochar from cocoa pod husk prepared at low pyrolysis temperature. **Biomass Conversion and Biorefinery**, v. 8, n. 2, 2018.

USMANI, Z. et al. **Bioprocessing of waste biomass for sustainable product development and minimizing environmental impact**. **Bioresource Technology**, 2021.

VALLADARES-DIESTRA, K. K. et al. Citric acid assisted hydrothermal pretreatment for the extraction of pectin and xylooligosaccharides production from cocoa pod husks. **Bioresource Technology**, v. 343, 2022.

VANDENBERGHE, L. P. DE S. et al. Added-value biomolecules’ production from cocoa pod husks: A review. **Bioresource Technology**, v. 344, 2022.

VÁSQUEZ, Z. S. et al. **Biotechnological approaches for cocoa waste management: A review**. **Waste Management** Elsevier Ltd, , 1 maio 2019.

VRIESMANN, L. C.; AMBONI, R. D. DE M. C.; PETKOWICZ, C. L. D. O. Cacao pod husks (*Theobroma cacao* L.): Composition and hot-water-soluble pectins. **Industrial Crops and Products**, v. 34, n. 1, 2011.

VRIESMANN, L. C.; PETKOWICZ, C. L. DE O. Cacao pod husks as a source of low-methoxyl, highly acetylated pectins able to gel in acidic media. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 101, 2017.

WAHYUNI, N. L. et al. **Formation and development of flavour of cocoa (Theobroma cacao L.) cultivar Criollo and Forastero: A review**. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. **Anais...**2021.

YAPO, B. M. et al. Adding Value to Cacao Pod Husks as a Potential Antioxidant-Dietary Fiber Source. **American Journal of Food and Nutrition**, v. 1, n. 3, 2013.

YOGASWARA, R. R. et al. A Kinetic Study in Fermentation of Cocoa Pod Husk using *Zymomonas Mobilis*. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 1125, n. 1, 2021.