



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS - DECEN
CURSO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

TAISA BEZERRA RODRIGUES

**Desempenho de solventes na recuperação de antocianinas da casca do abacaxi: um
estudo comparativo**

PAU DOS FERROS - RN

2025

TAISA BEZERRA RODRIGUES

Desempenho de solventes na recuperação de antocianinas da casca do abacaxi: um estudo comparativo

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharela Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia.

Orientador: José Mariano da Silva Neto,
Prof. Dr.

PAU DOS FERROS - RN

2025

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

R696d Rodrigues, Taisa Bezerra.
Desempenho de solventes na recuperação de
antocianinas da casca do abacaxi: um estudo
comparativo / Taisa Bezerra Rodrigues. - 2025.
72 f. : il.

Orientador: José Mariano da Silva Neto.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2025.

1. Antocianinas. 2. Corantes naturais. 3.
Abacaxi. 4. Resíduos agroindústrias . 5.
Solventes. I. Neto, José Mariano da Silva ,
orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade com
AACR2 e os dados fornecidos pelo) autor(a).
Biblioteca Campus Pau dos Ferros
Bibliotecária: Erlanda Maria Lopes da Silva
CRB: 15/966

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

TAISA BEZERRA RODRIGUES

Desempenho de solventes na recuperação de antocianinas da casca do abacaxi: um estudo comparativo

Trabalho de conclusão apresentado à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharela Interdisciplinar em Ciências e Tecnologia.

Defendida em 30/07/2025

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **JOSE MARIANO DA SILVA NETO**
Data: 05/08/2025 17:28:54-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

José Mariano da Silva Neto, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente

Documento assinado digitalmente
 **DEBORA KARINA DA SILVA GUIMARAES**
Data: 05/08/2025 16:37:33-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Débora Karina da Silva Guimarães, Ma. (IFRN)
Membro Examinador

Documento assinado digitalmente
 **ALINE MARA MAIA BESSA**
Data: 05/08/2025 17:22:58-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Aline Mara Maia Bessa, Prof^a. Dra. (UFERSA)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Concluir este Trabalho de Conclusão de Curso é, para mim, mais do que uma realização acadêmica. É a concretização de um sonho construído com esforço, dedicação e, principalmente, com o apoio de pessoas muito especiais que estiveram ao meu lado durante toda a caminhada.

Minha maior gratidão é a Deus, por me conduzir com amor, por fortalecer meus passos e me permitir viver cada etapa deste processo com fé e coragem. Em cada detalhe, pude sentir Sua presença e cuidado.

À minha mãe, Marleide Bezerra, e ao meu pai, Antonio Rodrigues, por todo amor, apoio e incentivo. À minha irmã, Leticia Bezerra, que sempre torce por mim e faz questão de estar presente nos momentos importantes da minha vida, acompanhando minhas conquistas com carinho e orgulho, sua presença me fortalece mais do que você imagina. À minha família, minha gratidão por todo amor, apoio e presença constante, que me fortaleceram ao longo dessa jornada.

Ao meu namorado, Wendell, obrigada por tornar essa fase mais leve com seu amor, paciência e apoio constante. Ter você ao meu lado fez toda a diferença. À sua família, que sempre me acolheu com carinho, deixo também meu sincero agradecimento.

Aos meus amigos, que deixaram esse processo mais leve com sua amizade, palavras de incentivo e presença constante. Em especial, à minha amiga Maria Eduarda, com quem tenho o privilégio de compartilhar não só a casa, mas também vivências, aprendizados e conquistas. Sua presença diária foi essencial para tornar essa caminhada mais significativa.

Ao meu orientador, Dr. José Mariano da Silva Neto, expresso minha profunda gratidão pela paciência, atenção e disponibilidade ao longo de todo o processo. Sua orientação, sempre marcada por profissionalismo, empatia e clareza, foi fundamental para que este trabalho se concretizasse com segurança. Levo comigo não só o conhecimento técnico, mas também o exemplo de dedicação e compromisso que o senhor demonstrou em cada encontro.

Aos professores da UFERSA, agradeço pelo conhecimento compartilhado, pela dedicação e pelas contribuições que marcaram minha trajetória acadêmica. Cada ensinamento foi essencial para meu crescimento pessoal e profissional.

A cada pessoa que, de alguma forma, contribuiu para que este momento fosse possível, deixo aqui minha eterna gratidão.

"Você não pode esperar construir um mundo melhor sem melhorar os indivíduos. Para esse fim, cada um de nós deve trabalhar para o seu próprio aperfeiçoamento e, ao mesmo tempo, compartilhar uma responsabilidade geral por toda a humanidade."

Marie Skłodowska-Curie

RESUMO

O uso de corantes artificiais em alimentos tem gerado preocupação devido aos seus possíveis efeitos adversos à saúde, incentivando a busca por alternativas naturais, seguras e sustentáveis. Diante disso, este trabalho teve como objetivo avaliar a extração de antocianinas, pigmentos naturais de interesse comercial, a partir da casca do abacaxi (*Ananas comosus*), um resíduo agroindustrial com alto potencial de reaproveitamento. A matéria-prima foi submetida a secagem, moagem e caracterização físico-química. Para a extração das antocianinas, foram utilizados três solventes diferentes (água, etanol e metanol) em experimentos conduzidos com auxílio de planejamentos fatoriais, variando tempo, concentração do solvente e razão massa/volume. A quantificação foi realizada pelo método espectrofotométrico do pH único. Os resultados mostraram que a casca do abacaxi apresenta teores significativos de hemicelulose (29,83%), celulose (24,75%), e lignina (14,25%). Avaliando os três solventes estudados, observou-se que as máximas concentrações obtidas com a água, etanol e metanol foram, respectivamente, 43,89 mg/100 g, 17,29 mg/100 g e 20,08 mg/100 g. Sendo assim, o solvente que maximizou a extração foi a água com um tempo de 60 minutos e razão m/v de 1:40. Conclui-se que a casca do abacaxi pode ser utilizada como matéria-prima para obtenção de corantes naturais, agregando valor a resíduos agroindustriais e promovendo alternativas viáveis à substituição de corantes sintéticos.

Palavras-chave: antocianinas; corantes naturais; abacaxi; resíduos agroindustriais; solventes.

ABSTRACT

The use of artificial food colorants has raised concerns due to their potential adverse health effects, encouraging the search for natural, safe, and sustainable alternatives. Therefore, this study aimed to evaluate the extraction of anthocyanins, natural pigments of commercial interest, from pineapple peel (*Ananas comosus*), an agro-industrial residue with high potential for reuse. The raw material was subjected to drying, grinding, and physicochemical characterization. For anthocyanin extraction, three different solvents (water, ethanol, and methanol) were used in experiments conducted with factorial designs, varying time, solvent concentration, and mass/volume ratio. Quantification was performed using the single pH spectrophotometric method. The results showed that pineapple peel contains significant amounts of hemicellulose (29.83%), cellulose (24.75%), and lignin (14.25%). Evaluating the three solvents, the maximum concentrations obtained with water, ethanol, and methanol were 43.89 mg/100 g, 17.29 mg/100 g, and 20.08 mg/100 g, respectively. Thus, water maximized the extraction at 60 minutes and a mass/volume ratio of 1:40. It is concluded that pineapple peel can be used as a raw material for obtaining natural colorants, adding value to agro-industrial residues and promoting viable alternatives to replace synthetic dyes.

Keywords: anthocyanins; natural colorants; pineapple; agro-industrial residues; solvents.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura básica das antocianidinas.....	24
Figura 2 - Abacaxi de cultivar Cayenne ou Smooth Cayenne.	27
Figura 3 - Abacaxi de cultivar Pérola	28
Figura 4 - Abacaxi de cultivar Boituva	28
Figura 5 - Processo de preparação do resíduo da casca de abacaxi Pérola	30
Figura 6 - Etapas do processo de determinação da umidade.....	32
Figura 7 - Sistema de extração	34
Figura 8 - Cartuchos de papel filtro contendo a amostra vegetal após extração	35
Figura 9 - Preparação da amostra para análise de lignina	36
Figura 10 - Determinação do teor de lignina insolúvel.....	38
Figura 11 - Sistema utilizado para a reação de extração da holocelulose	39
Figura 12 - Sistema de filtração a vácuo da holocelulose	40
Figura 13 - (a) Filtração a vácuo do material obtido após a reação; (b) Resíduo sólido (holocelulose) retido no papel de filtro após secagem.	41
Figura 14 - (a) Solução de hidróxido de sódio (NaOH); (b) Amostra de holocelulose após 2 minutos de contato com a solução de NaOH no almofariz.	42
Figura 15 - Diagrama de Pareto dos efeitos padronizados para a extração de antocianinas com água	52
Figura 16 - Diagrama de Pareto dos efeitos padronizados para a extração de antocianinas com água	54
Figura 17 - Diagrama de Pareto dos efeitos das variáveis na extração de antocianinas da casca do abacaxi com etanol	56
Figura 18 - Superfície de resposta da influência do tempo e da concentração de etanol sobre o rendimento de antocianinas extraídas da casca de abacaxi	58
Figura 19 - Diagrama de Pareto dos efeitos padronizados sobre o rendimento de antocianinas utilizando metanol como solvente.....	61
Figura 20 - Diagrama de Pareto dos efeitos padronizados sobre o rendimento de antocianinas utilizando metanol como solvente.....	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Corantes artificiais, código de rotulagem e valores de IDA.....	21
Tabela 2 - Níveis do planejamento experimental do estudo do abacaxi	44
Tabela 3 - Matriz do planejamento experimental fatorial 2^2 com cinco repetições no ponto central.....	44
Tabela 4 - Níveis do planejamento experimental do estudo do abacaxi	45
Tabela 5 - Matriz do planejamento experimental fatorial 2^3 com sete repetições no ponto central.....	45
Tabela 6 - Níveis do planejamento experimental do estudo do abacaxi	46
Tabela 7 - Matriz do planejamento experimental fatorial 2^3 com sete repetições no ponto central.....	46
Tabela 8 - Resultados das análises físico-químicas e lignocelulósica da casca de abacaxi	48
Tabela 9 - Comparação dos teores (%) de celulose, hemicelulose, lignina e holocelulose relatados na literatura para casca de abacaxi e materiais semelhantes	49
Tabela 10 - Resultados obtidos para a extração de antocianinas da casca de abacaxi com água (mg/L)	51
Tabela 11 - Análise de variância (ANOVA) para a extração de antocianinas com água.....	53
Tabela 12 - Resultados obtidos para a extração de antocianinas da casca de abacaxi com etanol	55
Tabela 13 - Análise de variância (ANOVA) para a extração de antocianinas com etanol.....	57
Tabela 14 - Resultados obtidos para a extração de antocianinas da casca de abacaxi com metanol.....	59
Tabela 15 - Análise de variância (ANOVA) para a extração de antocianinas com metanol.....	62

LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS

TU – Teor de umidade

MAU – Massa da amostra úmida

MR – Massa do recipiente

TLI – Teor de lignina insolúvel

TE – Teor de extrativos

TA – Teor de alfacelulose

TH – Teor de holocelulose

m/V – Razão entre massa e volume

MF – Massa do funil

MFL – Massa do funil com lignina

MA – Massa da amostra

MFA – Massa do funil com alfacelulose

MFH – Massa do funil com holocelulose

MRE – Massa do recipiente com extrativos secos

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária

CNS – Conselho Nacional de Saúde

IDEC – Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ANOVA – Análise de variância.

RDC – Resolução da Diretoria Colegiada

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 PROBLEMÁTICA	17
3 JUSTIFICATIVA	18
4 OBJETIVO	19
4.1 Objetivo geral.....	19
4.2 Objetivos específicos.....	19
5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
5.1 Corantes artificiais versus corantes naturais	20
5.2 Antocianinas e suas propriedades antioxidantes	23
5.3 Métodos de extração de antocianinas	25
5.4 Resíduos do abacaxi e seu aproveitamento	26
6 MATERIAIS E MÉTODOS	30
6.1 Local da pesquisa.....	30
6.2 Obtenção da matéria-prima	30
6.2 Caracterização lignocelulósica	31
6.2.1 Umidade	31
6.2.2 Cinzas	33
6.2.3 Extrativos.....	33
6.2.4 Lignina.....	36
6.2.5 Holocelulose	39
6.2.6 Alfacelulose	42
6.3 Extração de antocianinas	43
6.3.1 Extração de antocianinas com água.....	44
6.3.2 Extração de antocianinas com etanol	45
6.3.3 Extração de antocianinas com metanol	46
6.4 Determinação de antocianinas.....	47
6.4.1 Método do pH Único	47
7 RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
7.1 Caracterização da casca do abacaxi	48
7.2 Extração de antocianinas	50
7.2.1 Extração com água.....	50
7.2.2 Extração com etanol	54
7.2.3 Extração com metanol	58
8 CONCLUSÃO.....	65

1 INTRODUÇÃO

A cor é um dos aspectos visuais mais impactantes na percepção do consumidor, especialmente quando falamos de alimentos ou produtos de consumo, desempenhando um papel crucial para a decisão de compra. Constitui um fator fundamental para o marketing do produto, além de atrair atenção, influenciando diretamente no sabor, frescor e qualidade.

Os corantes alimentares são essenciais para melhorar o aspecto visual dos produtos, tornando-os mais atrativos ao consumo. Eles têm papel fundamental em realçar ou corrigir a coloração natural dos alimentos. Durante o processamento e o armazenamento, alguns produtos podem sofrer alterações indesejadas de cor, transmitindo a impressão de perda de qualidade. Nesse contexto, os corantes permitem restaurar seu visual original, assegurando que se mantenham convidativos e com aparência de frescor. De modo geral, a relevância do apelo visual para a aceitabilidade do produto é a principal justificativa para o uso de corantes (Kapadia et al., 1998).

Nesse contexto, os corantes artificiais se destacam como aditivos que não possuem valor nutricional. Sua principal função é conferir cor a alimentos e bebidas, tornando-os mais atrativos visualmente. Apesar de frequentemente serem desaconselhados do ponto de vista da saúde, seu uso é justificado principalmente por razões comerciais e tecnológicas. Mesmo assim, a utilização de corantes artificiais é prevalente, pois a coloração dos alimentos aumenta a aceitação e o prazer no consumo, influenciando positivamente a experiência do consumidor.

Apesar de serem regulamentados pelo Ministério da Saúde e pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), os corantes artificiais podem representar riscos à saúde, especialmente para indivíduos sensíveis a esses compostos. Eles são frequentemente mais suscetíveis a causar reações alérgicas devido à sua origem sintética. No entanto, é importante ressaltar que apenas uma fração da população apresenta sensibilidade a esses aditivos. Essas reações, que são respostas adversas a substâncias específicas, envolvem mecanismos imunológicos e podem apresentar uma variedade de manifestações clínicas, afetando diferentes sistemas do corpo, incluindo a pele, o trato gastrointestinal e o sistema respiratório (Prado; Godoy, 2007).

A Resolução da Anvisa RDC nº 778, de 2023, estabelece as funções tecnológicas, os limites máximos e as condições de uso para os aditivos alimentares e coadjuvantes de

tecnologia autorizados para uso em alimentos. No anexo III da Resolução 04/88 do Conselho Nacional da Saúde do Ministério da Saúde (CNS/MS) estão listados oito corantes artificiais permitidos para uso em alimentos que são: amarelo crepúsculo, azul brilhante, bordeaux S ou amaranto, eritrosina, indigotina, ponceau 4R, tartrazina e vermelho 40.

Em contraste, existem os corantes naturais que são extraídos de diversas fontes orgânicas, como vegetais, algas, insetos, microorganismos e animais. Eles têm ganhado destaque na indústria alimentícia devido aos seus diversos benefícios em comparação aos corantes artificiais. Isso se deve ao fato de que eles são derivados de ingredientes naturais, sem a presença de aditivos químicos que possam ser prejudiciais à saúde (Sampaio, 2019, p.5).

Os pigmentos de origem natural disponibilizam uma ampla variedade de tons vibrantes e diferentes tonalidades, o que embeleza os alimentos e os tornam mais chamativos para os consumidores. Oferecem uma variedade de benefícios que os tornam uma escolha preferencial na indústria alimentícia, que são considerados uma alternativa mais saudável e sustentável. Ele tem menor probabilidade de causar reações alérgicas e efeitos colaterais, sendo uma escolha mais segura, pois podem ser utilizados em uma grande variedade de produtos alimentícios, como bebidas, doces, laticínios e pães. Muitas pessoas buscam opções mais saudáveis e naturais, e a presença de corantes naturais nos produtos pode ser uma vantagem competitiva e aumentar a preferência do consumidor (Martins ; Silva, 2019)

Como exemplos de corantes naturais, classificados como flavonoides, têm-se as antocianinas que são compostos químicos presentes em diversas fontes naturais, reconhecidos por suas características antioxidantes, e estudos mostram que já são mais de 635 diferentes tipos (Costa, 2021). Esses compostos, que produzem tons vibrantes de vermelho, roxo e azul, podem ser encontrados em uma variedade de frutas, vegetais e flores. Sua função é vital para a saúde humana. A capacidade das antocianinas de combater o estresse oxidativo é um dos principais benefícios, pois é um fator que contribui para o envelhecimento e para o desenvolvimento de doenças crônicas, como diabetes e doenças cardíacas.

As antocianinas são um exemplo de antioxidantes que ajudam o organismo a neutralizar os radicais livres, reduzindo o risco de danos celulares e promovendo a saúde geral. Essas substâncias podem ser obtidas por meio de uma variedade de métodos de extração, cada um dos quais apresenta propriedades e eficácia únicas. Segundo Scherer

et al. (2021) vários métodos podem ser utilizados para extrair antocianinas de fontes vegetais. Dentre os mais comuns, estão a extração líquida pressurizada, a extração com fluido supercrítico e os métodos hidroalcoólicos.

O abacaxi é originário das regiões tropicais e subtropicais da América, com grande probabilidade de ter surgido no Brasil, sendo amplamente cultivada em áreas tropicais (Piedade; Canniatti - Brazaca, 2003). Atualmente, o Brasil é o quarto maior produtor mundial, ocorrendo em todas as regiões do país, com uma produção de 2,32 milhões de toneladas em uma área de aproximadamente 68 mil hectares, com as variedades Pérola e Smooth Cayenne sendo as mais cultivadas, com a Pérola predominando (Souza ; Souza, 2019). Sendo a quinta fruta mais cultivada no país, o abacaxi gera cerca de R\$ 2,22 bilhões para o PIB agrícola, com a maior parte dessa produção destinada ao mercado interno (Embrapa, 2024).

A casca de abacaxi possui uma concentração nutricional superior à da polpa, apresentando cerca de 4,74% de minerais e aproximadamente 17,92% de fibra alimentar (Neres, Souza e Bezerra, 2015). Estudos adicionais indicam que a casca é rica em lipídios, proteínas, cálcio e potássio, em comparação à polpa. Essa riqueza nutricional sugere que a casca pode ser explorada de maneira mais eficaz, especialmente em produtos como doces, devido ao seu elevado teor de fibras e nutrientes (Lima et al., 2017).

De acordo com Santini *et al.* (2013), a casca é uma fonte significativa de nutrientes, incluindo lipídios, proteínas, vitamina C, potássio, fósforo e cálcio. Sua aplicação em receitas como geleias, bolos e farinhas demonstra seu potencial na culinária (Santini *et al.*, 2013); (Martin *et al.*, 2012); (Moreno, 2016). Além disso, a casca de abacaxi apresenta propriedades benéficas, como ação antioxidante e anti-inflamatória, além de contribuir para a digestão, sendo bem aceita pelo público (Manetti, 2009). Essa versatilidade na alimentação humana representa uma excelente oportunidade para reaproveitar o abacaxi, já que a casca possui teores de proteína bruta, lipídios e minerais comparáveis aos da polpa, mas com um teor de fibra superior e menor valor calórico (Lima *et al.*, 2017)

Dessa forma, a presente pesquisa tem como objetivo estudar métodos de extração de antocianinas presentes na casca do abacaxi para posteriores aplicações nas áreas biotecnológicas

2 PROBLEMÁTICA

Os corantes artificiais são produzidos por meio de síntese química e se destacam por sua alta estabilidade em relação à luz, ao oxigênio e ao pH. Além disso, apresentam elevado poder de coloração, baixo custo de produção e baixa contaminação por microrganismos, garantindo uma tonalidade final uniforme. No entanto, esses corantes têm sido associados a potenciais riscos à saúde, o que levanta questionamentos sobre sua aceitabilidade (Constant *et al.*, 2002). Esses aditivos alimentares têm gerado diversas incertezas, especialmente no que diz respeito à alergenicidade e ao seu uso em produtos alimentícios (Moutinho *et al.*, 2007).

Por outro lado, os consumidores estão cada vez mais exigentes em relação a uma alimentação que promova bem-estar e saúde, o que tem aumentado a popularidade dos corantes de origem natural. Isso tem incentivado a busca por fontes alternativas de pigmentos, obtidos a partir de vegetais, micro-organismos, algas, insetos e animais. Esses corantes, extraídos por processos físicos, e são amplamente aceitos pelos consumidores por não causarem danos à saúde. Com isso, diversos frutos e hortaliças têm sido explorados como matéria-prima para produção de corantes, aplicados em massas doces e salgadas, além de cremes na área da confeitaria (Constant; Stringheta; Sandi, 2002).

O abacaxi é altamente demandado no mercado de frutas e possui diversas aplicações, tanto em sua forma in natura quanto processado, como em frutas em calda, sucos integrais, polpas congeladas, geleias, licores, entre outros. Uma grande parte do abacaxi é composta por resíduos, como cascas, folhas, caules, coroas e até frutos descartados. Esses resíduos podem ser amplamente aproveitados para enriquecer formulações alimentares devido ao seu alto valor nutricional (Moreno, 2016). A casca do abacaxi contém uma maior quantidade de proteínas, lipídeos, fibras, vitamina C, cálcio, potássio e fósforo em comparação à polpa (Zanella, 2006). Além disso, é rica em nutrientes como a bromelina, que oferece diversos benefícios para a pele, incluindo ação antioxidante, clareadora e propriedades de limpeza (Lourenço, 2013).

3 JUSTIFICATIVA

Durante o processamento do abacaxi, como nas indústrias de polpas, uma quantidade significativa de resíduos é gerada, já que partes como a coroa, a casca e os talos não são utilizados. Esse descarte pode representar entre 40% e 60% da fruta. No entanto, esses resíduos ainda são ricos em compostos funcionais que podem ser aproveitados (Ribeiro, 2015).

As antocianinas são pigmentos naturais do grupo dos flavonoides, encontrados em diversas partes das plantas, como flores e frutos, e responsáveis por cores intensas que vão do vermelho ao roxo. Sua coloração varia conforme o pH do ambiente vegetal, o que as torna visualmente atrativas e funcionalmente versáteis (Markakis, 1982; Brouillard, 1983). Além de sua importância estética, essas substâncias vêm sendo associadas a dietas saudáveis por apresentarem propriedades antioxidantes e potenciais benefícios à saúde humana.

As propriedades nutracêuticas das antocianinas estão fundamentadas em suas atividades antioxidantes e anti-inflamatórias, além de funcionarem como agentes redutores e quelantes de metais. Elas também estimulam as enzimas da fase II da detoxificação hepática, contribuindo para a redução da peroxidação lipídica e da proliferação celular (Aza-González *et al.*, 2012; Burin *et al.*, 2010; Serna-Saldívar *et al.*, 2013). Por isso a necessidade de encontrar novas fontes para a produção de antocianinas associando a saúde e a sustentabilidade para possíveis aplicações como corantes naturais.

4 OBJETIVO

4.1 Objetivo geral

Avaliar a recuperação de antocianinas presentes na casca do abacaxi utilizando-se de três diferentes solventes.

4.2 Objetivos específicos

- Caracterizar físico-quimicamente a casca do abacaxi.
- Utilizar planejamento experimental para avaliar as melhores condições para a extração de compostos bioativos.
- Verificar a influência dos solventes água, etanol e metanol na extração de antocianinas da casca do abacaxi.

5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1 Corantes artificiais versus corantes naturais

Os corantes artificiais são classificados como aditivos alimentares, conforme a definição da ANVISA na Portaria nº 540 de 1997. Segundo essa regulamentação, esses aditivos são ingredientes adicionados de forma intencional aos alimentos, com a finalidade de modificar suas características físicas, químicas, biológicas ou sensoriais, sem o objetivo de fornecer nutrientes. A principal razão para a adição de corantes é atrair a atenção dos consumidores. Esses corantes são preferidos devido à sua alta estabilidade, baixo custo de produção, ampla gama de cores disponíveis e a uniformidade que proporcionam na coloração dos produtos.

Há um entendimento comum entre os países membros do MERCOSUL quanto à regulamentação sobre o uso de corantes em alimentos. A Resolução GMC nº 50/98 aborda essa harmonização, enquanto a Resolução GMC nº 52/98 estabelece os critérios para definir as funções dos aditivos e seus limites máximos para todas as categorias alimentares (Pavanelli, 2010).

De acordo com essa regulamentação, os rótulos de alimentos que contêm corantes devem especificar a classe do aditivo (corante) e seu nome completo e/ou INS (International Numbering System). Além disso, é exigido que os corantes artificiais apresentem no rótulo a informação "colorido artificialmente" (Netto, 2009).

Entre os diversos tipos de corantes artificiais, destacam-se: o Amarantho, que apresenta um tom avermelhado e é utilizado em cereais, recheios de bolos e xaropes; o Amarelo Crepúsculo, comum em sopas, bolos, gelatinas e sorvetes; e o Amarelo Tartrazina, presente em salgadinhos, gelatinas, balas e caldos. Outros exemplos incluem o Azul Brilhante, encontrado em refrescos, cereais e recheios; o Azul de Indigotina, utilizado em iogurtes, balas e pós para sucos; o Vermelho de Eritrosina, que aparece em pós de gelatina, laticínios e geléias; e o Vermelho 40, frequentemente usado para colorir cereais, balas e refrigerantes. Além disso, há outros corantes como Ponceau 4R e Verde Rápido, que exercem funções semelhantes e são empregados em uma variedade de alimentos. No entanto, alguns desses corantes estão proibidos em diversos países, como os Estados Unidos e a Noruega, devido a questões de saúde pública (Adaptado de Netto, 2009).

A legislação brasileira autoriza o uso de 14 corantes artificiais, que estão listados na Tabela 1, juntamente com seus respectivos números de INS (International Numbering System) e os valores de IDA (Ingestão Diária Aceitável).

Tabela 1 - Corantes artificiais, código de rotulagem e valores de IDA

CORANTE	NÚMERO INS	IDA (mg/kg PC)
Tartrazina	102	7,5
Amarelo crepúsculo	110	4
Bordeaux S ou Amaranto	123	0,5
Ponceau 4R	124	4
Eritrosina	127	0,1
Vermelho 40	129	7
Indigotina	132	5
Azul brilhante	133	12,5
Azorrubina	122	4
Azul Patente V	131	15
Verde sólido	143	25
Amarelo de Quinoleína	104	5
Negro Brilhante BN	151	1
Marrom HT	155	1,5

Fonte: Adaptado de Martins, Maristela Satou. *Uso de corantes artificiais em alimentos: legislação brasileira*. Instituto Adolfo Lutz, [s.d.].

Diversos estudos apontam que os corantes artificiais podem desencadear reações adversas, tanto de forma aguda quanto crônica. Entre as principais preocupações estão efeitos tóxicos no metabolismo, que podem provocar alergias, alterações comportamentais e até mesmo o desenvolvimento de câncer, quando expostos por longos períodos (Polônio; Perez, 2009; Pollock, 1991). Já no início do século XX, surgiram indícios de que esses corantes poderiam ter potencial carcinogênico. Por exemplo, em 1906, verificou-se o crescimento celular anormal em coelhos que receberam injeções de vermelho escarlata, e em 1924, observou-se a formação de adenomas hepáticos em camundongos alimentados com o mesmo corante (Prado; Godoy, 2003). A regulamentação sobre o uso de corantes artificiais ainda varia entre países: nos Estados Unidos, substâncias como amaranto, azorrubina, ponceau 4R e azul patente são proibidas, enquanto na União Europeia o corante verde rápido é vetado (Alison; Collins, 2000).

Desde as civilizações mais antigas, os seres humanos utilizam corantes de origem animal, vegetal e mineral com finalidades estéticas e funcionais, como tingimento de tecidos, decoração de objetos e realização de pinturas. Esses compostos coloridos podem ser obtidos por meio de processos físicos, químicos ou biológicos, a partir de materiais naturais. Para que o corante seja aplicado de forma eficiente, é fundamental que ele se dissolva no líquido em que o material a ser colorido será imerso (ARAÚJO, 2006).

Os corantes naturais são obtidos de fontes como plantas, animais e insetos, sendo classificados em três categorias principais: 1) Heterociclos com estrutura tetrapirrólica, incluindo clorofilas das plantas, a heme presente em animais e as bilinas; 2) Compostos de estrutura isoprenoide, que englobam os carotenoides, encontrados principalmente em vegetais e, em menor medida, em animais; e 3) Heterociclos que contêm oxigênio, como os flavonoides, que são exclusivos dos vegetais. Além dessas categorias, também existem outros dois grupos de corantes: as betalainas, que são compostos nitrogenados, e os taninos, que se caracterizam como polifenóis. Os extratos de urucum, o carmim de cochonilha, a curcumina e diversas antocianinas e betalainas são alguns dos corantes mais comumente empregados na indústria alimentícia (Bobbio; Bobbio, 1992); (Gava; Silva; Frias, 2008).

Os corantes naturais oferecem diversas vantagens, especialmente em relação ao seu método de obtenção, que é sustentável, renovável e biodegradável. Essa característica não apenas proporciona corantes mais ecológicos, ajudando a preservar os ecossistemas, mas também gera oportunidades de trabalho nas atividades de cultivo, extração e aplicação desses compostos. Além disso, a utilização de resíduos gerados no processo de tingimento, como o índigo, pode ser transformada em fertilizantes agrícolas, enquanto se reduz a dependência de combustíveis fósseis, como o petróleo, utilizados na produção de corantes sintéticos (Samanta; Konar, 2011).

De acordo com a legislação brasileira, a expressão "sem limite" no contexto do uso de corantes naturais indica que eles podem ser utilizados apenas nas quantidades estritamente necessárias para atingir o efeito desejado, seguindo os padrões de boas práticas de fabricação. A análise de corantes naturais em alimentos é restrita à sua identificação, não envolvendo a quantificação. Os métodos de obtenção, extração e purificação desses corantes resultam em um produto específico, sobre o qual devem ser aplicados os controles de acordo com as Normas de Identidade e Qualidade. Dessa forma, é possível verificar se o corante analisado é o permitido pela legislação, ou seja, aquele que já passou por uma avaliação toxicológica (Vettorazzi, 1980).

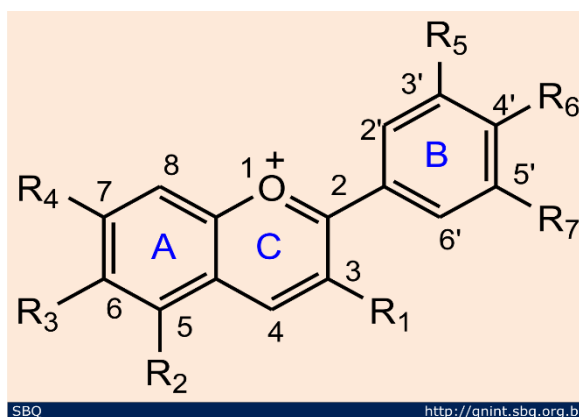
A legislação brasileira autoriza o uso dos seguintes corantes naturais: ácido carmínico, antocianinas, carmim, carotenoides (alfa-caroteno, beta-caroteno, gamacaroteno), carotenos naturais (alfa, beta e gama), clorofila, clorofila cúprica, cochonilha, cúrcuma, curcumina, páprica, riboflavina, bixina, norbixina, vermelho de beterraba, betanina, luteína, clorofilina cúprica, caramelo I simples, caramelo II processo sulfito cáustico, caramelo III processo amônia, caramelo IV processo sulfito amônia, capsorubina, capsantina, licopeno, beta-apo-8' carotenal, éster etílico ou metílico do ácido beta-apo-8' carotenóico e dióxido de titânio (ANVISA, 1999).

5.2 Antocianinas e suas propriedades antioxidantes

O termo "antocianina" deriva da junção das palavras gregas anthos e kianos, que significam "flor" e "azul", respectivamente. Introduzido em 1835 por Louis Clamor Marquart em seu livro *Die Farben Der Bluthen*, o termo originalmente se referia aos pigmentos azuis encontrados em flores. Com o avanço dos estudos, descobriu-se que as antocianinas são responsáveis pela coloração de uma ampla variedade de frutas, legumes e hortaliças, apresentando uma gama de cores que varia do vermelho ao azul (Lopes *et al.*, 2007).

As antocianinas, em conjunto com os carotenoides, formam a principal classe de substâncias coloridas encontradas no reino vegetal. Elas apresentam solubilidade em água e estão presentes em quase todas as plantas vasculares, que são aquelas que possuem tecidos especializados, como o xilema e o floema, responsáveis pelo transporte de água e seiva (Ressutte *et al.*, 2019).

As antocianinas e as antocianidinas têm como estrutura básica o cátion flavila (2-fenilbenzopirilium), que pode ser visto na Figura 1. Nas antocianinas, os grupos hidroxila estão localizados nas posições 3, 5 e 7, e uma ou mais dessas hidroxilas podem estar ligadas a açúcares, que, por sua vez, podem ser associados a ácidos fenólicos. Entre os açúcares identificados, destacam-se a ramnose, arabinose, glicose, galactose e xilose. Quanto aos ácidos fenólicos, os ácidos cafeico, ferúlico, cumárico e sinápico são alguns dos que foram reconhecidos (Bobbio; Bobbio, 1992).

Figura 1- Estrutura básica das antocianidinas

Fonte: Disponível em: <https://rvq.s bq.org.br/pdf/v5n3a05>

As antocianinas são compostos bioativos essenciais com funções nutricionais, amplamente reconhecidas por sua expressiva capacidade antioxidante. Esse atributo tem gerado grande interesse, especialmente devido à sua presença em várias dietas. Esses compostos são encontrados em muitas matérias-primas de origem vegetal (Vidal *et al.*, 2012; Cheynier, 2005; Naczki; Shahidi, 2004; Soobrattee *et al.*, 2005).

A ação antioxidante proporcionada pelo consumo de alimentos ricos em antocianinas traz diversos benefícios à saúde, ao ajudar a combater o estresse oxidativo e, conseqüentemente, reduzir o risco de doenças associadas ao desequilíbrio entre a produção de compostos oxidantes e a eficiência dos sistemas de defesa antioxidante do organismo. Diversos estudos demonstram que, além de suas propriedades antioxidantes, as antocianinas possuem efeitos anticarcinogênicos, anti-inflamatórios, antimicrobianos, antimutagênicos e antivirais, além de contribuírem para a prevenção de doenças cardiovasculares, diabetes e obesidade (Costa; Rosa, 2016; Gomes *et al.*, 2019).

Nesse contexto, as antocianinas surgem como uma valiosa alternativa aos corantes artificiais na indústria alimentícia, atendendo à crescente demanda de consumidores que preferem alimentos sem aditivos químicos sintéticos, optando por opções mais naturais e saudáveis. As antocianinas estão entre as classes de corantes naturais mais investigadas. Esses compostos, presentes em plantas, são responsáveis pelas cores vermelha, violeta e azul encontradas em diversos frutos (como morangos, mirtilos, framboesas, bagas de sabugueiro, amoras), vegetais (como couve-roxa, batata-doce roxa, rabanete, cenoura preta, berinjela) e flores (como centáurea e hibisco), entre outros (Awika *et al.*, 2005).

Embora a utilização de antocianinas em produtos alimentícios apresente desafios, como sua baixa estabilidade frente a variações de pH, exposição à luz, ação de enzimas e temperaturas de processamento, além de menor poder de coloração, esse pigmento não provoca efeitos adversos à saúde. Além disso, proporciona cores vibrantes, especialmente em tonalidades avermelhadas, e é facilmente incorporado aos alimentos devido à sua solubilidade em água (Francis, 1982; Constant, 2003; Mallacrida; Motta, 2006). Essas características químicas e sensoriais, aliadas às suas propriedades funcionais, agregam valor ao produto (Falcão *et al.*, 2007).

5.3 Métodos de extração de antocianinas

As antocianinas são moléculas polares devido à presença de grupos funcionais polares, como hidroxilas, carboxilas, metoxilas e glicosilas residuais, que estão ligadas aos seus anéis aromáticos. Como resultado, essas moléculas são mais solúveis em água do que em solventes apolares. No entanto, dependendo das condições do meio, podem também apresentar solubilidade em éter. Essas propriedades facilitam a extração e a separação das antocianinas (Harborne; Grayer, 1988).

Os métodos tradicionais de extração de pigmentos comumente utilizam ácido clorídrico diluído em metanol. A combinação de metanol com 0,001% de HCl mostrou ser mais eficaz, entretanto, o HCl é corrosivo e o metanol é tóxico para o ser humano. Por esse motivo, pesquisadores que trabalham com alimentos tendem a optar por outros sistemas de extração (Lopes *et al.*, 2000).

Entre os solventes alternativos, a combinação de 80 partes de etanol para 20 partes de água tem se mostrado tão eficaz quanto o metanol. Durante as extrações, é aconselhável o uso de ácidos fracos, como ácido acético, fórmico e perclórico, além de monitorar cuidadosamente o nível de acidez. Com o metanol, o ácido cítrico é o mais eficiente, seguido pelos ácidos tartárico, fórmico, acético e propiônico, nessa ordem. Já com a água, os ácidos mais indicados são o acético, cítrico, tartárico e clorídrico (Bridle; Timberlake, 1997; Francis, 1989; Harborne; Grayer, 1988; Swain; Bate-Smith, 1962).

Recentemente, foi avaliado um processo de extração aquosa de antocianinas provenientes de girassol. Os resultados mostraram que a extração utilizando água sulfurada (1000 ppm de SO₂) foi mais eficaz do que o método tradicional com etanol, ácido acético e água. Além disso, verificou-se que uma hora de extração foi suficiente para obter a extração completa dos pigmentos. A melhoria nesse processo foi atribuída,

em parte, à interação das antocianinas com íons HSO_3^- , que aumentam sua solubilidade e facilitam sua difusão através da parede celular (Gao; Mazza, 1996).

Mohdmaidin, Oruna-Concha e Jauregi (2010) investigaram a extração de antocianinas a partir do bagaço de uva vermelha, um resíduo da produção de vinho. Eles utilizaram tanto extração hidroalcoólica, com e sem adição de ácido sórbico, quanto separação baseada em aphrons de gás coloidal (CGA). Esse último método, que emprega surfactantes como o TWEEN20, mostrou-se eficiente, com a separação dependendo do tipo de surfactante utilizado.

Outro método de extração eficiente foi descrito por Garcia-Mendoza *et al.* (2017), que usaram a extração líquida pressurizada (ELP) e a extração com fluido supercrítico (SFE) para retirar antocianinas e compostos fenólicos dos resíduos da juçara (*Euterpe edulis*). O uso de ELP, que envolve solventes líquidos em temperaturas elevadas sob alta pressão, permitiu que o solvente permanecesse no estado líquido mesmo em temperaturas superiores ao ponto de ebulição, o que favoreceu a solubilidade e difusão dos compostos desejados.

Além disso, Ongkowijoy, Luna-Vitala e Mejia (2018) identificaram a extração líquida pressurizada como um dos métodos mais promissores. Ao combinar etanol com sulfato de amônio em um sistema de duas fases, foi possível aumentar a eficiência do processo, reduzindo o tempo de extração e a quantidade de solvente necessário.

5.4 Resíduos do abacaxi e seu aproveitamento

O Brasil, devido à sua posição geográfica e à sua vasta extensão territorial, se destaca como um dos maiores centros de biodiversidade do planeta, abrigando uma rica variedade de espécies nativas e cultivadas (Furtunato, 2002). O país figura entre os três principais produtores de frutas do mundo, com uma produção que ultrapassa 34 milhões de toneladas (Instituto Brasileiro de Fruticultura, 2004). Entretanto, Martins e Farias (2002) destacam que a perda de frutas e hortaliças no Brasil pode chegar a 30% a 40% da produção total. Entre as frutas cultivadas, o abacaxi se destaca por sua popularidade global, sendo valorizado tanto por seu sabor quanto por suas propriedades nutricionais (Piedade; Canniatti - Brazaca, 2003).

Entre 2003 e 2010, as regiões Nordeste e Sudeste se alternaram como as principais produtoras de abacaxi, com destaque para os estados da Bahia, Paraíba e Rio Grande do Norte. De 1990 até 2008, a produção combinada desses estados representou pelo menos

78% da produção nordestina e 30% da produção nacional. A maior parte da produção é destinada ao consumo interno, com apenas 1% sendo exportada. Isso se deve ao fato de que a variedade mais cultivada no Brasil, a Pérola, não é a preferida no mercado externo, onde a Smooth Cayenne é mais valorizada devido ao seu potencial de aproveitamento agroindustrial (Fao, 2010; IBGE, 2010).

O Brasil, por ser um dos principais centros de diversidade genética do abacaxi, destaca-se pelas cultivares mais produzidas, que incluem Cayenne (Smooth Cayenne) (Figura 2), Pérola (Pernambuco) (Figura 3) e Boituva (amarelo comum) (Figura 4). A vasta extensão do território brasileiro, com predominância de climas tropicais e temperados, favorece o cultivo de diversas variedades de frutas, tanto nativas quanto exóticas. No país, pesquisas estão sendo realizadas para melhorar a qualidade do abacaxi e aumentar sua competitividade, tanto no mercado interno quanto externo (Granada *et al.*, 2004).

Figura 2 - Abacaxi de cultivar Cayenne ou Smooth Cayenne.



Fonte: Kensnursery (2020)

Figura 3 - Abacaxi de cultivar Pérola



Fonte: Junghans, Davi Theodoro (2015)

Figura 4 - Abacaxi de cultivar Boituva



Fonte: GLOBO (s.d.)

O abacaxi é frequentemente utilizado na indústria alimentícia, especialmente na produção de polpa congelada, mas esse processo gera resíduos que, se não forem devidamente aproveitados, podem contribuir para a poluição. Conforme observado por Carvalho *et al.* (1991), apenas 22,5% do abacaxizeiro é aproveitado para consumo, englobando a parte comestível e que pode ser industrializada. O restante do fruto se divide em 4,5% de casca e 73% de partes vegetativas, como folhas e caule, que são descartadas como resíduos. Após a colheita, uma quantidade significativa desses resíduos pode ser utilizada na alimentação animal, mas muitas vezes acaba sendo desperdiçada por falta de conhecimento sobre suas potencialidades (Lallo *et al.*, 2003).

O consumo do abacaxi gera resíduos como a coroa, a casca, as extremidades e o miolo. A casca e o miolo, em conjunto, representam cerca de 38% do peso total da fruta. Ambos podem ser considerados boas fontes de fibra alimentar, desempenhando um papel relevante no processo digestivo (Diniz, 2017). Em um estudo conduzido por Zanella (2006), foi constatado que a casca do abacaxi contém vários nutrientes, incluindo proteínas, lipídios, fibras, vitamina C, cálcio, potássio e fósforo.

Conforme mencionado por Diniz (2017), é possível utilizar a casca do abacaxi na produção de um fermentado alcoólico conhecido como "vinho da casca do abacaxi". Os fermentados de frutas são bebidas alcoólicas obtidas através da fermentação do mosto de frutas saudáveis, frescas e maduras. O fermentado alcoólico desenvolvido por Diniz a partir da casca do abacaxi apresentou características físico-químicas de qualidade que se assemelham aos valores de referência descritos na literatura, além de estar de acordo com os requisitos estabelecidos pela Legislação Brasileira. Isso demonstra a viabilidade da produção em escala industrial ou familiar, contribuindo para a geração de renda e a redução do desperdício.

Nascimento (2017) sugere a criação de uma formulação de geleia a partir da polpa de abacaxi, incorporando a casca como uma forma de reaproveitar resíduos orgânicos. Essa abordagem visa aproveitar o potencial nutritivo da casca, juntamente com os outros ingredientes utilizados, com o objetivo de desenvolver um produto que ofereça um valor nutricional superior.

6 MATERIAIS E MÉTODOS

6.1 Local da pesquisa

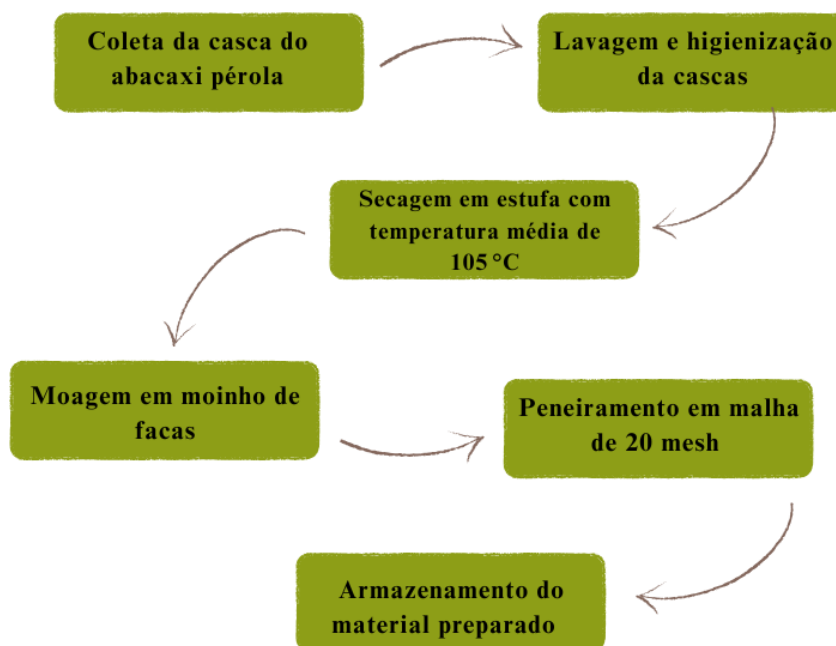
A pesquisa foi conduzida nos Laboratórios de Química Aplicada e Química Geral da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, no *Campus* Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte.

6.2 Obtenção da matéria-prima

Para o estudo, foi utilizada a casca de abacaxi da variedade Pérola, fornecida pela empresa Nossa Fruta, localizada no município de Pereiro, Ceará. O processo de preparação do resíduo consistiu em três fases: secagem, moagem e armazenamento.

A Figura 5 apresenta o fluxograma com as etapas do processo de preparação do resíduo da casca de abacaxi Pérola, que foi utilizado neste estudo como matéria-prima para a extração e quantificação do teor de antocianinas.

Figura 5 - Processo de preparação do resíduo da casca de abacaxi Pérola



Fonte: Autoria própria (2025)

A casca de abacaxi foi inicialmente lavada em água corrente e higienizada com solução de hipoclorito de sódio apropriada para a remoção de impurezas. Em seguida, foi submetida ao processo de secagem em estufa com circulação e renovação de ar (Solab, modelo SL-102), mantendo-se uma temperatura média de 105 °C, até que a umidade fosse eliminada e a massa permanecesse constante. Após a secagem, o resíduo passou por uma etapa de pré-tratamento físico, sendo moído em um moinho de facas (Solab, modelo SL-31). O material triturado foi então peneirado em malha de 20 mesh, visando uniformizar a granulometria e obter partículas menores e homogêneas.

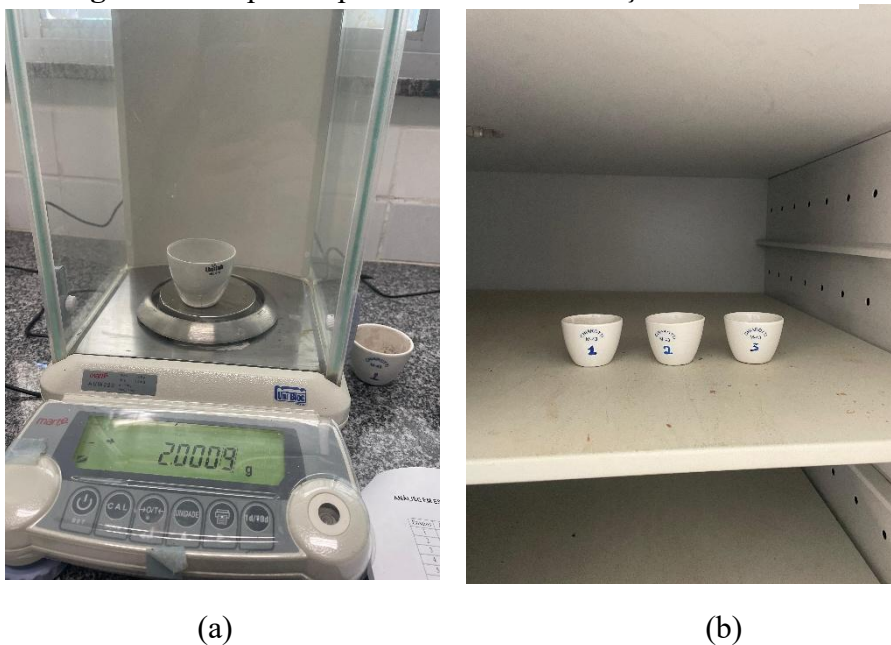
6.2 Caracterização lignocelulósica

A caracterização do resíduo seco e moído da casca do abacaxi neste estudo seguiu os procedimentos estabelecidos para a análise de materiais lignocelulósicos, conforme descrito no documento 236 da EMBRAPA (Morais; Rosa; Marconcini, 2010). Para assegurar a precisão dos resultados, as determinações dos teores de umidade, cinzas, extrativos, lignina, holocelulose, alfa-celulose e hemicelulose foram realizadas em triplicata.

6.2.1 Umidade

Para a condução desta etapa da análise, utilizaram-se cadinhos de porcelana, previamente lavados e secos em estufa com circulação e renovação de ar (marca Solab, modelo SL-102). Após esse processo, os cadinhos foram acondicionados em dessecador contendo sílica gel por 30 minutos. Em seguida, cada um foi pesado em balança analítica com precisão de 0,0001 g, a fim de determinar sua massa inicial. Cerca de 2 g do resíduo previamente seco e triturado foram adicionados a cada cadinho, formando o conjunto cadinho + amostra. Este conjunto foi levado novamente à estufa, mantida a 105 °C, por um período de 24 horas. Para complementar a descrição do procedimento, a Figura 6 apresenta duas etapas do processo de determinação da umidade: a pesagem dos cadinhos com amostra na balança analítica (a) e a disposição dos cadinhos na estufa (b).

Figura 6 - Etapas do processo de determinação da umidade.



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

Após esse tempo, os cadinhos foram retirados e colocados em dessecador até atingirem a temperatura ambiente (cerca de 30 minutos), sendo posteriormente pesados. Com base nessa pesagem, foi possível calcular o teor de umidade do material, conforme apresentado na Equação 1.

$$TU\% = \frac{(MRAU - MRAS) * 100\%}{MAU}$$

(1)

Onde:

TU = Teor de umidade;

MAU = Massa da amostra úmida;

MRAU = Massa do conjunto recipiente (MR)/Amostra úmida (AU);

MRAS = Massa do conjunto recipiente (MR)/Amostra seca (AS).

6.2.2 Cinzas

Para esta etapa da análise, foram utilizados cadinhos de porcelana, os quais passaram por um processo de lavagem e secagem em estufa com circulação e renovação de ar (Solab, modelo SL-102). Após a secagem, os cadinhos foram armazenados em dessecador contendo sílica gel por 30 minutos. Em seguida, cada cadinho foi pesado em balança analítica com precisão de 0,0001 g, registrando-se sua massa inicial. Aproximadamente 2 g da amostra foram adicionados a cada cadinho, formando o conjunto cadinho + material. Este conjunto foi então inserido em um forno mufla (Digimec, modelo FHMP) inicialmente em temperatura ambiente. A amostra foi submetida a um aquecimento gradual, com uma taxa de aproximadamente 9,6 °C por minuto, até atingir 600 °C após 60 minutos. Essa temperatura foi mantida por um período de três horas. Após o término da calcinação, a mufla foi resfriada até 200 °C, temperatura esta que foi mantida por mais uma hora. Por fim, o conjunto contendo o material calcinado foi transferido para um dessecador, onde permaneceu por 30 minutos para estabilização térmica.

Depois dos 30 minutos o conjunto foi pesado em uma balança analítica com precisão de 0,0001 g, para a verificação da massa de cinzas e anotada para obtenção do teor de cinzas conforme a Equação 2.

$$TC\% = \frac{MRAC - MR}{MA} * 100\% \quad (2)$$

Onde:

TC = Teor de cinzas;

MRAC = Massa do conjunto recipiente (MR)/Amostra calcinada (AC);

MR = Massa do recipiente;

MA = Massa da amostra.

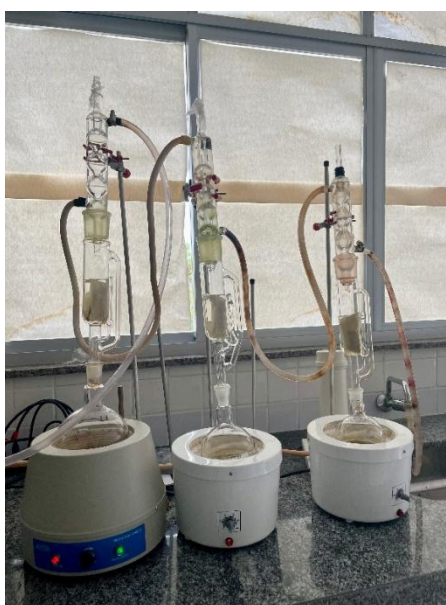
6.2.3 Extrativos

A análise foi iniciada com a pesagem de um papel de filtro previamente seco em estufa a 105 °C e, em seguida, resfriado em dessecador contendo sílica gel até atingir a temperatura ambiente. Posteriormente, cerca de 4,0 g de matéria vegetal seca foram

pesadas e colocadas no interior do papel de filtro. O conjunto foi dobrado, formando um cartucho, que foi inserido no aparelho de Soxhlet.

Em seguida, montou-se o sistema de extração, acoplando o Soxhlet a um balão volumétrico de fundo redondo com capacidade de 500 mL, ao qual foram adicionados 100 mL de álcool etílico e 100 mL de hexano, utilizados como solventes extratores. O sistema completo foi posicionado sobre uma manta aquecedora (Bunker, modelo NI-1013), permanecendo em funcionamento por 5 horas para a realização da extração (Figura 7).

Figura 7- Sistema de extração



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

Após o período de extração, o balão foi desconectado do sistema, e sua solução contendo os extrativos e os solventes foi devidamente armazenada para análises posteriores. O cartucho de papel contendo a amostra foi então levado à estufa, mantido a 105 °C por 1 hora (figura 8).

Figura 8 - Cartuchos de papel filtro contendo a amostra vegetal após extração



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

Em seguida, foi transferido para um dessecador com sílica gel, onde permaneceu por 30 minutos até atingir a temperatura ambiente. Após esse processo, o cartucho foi pesado em balança analítica com precisão de 0,0001 g. O valor obtido foi utilizado no cálculo do teor de extrativos, conforme demonstrado na Equação 3.

$$TE\% = \frac{MRE - MRRS}{MA} * 100\% \quad (3)$$

Onde:

TE = Teor de extrativos;

MRE = Massa do conjunto recipiente/extrativos secos;

MRRS = Massa do conjunto recipiente (MR)/Resíduo de solvente (RS);

MA = Massa da amostra

Como os dados obtidos correspondem à massa da amostra seca, foi necessário realizar um ajuste nos valores, com o objetivo de expressá-los em relação ao material original. Dessa forma, o teor de extrativos corrigido foi determinado por meio da Equação 4:

$$TE_{CORRIGIDO} = TE\% * \frac{(100-TU\%)}{100} \quad (4)$$

6.2.4 Lignina

Para a determinação do teor de lignina, utilizou-se aproximadamente 1,0 g da amostra previamente seca e isenta de extrativos. O material foi transferido para um almofariz, onde foram adicionados 17,0 mL de ácido sulfúrico a 72 % (m/m), previamente resfriado a 15 °C em geladeira. Em seguida, a mistura foi cuidadosamente macerada com o auxílio de um pistilo por cerca de 15 minutos, até completa homogeneização e ausência de partículas visíveis não solubilizadas. Após esse processo, o material foi mantido em repouso por 24 horas. A Figura 9 mostra o preparo da amostra para análise de lignina, com o uso de almofarizes durante a maceração.

Figura 9 - Preparação da amostra para análise de lignina



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

Finalizado esse período, procedeu-se à etapa de digestão: adicionaram-se 306 mL de água destilada ao almofariz, com o objetivo de diluir o ácido para uma concentração final de 4 % (m/m). A solução resultante foi então transferida quantitativamente para um balão de fundo redondo com volume de 500 mL. Esse balão foi acoplado ao sistema de refluxo previamente utilizado com o Soxhlet e posicionado sobre uma manta aquecedora. A mistura permaneceu em aquecimento sob refluxo por 4 horas, contadas a partir do início

da ebulição. Ao final do tempo de digestão, o aquecimento foi interrompido e aguardou-se o resfriamento natural do sistema até que a temperatura ambiente fosse atingida.

Antes de completar as 24 horas de repouso, um funil de buchner foi previamente colocado em estufa a 105 °C por 60 minutos. Após esse período, foi resfriado em dessecador contendo sílica gel até atingir a temperatura ambiente e, então, devidamente pesado. O funil foi posicionado sobre um kitassato de 1.000 mL, utilizando-se um adaptador de borracha ligeiramente maior que a abertura superior do kitassato, com espaço interno oco para acomodar o funil de maneira segura.

Em seguida, montou-se o sistema de filtração a vácuo, conectando o funil de Büchner ao frasco de Kitassato por meio de uma mangueira acoplada a uma bomba de vácuo. Esse arranjo permitiu a separação eficiente dos sólidos presentes na mistura, acelerando o processo de filtração.

O conteúdo do balão foi transferido gradualmente para o funil de vidro, com agitação constante durante o processo, a fim de evitar a perda de precipitado nas paredes internas da vidraria. Para facilitar a filtração, a bomba de vácuo (New Pump, modelo NOF-650) foi acionada. Após a completa transferência do material, o balão foi lavado com água destilada, garantindo que nenhum resíduo de lignina insolúvel permanecesse em seu interior.

O precipitado retido no funil foi então lavado repetidamente com água destilada até que o pH do filtrado se aproximasse do pH da água utilizada, assegurando a remoção completa do ácido residual. Em seguida, o funil contendo o resíduo sólido foi levado à estufa, onde permaneceu a 105 °C por 1 hora. Após o resfriamento em dessecador, foi realizada a pesagem em balança analítica. O resíduo foi seco e pesado conforme mostrado na figura (Figura 10).

Figura 10 - Determinação do teor de lignina insolúvel



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

O teor de lignina insolúvel foi determinado com base na Equação 5.

$$TLI\% = \left(\frac{MFL - MF}{MA} * 100\% \right) - TC\% \quad (5)$$

Onde:

TLI = Teor de lignina insolúvel;

MFL = Massa do funil somada à massa de lignina, após a secagem em estufa;

MF = Massa do funil limpo e seco;

MA = Massa da amostra;

TC = Teor de cinzas.

Como os valores obtidos correspondem à massa da amostra seca, foi necessário aplicar um fator de correção para que os resultados representassem a proporção em relação à amostra original, com umidade. Dessa forma, o teor de lignina insolúvel corrigido foi determinado conforme apresentado na Equação 6:

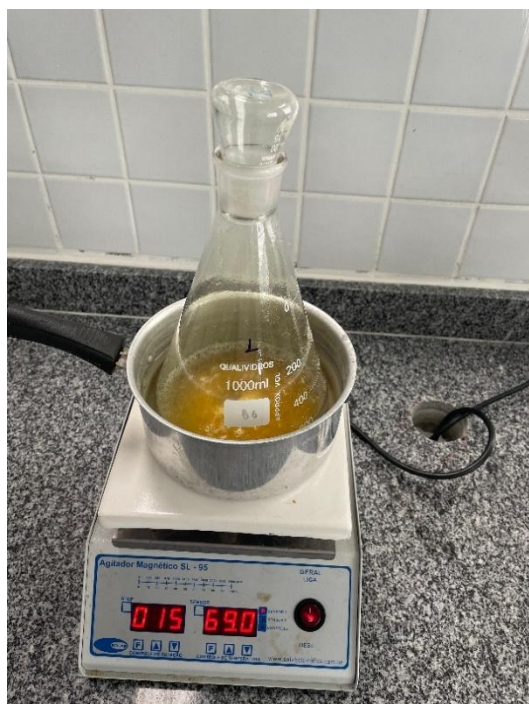
$$TLI\%_{Corrigido} = TLI\% * \frac{[100 - (TE\% + TU\%)]}{100} \quad (6)$$

6.2.5 Holocelulose

Para a análise de holocelulose, inicialmente foram pesados 3,0 g do material vegetal seco e isento de extrativos em um erlenmeyer de 500 mL. Em seguida, adicionaram-se 2,5 g de clorito de sódio (NaClO_2), com pureza estimada em 80 %, 120 mL de água destilada e 1 mL de ácido acético glacial (pureza $\geq 99,85$ %). Uma barra magnética foi introduzida no frasco para assegurar agitação contínua ao longo da reação.

A reação foi conduzida em capela de exaustão, onde foi preparado um banho-maria mantido a uma temperatura constante de aproximadamente 70 °C. O erlenmeyer contendo a amostra e os reagentes foi vedado com um erlenmeyer menor (25 mL) invertido na boca e imerso no banho, que permaneceu sob aquecimento constante e agitação promovida por agitador magnético (Figura 11).

Figura 11 - Sistema utilizado para a reação de extração da holocelulose



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

Após uma hora de reação, foi realizada uma nova adição de 1 mL de ácido acético glacial e 2,5 g de clorito de sódio (NaClO_2). Passado mais um intervalo de uma hora, repetiu-se a adição da mesma quantidade de reagentes (1 mL de ácido acético e 2,5 g de NaClO_2), mantendo-se o aquecimento em banho-maria por um período adicional de três horas. Durante esse processo, foi possível observar a liberação de gás cloro, evidenciado pela formação de um gás com coloração amarelada-esverdeada no interior do erlenmeyer.

Enquanto a reação ocorria, preparou-se o sistema de filtração utilizado na etapa de determinação da holocelulose. Um funil de buchner foi levado à estufa a 105 °C por uma hora para secagem. Em seguida, utilizando pinças, o funil foi transferido para um dessecador até o resfriamento completo. Após esse procedimento, foi realizada a pesagem em balança analítica, com anotação do valor obtido. O funil foi então acoplado a um kitassato de 1000 mL, utilizando um adaptador confeccionado em borracha, cortado de forma a exceder levemente a boca do frasco e contendo um orifício central para encaixe do funil (Figura 12).

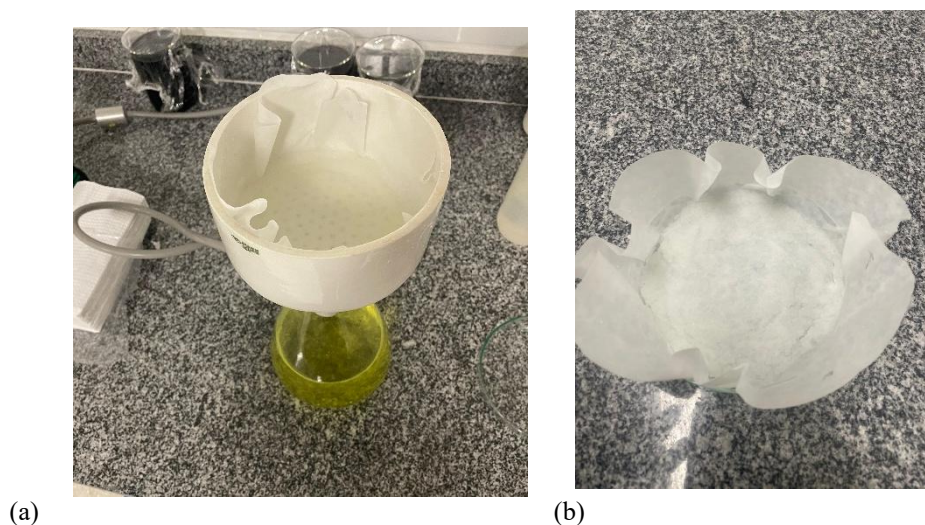
Figura 12 - Sistema de filtração a vácuo da holocelulose



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

Concluído o tempo total da reação sob aquecimento, o conteúdo do erlenmeyer foi cuidadosamente transferido para o funil de filtração, mantendo-se uma agitação constante com o objetivo de evitar perdas do material sólido aderido às paredes do frasco. A filtração foi então iniciada, aplicando-se leve pressão com a palma da mão sobre o sistema para gerar vácuo, facilitando a passagem do líquido pelo funil.

Figura 13 - (a) Filtração a vácuo do material obtido após a reação;
 (b) Resíduo sólido (holocelulose) retido no papel de filtro após secagem.



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

O resíduo sólido retido no funil foi lavado com água destilada e, posteriormente, levado à estufa a 105 °C, onde permaneceu por 3 horas para garantir a secagem completa do material.

Após esse período, o conjunto formado pelo funil contendo a holocelulose foi transferido para um dessecador por 30 minutos. Em seguida, realizou-se a pesagem em balança analítica, com registro da massa obtida. O teor de holocelulose foi então calculado por meio da Equação 7.

$$TH\% = \frac{MFH - MF}{MA} * 100\% \quad (7)$$

Onde:

TH = Teor de holocelulose;

MFH = Massa do funil somada à massa de holocelulose, após a secagem em estufa;

MF = Massa do funil limpo e seco;

MA = Massa da amostra.

Como os valores de holocelulose se referem à massa da amostra isenta de extrativos e completamente seca, foi necessário realizar um ajuste adicional para adequar

os resultados ao material original. Assim, o teor corrigido de holocelulose foi obtido por meio da Equação 8:

$$TH\%_{Corrigido} = TH\% * \frac{[100-(TE\%+TU\%)]}{100} \quad (8)$$

6.2.6 Alfacelulose

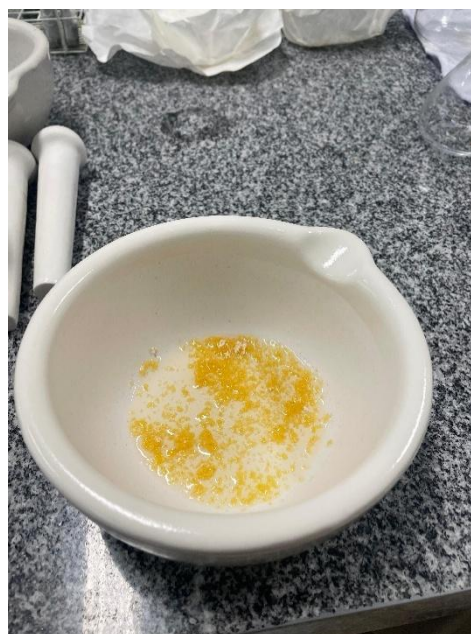
Primeiramente, um funil de buchner com volume de 50 mL foi colocado em uma estufa a 105 °C por um período de 1 hora. Após esse tempo, o funil foi retirado e transferido para um dessecador, onde permaneceu por 30 minutos para resfriamento. Em seguida, realizou-se a pesagem do funil, registrando-se sua massa. Com isso, procedeu-se à montagem do sistema de filtração a vácuo.

Aproximadamente 1,0 g de holocelulose seca, previamente obtida, foi pesada em um almofariz à temperatura ambiente. Adicionaram-se então 15 mL de uma solução de hidróxido de sódio (NaOH) a 17,5% (m/v), aguardando-se dois minutos para permitir a interação entre o reagente e o material, como mostrado na figura 14.

Figura 14 - (a) Solução de hidróxido de sódio (NaOH); (b) Amostra de holocelulose após 2 minutos de contato com a solução de NaOH no almofariz.



(a)



(b)

Fonte: Arquivo pessoal (2025)

Após esse intervalo, o material foi triturado por um período de oito minutos. Finalizada a trituração, acrescentaram-se 40 mL de água destilada ao almofariz, e o conteúdo foi transferido para o funil com agitação constante. O almofariz foi lavado cuidadosamente com água destilada, assegurando a completa transferência do material para o funil. A filtração foi iniciada aplicando-se pressão manual sobre a superfície do funil. O resíduo retido no funil foi lavado repetidas vezes com água destilada.

Após o processo de filtração, o funil contendo a alfacelulose foi colocado em estufa a 105 °C por um período de 3 horas. Passado esse tempo, o conjunto foi transferido para um dessecador, onde permaneceu por 30 minutos, permitindo que atingisse a temperatura ambiente. Em seguida, realizou-se a pesagem do funil com o resíduo, e a massa foi devidamente registrada. O cálculo do teor de alfacelulose foi realizado com base na Equação 9:

$$TA\% = \frac{MFA-MF}{MAH} * 100 \quad (9)$$

Onde:

TA = Teor de Alfacelulose;

MFA = Massa do funil somada à massa de alfacelulose, após a secagem em estufa;

MF = Massa do funil limpo e seco;

MAH = Massa da holocelulose.

O valor corrigido do teor de alfacelulose ($TA_{\text{corrigido}}$) pode ser determinado com base no teor corrigido de holocelulose ($TH_{\text{corrigido}}$) por meio do cálculo representado na Equação 10:

$$TA_{\text{Corrigido}} = \frac{TH_{\text{Corrigido}} - TA}{100} \quad (10)$$

6.3 Extração de antocianinas

Com o objetivo de avaliar a eficiência da extração de antocianinas da casca de abacaxi, foram realizados experimentos utilizando três solventes diferentes: água

destilada, etanol e metanol. Para cada solvente, adotaram-se diferentes tipos de planejamentos experimentais.

6.3.1 Extração de antocianinas com água

Para a realização da extração da casca de abacaxi por maceração dinâmica em água, empregou-se um planejamento fatorial do tipo 2^2 , com cinco repetições no ponto central. Ao todo, foram conduzidos nove ensaios, executados de maneira aleatória.

As variáveis independentes consideradas no delineamento experimental foram o tempo de extração (minutos) e a razão massa do material (m) por volume do solvente (V_s). Os níveis adotados para essas variáveis estão descritos na Tabela 2, enquanto a Tabela 3 apresenta a matriz experimental, incluindo as variáveis utilizadas, seus respectivos códigos e os níveis testados. A análise dos dados obtidos foi realizada com o auxílio do software Statistica, versão 12.0.

Tabela 2 - Níveis do planejamento experimental do estudo do abacaxi

Variável	(-1)	(0)	(+1)
Tempo (minutos)	30	60	90
m: V_s (g:mL)	1:20	1:40	1:60

Fonte: Autoria própria (2025)

Tabela 3 - Matriz do planejamento experimental fatorial 2^2 com cinco repetições no ponto central

Ensaio	Tempo (minutos)	razão m/ V_s
1	- 1 (30)	- 1 (1:20)
2	+ 1 (90)	- 1 (1:20)
3	- 1 (30)	+ 1 (1:60)
4	+ 1 (90)	+ 1 (1:60)
5	0 (60)	0 (1:40)
6	0 (60)	0 (1:40)
7	0 (60)	0 (1:40)
8	0 (60)	0 (1:40)
9	0 (60)	0 (1:40)

Fonte: Autoria própria (2025)

6.3.2 Extração de antocianinas com etanol

A extração da casca de abacaxi por maceração dinâmica com etanol foi conduzida com base em um planejamento fatorial do tipo Box-Behnken. Esse delineamento experimental incluiu sete repetições no ponto central, totalizando 15 ensaios executados de maneira aleatória.

No experimento, as variáveis independentes avaliadas foram: o tempo de extração (minutos), a concentração do solvente ($\%$, v/v^{-1}) e a razão entre a massa do material (m) e o volume do solvente (VS). Os níveis estabelecidos para cada uma dessas variáveis estão descritos na Tabela 4. Já a Tabela 5 apresenta a matriz experimental, contendo as variáveis envolvidas, suas codificações e os respectivos níveis testados. A interpretação dos resultados foi realizada com o auxílio do software Statistica, versão 12.0.

Tabela 4 - Níveis do planejamento experimental do estudo do abacaxi

Variável	(-1)	(0)	(+1)
Tempo (minutos)	30	60	90
Concentração do solvente	50	60	70
m:Vs	1:20	1:40	1:60

Fonte: Autoria própria (2025)

Tabela 5 - Matriz do planejamento experimental Box-Behnken com três repetições no ponto central

Ensaio	Tempo (minutos)	Conc. Solvente (%)	Razão m/Vs
1	0 (60)	- 1 (50)	- 1 (1:60)
2	0 (60)	+ 1 (70)	- 1 (1:60)
3	0 (60)	- 1 (50)	+ 1 (1:20)
4	0 (60)	+ 1 (70)	+ 1 (1:20)
5	- 1 (30)	- 1 (50)	0 (1:40)
6	- 1 (30)	+ 1 (70)	0 (1:40)
7	+ 1 (90)	- 1 (50)	0 (1:40)
8	+ 1 (90)	+ 1 (70)	0 (1:40)
9	- 1 (30)	0 (60)	- 1 (1:60)
10	- 1 (30)	0 (60)	+ 1 (1:20)
11	+ 1 (90)	0 (60)	-1 (1:60)
12	+ 1 (90)	0 (60)	+ 1 (1:20)

13	0 (60)	0 (60)	0 (1:40)
14	0 (60)	0 (60)	0 (1:40)
15	0 (60)	0 (60)	0 (1:40)

Fonte: Autoria própria (2025)

6.3.3 Extração de antocianinas com metanol

A extração da casca de abacaxi utilizando maceração dinâmica com metanol foi realizada com base em um planejamento fatorial do tipo Box-Behnken, com sete repetições no ponto central. Ao todo, foram conduzidos 15 experimentos, executados de forma aleatória.

Neste experimento, as variáveis independentes consideradas foram: o tempo de extração (em minutos), a concentração do solvente ($\%$, v/v^{-1}) e a proporção entre a massa da amostra (m) e o volume do solvente (VS). Os níveis estabelecidos para cada variável estão detalhados na Tabela 6. Já a Tabela 7 apresenta a matriz experimental, contendo as variáveis envolvidas, suas codificações e os níveis correspondentes. A análise dos dados obtidos foi realizada com o suporte do software Statistica, versão 12.0.

Tabela 6 - Níveis do planejamento experimental do estudo do abacaxi

Variável	(-1)	(0)	(+1)
Tempo (minutos)	30	60	90
Concentração do solvente	50	60	70
m:Vs	1:20	1:40	1:60

Fonte: Autoria própria (2025)

Tabela 7 - Matriz do planejamento experimental Box-Behnken com três repetições no ponto central

Ensaio	Tempo (minutos)	Conc. Solvente (%)	Razão m/Vs
1	0 (60)	- 1 (50)	- 1 (1:60)
2	0 (60)	+ 1 (70)	- 1 (1:60)
3	0 (60)	- 1 (50)	+ 1 (1:20)

4	0 (60)	+ 1 (70)	+ 1 (1:20)
5	- 1 (30)	- 1 (50)	0 (1:40)
6	- 1 (30)	+ 1 (70)	0 (1:40)
7	+ 1 (90)	- 1 (50)	0 (1:40)
8	+ 1 (90)	+ 1 (70)	0 (1:40)
9	- 1 (30)	0 (60)	- 1 (1:60)
10	- 1 (30)	0 (60)	+ 1 (1:20)
11	+ 1 (90)	0 (60)	-1 (1:60)
12	+ 1 (90)	0 (60)	+ 1 (1:20)
13	0 (60)	0 (60)	0 (1:40)
14	0 (60)	0 (60)	0 (1:40)
15	0 (60)	0 (60)	0 (1:40)

Fonte: Autoria própria (2025)

6.4 Determinação de antocianinas

6.4.1 Método do pH Único

A quantificação das antocianinas totais foi realizada pelo método de pH único, conforme descrito por Fuleki e Francis (1968b). Para isso, uma pequena alíquota da amostra foi diluída previamente em solução de etanol:HCl 1,5N (85:15, v/v). A absorbância foi medida em espectrofotômetro UV-VIS, modelo T80+ da marca PG Instruments, com comprimento de onda ajustado para 535 nm, garantindo que o valor de absorbância (Abs) estivesse entre 0,200 e 0,800.

A concentração total de antocianinas foi determinada aplicando a Lei de Lambert-Beer (Equação 11), e os valores obtidos foram expressos em miligramas de antocianinas por mililitro do extrato analisado.

$$A = \varepsilon \times b \times C \quad (11)$$

Em que:

A= absorvância

ε = coeficiente de absortividade mola ($98,2 \times L \times \text{cm}^{-1} \times \text{g}^{-1}$)

C= concentração g/L

b = espessura da cubeta em cm

Os valores de absorvância foram comparados com os obtidos nos brancos, compostos somente pela solução de etanol:HCl 1,5N (85:15). O teor total de antocianinas (AntT) por mililitro de extrato foi calculado conforme a Equação 12. Para esses cálculos, adotou-se o coeficiente médio de extinção ($E^{1\%}_{1cm}$) de diferentes antocianinas, utilizando-se o valor 982, correspondente ao método de pH único em pH 2,0.

$$AntT_{\frac{mgAnt}{mL} de extrato} = \frac{A \times FD \times 100}{m \times E^{1\%}_{1cm}} \quad (12)$$

Em que:

AntT= teor de antocianinas

A= absorvância

FD = fator de diluição

m = massa de amostra

$E^{1\%}_{1cm}$ = Coeficiente de extinção

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1 Caracterização da casca do abacaxi

A caracterização físico-química da casca de abacaxi foi realizada com o intuito de verificar as suas características como material lignocelulósico. Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 8, apresentando os valores médios e desvios padrão obtidos para umidade, cinzas, extrativos, lignina, holocelulose e α -celulose.

Tabela 8 - Resultados das análises físico-químicas da casca de abacaxi

Parâmetro analisado	Valor (%)
Umidade	3,242±0,034

Cinzas	3,791±0,192
Extrativos	6,703±1,712
Lignina	14,250±3,113
Holocelulose	54,585±11,948
α-celulose	24,750±14,476
Fonte: Autoria própria (2025)	

Com base nos resultados obtidos, foi possível fazer uma comparação com outros estudos encontrados na literatura. Isso ajudou a verificar se os dados estão compatíveis e a entender possíveis diferenças entre os trabalhos. A Tabela 9 apresenta os teores de celulose (α -celulose), hemicelulose (obtida por diferença entre holocelulose e celulose) e lignina relatados por diferentes autores que analisaram a composição de biomassa vegetal da casca do abacaxi.

Tabela 9 - Comparação dos teores (%) de celulose, hemicelulose, lignina e holocelulose relatados na literatura para casca de abacaxi

Trabalhos	Celulose (%)	Hemicelulose (%)	Lignina (%)	Holocelulose (%)
Presente trabalho	24,75	29,83	14,25	54,58
Lima (2023)	24,45	29,04	24,30	53,49
Santos (2018)	24,32	12,55	12,85	36,87
Lima <i>et al.</i> (2023)	25,8	24,6	33,6	50,4

Fonte: ¹Dados experimentais do autor (2025), ² Lima (2023), ³ Santos (2018), ⁴ Lima *et al.* (2023)

O teor de celulose obtido foi de 24,75%, número que apresenta forte proximidade com os dados de Lima (2023) e Santos (2018), que relataram 24,45% e 24,32%, respectivamente. Resultados semelhantes também foram obtidos por Lima *et al.* (2023), que analisaram farinha da casca do abacaxi e encontraram 25,8% de celulose.

Para a hemicelulose, o presente trabalho obteve um valor de 29,83%, compatível com o de Lima (2023) (29,04%) e com os 24,6% relatados por Lima *et al.* (2023). Em contrapartida, Santos (2018) registrou valor significativamente mais baixo, de 12,55%. Essa disparidade pode estar relacionada às condições de cultivo, à espécie da fruta analisada ou à eficiência dos métodos de extração aplicados.

Com relação à lignina, o valor encontrado foi de 14,25%, que está dentro da faixa observada na literatura. Santos (2018) registrou 12,85%, e Lima (2023), 24,30%,

evidenciando a variação natural esperada para esse parâmetro. Lima *et al.* (2023) obtiveram 33,6% de lignina insolúvel, valor mais elevado que o deste estudo, o que pode ser atribuído às diferenças de processamento ou variedade utilizada.

No que se refere à holocelulose, o valor obtido neste estudo foi de 54,58%, indicando uma alta proporção de carboidratos estruturais na casca do abacaxi. Esse resultado está de acordo com o encontrado por Lima (2023) (53,49%). Embora Santos (2018) e Lima *et al.* (2023) não tenham determinado diretamente esse parâmetro, a soma dos teores de celulose e hemicelulose apresentados por esses autores permite estimativas de holocelulose de 36,87% e 50,4%, respectivamente, sendo esses valores compatíveis com os obtidos no presente trabalho. Essas diferenças podem ser atribuídas à variedade da fruta, condições de cultivo e às metodologias empregadas em cada estudo. A composição observada reforça a viabilidade do uso da casca do abacaxi em aplicações industriais voltadas à extração de corantes naturais e substâncias com propriedades antioxidantes.

7.2 Extração de antocianinas

Com o objetivo de avaliar a eficiência da extração de antocianinas da casca de abacaxi, foram realizados experimentos utilizando três solventes diferentes: água, etanol e metanol. Os resultados obtidos no software Statística 12.0, foram analisados por meio de modelos estatísticos, diagramas de Pareto e superfícies de resposta, com o intuito de identificar as condições experimentais que proporcionaram maior concentração de antocianinas na extração.

7.2.1 Extração com água

A Tabela 10 apresenta os resultados obtidos para a extração de antocianinas da casca de abacaxi utilizando água como solvente. Foram realizados nove ensaios experimentais com variação nos níveis de tempo e razão m:Vs, conforme o planejamento fatorial adotado.

Tabela 10 - Resultados obtidos para a extração de antocianinas da casca de abacaxi com água (mg/100g)

Ensaio	Tempo (minutos)	Razão m:Vs	Antocianinas (mg/100g)
1	- 1 (30)	- 1 (1:20)	26,88
2	+ 1 (90)	- 1 (1:20)	43,89
3	- 1 (30)	+ 1 (1:60)	24,20
4	+ 1 (90)	+ 1 (1:60)	19,19
5	0 (60)	0 (1:40)	26,19
6	0 (60)	0 (1:40)	24,15
7	0 (60)	0 (1:40)	23,18
8	0 (60)	0 (1:40)	24,19
9	0 (60)	0 (1:40)	21,83

Fonte: Autoria própria (2025)

Observa-se que a maior concentração (43,89 mg/100g) foi obtida no ensaio com tempo de 90 minutos e razão m:V de 1:20, enquanto a menor (19,19 mg/100g) ocorreu com 90 minutos e razão 1:60. Isso sugere que a razão m:V exerce influência negativa na extração, ou seja, quanto mais diluído o meio, menor a concentração extraída de antocianinas. Além disso, nota-se que, mesmo utilizando a razão considerada ideal (1:20), o tempo menor (30 minutos) não apresentou resultados satisfatórios (26,88 mg/100g), evidenciando que um maior tempo de extração foi fundamental para alcançar melhores rendimentos. A equação do modelo estatístico ajustado para os dados da extração com água está apresentada na Equação 13. Os termos destacados em negrito na equação representam as variáveis que apresentaram maior significância estatística no modelo.

$$\text{Concentração de antocianinas} = 25,9 + 5,99t - \mathbf{13,70R} - \mathbf{11,00tR} \quad (13)$$

Onde:

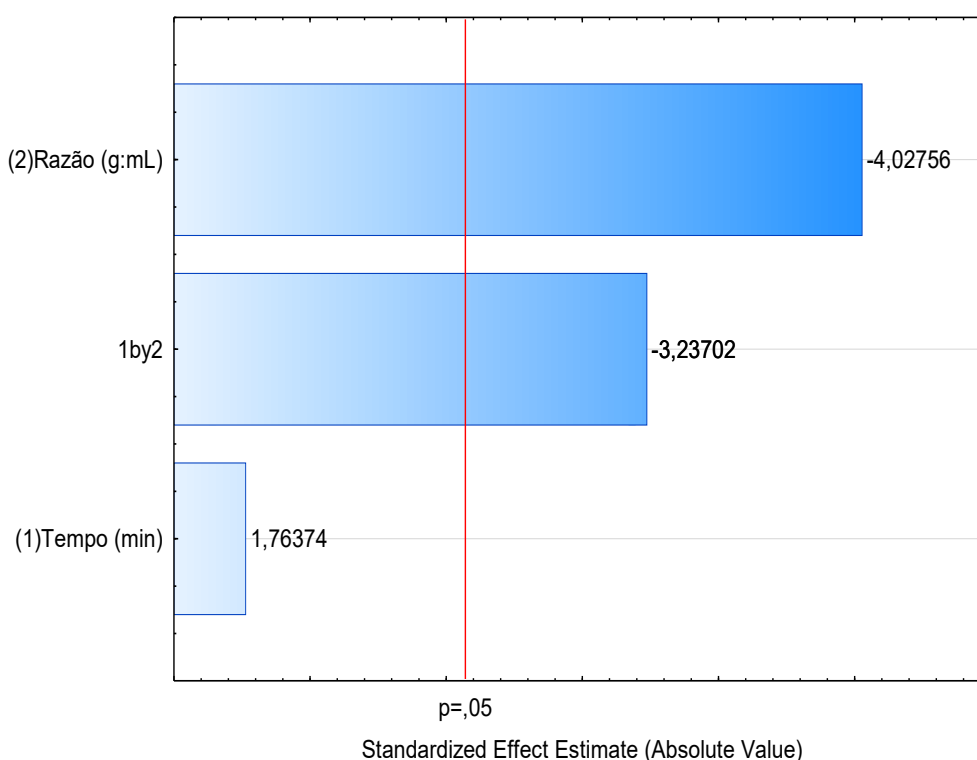
t = tempo de extração (minutos)

R = razão entre massa da amostra e volume do solvente (g/mL)

tR = interação entre tempo e razão m/V

A Figura 15 apresenta o diagrama de Pareto com os efeitos padronizados estimados para os fatores avaliados. Observa-se que a razão m:Vs (R) foi o fator mais significativo, apresentando efeito negativo sobre a resposta. A interação entre o tempo (t) e a razão (R) também demonstrou influência relevante. Já o tempo isolado apresentou menor significância, com valor inferior ao limite de confiança ($p = 0,05$).

Figura 15: Diagrama de Pareto dos efeitos padronizados para a extração de antocianinas com água



Fonte: Autoria própria (2025)

Esses resultados reforçam o modelo estatístico ajustado descrito na Equação 13, o qual apresentou coeficiente de determinação igual a 85,6%, indicando boa representatividade dos dados experimentais. A superfície de resposta obtida confirma essa tendência, evidenciando que menores razões m:Vs, combinadas a tempos mais longos, favorecem a máxima extração de antocianinas com água.

A análise de variância (ANOVA) foi aplicada para verificar a significância do modelo e dos efeitos estudados. A Tabela 11 apresenta os resultados dessa análise para a extração com água.

Tabela 11 - Análise de variância (ANOVA) para a extração de antocianinas com água

Fonte de Variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Média quadrática	F_{calculado}
Regressão	344,75	3	114,92	11,06
Resíduo	57,82	5	11,56	
Total	402,57	8		

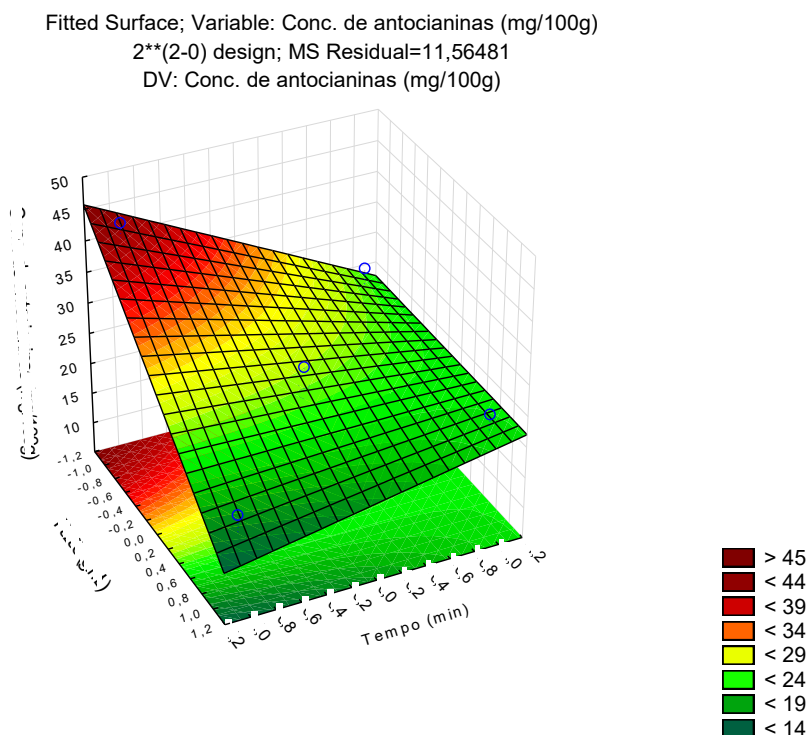
$R^2 = 85,6\%$; $F_{\text{tabelado}} = 5,409$

Fonte: Autoria própria (2025)

A ANOVA indicou que o modelo foi significativo, com $F_{\text{calculado}}$ (11,06) superior ao F_{tabelado} (5,409) para um nível de significância de 95%. Isso confirma que os efeitos avaliados explicam de forma adequada a variação nos resultados experimentais. O coeficiente de determinação $R^2 = 85,6\%$ também reforça a qualidade do ajuste do modelo.

A Figura 16 apresenta a superfície de resposta gerada a partir do modelo ajustado para a extração de antocianinas com água, mostrando a interação entre o tempo de extração e a razão m:Vs sobre a concentração obtida. A superfície de resposta obtida confirma essa tendência, evidenciando que menores razões m:Vs, combinadas a tempos mais longos, favorecem a máxima extração de antocianinas com água.

Figura 16 - Superfície de resposta da influência do tempo e da concentração de água sobre a concentração de antocianinas extraídas da casca de abacaxi



Fonte: Autoria própria (2025)

7.2.2 Extração com etanol

A Tabela 12 apresenta os resultados experimentais referentes à extração de antocianinas da casca do abacaxi utilizando etanol como solvente. Foram conduzidos quinze ensaios, nos quais foram alterados os níveis das variáveis tempo, concentração do solvente e razão massa/volume, conforme estabelecido no planejamento experimental fatorial. Os valores obtidos para o teor de antocianinas estão expressos em mg/100 g de amostra seca.

Tabela 12 - Resultados obtidos para a extração de antocianinas da casca de abacaxi com etanol

Ensaio	Tempo (minutos)	Conc. Solvente (%)	Razão m/Vs	Antocianinas mg/100 g
1	0 (60)	- 1 (50)	- 1 (1:60)	17,29
2	0 (60)	+ 1 (70)	- 1 (1:60)	12,89
3	0 (60)	- 1 (50)	+ 1 (1:20)	14,95
4	0 (60)	+ 1 (70)	+ 1 (1:20)	12,08
5	- 1 (30)	- 1 (50)	0 (1:40)	16,01
6	- 1 (30)	+ 1 (70)	0 (1:40)	12,38
7	+ 1 (90)	- 1 (50)	0 (1:40)	15,36
8	+ 1 (90)	+ 1 (70)	0 (1:40)	13,24
9	- 1 (30)	0 (60)	- 1 (1:60)	12,04
10	- 1 (30)	0 (60)	+ 1 (1:20)	12,89
11	+ 1 (90)	0 (60)	-1 (1:60)	16,92
12	+ 1 (90)	0 (60)	+ 1 (1:20)	16,46
13	0 (60)	0 (60)	0 (1:40)	14,34
14	0 (60)	0 (60)	0 (1:40)	14,99
15	0 (60)	0 (60)	0 (1:40)	14,05

Fonte: Autoria própria (2025)

Verifica-se que a maior concentração de antocianinas (17,29 mg/100 g) foi alcançada no ensaio realizado com tempo de 60 minutos, concentração de etanol de 50% e razão m:V de 1:60. Por outro lado, o menor teor de antocianinas (12,04 mg/100 g) foi registrado com tempo de 30 minutos, concentração de etanol de 60% e razão m:V de 1:60, evidenciando que tanto o tempo de contato quanto a concentração do solvente exercem papel significativo na extração. Nota-se ainda que os ensaios com tempo reduzido (30 minutos) apresentaram, em geral, menores teores extraídos, reforçando a importância do tempo de extração para o melhor rendimento do processo.

A equação do modelo estatístico ajustado com base nos dados obtidos está apresentada na Equação 14.

$$\text{Concentração de antocianinas} = 14,37 - 3,25C + 0,24C^2 + 2,16t - 0,03t^2 - 0,69R - 0,08R^2 \quad (14)$$

onde:

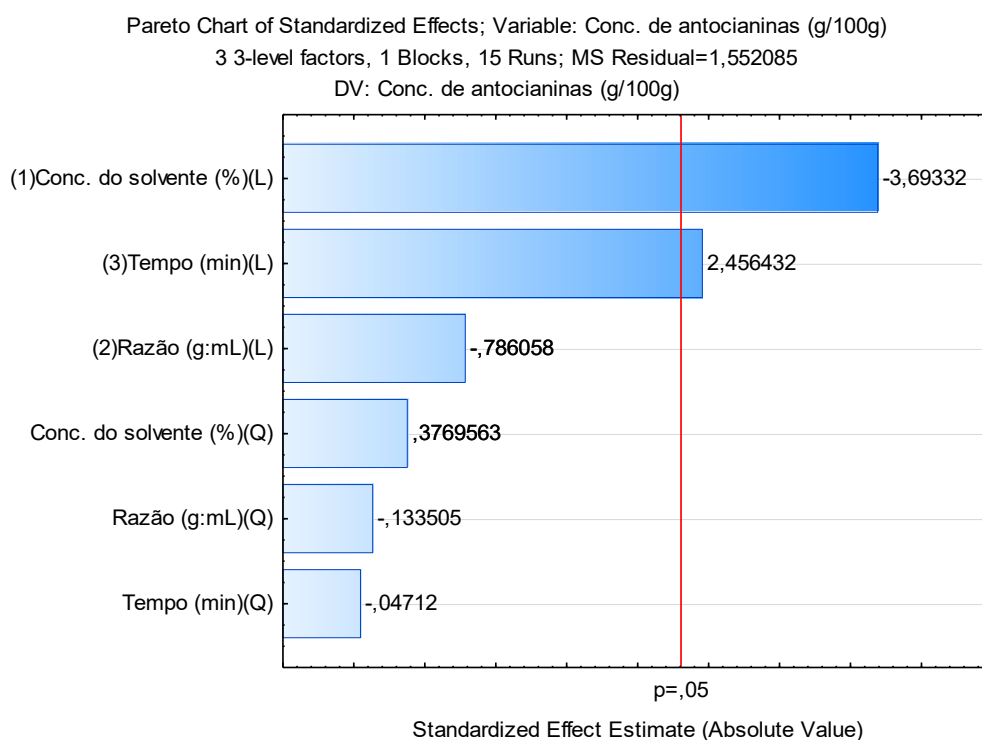
C = concentração do etanol (% v/v);

t = tempo de extração (minutos);

R= razão massa do material/volume do solvente (g/mL).

A Figura 17 ilustra o Diagrama de Pareto dos efeitos padronizados das variáveis avaliadas na extração de antocianinas da casca do abacaxi usando etanol como solvente de extração. Entre os fatores analisados, a concentração do solvente (% v/v) se destacou como a mais importante, apresentando um efeito negativo no rendimento da extração. Isso indica que concentrações mais elevadas de etanol não favoreceram a extração de antocianinas, provavelmente devido à menor polaridade do solvente, que reduz a capacidade de dissolver compostos polares como as antocianinas (Paula, 2013). Por outro lado, o tempo de extração apresentou efeito positivo e estatisticamente significativo, evidenciando que períodos mais longos favorecem a difusão e a liberação dos compostos presentes na casca. A razão m:V, embora tenha mostrado tendência negativa, não foi considerada estatisticamente significativa dentro do intervalo avaliado, assim como os efeitos quadráticos das três variáveis.

Figura 17 - Diagrama de Pareto dos efeitos das variáveis na extração de antocianinas da casca do abacaxi com etanol



Fonte: Autoria própria (2025)

A Tabela 13 mostra os resultados da análise de variância (ANOVA) aplicada ao modelo desenvolvido. O coeficiente de determinação (R^2) de 72% revela que o modelo é capaz de explicar grande parte da variação observada nos dados experimentais, sendo considerado adequado para os objetivos da pesquisa. O valor de F calculado (3,41) supera o valor de F tabelado (2,39), o que demonstra que o modelo apresenta significância estatística ao nível de 95% de confiança.

Tabela 13 - Análise de variância (ANOVA) para a extração de antocianinas com etanol

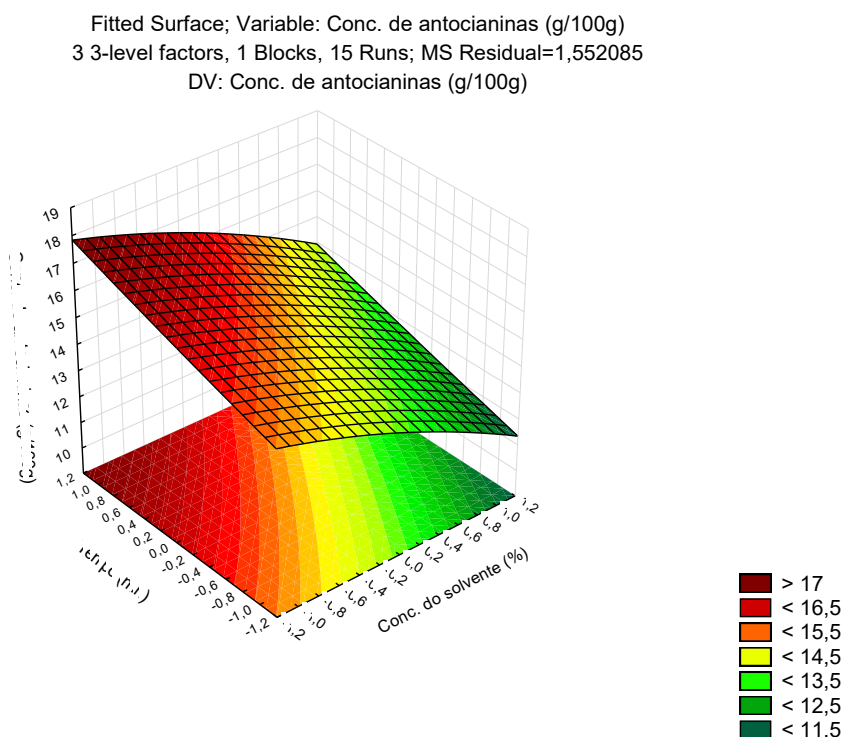
Fonte de Variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Média quadrática	F _{calculado}
Regressão	31,76	6	5,29	3,41
Resíduo	12,42	8	1,55	
Total	44,42	14		

$R^2 = 72,00\%$; $F_{\text{tabelado}} = 2,39$

Fonte: Autoria própria (2025)

A representação gráfica da superfície de resposta, ilustrada na Figura 18, permite compreender como as variáveis independentes influenciam a variável resposta, além de auxiliar na identificação das condições experimentais mais favoráveis, contribuindo para a interpretação dos resultados.

Figura 18 - Superfície de resposta da influência do tempo e da concentração de etanol sobre a concentração de antocianinas extraídas da casca de abacaxi



Fonte: Autoria própria (2025)

Observou-se que os maiores rendimentos de antocianinas foram obtidos quando se utilizou tempo de extração mais longo combinado com menor concentração de etanol. Isso demonstra que o tempo favorece a liberação dos compostos presentes na casca do abacaxi, e que concentrações mais baixas de etanol resultam em extrações mais eficientes. Já em concentrações mais elevadas do solvente, o rendimento tendeu a ser menor, possivelmente devido à menor capacidade do etanol puro em promover a extração dos pigmentos desejados.

7.2.3 Extração com metanol

Foi realizada, nesta etapa, a extração das antocianinas presentes na casca do abacaxi, utilizando metanol como solvente de extração. Para isso, foi aplicado um planejamento experimental com 15 ensaios, variando três fatores principais: tempo de extração (minutos), concentração do solvente (%) e a razão massa da amostra por volume de solvente (m/Vs).

A Tabela 14, apresentada a seguir, mostra as condições utilizadas em cada ensaio, bem como as concentrações obtidas para cada combinação experimental.

Tabela 14 - Resultados obtidos para a extração de antocianinas da casca de abacaxi com metanol

Ensaio	Tempo (minutos)	Conc. Solvente (%)	Razão m/Vs	Antocianinas mg/100 g
1	- 1 (30)	- 1 (50)	- 1 (1:20)	15,21
2	+ 1 (90)	- 1 (50)	- 1 (1:20)	13,26
3	- 1 (30)	+ 1 (70)	- 1 (1:20)	11,61
4	+ 1 (90)	+ 1 (70)	- 1 (1:20)	7,78
5	- 1 (30)	- 1 (50)	+ 1 (1:60)	15,89
6	+ 1 (90)	- 1 (50)	+ 1 (1:60)	12,55
7	- 1 (30)	+ 1 (70)	+ 1 (1:60)	20,08
8	+ 1 (90)	+ 1 (70)	+ 1 (1:60)	13,48
9	0 (60)	0 (60)	0 (1:40)	14,18
10	0 (60)	0 (60)	0 (1:40)	8,23
11	0 (60)	0 (60)	0 (1:40)	16,19
12	0 (60)	0 (60)	0 (1:40)	11,14
13	0 (60)	0 (60)	0 (1:40)	14,58
14	0 (60)	0 (60)	0 (1:40)	15,89
15	0 (60)	0 (60)	0 (1:40)	13,44

Fonte: Autoria própria (2025)

Os resultados obtidos indicaram variações relevantes na concentração de antocianinas, dependendo das combinações experimentais. A maior concentração foi observada no ensaio 7, que utilizou 90 minutos de extração, 50% de concentração de metanol e uma razão m:V de 1:40, resultando em 20,08 mg/100g. Já o menor rendimento foi registrado no ensaio 4, com 60 minutos, 70% de concentração e m:V de 1:20, atingindo 7,78 mg/100g.

Esses resultados demonstram que tanto o tempo de extração quanto a concentração do solvente e a proporção entre massa e volume influenciam diretamente a eficiência do processo, reforçando a necessidade de análises estatísticas complementares para otimização das condições. Com os dados obtidos, foi ajustado um modelo matemático para representar o rendimento de antocianinas em função das variáveis independentes. A equação resultante está apresentada na Equação 15.

$$\text{Concentração de antocianinas} = 13,30 - 3,93C - 0,20C^2 + 2,51t - 0,67t^2 - 5,02R + 2,87R^2$$

(15)

Onde:

C = concentração do solvente (%)

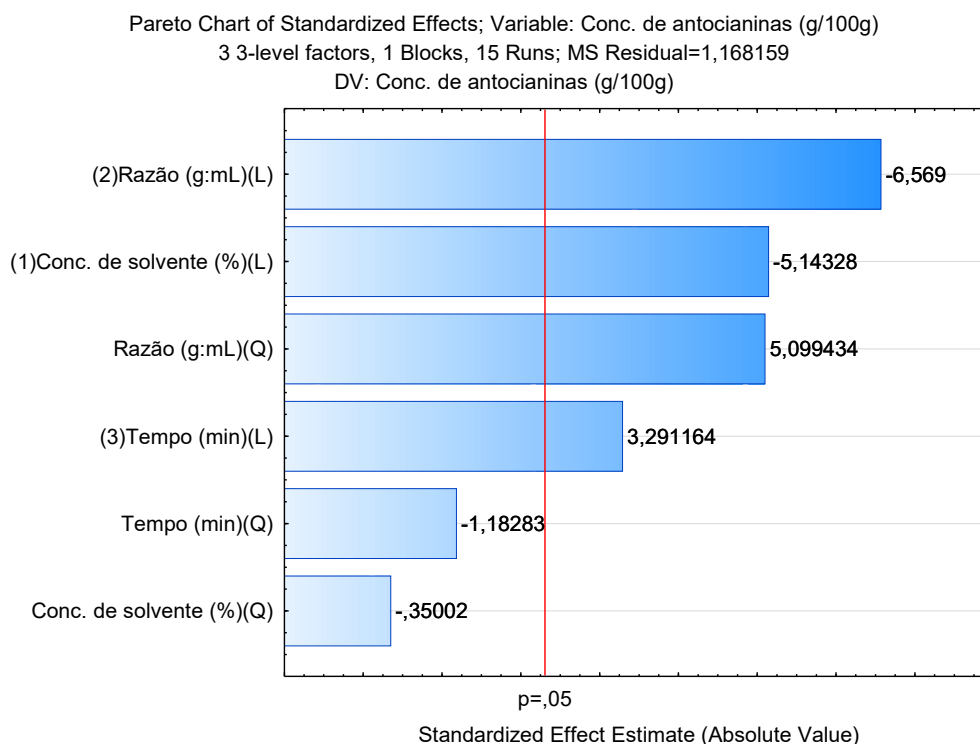
t = tempo de extração (minutos)

R = razão massa/volume do solvente (g/mL)

A Figura 19 apresenta o diagrama de Pareto com os efeitos padronizados das variáveis sobre a concentração de antocianinas (g/100g). Observa-se que os efeitos lineares da razão massa/volume (R) e da concentração do solvente (C) foram os mais significativos, ultrapassando a linha de significância ao nível de 95% de confiança ($p = 0,05$). O efeito quadrático da razão também se mostrou relevante. O tempo de extração (t) teve um efeito positivo, mas menos expressivo em comparação aos outros fatores. Os efeitos quadráticos do tempo e da concentração do solvente não foram significativos.

Os dados mostram que valores elevados de razão m:Vs e de concentração de solvente tendem a diminuir a concentração de antocianinas, enquanto o tempo exerce uma influência positiva, ainda que menor. Esses resultados auxiliam na identificação das variáveis que mais interferem no processo e contribuem para a construção das superfícies de resposta.

Figura 19 - Diagrama de Pareto dos efeitos padronizados sobre o rendimento de antocianinas utilizando metanol como solvente



Fonte: Autoria própria (2025)

De acordo com os dados apresentados na Tabela 15, o valor de $F_{\text{calculado}}$ foi de 18,20, sendo superior ao valor de F_{tabelado} (2,39). Esse resultado indica que o modelo ajustado é estatisticamente significativo ao nível de 95% de confiança, ou seja, apresenta diferença significativa em relação ao erro experimental.

O coeficiente de determinação (R^2) obtido foi de 93,1%, demonstrando que o modelo explica a maior parte da variação nos dados experimentais. Dessa forma, pode-se considerar que o ajuste foi satisfatório, permitindo a utilização do modelo para estimar o rendimento da extração nas condições analisadas.

Tabela 15 - Análise de variância (ANOVA) para a extração de antocianinas com metanol

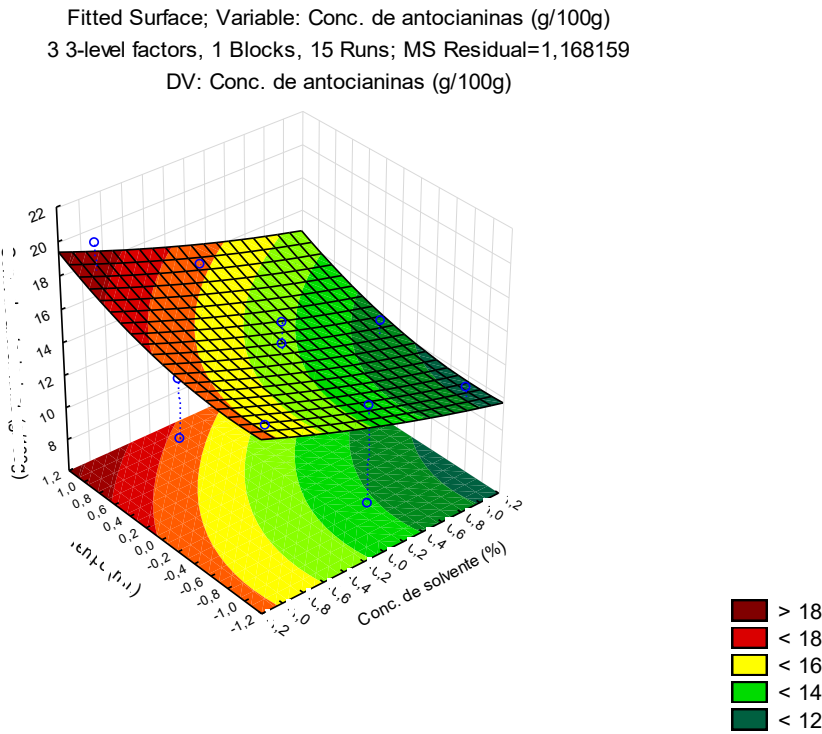
Fonte de Variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Média quadrática	F _{calculado}
Regressão	127,73	6	21,29	18,20
Resíduo	9,34	8	1,17	
Total	137,07	14		

R² = 93,1 %; F_{tabelado} = 2,39

Fonte: Autoria própria (2025)

A superfície de resposta foi construída para analisar como o tempo de extração e a concentração do solvente influenciam o rendimento de antocianinas, mantendo a razão massa/volume constante. Essa representação gráfica facilita a visualização das regiões onde ocorrem as maiores concentrações, além de permitir observar a interação entre os dois fatores.

Figura 20 - Superfície de resposta da influência do tempo e da concentração de metanol sobre a concentração de antocianinas extraídas da casca de abacaxi

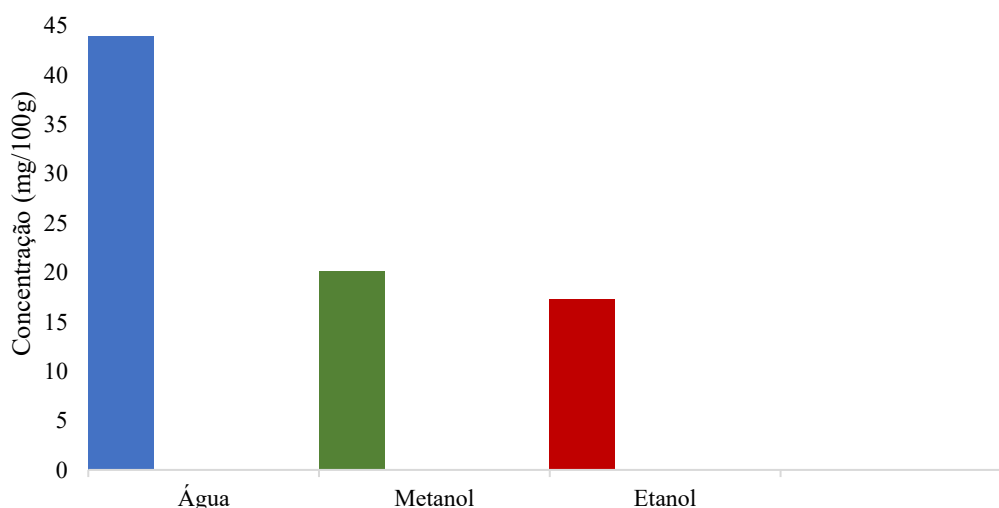


Fonte: Autoria própria (2025)

A Figura 20 apresenta a superfície de resposta referente à influência do tempo e da concentração de metanol sobre o rendimento da extração de antocianinas da casca do abacaxi. Observa-se que os maiores teores foram obtidos em condições de menor concentração do solvente e tempos moderados de extração. À medida que a concentração de metanol aumenta e o tempo se prolonga, há uma diminuição na concentração de antocianinas extraídas, como demonstrado pelas variações de cor na superfície do gráfico. Esses resultados indicam que a combinação de altos teores de metanol com longos períodos de extração não favorece a eficiência do processo.

A Figura 21 apresenta as concentrações máximas de antocianinas extraídas com diferentes solventes a partir da casca do abacaxi. Observa-se que a água foi o solvente que proporcionou a maior concentração de antocianinas (43,89 mg/100g), evidenciando sua alta eficiência na extração desses compostos. O metanol obteve um rendimento intermediário, com 20,08 mg/100g, enquanto o etanol apresentou a menor concentração (17,29 mg/100g).

Figura 21 - Concentração máximas de antocianinas (mg/100 g) obtida com diferentes solventes



Fonte: Autoria própria (2025)

Os resultados obtidos indicam que a água foi o solvente que apresentou maior eficiência na extração de antocianinas da casca do abacaxi, alcançando uma concentração de 43,89 mg/100 g. Além de ser economicamente viável, a água é um solvente seguro e ambientalmente apropriado, o que reforça sua aplicação em processos de extração com foco sustentável. Para fins comparativos, foram selecionados três trabalhos que também

realizaram a extração de antocianinas utilizando água, etanol e metanol. Em todos os casos, foi considerado o maior valor de rendimento registrado em cada estudo, com o objetivo de comparar os melhores resultados obtidos por cada fonte vegetal.

No estudo de Mallmann (2011), que investigou a extração de antocianinas da casca da berinjela (*Solanum melongena*), utilizando etanol acidificado com 1% de ácido cítrico, o maior teor obtido foi de 36,7 mg/100g. Embora o solvente utilizado tenha sido mais agressivo, o rendimento foi inferior ao obtido com a casca de abacaxi em meio aquoso, destacando a eficiência da matéria-prima e do método utilizados neste trabalho.

O trabalho de Nogueira *et al.* (s.d.), realizado pela Embrapa, avaliou o capim-elefante roxo (*Cenchrus purpureus*) e obteve como maior resultado 5,70 mg/100 g, utilizando uma mistura de etanol, metanol e água. Mesmo com essa combinação de solventes, o rendimento foi inferior ao do presente estudo, evidenciando o potencial da casca do abacaxi como uma fonte promissora de antocianinas para aplicação como corante natural.

No estudo de Almeida *et al.* (2020) a extração de antocianinas da polpa da jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*), foi estudada utilizando diferentes solventes. O melhor rendimento foi obtido com etanol 950 mL/L acidificado, atingindo a concentração de 0,3582 mg/g, equivalente a 35,82 mg/100 g. Esse valor também foi inferior ao obtido com a casca do abacaxi em meio aquoso, mesmo utilizando um solvente alcoólico com maior poder de extração.

Dessa forma, observa-se que a casca do abacaxi apresentou o maior rendimento na extração de antocianinas entre os estudos comparados, mesmo com a utilização exclusiva da água, um solvente simples, seguro e de baixo custo. Tal resultado evidencia o potencial dessa matéria-prima como uma alternativa promissora para o desenvolvimento de corantes naturais sustentáveis e economicamente viáveis.

8 CONCLUSÃO

Este trabalho permitiu comprovar a viabilidade da utilização da casca de abacaxi como fonte promissora de antocianinas, pigmentos naturais com propriedades antioxidantes reconhecidas e ampla aplicabilidade nas indústrias alimentícia, cosmética, farmacêutica e biotecnológica. Os resultados obtidos indicaram que o uso da água como solvente, em condições otimizadas de tempo e proporção massa/volume (90 minutos e 1:20), proporcionou a maior eficiência de extração, alcançando 43,89 mg/100 g. Tal desempenho superior, aliado ao fato de a água ser um solvente seguro, barato, não tóxico e ambientalmente amigável, ressalta o potencial desse processo como alternativa viável ao uso de solventes orgânicos, como o etanol e o metanol, que apresentaram rendimentos inferiores.

A partir da aplicação dos planejamentos fatoriais, foi possível identificar com clareza as variáveis de maior significância estatística sobre o rendimento da extração, as quais foram destacadas em negrito nas equações e diagramas de Pareto. Essa abordagem experimental, além de garantir a confiabilidade dos dados, trouxe robustez científica ao estudo, permitindo maior controle e compreensão dos fatores que influenciam a extração de compostos bioativos.

A importância desta pesquisa vai além dos resultados técnicos. Ela se conecta também com questões ambientais e sociais, ao propor uma nova utilidade para a casca do abacaxi, um resíduo agroindustrial que, em grande parte, ainda é descartado. Ao enxergar valor onde geralmente há desperdício, este estudo contribui com os princípios da economia circular, incentivando práticas mais conscientes e sustentáveis. Dessa forma, a pesquisa não apenas reduz impactos ambientais, como também estimula uma mudança de olhar de descarte para aproveitamento, de problema para solução. Além disso, os resultados abrem espaço para a construção de alternativas naturais à utilização de corantes sintéticos, atendendo a uma demanda crescente por produtos mais saudáveis, seguros e alinhados às expectativas de um consumidor cada vez mais atento à origem e à composição dos alimentos que consome.

Outro ponto de destaque é que as antocianinas extraídas da casca de abacaxi não apenas conferem coloração natural aos produtos, mas também agregam benefícios funcionais à saúde, como ação antioxidante, anti-inflamatória

A casca de abacaxi se mostra uma matéria-prima viável, acessível e estratégica para a extração de antocianinas, apresentando potencial significativo para substituir corantes artificiais em diferentes setores da indústria. Os dados obtidos neste trabalho reforçam a relevância do tema e indicam caminhos promissores para o desenvolvimento de produtos mais naturais e sustentáveis. Além disso, fornecem uma base sólida para pesquisas futuras que explorem etapas mais avançadas do processo, como o refino, o encapsulamento, a estabilidade e a aplicação industrial desses pigmentos naturais.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. ANVISA. Resolução nº 387, de 05 de agosto de 1999

ALISON, D.; COLLINS, P. COLOURING our food in the last and next Millennium. **International Journal of Food Science and Technology**. v.35, p.5-22, 2000.

ALMEIDA, F. G.; CANCIAN, M. A. Q.; CONSTANTINO, L. V.; RESSUTTE, J. B.; ROCHA, T. S.; SPINOSA, W. A. **Influência de diferentes solventes na extração de antocianinas presentes em jabuticaba**. In: SIMPÓSIO SOBRE INOVAÇÃO EM ENGENHARIA E CIÊNCIA DE ALIMENTOS – INECA, 1., 2020, Online. *Anais...* Vitória da Conquista: UESB/UFLA/UFVJM, 2020. p. 1–6.

ARAÚJO, Maria Eduarda Machado de. **Corantes naturais para têxteis – da Antiguidade aos tempos modernos**. Conservar Património, Lisboa, v. 3-4, p. 39-51, dez. 2006. E ISSN: 2182-9942. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/5136/513653427004.pdf>. atender aos desejos do consumidor: substâncias naturais como corantes na indústria.

AWIKA, J., ROONEY, L., WANISKA, R. (2005). **Anthocyanins from black sorghum and properties**. Food <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.03.058>.

AZA-GONZÁLEZ, C.; NÚÑEZ-PALENIUS, H. G.; OCHOA-ALEJO, N. Molecular biology of chili pepper anthocyanin biosynthesis. **Journal of the Mexican Chemical Society**, v. 56, n. 1, p. 93-98, 2012.

BOBBIO, P. A.; BOBBIO, F. O.; **Química do processamento de alimentos**, 2ª edição, Varela: Campinas, 1992.

BRASIL. Ministério da Saúde. Conselho Nacional de Saúde. Resolução CNS/MS nº 04, de 24 de novembro de 1988. Aprova revisão das Tabelas I, III, IV e V referentes a aditivos intencionais, bem como os Anexos I, II, III e VII do Decreto nº 55.871/1965. Anexo III. Diário Oficial da União, Seção I, 19 dez. 1988.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância Sanitária (SVS/MS). Portaria SVS/MS nº 540, de 27 de outubro de 1997. Aprova o Regulamento Técnico: Aditivos Alimentares – definições, classificação e emprego. *Diário Oficial da União*, Seção 1, p. 49, 28 out. 1997.

BRIDLE, P.; TIMBERLAKE, C.F. **Anthocyanins as natural food colours – selected aspects**. Food Chemistry, v.58, n.1-2, p.103-109,1997.

BROUILLARD R (1983) **The in vivo expression of anthocyanins colour in plants**. *Phytochemistry*, 22: 311-323.

BURIN, V. M. *et al.* **Colour, phenolic content and antioxidant activity of grape juice**. Ciênc. Tecnol. Aliment., v. 30, n. 4, p. 1027-32, 2010.

CARVALHO, V. D., Paula, M. B., Abreu, C. M. P. & Chagas, S. J. R. (1991). Efeito da época de colheita da planta na composição química das folhas do abacaxizeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 26(10):1655-1661.

CHEYNIER, V. Polyphenols in foods are more complex than often thought. **The American Journal of Clinical Nutrition**, 81(1), 223S-229S. 2005

CONSTANT PBL (2003) **Extração, caracterização e aplicação de antocianinas de açaí (Euterpe oleraea, M)**. Tese de Doutorado. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. 183p.

CONSTANT, P. B. L.; STRINGHETA, P. C.; SANDI, D. **Corantes Alimentícios**. **Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos**, 2002, 20(2):203-220.

COSTA, ALAN. **Antocianinas: o que são, funções, alimentos ricos, benefícios e usos**. 2018. Atualizado em 2021. em: https://www.saudedr.com.br/antocianinas/#Beneficios_das_Antocianinas_Para_Saude.

COSTA, N. M. B. & ROSA, C. de O. B. **Alimentos Funcionais -Componentes Bioativos e Efeitos Fisiológicos**. (Editora Rubio, 2016).

DINIZ, MITH PHILLIPE FERREIRA. **Aproveitamento da casca de abacaxi no preparo de fermentado alcoólico**. 2017. 27 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnólogo em Agroecologia, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe, São Cristóvão, 2017.

EMBRAPA Mandioca e Fruticultura. Cultivos: Abacaxi. Disponível em: <https://www.embrapa.br/mandioca-e-fruticultura/cultivos/abacaxi>. acesso em 2024.

ENERGIE NUTRIÇÃO. **Corantes alimentares**. 2016. Disponível em: <https://energienutricao.com.br/blog/corantes-alimentares/>.

FALCÃO AP, CHAVES ES, KUSKOSKI EM, FETT R, FALCÃO DL & BORDIGNON-LUIZ T (2007) **Índice de polifenóis, antocianinas totais e atividade antioxidante de um sistema modelo de geléia de uvas**. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 27: 637-642.

FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION (FAO). Disponível em: <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>. Acesso em: 23 set. 2010.

FRANCIS FJ (1982) Analysis of anthocyanins in foods. In: Markakis P, Anthocyanins as Food Colors. New York, Academic Press, p.181-207.

FRANCIS, F.J., **Food Colorants: anthocyanins**, *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, v.28, n.4, p.273-314, 1989.

FULEKI, T.; FRANCIS, F. J. Quantitative methods for anthocyanins. 2. Determination of total anthocyanin and degradation index for cranberry juice. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 33, n. 1, p. 78–83, 1968.

FURTUNATO, A. A. **Estudo da cinética de inativação térmica da pectinerase e da peroxidase presentes na polpa de cajá (Spondias Lútea)**. 2002. 78f. Dissertação

(Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

GAO, L.; MAZZA, G., **Extraction of anthocyanin pigments from purple sunflower hulls**, *J. Food Sci.*, v.61, p.600–603, 1996.

GARCIA-MENDOZA, M. P.; ESPINOSA-PARDO, F. A.; BASEGGIO, A. M.; BARBERO, G. F.; MARÓSTICA JUNIOR, M. R.; ROSTAGNO, M. A. MARTÍNEZ, J. Extraction of phenolic compounds and anthocyanins from jucara (*Euterpe edulis* Mart.) residues using pressurized liquids and supercritical liquids. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 119, p. 9-16, 2017.

GAVA, A. J.; SILVA, C. A. B. DA; FRIAS, J. R. G.; **Tecnologia de Alimentos: Princípios e aplicações**, Nobel: São Paulo, 2008.

GLOBO. *Conheça a história do abacaxi Boituva*. Revista de Sábado. [S. l.]: Globoplay, [s.d.]. Disponível em: <https://globoplay.globo.com/v/6259250/>.

GOMES, J. V. P., RIGOLON, T. C. B., DA SILVEIRA SOUZA, M. S., ALVAREZ-LEITE, J. I., DELLA LUCIA, C. M., MARTINO, H. S. D., & ROSA, C. D. O. B. (2019). **Antiobesity effects of anthocyanins on mitochondrial biogenesis, inflammation, and oxidative stress: A systematic review**. *Nutrition*, 66, 192-202..

GRANADA, Grazielle Guimarães *et al.* **Abacaxi: produção, mercado e subprodutos**. B.CEPPA, Curitiba, v. 22, n. 2, p. 405-422, jul./dez. 2004. Disponível em: <http://www.almanaquedocampo.com.br/imagens/files/Abacaxi%20.pdf>.

HARBORNE, J.B.; GRAYER, R.J., **The anthocyanins. In: The flavonoids: advances in research since 1980**. Chapman & Hall, London, 1988, p. 1-20.

INSTITUTO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA. Fruticultura: síntese. Disponível em: <http://www.ibraf.org.br/x-es/f-esta.html>.

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO GRANDE DO SUL. **Apostila de Corantes Naturais. Campus Feliz: Curso Superior de Licenciatura em Química, 2020**. Disponível em: <https://ifrs.edu.br/feliz/wp-content/uploads/sites/18/2020/12/Apostila-Corantes-Naturais.pdf>.

JUNGHANS, DAVI THEODORO. Imagens do abacaxizeiro Pérola, cultivar tradicional do território brasileiro. Embrapa Mandioca e Fruticultura, 04 set. 2015. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-imagens/-/midia/2276002/abacaxi-perola>.

KAPADIA, J. G.; TOKUDA, H.; TAKAYASU, J.; PING, B.; ENJO, F.; TAKASAKI, M.; KONOSHIMA, T.; NISHINO, H. Cancer chemopreventive effects of resveratrol. *Cancer Letters*, v. 129, p. 87-93, 1998.

KENS NURSERY. Smooth Cayenne Pineapple. <https://kensnursery.com/product/smooth-cayenne-pineapple/>.

LALLO, F. H., PRADO, I. N., NASCIMENTO, W. G., ZEOULA, L. M., MOREIRA, F. B. & WADA, F. Y. (2003). **Substitution levels of corn silage by pineapple by-**

products on ruminal degradability in beef cattle. Revista Brasileira de Zootecnia, 32(3):719-726.

LIMA, Lara Beatriz Pereira de. **Avaliação de pré-tratamentos do resíduo da casca do abacaxi (*Ananas comosus* (L.) Merrill) para a obtenção de açúcares fermentescíveis.** 2023. 67 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Pau dos Ferros, 2023.

LIMA, P. C. C., SOUZA, B. S., SANTINI, A. T., & OLIVEIRA, D. C. (2017). **Agroindustrial use of waste from minimum processed pineapple 'pérola'.** HOLOS. 2. 122. 10.15628/holos.2017.5238.

LIMA, Suelges Alayne Ferreira *et al.* **Avaliação da estabilidade das antocianinas em resíduos de maçã.** *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v. 12, e1, p. 3878–3885, 2024. DOI: <https://doi.org/10.16891/2317-434X.v12.e1.a2024.pp3878-3885>. Disponível em: <https://doi.org/10.16891/2317-434X.v12.e1.a2024.pp3878-3885>. Acesso em: 15 jul. 2025.

LOPES, R.M.; OLIVEIRA, T.T.; NAGEM, T.J.; PINTO, A.S., **Flavonóides, Biotecnologia, Ciência & Desenvolvimento**, v. 3, n.14, p.18-22, 2000.

LOPES, T. J.; XAVIER, M. F.; QUADRI, M. G. N.; QUADRI, M. B. R. BRAS. *Agrociência* 2007, 13, 291.

LOURENÇO, C. B. **Estudo da estabilidade da bromelina comercial em formulações cosméticas.** Dissertação (Biociência), Universidade Estadual de Campinas, 2013.

MALLACRIDA SR & MOTTA S (2006) **Antocianinas em suco de uva: composição e estabilidade.** *CEPPA*, 24: 59-82.

MALLMANN, Luana Peixoto. **Extração de antocianinas a partir de casca de berinjela (*Solanum melongena*).** 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Alimentos) – Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

MANETTI, L., DELAPORTE, R. H., & JR. A. L. (2009). **Metabólitos secundários da família Química Nova**, 32(7), <https://www.scielo.br/j/qn/a/KkxvncrHz4chcPCrmsPtPQx/?lang=pt#>.

MARKAKIS P (1982) **Stability of Anthocyanins in foods.** In: Markakis P (Ed) **Anthocyanins in color foods.** New York, Academic Press. p. 163-180.

MARTINS, C. R.; FARIAS, R. M. Produção de alimentos X desperdícios: tipos, causas e como reduzir perdas na produção agrícola - Revisão. **Revista da Faculdade de Zootecnia, Veterinária e Agronomia.** v.9, n.1, p.83 - 93, 2002.

MARTIN, J. G. P., MATTA JÚNIOR, M. D., ALMEIDA, M. A., SANTOS, T., & SPOTO, M. H. F. (2012). Avaliação sensorial de bolo com resíduo de casca de abacaxi para suplementação do teor de fibras. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, 14(3), 281-287. <http://www.deag.ufcg.edu.br/rbpa/rev143/Art14311.pdf>.

MARTINS, J., & SILVA, A. (2019). **Extraction and application of natural dyes from food processing by-products.** Trends in Food Science & Technology, 83, 200-213.

MERCOSUL. Grupo Mercado Comum. Resolução GMC nº 52, de 1998. **Regulamento técnico sobre critérios para determinação das funções dos aditivos alimentares e seus limites máximos.** *Publicação oficial do MERCOSUL*. Disponível em: https://www.inmetro.gov.br/barreirastecnicas/PDF/GMC_RES_1998-052.pdf.

MOHDAIDIN, N.; ORUNA-CONCHA, M. J.; JAUREGI, P. SURFACTANT TWEEN20 PROVIDES MORAIS, J. P. S.; ROSA, M. F.; MARCONCINI, J. M.; Documentos 236 – **Procedimentos para Análise Lignocelulósica. Embrapa Algodão – Campina Grande/PB. Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).** ISSN 0103- 0205, 1ª ed., v. 1, pg. 10-58; 2010.

MORAIS, J. P. S.; ROSA, M. de F.; MARCONCINI, J. M. **Procedimento para análise lignocelulósica.** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2010. 54 p. (Documentos, n. 236). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/883400>.

MORENO, J. **Obtenção, caracterização e aplicação de farinha de resíduos de frutas em cookies.** 2016. 82 f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Bahia, 2016.

MOUTINHO ILS, BERTGES LC, ASSIS RVC. Prolonged use of food dye tartrazine (FD&C yellow nº5) and its effects on the gastric mucosa of Wistar rats. Braz J Biol 2007; 67:141-5.

NACZK, M., & SHAHIDI, F. (2004). **Extraction and analysis of phenolics in food.** *Journal of chromatographyA*, 1054(1-2), 95-111.

NASCIMENTO, AMANDA LIMA. **Desenvolvimento e Análise Sensorial de geleia de polpa e casca de abacaxi com gengibre.** 2017. 54 f. Monografia (Especialização) - Curso de Farmácia, Alimentos, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras do Alto São Francisco, Luz, 2017.

NERES, J. P. G., SOUZA, R. L. A., & BEZERRA, C. F. (2015). Iogurte com polpa e farinha da casca do abacaxi. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes.** Juiz de Fora, 70(5), 262-269, <https://doi.org/10.14295/2238-6416.v70i5.465>.

NETTO, R.C.M. Dossiê corantes. FoodIngredientsBrasil.n.9,2009. Disponível em: <http://www.revista-fi.com/materias/106.pdf> of **anthocyanins from food sources by mass spectrometry: An update.** Food Ongkowijoy, P.; Luna-Vitala, D. A.; Mejia, E. G. Extraction techniques and analysis

NOGUEIRA, Cecília Pinto; ADRIANO, Luiz Henrique Cantarino; MOREIRA, Olivia Brito de Oliveira; OLIVEIRA, Marcone Augusto Leal de; MACHADO, Juarez Campolina. **Perfil de extração de antocianinas em genótipo de capim-elefante roxo.** [S.l.]: [s.n.], [s.d.]. 3 p.

ONGKOWIJOYO, P.; LUNA-VITAL, D. A.; GONZALEZ DE MEJIA, E. **Extraction techniques and analysis of anthocyanins from food sources by mass spectrometry: An**

update. Food Chemistry, v. 250, p. 113–126, 2018. DOI: 10.1016/j.foodchem.2018.01.055.

PAULA, J. I. **Obtenção de extratos de folhas de Arrabidaea chica (Humb. Bonpl.) Verlot por extração fracionada em leito fixo a alta pressão usando dióxido de carbono supercrítico, etanol e água como solventes**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas. Campinas/SP.

PAULA, KAIO. **Utilização dos restos culturais e resíduos da industrialização de abacaxi na alimentação de ruminantes: Revisão**. Pubvet, v. 13, n. 2, p. 1-7, 2019. DOI: <https://doi.org/10.31533/pubvet.v13n2a271.1-7>.

PAVANELLI, S. P. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

PIEDADE, J.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G. **Comparação entre o efeito do resíduo do abacaxizeiro (caules e folhas) e da pectina cítrica de alta metoxilação no nível de colesterol sanguíneo em ratos**. Ciência e Tecnologia de Alimentos. v.23, n.2, 2003.0.

POLLOCK, I. Hyperactivity and food additives. *Bibliotheca Nutritio et Dieta*, v.48, p.81 89, 1991.

POLÔNIO, M.L.T; PEREZ, F. **Consumo de aditivos alimentares e efeitos à saúde: desafios para a saúde pública brasileira**. Cadernos de Saúde Pública, Rio de Janeiro, n. 25, v. 8, 1653-1666, 2009.

PRADO, MARCELO A.; GODOY, HELENA TEIXEIRA. **Teores de corantes artificiais em alimentos determinados por cromatografia líquida de alta eficiência**. Química Nova, v. 30, n.2, abr.2007.

PRADO, MARCELO ALEXANDRE; GODOY, HELENA TEIXEIRA. **Corantes artificiais em alimentos**. Alim. Nutr., Araraquara, v. 14, n. 2, p. 237-250, 2003. Disponível em: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/69115378/CORANTES_ARTIFICIAIS_EM_ALIMENTOS20210906-9860-yv117y.pdf.

RESSUTTE, J. B.; KLOSOWSKI, E. M.; ALMEIDA, J. M. F.; MADRONA, G. S. **Corantes naturais extraídos de frutas e hortaliças – uma breve revisão**. In: VIEIRA, V. B.; PIOVESAN, N. (org.). *Avanços e Desafios da Nutrição 3*. Ponta Grossa: Atena Editora, 2019. p. 261–267. DOI: 10.22533/at.ed.40819240531

RIBEIRO, L. M. S. **Aproveitamento de subprodutos do processamento de Abacaxi**. Dissertação (Engenharia Alimentar). Universidade de Lisboa, 2015.

SAMANTA, A. K., & KONAR, A. (2011). **Dyeing of textiles with natural dyes**. Natural dyes, 3(30-56).

SAMPAIO, ASAF HANÂNI TAVEIRA. **Corantes artificiais x corantes naturais: uma visão**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Gastronomia) –

Instituto de Cultura e Arte, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/54363/1/2019_tcc_ahtsampaio.pdf.

SANTINI, A. T., SOUZA, B. S., OLIVEIRA, D. C., OLIVEIRA, M. D., BORGES, S. S., & CARDOSO, P. F. (2013). **Aproveitamento da casca de abacaxi na confecção de geleia**. 5ª Jornada Científica e Tecnológica e 2º Simpósio de Pós-Graduação do IFSULDEMINAS. Inconfidentes/MG, 06 a 09 de novembro de 2013.

SANTOS, Michelle Ludmila Guedes dos. **Processo pirolítico da biomassa residual do abacaxi**. 2018. 108 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Tecnologia Ambiental) – Universidade de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto, 2018.

SCHERER, GLACIELA CRISTINA RODRIGUES DA SILVA; MARTINAZZO, JANINE; DUARTE, PATRÍCIA FONSECA; PIAZZA, SUELEN PALOMA. 2021. **Antocianinas: fontes, aplicação e métodos de extração**. In: Ciência e Tecnologia de Alimentos: Pesquisas e Avanços.

SERNA-SALDÍVAR, S.O. *et al.* Potencial nutracéutico de los maíces criollos y cambios durante el procesamiento tradicional y con extrusión. **Revista fitotecnica mexicana**, v. 36, p. 295-304, 2013.

SOBRATTEE, M.A., NEERGHEEN, V. S., LUXIMON-RAMMA, A., ARUOMA, O. I., & BAHORUN, T. (2005). **Phenolics as potential antioxidant therapeutic agents: mechanism and actions**. Mutation Research/Fundamental and Molecular mechanisms of mutagenesis, 579(1-2), 200-213.

SOUZA, L. F. DA S.; SOUZA, J. DA S. **É possível exportar abacaxi ‘pérola’?** Disponível em: <http://www.agrosite.com.br> stabilisation effect on anthocyanins extracted from red grape pomace. Food Chemistry, v. 271, p. 224-231, 2019.

SWAIN, T; BATE-SMITH, E.C., **Flavonoid Compounds**. In: Florkin, M.; Mason, H. S., Eds, **Comparative Biochemistry Vol. III: Constituents of Life. Part A**, Academic Press, New York, 1962, p.755–809.

VETTORAZZI, G.U.-**Metodi di studio di additivi e residui tossici negli alimenti**. Milano, Ermes, 1980, p.15-20.

VIDAL, A. M., DIAS, D. O., MARTINS, E. S. M., OLIVEIRA, R. S., NASCIMENTO, R. M. S., & DA SILVA CORREIA, M. D. G. (2012). **A ingestão de alimentos funcionais e sua contribuição para a diminuição da incidência de doenças**. Caderno de Graduação Ciências Biológicas e da Saúde-UNIT-SERGIPE, 1(1), 43-52.

VOLP, A. C. P. *et al.* **Flavonóides antocianinas: características e propriedades na nutrição e saúde**. Rev. Bras. Clin., v.23, n. 2, p. 141-149, 2008.

ZANELLA, J. Jornal UNESP. **O valor do alimento que é jogado fora**. Ano XX, nº 213, 2006. Disponível em: <http://www.unesp.br/aci/jornal/213/desperdicio.php>.