

UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA
CAMPUS CHAPECÓ

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

OBTENÇÃO DE COMPOSTOS BIOATIVOS DE RESÍDUOS DE ABACAXI
(*Ananas comosus* L. Merrill) UTILIZANDO TECNOLOGIA DE EXTRAÇÃO
ASSISTIDA POR ULTRASSOM

DISCENTE: Bruna Caline Sampaio dos Santos

ORIENTADOR: Dr. João Paulo Bender

COORIENTADORA: Ma. Aline Perin Dresch

Dezembro - 2025

BRUNA CALINE SAMPAIO DOS SANTOS

OBTENÇÃO DE COMPOSTOS BIOATIVOS DE RESÍDUOS DE ABACAXI
(*Ananas comosus* L. Merrill) UTILIZANDO TECNOLOGIA DE EXTRAÇÃO ASSISTIDA
POR ULTRASSOM

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito parcial para aprovação no componente curricular de TCC II.

Dezembro - 2025

BRUNA CALINE SAMPAIO DOS SANTOS

**OBTENÇÃO DE COMPOSTOS BIOATIVOS DE RESÍDUOS DE
ABACAXI (*Ananas comosus* L. Merrill) UTILIZANDO
TECNOLOGIA DE EXTRAÇÃO ASSISTIDA POR ULTRASSOM**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito
para obtenção de grau de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária da
Universidade Federal da Fronteira Sul.

Orientador: Prof. João Paulo Bender

Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e
aprovado pela banca em: 05.12.2025

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **JOAO PAULO BENDER**
Data: 08/12/2025 08:03:49-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. João Paulo Bender - UFFS

Documento assinado digitalmente
 **ROSILEA GARCIA FRANCA**
Data: 08/12/2025 11:03:10-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Profa. Dra. Rosilêa Garcia França - UFFS

Documento assinado digitalmente
 **GUILHERME MARTINEZ MIBIELLI**
Data: 08/12/2025 10:42:48-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Guilherme Martinez Mibielli - UFFS

RESUMO:

O processamento do abacaxi (*Ananas comosus* (L.) Merrill) gera grandes volumes de resíduos, sendo uma fonte pouco explorada de compostos bioativos com potencial antioxidante. Neste trabalho, avaliou-se a extração assistida por ultrassom como estratégia para a recuperação desses compostos a partir da cultivar Pérola. Foram analisadas as variáveis temperatura, razão sólido/líquido e concentração de etanol por meio de um planejamento fatorial 2³, além da quantificação de açúcares redutores provenientes da etapa de lavagem. Os extratos foram analisados quanto às variáveis dependentes compostos fenólicos totais (CFT), atividade antioxidante total (AAT) e perfil fenólico por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC). Os resultados mostraram que a razão sólido/líquido e a concentração de etanol foram as variáveis mais relevantes para o aumento do CFT e da AAT, enquanto a temperatura apresentou efeito negativo em algumas condições. Os melhores rendimentos foram obtidos com maior teor de água e menor teor de etanol, atingindo até 34 mg GAE/g para CFT e 1,82 mg TE/g para AAT. A análise por HPLC confirmou a presença de compostos como vanilina, ácido cafeico, ácido p-cumárico e ácido ferúlico nas condições otimizadas. A etapa de lavagem retirou uma quantidade significativa de açúcares redutores sendo, 2,23 g/L de glicose e 3,49 g/L de xilose na casca. Já para a coroa foi de 0,440 g/L de glicose e de 0,618 g/L de xilose. De modo geral, os resultados demonstram que os resíduos do abacaxi possuem elevado potencial para aplicação em produtos bioativos, reforçando a relevância da extração assistida por ultrassom como técnica eficiente, sustentável e capaz de agregar valor a um resíduo amplamente disponível.

ABSTRACT

The processing of pineapple (*Ananas comosus* (L.) Merrill) generates large volumes of waste, representing an underexplored source of bioactive compounds with antioxidant potential. In this study, ultrasound-assisted extraction was evaluated as a strategy for recovering these compounds from the Pérola cultivar. The variables temperature, solid-to-liquid ratio, and ethanol concentration were analyzed using a 2^3 factorial design, along with the quantification of reducing sugars obtained during the washing step. The extracts were evaluated for the dependent variables total phenolic content (TPC), total antioxidant activity (TAA), and phenolic profile by high-performance liquid chromatography (HPLC). The results showed that the solid-to-liquid ratio and ethanol concentration were the most relevant variables for increasing TPC and TAA, while temperature exhibited a negative effect under certain conditions. The best yields were achieved with higher water content and lower ethanol content, reaching up to 34 mg GAE/g for TPC and 1.82 mg TE/g for TAA. HPLC analysis confirmed the presence of compounds such as vanillin, caffeic acid, p-coumaric acid, and ferulic acid under the optimized conditions. The washing step removed a significant amount of reducing sugars, with 2.23 g/L of glucose and 3.49 g/L of xylose in the peel, and 0.440 g/L of glucose and 0.618 g/L of xylose in the crown. Overall, the results demonstrate that pineapple residues have strong potential for application in bioactive products, reinforcing the relevance of ultrasound-assisted extraction as an efficient and sustainable technique capable of adding value to a widely available residue.

1. INTRODUÇÃO

O abacaxi (*Ananas comosus* (L.) Merrill) é uma planta tropical que pertence à subfamília Bromelioideae, da família das bromeliáceas, sendo consumida tanto *in natura* quanto em sua forma processada (PACHECO et al., 2022). O abacaxi está entre as frutas tropicais mais consumidas globalmente, com o Brasil se destacando como um dos maiores produtores. Em 2018, o Brasil alcançou uma produção de cerca de 1,8 milhão de toneladas de abacaxi, posicionando-se como o segundo maior produtor mundial, ficando atrás apenas da Costa Rica (PINHEIRO et al. 2020).

Esse cenário reforça a relevância do setor agroindustrial no país, que ocupa papel central na economia brasileira e, ao mesmo tempo, evidencia a magnitude do problema relacionado à geração de resíduos. Dentre os resíduos gerados, destacam-se aqueles provenientes do processamento e reprocessamento de frutas, gerando uma quantidade expressiva de resíduos sólidos, que podem corresponder de 75 a 80% do fruto, englobando cascas, caroços e porções da coroa (RODA, et al 2016). Este resíduo, frequentemente descartado em aterros sanitários, não apenas contribui para a superlotação desses locais, mas também para a subutilização de compostos bioativos presentes que poderiam ser aproveitados em diversas aplicações (GONDIM et al., 2005).

Essa biomassa é rica em compostos fenólicos e substâncias com propriedades antioxidantes, que despertam grande interesse científico e industrial (HERNÁNDEZ et al., 2023). Todavia, a ausência de estratégias eficazes para a recuperação e valorização desses compostos limita o seu potencial, perpetuando o desperdício de recursos valiosos.

A utilização de resíduos agroindustriais como fonte desses compostos representa uma grande oportunidade, pois integra a redução de impactos ambientais ao aproveitamento de moléculas com potencial terapêutico (MENNA et al., 2021; SANTOS et al., 2020). Dentre as técnicas voltadas à extração desses compostos, a extração assistida por ultrassom tem se destacado pelo bom desempenho, baixa demanda energética e menor consumo de solventes (TIWARI, 2015; LINO et al., 2020). As ondas ultrassônicas promovem a ruptura da matriz vegetal e aceleram a difusão dos compostos, permitindo extratos mais concentrados e com maior atividade biológica em tempos reduzidos (HEDAYATI et al., 2021).

Diante da relevância ambiental, econômica e científica, este estudo buscou valorizar os resíduos do abacaxi por meio da extração de compostos bioativos presentes na biomassa. Esta pesquisa reforça o potencial dos resíduos do abacaxi como fonte acessível e estratégica de compostos bioativos de alto valor agregado.

2. OBJETIVO GERAL

Investigar o conteúdo fenólico total e o potencial antioxidante do extrato da casca e coroa de abacaxi Pérola (*Ananas comosus* (L.) Merrill).

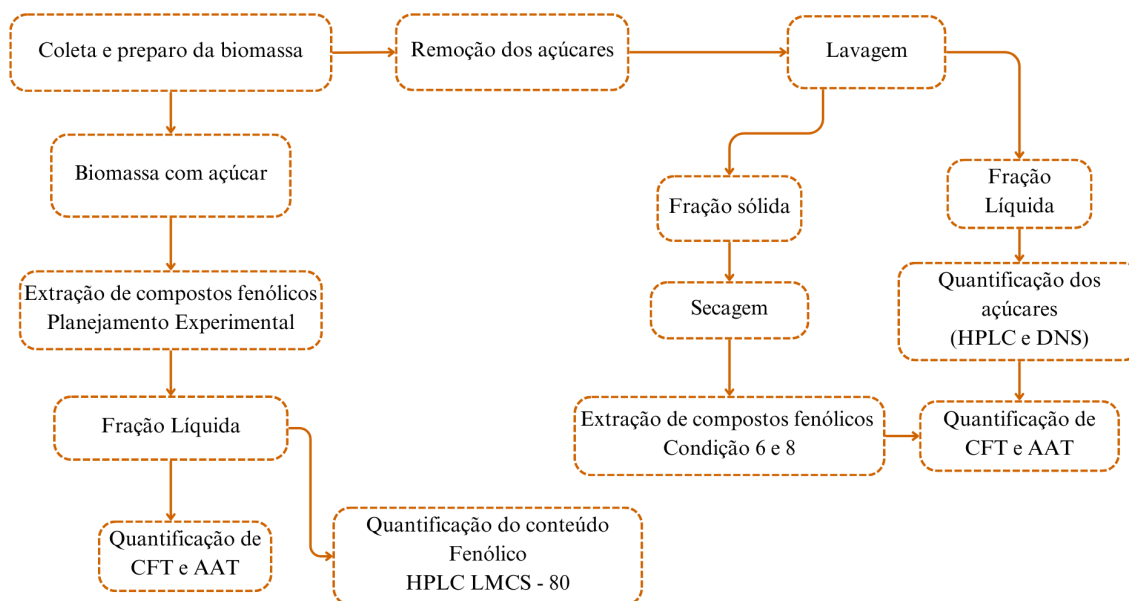
2.1 Objetivos específicos

- a) Avaliar a influência do processo de lavagem na remoção dos açúcares presentes na coroa e na casca de abacaxi;
- b) Quantificar o conteúdo fenólico total e o potencial antioxidante do extrato após a etapa de lavagem;
- c) Analisar a influência das variáveis temperatura (°C), razão sólido/líquido (mg/mL) e concentração de etanol (% v/v) na obtenção do extrato da casca e coroa de abacaxi pérola,;
- d) Avaliar os extratos obtidos quanto ao conteúdo de compostos fenólicos totais (CFT), atividade antioxidante total (AAT) e perfil cromatográfico fenólico.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a obtenção dos extratos e realização das análises, adotou-se um conjunto de etapas previamente estabelecidas. O procedimento envolveu as fases de moagem, lavagem, secagem, extração e quantificação (Figura 1). As atividades experimentais e analíticas foram realizadas nos laboratórios da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Campus Chapecó.

Figura 1 - Fluxograma geral das etapas metodológicas adotadas no estudo, incluindo preparo da biomassa, lavagem, extração assistida por ultrassom e análises de quantificação.



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

3.1 Coleta e preparo da biomassa

A biomassa foi coletada em pizzarias locais, assegurando que o material fosse fresco e livre de contaminações visíveis. Após a coleta, as cascas e as coroas foram higienizadas utilizando uma solução de hipoclorito de sódio (10%, v/v) por imersão, e em seguida foram enxaguadas em água corrente. Posteriormente, os resíduos foram acondicionados em sacos de papel pardo e submetidos à secagem em estufa com circulação de ar a 60°C por 72 horas, até atingir massa constante.

Após o período de secagem, a biomassa foi triturada em um moinho de facas tipo Willey para padronizar o tamanho das partículas (≤ 60 mm). As amostras foram armazenadas a vácuo, protegidos da luz e umidade, para preservar suas características físico-químicas até as análises posteriores.

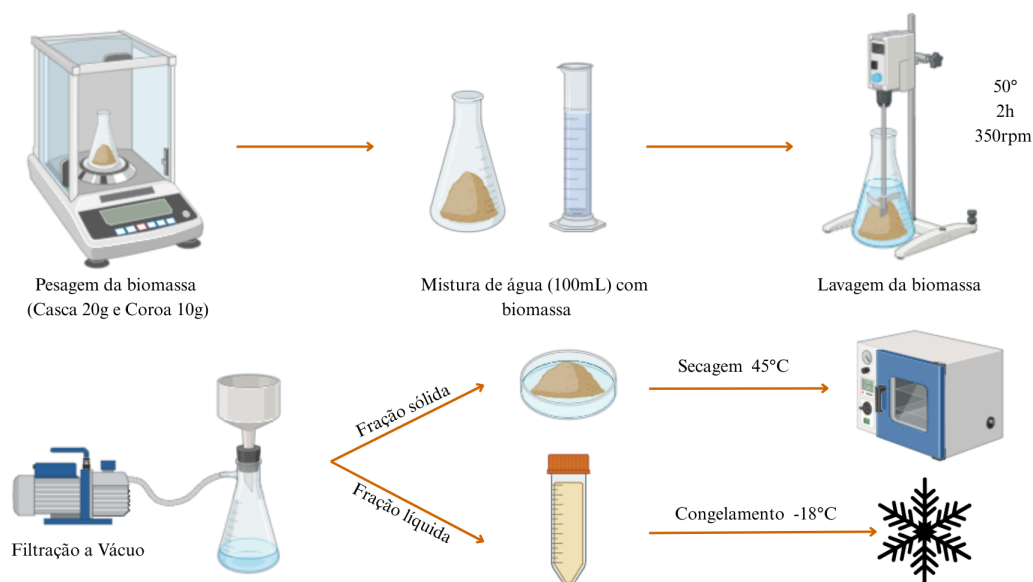
3.2. Solubilização dos açúcares presentes na casca e coroa do abacaxi

3.2.1. Lavagem

O processo de lavagem foi realizado em meio aquoso, com diferentes massas para casca e coroa em pó, sendo 20 g/100 mL e 10 g/100 mL, respectivamente. As lavagens foram

realizadas com água, durante 2 horas, a 350 rpm e 50°C. Após o tempo de lavagem, as amostras foram filtradas a vácuo, separando a fração líquida da fração sólida (Figura 2). A fração líquida foi destinada à análise de açúcares pelo método DNS (ácido 3,5-dinitrosalicílico). Com base em Miller (1959) foram elaboradas curvas padrão para glicose e xilose. A curva de glicose foi preparada a partir de uma solução-mãe de glicose em água destilada, apresentando $R^2 = 0,9999$, enquanto a curva de xilose, preparada de forma semelhante, com $R^2 = 0,9997$. Ambas as curvas com concentrações de 0,2, 0,4, 0,6, 0,8, 1,0, 1,5 e 2,0 (g/L). Além disso, a fração líquida também foi submetida à análise de carboidratos por HPLC. De forma complementar, o conteúdo fenólico total e atividade antioxidante foram determinados por meio do método Folin-Ciocalteu e DPPH, respectivamente. Já a fração sólida foi seca em estufa a 45°C por 72 horas, até atingir massa constante, e posteriormente submetida à extração de compostos bioativos por meio da técnica de extração assistida por ultrassom em duas diferentes condições experimentais ótimas anteriormente definidas por Santos et al. (2025): condição 6 (70°C, 20 mg/mL e 60% de etanol) e condição 8 (70°C, 60 mg/mL e 60% de etanol).

Figura 2 - Etapas do processo de lavagem da casca e da coroa de abacaxi, destacando separação das frações sólida e líquida e posterior direcionamento das análises.



Fonte: Elaborada pela autora (2025)

3.3. Extração dos compostos bioativos da casca e coroa *in natura* (com açúcar)

3.3.1. Planejamento experimental

Para avaliar a influência da temperatura (°C), razão sólido/líquido (mg/mL) e concentração de etanol (% v/v) na extração dos compostos fenólicos, foi realizado um planejamento fatorial completo 2³, conforme mostrado na Tabela 1.

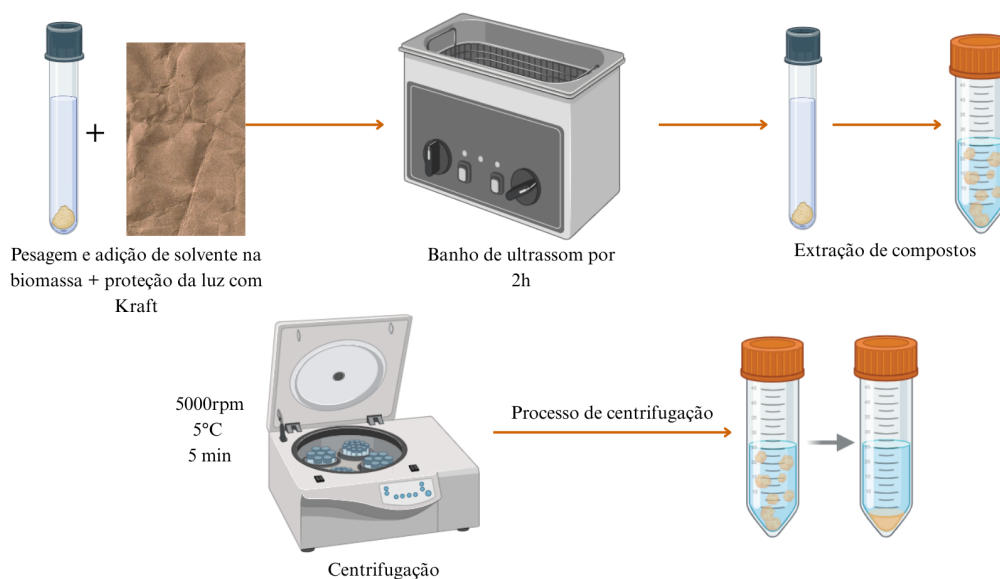
Tabela 1 – Variáveis e respectivos níveis avaliados no planejamento fatorial completo 2³ aplicado à extração assistida por ultrassom.

Variáveis	Níveis		
	-1	0	+1
Temperatura (°C)	30	50	70
Razão sólido/líquido (mg/mL)	20	40	60
Concentração de etanol (% v/v)	20	40	60

3.3.2. Extração dos compostos bioativos

O processo de extração foi realizado por meio de um banho de ultrassom, com um período fixo de 120 minutos. A biomassa foi pesada e acondicionada em tubos de ensaio com tampa rosqueável, protegidos com papel kraft para evitar exposição à luz, as condições de temperatura, razão sólido/líquido e concentração de etanol foram estabelecidas de acordo com o planejamento experimental. Após o período de extração, as amostras foram transferidas para tubos Falcon e centrifugadas a 5.000 rpm a 5°C durante 5 minutos. O resíduo sólido foi descartado e a fração líquida foi transferida para novos tubos Falcon, também protegidos com papel kraft. Esses tubos foram armazenados em um freezer até o momento das análises, conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3 - Procedimento experimental de extração assistida por ultrassom aplicado à casca e à coroa de abacaxi, evidenciando condições operacionais e manipulação dos extratos.



Fonte: Elaborada pela autora (2025)

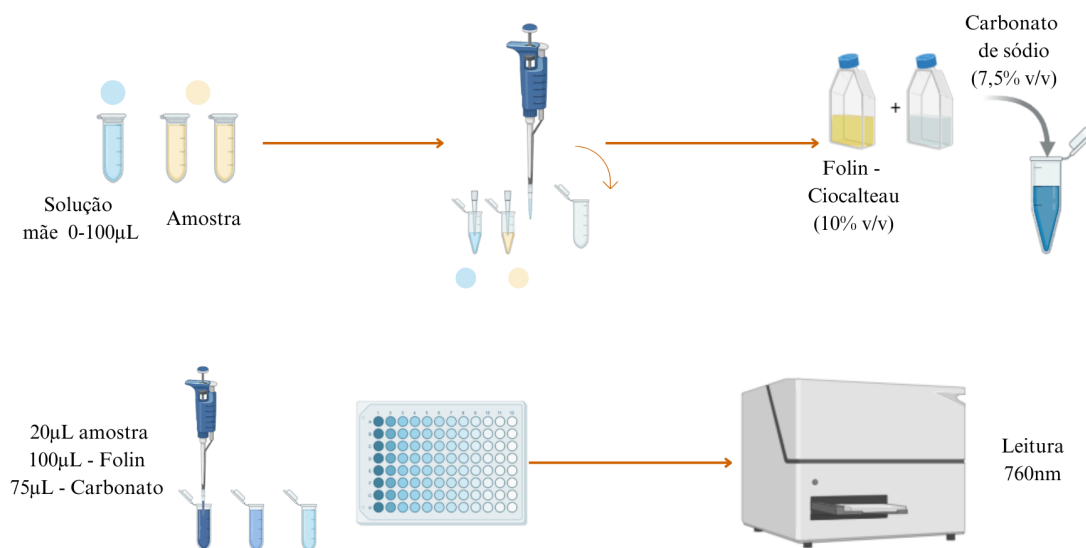
3.4. Caracterização dos extratos

3.4.1. Determinação dos compostos fenólicos totais

A quantificação dos compostos fenólicos totais (CFT) nos extratos foi realizada por meio do método Folin-Ciocalteu, de acordo com a metodologia descrita por Dresch et al. (2025). Inicialmente, foi preparada uma curva padrão de ácido gálico com concentrações variando de 0 a 100 $\mu\text{g/mL}$ ($R^2 = 0,9921$).

Para a análise, 20 μL de extrato foram adicionados em placas de 96 poços juntamente com 100 μL da solução de Folin-Ciocalteu (10%, v/v). Decorridos 5 minutos, 75 μL de carbonato de sódio (7,5%, m/v) foram adicionados às amostras, seguido por um período de reação de 1 hora, até o momento da leitura no espectrofotômetro em um comprimento de onda de 760 nm (Figura 4). Juntamente com as amostras, foi preparado um branco controle com 20 μL etanol em diferentes condições conforme o planejamento experimental 100 μL da solução de Folin-Ciocalteu. Após 5 minutos, 75 μL de carbonato de sódio. Para preservar a integridade dos compostos presentes nos extratos e reagentes, todas as etapas foram realizadas em um ambiente escuro, minimizando a exposição à luz.

Figura 4 - Fluxograma metodológico para determinação dos compostos fenólicos totais pelo método Folin-Ciocalteu.

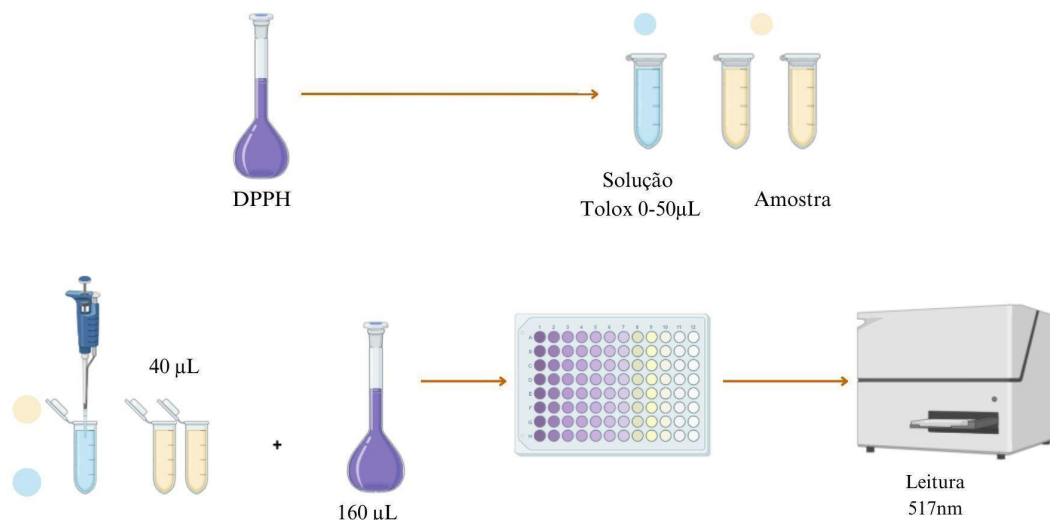


Fonte: Elaborada pela autora (2025)

3.4.2. Determinação da atividade antioxidante total

A atividade antioxidante total (AAT) foi avaliada por meio do método DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil), conforme descrito por Dresch et al. (2025) e Miki et al. (2024). Uma curva padrão de Trolox foi elaborada com concentrações de 0 a 50 µg/mL ($R^2 = 0,9962$). Para realizar a análise, 40 µL do extrato foram adicionados a placas de 96 poços, acompanhados de 160 µL da solução de DPPH (0,1 mmol/L). Após um período de reação de 30 minutos, a leitura foi efetuada em um espectrofotômetro calibrado para o comprimento de onda de 517 nm. Para avaliar a atividade antioxidante, foi preciso elaborar dois tipos de brancos: branco zero, composto apenas por metanol, e branco controle, composto por DPPH e etanol nas diferentes concentrações utilizadas para a extração, permitindo a realização do cálculo do percentual de inibição. Com o objetivo de preservar os compostos presentes nos extratos e reagentes, todos os ensaios foram conduzidos em um ambiente escuro. A Figura 5 apresenta o procedimento experimental detalhado que foi seguido para a quantificação da AAT.

Figura 5 - Etapas experimentais para a quantificação da atividade antioxidante total pelo método DPPH.



Fonte: Elaborada pela autora (2025)

3.4.3. Determinação do perfil fenólico

A identificação dos compostos bioativos foi realizada por meio de um Cromatógrafo Líquido de Alta Eficiência acoplado a um detector de massas (HPLC-LCMS, Shimadzu). O protocolo foi baseado na metodologia descrita por Arruda et al. (2018), com modificações realizadas para adequação aos parâmetros específicos deste estudo. Os extratos selecionados foram aqueles que apresentaram maior teor de compostos fenólicos. Entre os compostos bioativos que foram analisados estão: vanilina, 4-hidroxibenzo-hidrazida, flavona, miricetina, ácido cafeico, catequina, rutina, ácido p-cumárico, ácido gálico, kaempferol, quercetina, ácido sinápico, pirocatecol, ácido siríngico, ácido ferúlico e ácido 4-hidroxibenzóico.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Planejamento experimental

4.1.1 Quantificação de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante total

Os valores de compostos fenólicos totais (CFT) variaram entre 4,83 e 33,84 mg AGE/g de amostra para a casca e entre 5,86 e 34,04 mg AGE/g de amostra para a coroa, já atividade antioxidante (AAT) ficaram entre 0,23 e 1,33 mg TE/g amostra para a casca e entre 0,46 e 1,82 mg TE/g amostra para a coroa. Os melhores resultados foram obtidos nas

condições intermediárias (3 e 4), como mostra a Tabela 5, indicando que a presença de água na mistura com etanol pode aumentar a solubilização de compostos mais polares.

Tabela 2 - Resultados da quantificação de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante dos extratos obtidos nas diferentes combinações do planejamento experimental 2³.

Nº de ensaios*	T (°C)	RSL (mg/mL)	Etanol (% v/v)	mg AGE/ g de casca	mg AGE/ g de coroa	mg TE/ g de casca	mg TE/ g de coroa
1	30	20	20	17,50	18,03	1,05	1,50
2	70	20	20	17,18	16,92	1,33	1,82
3	30	60	20	33,84	34,04	0,54	1,75
4	70	60	20	32,47	30,58	0,66	1,49
5	30	20	60	6,73	6,97	0,58	0,62
6	70	20	60	4,83	5,86	0,39	0,49
7	30	60	60	12,72	11,89	0,23	0,46
8	70	60	60	7,40	11,87	0,47	0,50
9	50	40	40	15,58	16,10	0,80	1,00

* Todos os ensaios realizados em triplicata; (T): temperatura; (RSL): razão sólido/líquido, (AGE): ácido gálico equivalente; (TE): trolox equivalente.

Resultados semelhantes foram reportados por Azizan et al. (2020), que empregaram etanol nas concentrações de 0, 50 e 100% associado a um banho ultrassônico de 45 minutos. Nesses ensaios, a casca apresentou teores de compostos fenólicos totais entre 7,97 e 10,73 mg AGE/g de extrato bruto, com porcentagem de inibição variando de 72,67 a 68,96%. Para a coroa, os valores de CFT oscilaram entre 12,15 e 12,71 mg AGE/g, acompanhados de inibição antioxidante de 46,56 a 75,57%.

Segundo Xie et al. (2023), o efeito antioxidante depende não apenas da quantidade, mas da interação entre os compostos presentes. Isso ajuda a explicar as variações observadas entre os teores fenólicos e a atividade antioxidante total nas diferentes condições avaliadas.

4.1.2 Quantificação do conteúdo fenólico

As condições escolhidas para quantificação de compostos bioativos foram feitas com base nos melhores resultados de compostos fenólicos. As condições testadas foram 3 e 4,

onde alguns compostos foram quantificados de maneira significativa, sendo eles: vanilina, ácido cafeico, ácido p-cumárico e ácido ferúlico (Tabela 6). Outros compostos testados foram quantificados de maneira menos significativa ou não foram detectados.

Tabela 3 - Compostos fenólicos identificados e quantificados por HPLC dos extratos da casca e da coroa obtidos nas condições de maior rendimento.

Amostra*	Vanilina		Ácido Cafeico		Ácido p-cumárico		Ácido Ferúlico	
	Média (mg/ $g_{biomassa}$)	Desvio Padrão	Média (mg/ $g_{biomassa}$)	Desvio Padrão	Média (mg/ $g_{biomassa}$)	Desvio Padrão	Média (mg/ $g_{biomassa}$)	Desvio Padrão
C.A 3	23,75	1,15	3,73	1,33	3,81	1,34	0,27	0,56
C.A 4	34,53	5,17	14,57	4,40	6,51	2,56	12,25	7,71
C.O 3	41,72	4,54	0,29	0,32	45,43	2,94	15,21	2,66
C.O 4	47,76	3,25	2,48	0,23	40,14	0,47	12,44	0,73

* Todos os ensaios realizados em triplicata; (CA): casca de abacaxi; (CO): coroa de abacaxi.

A análise por HPLC confirmou a presença dos principais compostos fenólicos encontrados em outros estudos, conforme mencionado anteriormente, como ácido cafeico, ácido p-cumárico e ácido ferúlico. A condição 4 apresentou as maiores concentrações, com destaque para a casca (23,75 mg/g de biomassa de vanilina e 14,57 mg/g de biomassa de ácido cafeico) e para a coroa (47,76 mg/g de biomassa de vanilina e 45,43 mg/g de biomassa de ácido p-cumárico).

Esses resultados são coerentes aos encontrados por Li et al. (2014) e Lubiana (2020), que identificaram a presença de ácido gálico, catequina, ácido ferúlico e quercetina em extratos dos resíduos do abacaxi, os quais contribuem diretamente para o potencial antioxidante. A diferença no teor total de fenólicos e a capacidade antioxidante observada pode estar relacionada à presença de outros compostos bioativos, como vitamina C e bromelina, que também exercem papel antioxidante (Brito et al., 2021). Segundo Polanía et al. (2023), esses ácidos fenólicos e flavonoides possuem significativa ação antioxidante, anti-inflamatória e até mesmo antitumoral.

Entre os compostos detectados, o ácido ferúlico se destaca por sua capacidade de proteger células contra o estresse oxidativo (Kumar & Pruthi, 2014), enquanto o ácido cafeico e a quercetina contribuem para reduzir danos causados por radicais livres (Shukla et al., 2025; SHAHIDI et al., 2015). Esses resultados confirmam o potencial dos resíduos do abacaxi como fonte de compostos bioativos de interesse farmacêutico e cosmético.

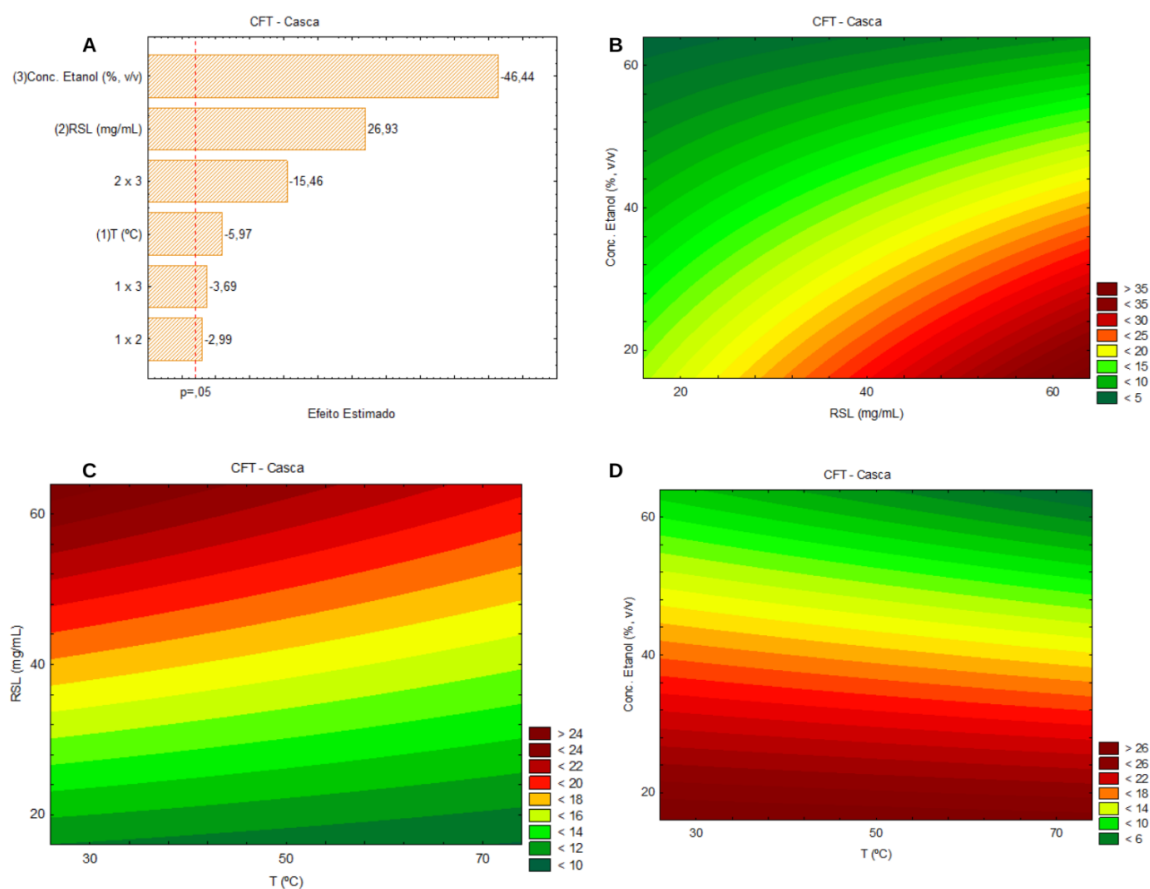
4.1.3 Análise Estatística

A Análise de Variância (ANOVA) foi empregada para avaliar o efeito das variáveis independentes no processo de extração. Em vez de considerar apenas as diferenças entre as médias, a ANOVA permite avaliar se essas variações são realmente significativas ou não. Isso ajuda a identificar quais fatores, e em que combinações, afetaram de fato o teor de compostos fenólicos e a atividade antioxidante. Essa etapa é importante porque evita interpretações precipitadas e dá mais segurança às conclusões do planejamento experimental.

4.1.3.1 Influência dos parâmetros de extração no conteúdo fenólico total para a casca

A ANOVA para a variável dependente CFT da casca apresentou $R^2 = 0,9937$ e Fcalc de 529,81 - superior ao Ftab (2,599) -, demonstrando boa previsibilidade. O gráfico de Pareto (Figura 6 - A) mostrou que a variável mais significativa foi a concentração de etanol, com efeito negativo, seguida da razão sólido/líquido, com efeito positivo sobre a variável resposta CFT.

Figura 6 – Gráfico de Pareto e superfícies de resposta representando a influência da temperatura, razão sólido/líquido e concentração de etanol no conteúdo fenólico total da casca de abacaxi.



Fonte: Elaborada pela autora (2025)

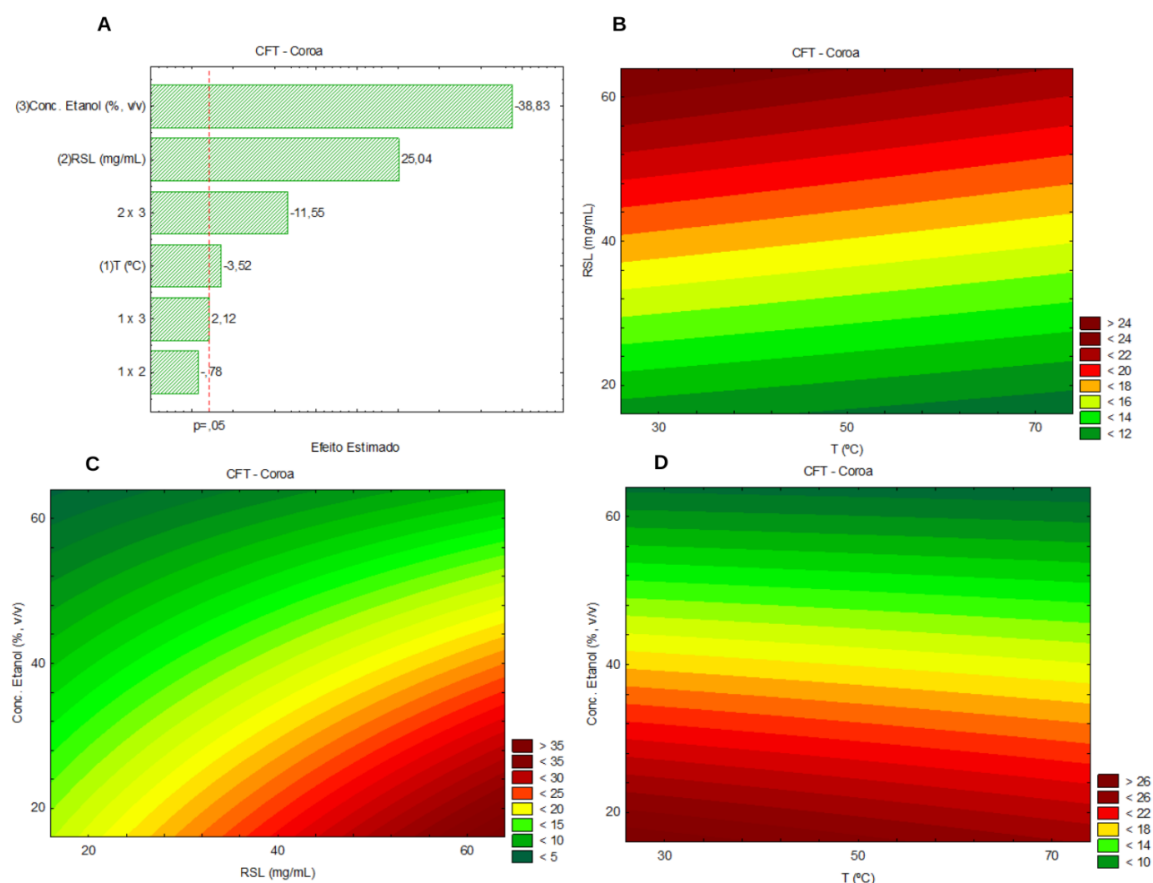
O aumento da razão sólido/líquido, para esta biomassa, favorece o aumento da quantidade dos compostos fenólicos, pois aumenta o contato entre solvente e matriz vegetal. O etanol tem um efeito direto na extração: quanto menor a sua concentração, maior é a extração de compostos fenólicos, esse fenômeno é intensificado pela cavitação causada pelo ultrassom, conforme destacado por Hedayati et al. (2021) e Tiwari (2015). As superfícies de resposta (Figura 6 - B, C e D) também nos mostraram que as áreas com concentração de fenólicos combinaram com condições de alta razão sólido/líquido e menores concentrações de etanol, enquanto temperaturas elevadas reduziram os valores de CFT.

4.1.3.2 Influência dos parâmetros de extração no conteúdo fenólico total para a coroa

No caso da coroa, a ANOVA confirmou que o modelo foi significativo. O valor de $R^2=0,9913$ demonstra que o ajuste representou de forma consistente o comportamento dos

dados experimentais. O gráfico de Pareto (Figura 7 - A) revelou que a concentração de etanol e a razão sólido/líquido foram os fatores mais significativos.

Figura 7 – Gráfico de Pareto e superfícies de resposta que evidenciam o efeito das variáveis de extração sobre o conteúdo fenólico total da coroa de abacaxi.



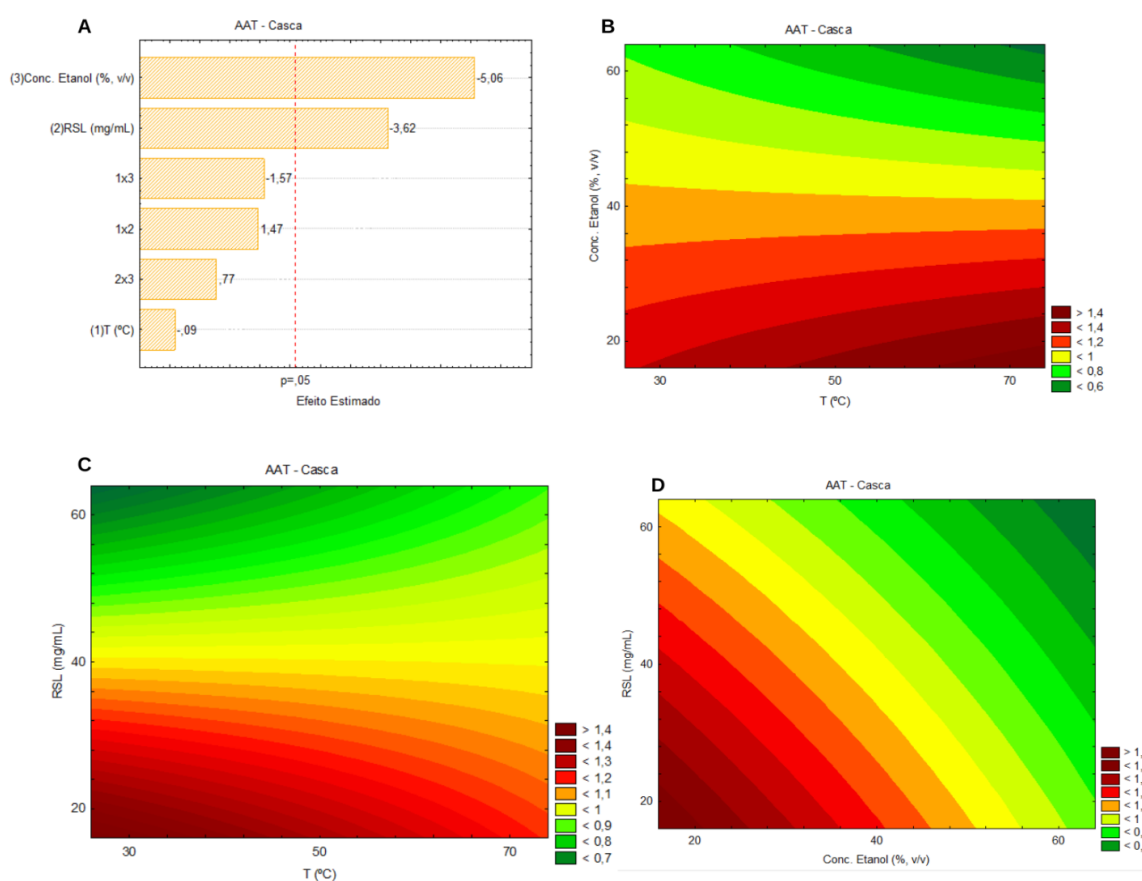
Fonte: Elaborada pela autora (2025)

Os valores de $F_{calc} (380,98) > F_{tab} (2,599)$ confirmam a significância estatística das variáveis. A variável temperatura, novamente, apresentou efeito negativo, indicando possível degradação térmica. As superfícies de resposta (Figura 7 - B, C e D) mostraram regiões de maior concentração de fenólicos nas condições de menor concentração de etanol, comportamento totalmente compatível com o que se conhece sobre a solubilidade dos compostos fenólicos

4.1.3.3 Influência dos parâmetros de extração na atividade antioxidante total para a casca

A análise de variância da AAT revelou que o componente mais significativo foi a concentração de etanol, conforme indicado pelo gráfico de Pareto (Figura 8 - A), sustentado pelos valores de F_{calc} (7,31) superiores ao F_{tab} (2,599) e $R^2 = 0,6869$. A razão sólido/líquido e a concentração de etanol apresentaram efeito significativo negativo, enquanto a temperatura não apresentou efeito significativo para a variável resposta AAT.

Figura 8 – Gráfico de Pareto e superfícies de resposta demonstrando o impacto das variáveis experimentais na atividade antioxidante total dos extratos da casca.



Fonte: Elaborada pela autora (2025)

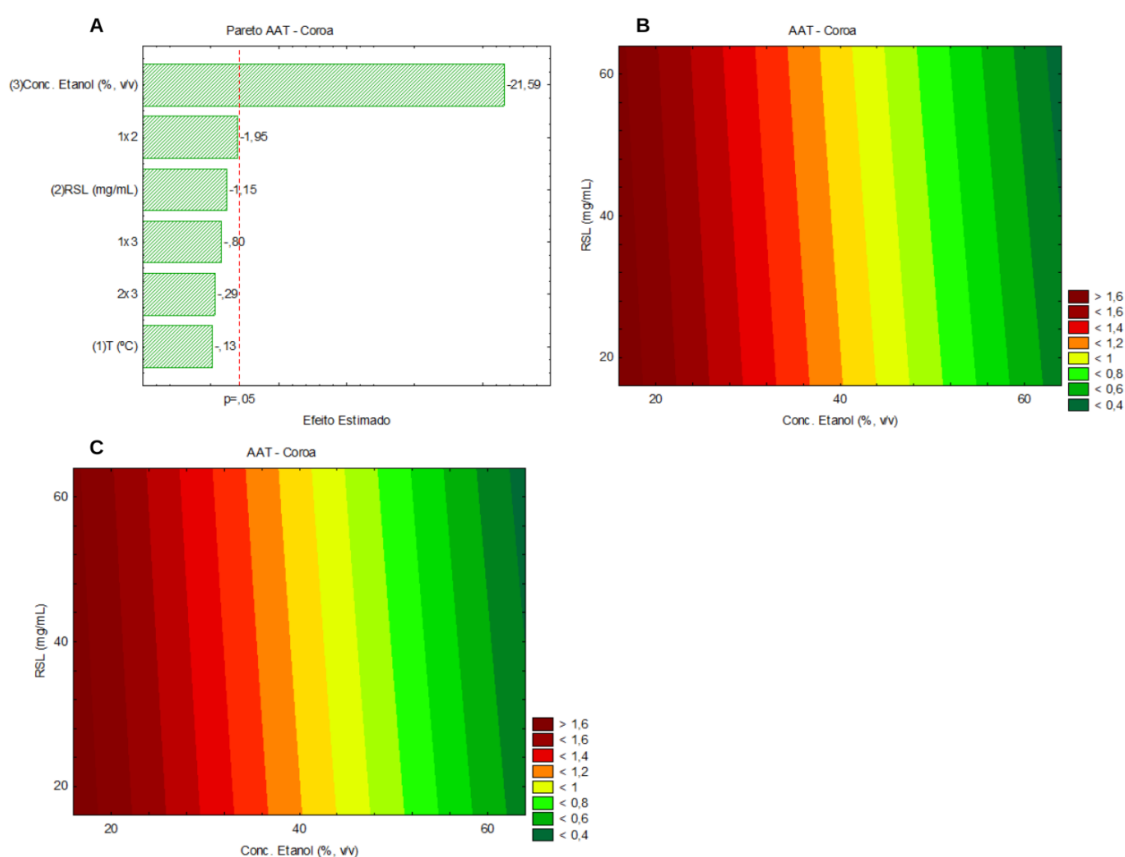
Esses resultados são compatíveis com os princípios do método DPPH descritos por Brand-Williams et al. (1995) e Sucupira et al. (2012), como o radical DPPH responde à capacidade do composto em doar hidrogênio, solventes de polaridade intermediária têm maior eficiência em extrair antioxidantes.

A estabilidade dos valores de AAT ao longo da faixa de temperatura testada indica que, embora alguns fenólicos sejam sensíveis a variação térmica, sua capacidade antioxidante permanece relativamente preservada, comportamento descrito para compostos como ácido ferúlico e quercetina (KUMAR & PRUTHI, 2014; UDAYA RAJESH & SANGEETHA, 2023). As superfícies de respostas (Figura 8 - B, C e D) mostram que há maior atividade em condições de menor teor alcoólico.

4.1.3.4 Influência dos parâmetros de extração na atividade antioxidante totais para a coroa.

O comportamento da coroa seguiu tendência semelhante à observada para a casca, mas com impacto ainda mais marcante do etanol, confirmado pelo Pareto (Figura 9 - A) e pelos valores de $F_{calc} 380,98 > F_{tab} 2,599$ e $R^2=0,9813$.

Figura 9 – Gráfico de Pareto e superfícies de resposta para a atividade antioxidante total da coroa, destacando a relevância das variáveis operacionais na eficiência da extração.



Fonte: Elaborada pela autora (2025)

Esse comportamento confirma que a coroa possui compostos altamente responsivos ao radical DPPH, especialmente flavonoides e ácidos fenólicos com estrutura propícia à doação de hidrogênio (cafeico, ferúlico, quercetina). Além disso, sua matriz vegetal facilita a difusão dos compostos durante a cavitação ultrassônica, como destacam Hedayati (2015) e Tiwari (2015).

A ausência de efeito significativo da temperatura reforça a estabilidade antioxidante na faixa estudada, enquanto a superfície (Figura 9 - B e C) de resposta mostrou concentrações máximas em condições com menor concentração alcoólica.

4.2. Extração dos compostos bioativos após a etapa de lavagem

4.2.1. Quantificação dos açúcares presentes da fração líquida

Estudos realizados anteriormente já demonstraram que os açúcares podem interferir durante o processo de extração, pois competem pela solubilidade do solvente (GONZÁLEZ-CENTENO et al., 2014), e também por interferir no desempenho dos extratos em ensaios biológicos, o que inclui experimentos com linhagens de células tumorais (MIKI et al., 2024). Dessa forma, a etapa de lavagem contribui para redução desse efeito e mantém a integridade dos compostos fenólicos. Além disso, a remoção dos açúcares pode facilitar o uso posterior da biomassa em processos biotecnológicos, como fermentações ou novas extrações (Mena et al. 2021).

A quantificação dos açúcares foi realizada por meio de DNS, no qual os teores de glicose e xilose foram de 3,59 e 3,37 g/L para casca e de 0,21 g/L em média para a coroa (Tabela 3). Os resultados obtidos por DNS e HPLC confirmam a retirada de parte desses açúcares, o que indica que a lavagem teve efeito na remoção das substâncias solúveis.

Tabela 4 - Concentração de glicose e xilose presentes na fração líquida após a etapa de lavagem da casca e da coroa de abacaxi, analisadas pelos métodos DNS e HPLC.

Amostras *	DNS				HPLC			
	Glicose (g/L)	Desvio Padrão	Xilose (g/L)	Desvio Padrão	Glicose (g/L)	Desvio Padrão	Xilose (g/L)	Desvio Padrão
Casca	3,590	0,012	3,374	0,290	2,23	0,200	3,49	0,055
Coroa	0,211	0,006	0,212	0,040	0,440	0,295	0,618	0,067

* Todos os ensaios realizados em triplicata.

4.2.2 Extração e quantificação de compostos bioativos da casca de coroa do abacaxi

Após a etapa de lavagem, foi realizada uma extração utilizando a biomassa sem a presença de açúcares. Nessa etapa, observou-se uma redução significativa nos teores de compostos bioativos, indicando que parte dessas substâncias foi solubilizada durante a lavagem (Tabela 4).

Tabela 5 - Teores de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante obtidos após extração da biomassa previamente lavada, com remoção dos açúcares solúveis.

Amostras*	Temperatura (°C)	Razão sólido /líquido (mg/mL)	Concentração de etanol (% v/v)	mg AGE/g de amostra	mg TE/g de amostra
6 - CA (S.A)	70	20	60	1,09	1,51
8 - CA (S.A)	70	60	60	0,30	0,50
6 - CO (S.A)	70	20	60	0,23	1,57
8 - CO (S.A)	70	60	60	0,23	0,48
Casca (FLL)	-	-	-	0,71	0,11
Coroa (FLL)	-	-	-	0,13	0,12

* Todos os ensaios realizados em triplicata, (CA [S.A]): casca de abacaxi sem açúcar; (CO [S.A]): coroa de abacaxi sem açúcar; (FLL): Fração líquida proveniente da lavagem.

Após a remoção dos açúcares, houve uma redução nos teores de compostos fenólicos, variando de 0,23 a 1,09 mg AGE/g de amostra. Quando comparado com os resultados mostrados na tabela 2, houve uma diminuição em termos de compostos fenólicos, enquanto a atividade antioxidante, de 0,11 a 1,57 mg TE/g, apresentou um aumento em comparação ao ensaio 6 e 8 realizado no planejamento. Essa diminuição para CFT é explicada pela perda de compostos hidrossolúveis durante a lavagem, conforme mostrado por Manach et al. (2004). Ainda assim, os extratos mantiveram uma boa capacidade antioxidante, indicando que, compostos menos polares, permanecem na matriz após o processo. Esses compostos são mais estáveis e têm reconhecida ação protetora contra o estresse oxidativo (Kumar & Pruthi, 2014; Hernandez et al. 2023). De maneira geral, os resultados mostram que, mesmo após a retirada dos açúcares, os resíduos do abacaxi continuam apresentando potencial para uso em formulações bioativas, confirmando a importância da utilização do resíduo agroindustrial (Queiroga et al. 2023).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos neste estudo mostram que a casca e a coroa do abacaxi representam fontes promissoras de compostos bioativos, especialmente fenólicos, que apresentam reconhecida ação antioxidante. A aplicação da extração assistida por ultrassom demonstrou alta eficiência, permitindo a identificação de condições operacionais capazes de aumentar tanto o teor de compostos fenólicos totais quanto a atividade antioxidante dos extratos.

A análise estatística indicou que a razão sólido/líquido e a concentração de etanol foram os fatores que mais influenciaram o rendimento da extração, por afetarem diretamente a solubilização e a liberação dos compostos bioativos da matriz vegetal. Já a temperatura apresentou efeito negativo em alguns casos, sugerindo que o aquecimento excessivo pode comprometer a estabilidade de certos fenólicos, sobretudo aqueles mais suscetíveis à degradação térmica, como ácidos fenólicos, flavonóides, carotenóides e outros grupos sensíveis ao calor.

De maneira geral, o estudo confirma que o reaproveitamento dos resíduos do abacaxi, aliado a técnicas modernas de extração, representa uma alternativa sustentável e economicamente interessante. Além de agregar valor a um material que, em muitos casos, seria destinado a aterros sanitários, sua utilização contribui para reduzir o volume de resíduos orgânicos descartados, minimizando impactos ambientais. Por fim, este trabalho abre espaço para futuras pesquisas voltadas à aplicação dos extratos em sistemas biológicos, bem como em formulações farmacêuticas e cosméticas. A continuidade dessas investigações pode ampliar o potencial de aproveitamento integral do abacaxi e consolidar seu uso como matéria-prima relevante no contexto biotecnológico e ambiental.

6. REFERÊNCIAS

- ARRUDA, H. S. et al. Determination of free, esterified, glycosylated and insoluble-bound phenolics composition in the edible part of araticum fruit (*Annona crassiflora* Mart.) and its by-products by HPLC-ESI-MS/MS. **Food Chemistry**, v. 245, p. 738–749, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.11.120>.
- AZIZAN, N. A. et al. (2020). Potentially Bioactive Metabolites from Pineapple Waste Extracts and Their Antioxidant and α -Glucosidase Inhibitory Activities by 1H NMR. **Foods**, v. 9, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods9020173>.
- BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT – Food Science and Technology**, v. 28, n. 1, p. 25–30, 1995. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5).
- BRITO, T. B. N.; LIMA, L. R. S.; SANTOS, M. C. B.; MOREIRA, R. F. A.; CAMERON, L. C.; FAI, A. E. C.; FERREIRA, M. S. L. Antimicrobial, antioxidant, volatile and phenolic profiles of cabbage-stalk and pineapple-crown flour revealed by GC-MS and UPLC-MSE. **Food Chemistry**, v. 339, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127882>.
- DRESCH, A. P. et al. Valorization of elephant grass biomass: Ethanol production from cellulose fraction and anticancer application of lignin. **Biomass Conversion and Biorefinery**, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13399-025-06583-9>.
- FERREIRA, A. C. H. et al. Valor nutritivo das silagens de capim elefante com diferentes níveis de subprodutos da indústria do suco de caju. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, p. 1380-1385, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982004000600004>.
- GONDIM, J. A. et al. Centesimal composition and minerals in peels of fruits. **Ciência Tecnologia Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 4, p. 825-827, Oct./Dec. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-20612005000400032>.
- GONZÁLEZ-CENTENO, M. R. et al. Effect of acoustic frequency and power density on the aqueous ultrasonic-assisted extraction of grape pomace (*Vitis vinifera* L.). **Ultrasonics Sonochemistry**, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2014.01.021>.
- HEDAYATI, S. et al. Ultrasound-assisted extraction of mucilaginous seed hydrocolloids: Physicochemical properties and food applications. **Trends in Food Science & Technology**, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.10.022>.
- HERNÁNDEZ, E. O. et al. Solid-State Fermented Pineapple Peel: A Novel Food Ingredient with Antioxidant and Anti-Inflammatory Properties. **Food**, v. 12, n. 22, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods12224162>.

KUMAR, N.; PRUTHI, V. Potential applications of ferulic acid from natural sources. **Industrial Crops and Products**, v. 4, p. 86-93 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.btre.2014.09.002>.

LI, X. et al. Major Polyphenolics in Pineapple Peels and their Antioxidant Interactions. **Journal of Food Processing and Preservation**, v 14, p. 1805-1817, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1080/10942912.2012.732168>.

LINO, D. L. et al. Ultrassom e manutenção de compostos bioativos. **Alimentos: Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente**, [s. l.], v. 1, n. 10, p. 1-12, out. 2020. Disponível em: <<https://revistascientificas.ifrj.edu.br/index.php/alimentos/article/view/1678>>

LUBAINA, A. S. Identification and Quantification of Polyphenols from Pineapple Peel by High Performance Liquid Chromatography Analysis. **Advances in Zoology and Botany**, v. 8, n. 5, p. 431–438, 2020. DOI: <https://doi.org/10.13189/AZB.2020.080507>.

MANACH, C. et al. Polyphenols: food sources and bioavailability. **American Journal of Clinical Nutrition**, v 79, n 5, p 727-747 , 2004. DOI: <https://doi.org/10.1093/ajcn/79.5.727>.

MENA, A. et al. Pineapple processing waste (PPW): bioactive compounds, their extraction, and utilisation: a review. **Foods**, p 4152–4164, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05271-6>.

MIKI, K. S. L. et al. Influence of drying methods in the ultrasound-assisted extraction of bioactive compounds from *Byrsonima crassifolia* to evaluate their potential antitumor activity. **Food and Humanity**, v. 2, p. 100242, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2024.100242>.

MILLER, G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. , **Analytical Chemistry Washington**, v. 31, n. 3, p. 426-428, 1959. DOI: <https://doi.org/10.1021/ac60147a030>.

PACHECO, N. I. et al. Caracterização do abacaxi e sua casca como alimento funcional: revisão narrativa. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 3, p. e46011326840-e46011326840, 2022. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i3.26840>.

PINHEIRO, José Olenilson Costa; *et al.* Avaliação econômico-financeira da produção de abacaxi na mesorregião central do Amazonas, AM. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2020. 26 p. il. color. Documentos / Embrapa Amazônia Ocidental, ISSN 1517-3135; 151.

POLANÍA, M. et al. Influence of Ultrasound Application in Fermented Pineapple Peel on Total Phenolic Content and Antioxidant Activity. **Fermentation**, v. 8, p. 314, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/fermentation8070314>.

QUEIROGA, V. et al. Abacaxizeiro *Ananas comosus* (L.) Merrill: Tecnologias de plantio e utilização. 2023. ISBN: 978-65-87070-29-2.

RODA, A. et al. Effect of pre-treatments on the saccharification of pineapple waste as a potential source for vinegar production. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.019>.

SANTOS, et al. Antiproliferative effect of *Rosmarinus officinalis* L. ethanolic extract on cutaneous melanoma cells. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2025.10.025>.

SANTOS, T. A. dos et al. Avaliação das características físico-químicas, atividade antioxidante e fenólicos totais da farinha do extrato da jabuticaba (*Myrciaria jaboticaba*). Científica – **Multidisciplinary Journal**, v. 7, n. 2, p. 1-13, 2020. DOI: <https://doi.org/10.37951/2358-260X.2020v7i2.4730>.

SHAHIDI, F.; AMBIGAIPALAN, P. Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects – A review. **Journal of Functional Foods**, v. 18, p. 820–897, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.06.018>.

SHUKLA, A. et al. Molecular Insight and Antioxidative Therapeutic Potentials of Plant-Derived Compounds in Breast Cancer Treatment. **Onco**, v. 5, n. 2, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/onco5020027>.

SUCUPIRA, N. R. et al. Métodos para determinação da atividade antioxidante de frutos. **Journal Health Science**, v. 14, n. 4, p. 263–269, 2012. DOI: <https://doi.org/10.17921/2447-8938.2012v14n4p%25p>.

TIWARI, B. K. Ultrasound: A clean, green extraction technology. **TrAC Trends in Analytical Chemistry**, v. 71, p. 100–109, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trac.2015.04.013>.

XIE, Y. et al. Solvent selection and optimization for polyphenol extraction from *Rosmarinus officinalis*. **Journal of Food Science and Technology**, v. 16, p. 386–400 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12161-022-02421-0>.