

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA APLICADA PPGQA/UNICENTRO

ALINE BORTOLANZA JANSEN

INCORPORAÇÃO DE EXTRATO DE INFLORESCÊNCIA DE BANANEIRA EM UM
BIOPOLÍMERO COMO INDICADOR DE pH

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

GUARAPUAVA – PR

2024

ALINE BORTOLANZA JANSEN

INCORPORAÇÃO DE EXTRATO DE INFLORESCÊNCIA DE BANANEIRA EM UM
BIOPOLÍMERO COMO INDICADOR DE pH

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Química Aplicada, para obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Prof^ª Dra. Sueli Pércio Quináia
Coorientador: Prof Dr. Chalder Nogueira Nunes

Guarapuava – PR

2024

Catálogo na Publicação
Rede de Bibliotecas da Unicentro

J35i Jansen, Aline Bortolanza
Incorporação de extrato de inflorescência de bananeira em um biopolímero como indicador de pH / Aline Bortolanza Jansen. – – Guarapuava, 2024.
xiv, 79 f. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Programa de Pós-Graduação em Química. Área de Concentração: Química Aplicada, 2024.

Orientadora: Sueli Pércio Quináia
Coorientador: Chalder Nogueira Nunes
Banca examinadora: Andressa Galli, Eliane Sloboda Rigobello

Bibliografia

1. Bananeira. 2. Antocianinas. 3. Biopolímero. I. Título. II. Programa de Pós-Graduação em Química.

CDD 540

Aline Bortolanza Jansen

INCORPORAÇÃO DE EXTRATO DE INFLORESCÊNCIA DE BANANEIRA EM UM BIOPOLÍMERO
COMO INDICADOR DE pH.

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Química, área de concentração em Química Aplicada, para a obtenção do título de Mestre.

Aprovado em, 7 de março de 2024.

Prof. Dr.ª. Andressa Galli (UNICENTRO)

Prof. Dr.ª. Eliane Sloboda Rigobello (UTFPR)

Prof. Dr. Chalder Nogueira Nunes (Coorientador)

Prof. Dr.ª. Sueli Pércio Quináia (Orientadora)

GUARAPUAVA-PR

2024

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, fonte inesgotável de sabedoria e força, por guiar meus passos ao longo desta jornada.

À minha amada família, cujo apoio constante e fé inabalável foram a luz que iluminou meu caminho, formando o alicerce sólido que sustentou minha jornada acadêmica. Aos meus dedicados pais, Juliana e Braz, expresso não apenas minha profunda gratidão, mas também o reconhecimento da importância vital que tiveram em cada etapa, desde os desafios da graduação até a conclusão no mestrado. Sua generosidade transcendente, a preocupação amorosa e a disposição incansável para oferecer auxílio em qualquer circunstância foram não apenas fundamentais, mas verdadeiramente inspiradoras. Cada sacrifício, cada conselho e cada gesto de apoio moldaram não apenas o meu percurso acadêmico, mas também a pessoa que me tornei ao longo desses anos. Em meio aos desafios e às vitórias, a presença resiliente de vocês foi a força que impulsionou meu sucesso.

Agradeço também às minhas amadas irmãs, Amanda e Alana, pela presença constante, apoio incondicional e pelo amor compartilhado ao longo de toda essa jornada acadêmica. Vocês são fontes de inspiração e conforto, e sou imensamente grata por ter vocês ao meu lado.

À minha querida avó Lucy e meu avô Nelson expresso minha profunda gratidão pelo amor incondicional. Sua presença é um tesouro inestimável, e sou grata por cada momento compartilhado.

Aos queridos amigos que enriqueceram meu percurso acadêmico e fazem parte até hoje da minha vida, Aline e Mateus, e às amigas Eryza, Patricia e Francielly, que conheci durante o período do mestrado, agradeço pela camaradagem, apoio mútuo e pelas experiências compartilhadas ao longo dessa jornada.

À UNICENTRO, ao PPGQA e a todos os envolvidos, expresso minha gratidão pelo auxílio nas atividades acadêmicas, pelo ensino de qualidade e pela disponibilidade. Aos laboratórios didáticos e ao DEQ, agradeço pelo suporte valioso em momentos cruciais.

À minha orientadora, Prof^a Dr^a Sueli Pércio Quinaia, meu sincero agradecimento pelo apoio incansável, incentivo constante, sugestões valiosas e pela confiança no trabalho desenvolvido. Ao meu coorientador, Prof. Dr. Chalder Nogueira Nunes, agradeço pela disponibilidade, ideias inspiradoras e sua dedicação. À Prof^a Dr^a Eryza Guimaraes Castro, meu reconhecimento pela dedicação e auxílio na caracterização do biopolímero, assim como ao CCMN – UNICENTRO e aos técnicos envolvidos pelas análises adicionais.

Às ilustres Prof^ª Dr^ª Andressa Galli e Prof^ª Dr^ª Eliane Sloboda, que participaram da banca de qualificação e defesa, expresse minha gratidão pelas valiosas sugestões e contribuições que enriqueceram significativamente a realização deste trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES – agradeço pela concessão da bolsa de estudos e aos demais órgãos de fomento que contribuíram para a concretização deste projeto.

Por fim, minha sincera gratidão a todos que, de alguma maneira, participaram dessa fase crucial da minha formação profissional e crescimento pessoal. Obrigada a cada um por fazer parte desta jornada.

“A vida não é fácil para nenhum de nós.
Temos que ter persistência e,
acima de tudo, confiança em nós mesmos. ”

Marie Curie

RESUMO

A banana, originária da Índia e cultivada em países tropicais como o Brasil, destaca-se não apenas como alimento popular e nutritivo, mas também pelo potencial do seu subproduto, o coração da bananeira. A inflorescência da bananeira, rica em carboidratos e proteínas, é explorada como fonte de antocianinas, conhecidas por suas propriedades antioxidantes e como indicadores de pH. O estudo aprofundou-se na extração de antocianinas da bráctea da flor da bananeira e a sua aplicação em um biopolímero. Utilizando o diagrama de Pareto, avaliou-se a eficiência da extração das antocianinas, com os fatores de tempo, temperatura e concentração de ácido clorídrico. Foram determinados os valores de pKa, observando-se um pKa aproximado de 9,42 no pico de absorção em $\lambda = 420$ nm, um pKa em torno de 3,12 no pico de absorção em $\lambda = 524$ nm, e por fim, de 10,42 no pico de absorção em $\lambda = 600$ nm. A quantificação das antocianinas indicou uma concentração de $1,036 \pm 0,024$ mg C₃G/L. A estabilidade do extrato foi avaliada ao longo do tempo, ressaltando a importância da refrigeração para preservar suas propriedades indicadoras. Os resultados da análise de concentração dos metais essenciais nas brácteas e flores da bananeira foram os seguintes: Fe (ferro): $0,012 \pm 0,006$ mg/g na bráctea e $0,013 \pm 0,008$ mg/g na flor; Mg (magnésio): $4,48 \pm 0,037$ mg/g na bráctea e $4,992 \pm 0,023$ mg/g na flor;; Mn (manganês): $0,038 \pm 0,018$ mg/g na bráctea e $0,062 \pm 0,017$ mg/g na flor; Ca (cálcio): $2,75 \pm 0,032$ mg/g na bráctea e $3,469 \pm 0,036$ mg/g na flor; K (potássio): $47,74 \pm 0,488$ mg/g na bráctea e $46,10 \pm 0,132$ mg/g na flor; Na (sódio): $0,041 \pm 0,02$ mg/g na bráctea e $0,049 \pm 0,018$ mg/g na flor. A análise dos fenólicos indicou maior concentração nas amostras secas, com valores de $122,64 \pm 61,64$ mg/g para a bráctea seca e $154,82 \pm 23,43$ mg/g para a flor seca. A incorporação do extrato no biopolímero de PVA/quitosana demonstrou eficácia como indicador de pH, exibindo variações visuais em resposta a diferentes condições ácidas e alcalinas. Foram realizadas medidas dos parâmetros de cor (L^* , a^* , b^*) variaram com o indicador e o pH, demonstrando sensibilidade a mudanças de pH. Na espectroscopia FTIR, diferenças sutis foram observadas entre os biopolímeros com e sem indicador. Os resultados da termogravimetria indicaram que o biopolímero indicador e o não indicador, exibem uma boa resistência térmica, com pouca diferença observada na curva de TG.

ABSTRACT

The banana, originating from India and cultivated in tropical countries like Brazil, stands out not only as a popular and nutritious food but also for the potential of its by-product, the banana flower. The banana flower inflorescence, rich in carbohydrates and proteins, is explored as a source of anthocyanins, known for their antioxidant properties and as pH indicators. The study delved into the extraction of anthocyanins from the banana flower bract and their application in a biopolymer. Using the Pareto diagram, the efficiency of anthocyanin extraction was evaluated, considering factors such as time, temperature, and hydrochloric acid concentration. The pKa values were determined, with an approximate pKa of 9.42 at the absorption peak at $\lambda = 420$ nm, around 3.12 at the absorption peak at $\lambda = 524$ nm, and finally, 10.42 at the absorption peak at $\lambda = 600$ nm. The quantification of anthocyanins indicated a concentration of 1.036 ± 0.024 mg C3G/L. The stability of the extract was assessed over time, emphasizing the importance of refrigeration to preserve its indicator properties. The results of the essential metals concentration analysis in the banana bracts and flowers were as follows: Fe (iron): 0.012 ± 0.006 mg/g in the bract and 0.013 ± 0.008 mg/g in the flower; Mg (magnesium): 4.48 ± 0.037 mg/g in the bract and 4.992 ± 0.023 mg/g in the flower; Mn (manganese): 0.038 ± 0.018 mg/g in the bract and 0.062 ± 0.017 mg/g in the flower; Ca (calcium): 2.75 ± 0.032 mg/g in the bract and 3.469 ± 0.036 mg/g in the flower; K (potassium): 47.74 ± 0.488 mg/g in the bract and 46.10 ± 0.132 mg/g in the flower; Na (sodium): 0.041 ± 0.02 mg/g in the bract and 0.049 ± 0.018 mg/g in the flower. The analysis of phenolics indicated a higher concentration in the dried samples, with values of 122.64 ± 61.64 for the dry bract and 154.82 ± 23.43 for the dry flower. The incorporation of the extract into the PVA/quitosana biopolymer demonstrated efficacy as a pH indicator, exhibiting visual variations in response to different acidic and alkaline conditions. Measurements of color parameters (L^* , a^* , b^*) varied with the indicator and pH, demonstrating sensitivity to pH changes. In FTIR spectroscopy, subtle differences were observed between biopolymers with and without the indicator. The results of thermogravimetry indicated that both the indicator and non-indicator biopolymers exhibited good thermal resistance, with little difference observed in the TG curve.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Imagem de um pé de bananeira e das pastes da inflorescência	16
Figura 2 - Morfologia da Bananeira	19
Figura 3 - Flores da inflorescência	20
Figura 4 - Flores feminina e masculina. (A) Flor partida ao meio. (B) Flor separada em parte masculina e feminina	20
Figura 5 - Molécula da antocianina	22
Figura 6 - Mudanças nas estruturais das antocianinas.....	24
Figura 7 - Estrutura quitosana	26
Figura 8 - Estrutura PVA.....	27
Figura 9 - Medida da banana para confirmação da espécie.....	30
Figura 10 – Esquema representativo da extração das antocianinas.....	31
Figura 11 - Determinação dos valores de pKa no extrato	33
Figura 12 - Esquema do preparo das amostras para a determinação dos elementos metálicos.....	36
Figura 13 - Ilustração do método proposto para a extração e determinação dos fenólicos totais	37
Figura 14 – Micrômetro modelo Vonder®.....	38
Figura 15 - Cubeta de quartzo com biopolímero sem e com indicador respectivamente.....	39
Figura 16 - Colorímetro portátil 3nh modelo NR60CP.....	40
Figura 17 - Quadrantes de cores do sistema CIE L*a*b*	41
Figura 18 - Teste de Sensibilidade do biopolímero indicador antes da mudança de cor	42
Figura 19 - Varredura de comprimentos de onda para os extratos da inflorescência da bananeira	45
Figura 20- Coloração da solução indicadora de pH obtida a partir da inflorescência de bananeira nas condições experimentais do ensaio 7	45
Figura 21 - Gráfico dos efeitos principais do planejamento fatorial	46
Figura 22 - Diagrama de Pareto obtido através do planejamento fatorial	47
Figura 23 - Escala de pH usando o extrato de brácteas	47
Figura 24- Espectro de varredura da escala de pH dos extratos.....	48
Figura 25 - (A) Espectro do máximo de absorbância no comprimento de onda em 420 nm (B) Derivadas e pka do respectivo espectro.....	50
Figura 26 - (A) Espectro do máximo de absorbância no comprimento de onda em 534nm (B) Derivadas e pka do respectivo espectro.....	51
Figura 27 - (A) Espectro do máximo de absorbância no comprimento de onda em 600nm (B) Derivadas e pka do respectivo espectro.....	52
Figura 28 - Espectro de estabilidade dos extratos de brácteas com o tempo.....	54
Figura 29 - Estabilidade do extrato em temperatura ambiente e do extrato refrigerado (6 meses), respectivamente	55
Figura 30 - Concentrações dos metais essenciais na inflorescência (A) majoritários, (B) minoritários.....	56
Figura 31 - Curva de calibração de ácido gálico para a determinação dos fenólicos totais	57
Figura 32 - Biopolímero de PVA/quitosana impregnado com o indicador de pH extraído da bráctea da inflorescência da bananeira.	59
Figura 33 - Variação de cor do biopolímero em função do pH do meio.	59
Figura 34 - Biopolímero sem indicador.....	61
Figura 35 - Biopolímero com indicador	62

Figura 36 - Biopolímero em meio ácido.....	63
Figura 37 - Biopolímero em meio neutro	63
Figura 38 - Biopolímero meio básico	64
Figura 39 - A) biopolímero em presença do ácido clorídrico B) biopolímero sem presença do ácido clorídrico	65
Figura 40 – A) biopolímero em presença do hidróxido de amônia B) biopolímero sem presença do hidróxido de amônia	65
Figura 41 - Espectros FTIR das amostras: (a) Quitosana, (b) PVA, (c) Biopolímero com indicador e (d) Biopolímero sem indicador	66
Figura 42 - TG-DTG biopolímero sem indicador	68
Figura 43 - TG-DTG biopolímero com indicador	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Estruturas, nomes e fontes na natureza das principais antocianinas	23
Tabela 2 - Planejamento fatorial 2^3 para a extração de antocianinas	32
Tabela 3- Resultados do Planejamento fatorial 2^3	44
Tabela 4 - Resultado da concentração de antocianinas por pH diferencial	53
Tabela 5 - Concentração de metais essenciais na inflorescência da bananeira	56
Tabela 6 - Concentração de fenólicos totais na inflorescência de bananeira	58
Tabela 7 - Parâmetros de cor L^* , a^* , b^* biopolímero com e sem indicador	61
Tabela 8 - Parâmetros de cor L^* , a^* , b^* e Variação total de cor (ΔE)	62

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1	34
Equação 2	34
Equação 3	39
Equação 4	42

LISTA DE SIMBOLOS E ABREVIATURAS

PVA - Álcool polivinílico

HCl - Ácido clorídrico

NaOH - Hidróxido de Sódio

pH - Potencial hidrogeniônico

pKa - Valor negativo do logaritmo da constante de dissociação de um ácido.

TG - Termogravimetria

FTIR - Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier

SUMARIO

1.	INDRODUÇÃO	15
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
2.1.	Bananeira	18
2.1.1.	Inflorescência da bananeira	19
2.2.	Indicadores Naturais de pH	21
2.2.1.	Antocianinas	21
2.3.	Biopolímeros.....	25
2.3.1.	Quitosana	26
2.3.2.	Álcool Polivinílico (PVA)	27
3.	OBJETIVOS	28
3.1.	OBJETIVO GERAL.....	28
3.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	28
4.	MATERIAIS E MÉTODOS	29
4.1.	Reagentes	29
4.2.	Coleta das amostras e tipo de bananeira	29
4.3.	Planejamento de experimentos para otimização da extração.....	30
4.4.	Determinação dos valores de pKa no extrato indicador	32
4.5.	Quantificação de antocianinas no extrato	33
4.6.	Estabilidade do extrato	34
4.7.	Concentrações de metais essenciais.....	35
4.8.	Fenólicos totais nas flores da bananeira	36
4.9.	Preparação e incorporação do extrato no biopolímero	37
4.10.	Caracterização do biopolímero	38

4.10.1. Espessura	38
4.10.2. Transparência.....	39
4.10.3. Colorimetria	39
4.10.4. Teste de Sensibilidade do Biopolímero Indicador às Variações de pH na atmosfera ..	42
4.10.5. Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)	43
4.10.6. Termogravimetria (TG)	43
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
5.1. Otimização da extração.....	43
5.2. Determinação dos valores de pKa	47
5.3. Quantificação de antocianinas no extrato	53
5.4. Estabilidade do extrato	53
5.5. Concentrações de metais essenciais.....	55
5.6. Concentrações de fenólicos totais.....	57
5.7. Incorporação do extrato da bráctea no biopolímero	58
5.8. Caracterização do biopolímero	60
5.8.1. Espessura	60
5.8.2. Transparência.....	60
5.8.3. Colorimetria.....	60
5.8.4. Teste de sensibilidade do biopolímero indicador às variações de pH na atmosfera.....	65
6. CONCLUSÃO	69
7. REFERÊNCIAS	71
8. PERSPECTIVAS FUTURAS.....	74
9. PRODUÇÃO BIBLIOGRÁFICA	74
9.1. Artigos completos publicados em periódicos	74
9.2. Capítulos de livros publicados.....	75

1. INTRODUÇÃO

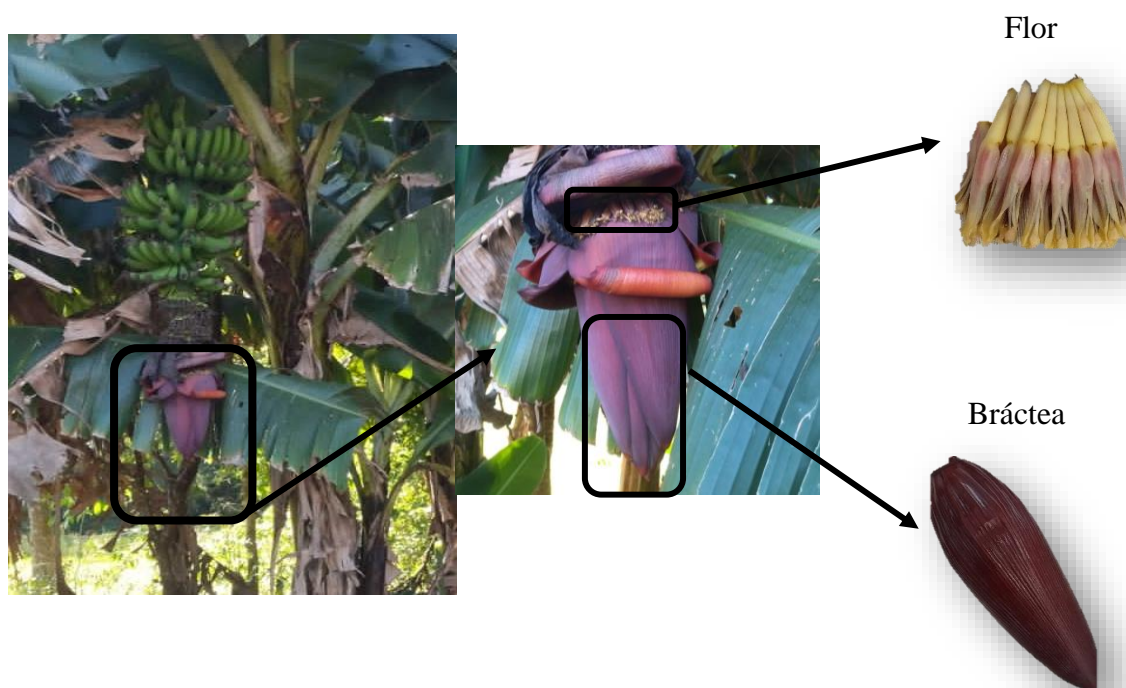
A banana (*Musa spp.*) é uma das frutas mais consumidas mundialmente pertencente à família *Musaceae* (Fingolo *et al.*, 2012). Todavia a bananeira é relatada originalmente da Índia, Malásia, Birmânia e Japão. A banana é cultivada na maioria dos países tropicais, genericamente, cultivada por pequenos produtores e a produtividade média na maioria dos municípios é baixa. O sistema de comercialização vigente, com uma considerável industrialização do produto, favorece o consumidor intermediário, ou seja, este fruto é um alimento acessível. As bananas mais consumidas são das espécies *M. acuminata*, *M. cavendishii*, *M. paradisiaca* e *M. sapientum* (Lau *et al.*, 2020). A banana acompanha a evolução dos seres humanos servindo de alimento há cerca de 7 mil anos, isso se dá por ser uma fruta apetitosa, nutritiva e de fácil acesso (ABRAFRUTAS ; DERIVADOS., sd).

O Brasil é o quarto maior produtor de banana, perdendo para a Índia, China e Indonésia. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) foram produzidas cerca 6.637.308 toneladas de banana em 2020 no Brasil, sendo 197.611 toneladas produzidas no estado do Paraná. Nesse cenário, o coração da bananeira, ganha o símbolo como um subproduto agrícola que, historicamente, tem sido subutilizado (IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, sd) .

O nome, coração da bananeira, deve-se à coloração e formato que lembram um coração. Cientificamente chamado inflorescência, é uma estrutura que se forma abaixo do cacho de banana. Possui formato de cone e suas brácteas apresentam uma coloração roxa mostrados na Figura 1 (Nomura *et al.*, 2020).

Ademais, o coração da bananeira é rico em carboidratos e proteínas, sendo estes correspondentes a 52% e 23% do peso seco do produto, respectivamente. Considerados como subprodutos agrícolas, os corações de bananeira são normalmente descartados, mas recentemente, vem sendo convertidos em produtos de valor agregado. Esse aproveitamento se dá ao fato da presença de vários compostos bioativos com potenciais efeitos promotores da saúde. Como a banana é uma cultura importante em todo o mundo, as plantações produzem toneladas de subprodutos incluindo a casca, folhas, pseudocaule, caule e inflorescência (Lau *et al.*, 2020). No Brasil, as inflorescências de bananeiras são utilizadas geralmente para fazer saladas, farinha seca ou até mesmo cozidas como um vegetal (Rosa *et al.*, 2020).

Figura 1- Imagem de um pé de bananeira e das partes da inflorescência



Fonte: Autora (2023)

As brácteas das flores da bananeira possuem em sua composição antocianinas, a base de cianina. As antocianinas são caracterizadas por suas cores vermelhas, roxas e azuis que podem variar de acordo com seu pH (Gala; Kolte, 2016).

As antocianinas têm sido largamente usadas como corantes alimentícios devido à sua origem natural. Além disso, possuem propriedades biológicas, farmacológicas, anti-inflamatórias e antioxidantes. Devido a sua variância de cor, essas substâncias também são utilizadas como indicador alternativo de pH (Begum; Deka, 2017).

Para obter as antocianinas, vários métodos de extração foram desenvolvidos e empregados diferentes tipos de solventes, como água acidificada, metanol acidificado, etanol, acetona e ácidos, porém os mais utilizados são as extrações de antocianinas por metanol e etanol aquosos acidificados. Segundo Patil *et al.* (2009) comprovam que o grau de extração de antocianinas foi o mais alto no caso da acetona, seguido do metanol acidificado e do etanol acidificado. No entanto, a acetona e metanol possuem um elevado nível de toxicidade, o que torna a extração perigosa para o ser humano, além de poluir o meio ambiente, ou seja, o etanol é o mais indicado para a extração da própria (Patil *et al.*, 2009 ;Ove *et al.*, 2019).

De acordo com as pesquisas de Junior (2014), uma das possíveis antocianinas presentes no coração da bananeira é a perlagonidina. As antocianinas, incluindo a perlagonidina, são conhecidas por suas propriedades antioxidantes, podendo conferir benefícios à saúde associados ao consumo de alimentos vegetais ricos nesses compostos (Junior, 2014).

A procura de indicadores tem aumentado com os passar dos anos, sendo muito utilizado nas aplicações ambientais, agrícolas, de águas residuais, farmacêuticas, laboratoriais e algumas educacionais. No entanto, considerando a importância dos indicadores de pH comercializados na identificação de meios ácidos e básicos, e as desvantagens dos indicadores químicos de pH que se dá devido ao impacto ao meio ambiente, a utilização de indicadores de pH alternativos, naturalmente presentes em algumas plantas tem ganhado destaque. Esses indicadores apresentam menor custo e são menos tóxicos. Além disso, podem ser aplicados em finalidades alimentícias, oferecendo uma alternativa mais segura e sustentável para a identificação de pH em diferentes contextos, incluindo a indústria de alimentos (Zamora, 2016).

A utilização de indicadores em diversas aplicações, como para fins didáticos, análises químicas e avaliação da qualidade de alimentos, por exemplo, impulsionou a investigação de várias substâncias e matérias primas, em especial as naturais, que podem ser usadas alternativamente com menores impactos e riscos de contaminação de amostras. Os biopolímeros apresentam propriedades únicas que os tornam adequados para diversas aplicações, como indicadores de pH. Sua versatilidade, associada à capacidade de serem derivados de fontes naturais, oferece uma alternativa promissora aos indicadores (Begum; Deka, 2020; Vieira *et al.*, 2020).

Devido às suas propriedades biodegradáveis, não tóxicas e biológicas, vários polímeros naturais têm sido amplamente explorados na fabricação de embalagens de alimentos. Pesquisadores como Wang *et al.* (2009), produziram filmes de biopolímeros à base de quitosana/proteína de batata/óleo de linhaça para manter a qualidade de armazenamento da carne crua. Entre esses polímeros, destaca-se a quitosana, um biopolímero com propriedades antimicrobianas. No entanto, a quitosana possui restrições em termos de resistência mecânica, o que tem levado à sua combinação com outros polímeros, como o álcool polivinílico (PVA), um polímero sintético não tóxico e biodegradável, visando melhorar suas propriedades mecânicas. Assim, os filmes obtidos a partir da mistura de quitosana e PVA apresentam propriedades físicas modificadas em comparação aos filmes compostos apenas por quitosana ou PVA. Além disso, esses filmes de quitosana podem ser enriquecidos com extratos naturais ou partículas de metais, a fim de melhorar suas propriedades, como atividade antimicrobiana

ou antioxidante. Essa incorporação de substâncias adicionais amplia as possibilidades de aplicação dos filmes de quitosana, conferindo-lhes funcionalidades específicas e garantidas para o desenvolvimento de embalagens mais seguras e eficientes para alimentos (Pereira; Arruda; Stefani, 2015; Wang *et al.*, 2020) .

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Bananeira

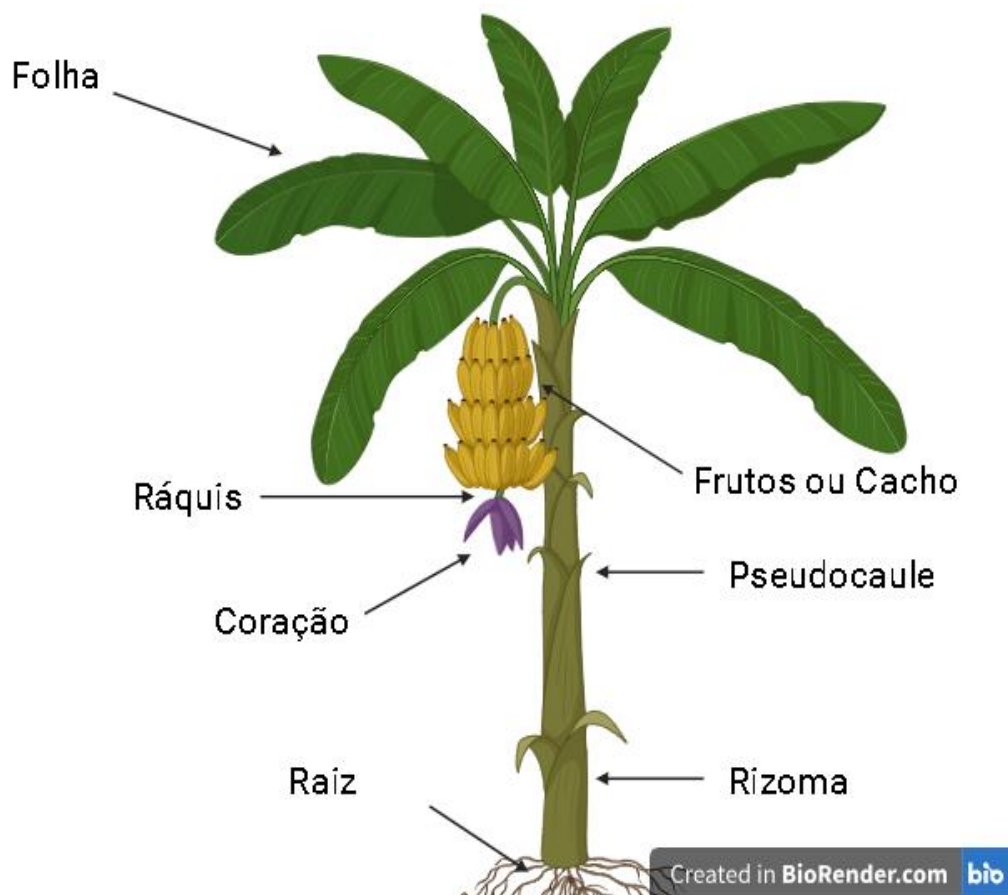
No contexto brasileiro, é notável que a produção de bananas é destinada ao consumo *in natura*, desempenhando um papel crucial na estabilização da mão-de-obra nas áreas rurais. A banana, além de ser um elemento alimentar de relevância, possui uma presença significativa na dieta de comunidades de baixa renda, não apenas devido ao seu notável valor nutricional, mas também em virtude de seu custo acessível (Oliveira, 2010). Seu caule subterrâneo, o rizoma, emite raízes primárias e brotações laterais, formando novas plantas, assegurando assim a continuidade da touceira (Nomura *et al.*, 2020).

As raízes primárias, emergindo do rizoma, se agrupam em dois a quatro, totalizando 200 a 500 raízes. O pseudocaule, semelhante a um caule verdadeiro, desempenha papel vital, sustentando cachos e armazenando água e nutrientes além disso ele é composto por cerca de 95% de água, para evitar rompimentos. Sua altura e diâmetro podem atingir até 8 m e 50 cm, influenciando o desenvolvimento da planta (Amorim *et al.*, 2009; Oliveira, 2010).

A inflorescência da bananeira, com brácteas roxas avermelhadas, emerge do centro da copa, dando origem a pencas com frutos. Cada grupo de flores forma uma penca ("mão"), com sete a 15 pencas por cacho, dependendo do cultivar. Os frutos, originados por partenocarpia, inicialmente são verdes e amadurecem para o amarelo (Nomura *et al.*, 2020)

A Figura 2 proporciona uma visão abrangente da morfologia da bananeira, apresentando seus principais componentes. O rizoma, que dá origem às raízes e brotações laterais, fundamentais para a reprodução e crescimento da planta. O pseudocaule, composto por bases foliares, simula um tronco. Pode-se observar também as folhas, os frutos e a inflorescência, também conhecido como coração da bananeira, que dão origem aos cachos.

Figura 2 - Morfologia da Bananeira



Fonte: Autora (2023)

2.1.1. Inflorescência da bananeira

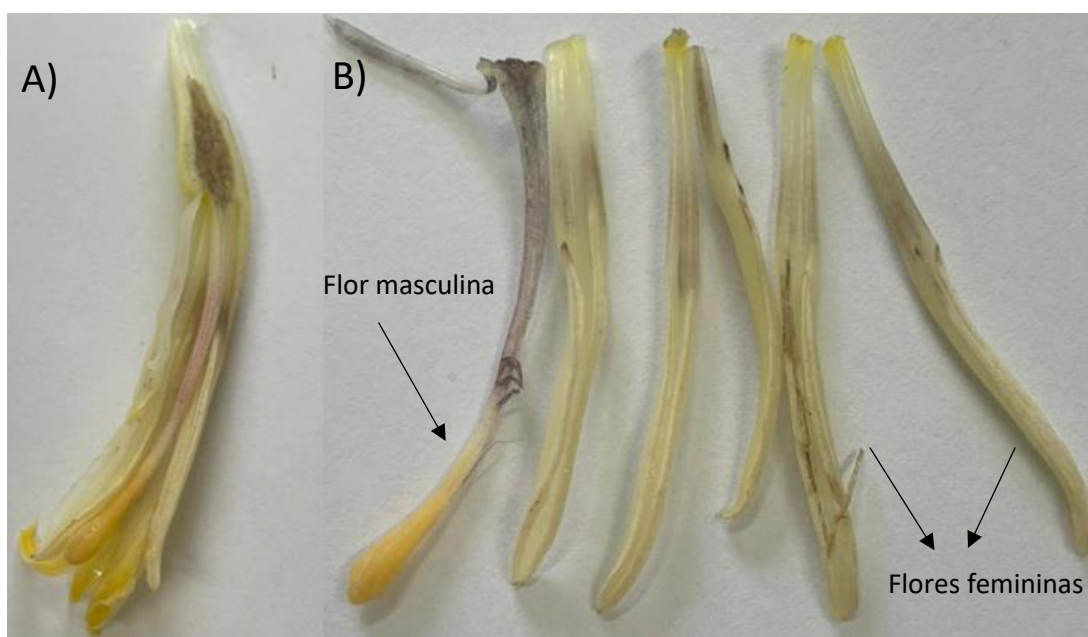
Cada cacho de bananas carrega consigo uma inflorescência que abriga tanto flores femininas quanto masculinas (Figura 3). Sob as inúmeras brácteas que a compõem, as flores masculinas exibem uma tonalidade amarelo-claro, enquanto as femininas são cuidadosamente organizadas em fileiras, com as flores femininas dispostas acima das masculinas (Figura 4). No decorrer do processo de frutificação, as brácteas erguem-se, e as flores femininas, dispostas ao redor do caule em duas fileiras, se transformam em bananas. Os cachos de bananas resultam da formação dessas frutas em diferentes camadas de brácteas com flores. As flores masculinas, por outro lado, caem enquanto os frutos se desenvolvem. A inflorescência é geralmente removida quando atinge um tamanho específico para evitar interferência no crescimento e amadurecimento dos frutos (Nomura *et al.*, 2020; Zamora, 2016).

Figura 3 - Flores da inflorescência



Fonte: Autora (2024)

Figura 4 - Flores feminina e masculina. (A) Flor partida ao meio. (B) Flor separada em parte masculina e feminina



Fonte: Autora (2024)

Segundo Rosa *et al.*,2020 as inflorescências podem ser excelentes fontes de elementos essenciais que são nutrientes importantes para diversos processos biológicos. Esses metais, como ferro, zinco e manganês, desempenham papéis vitais no metabolismo celular, na função imunológica e em outras atividades fisiológicas essenciais para o organismo humano, além

disso elas também possuem compostos fenólicos que são conhecidos por suas propriedades antioxidantes (Borge *et al.*, 2012; Rosa *et al.*, 2020).

2.2. Indicadores Naturais de pH

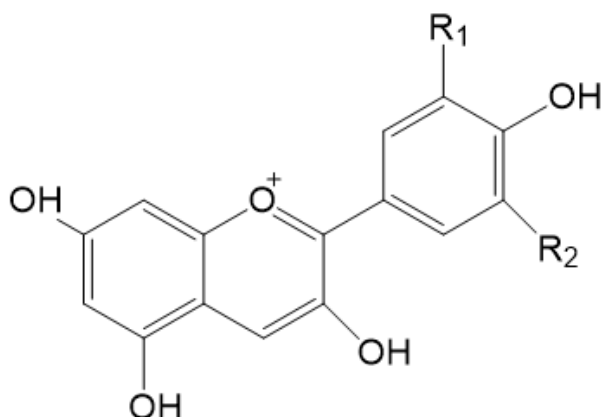
Os indicadores de pH comercialmente disponíveis são reconhecidos por sua capacidade de medir os níveis de ácidos e bases em soluções, no entanto, apresentam algumas desvantagens. Essas desvantagens se manifestam no impacto prejudicial ao meio ambiente decorrente do uso desses produtos químicos, além da limitação das fontes conhecidas de matérias-primas para esses indicadores. Diante dessa problemática, surgiu a motivação para explorar alternativas inovadoras. Nesse contexto, destacam-se os indicadores de pH naturais presentes em determinadas plantas. A adoção desses indicadores alternativos não apenas elimina os efeitos adversos à saúde e ao meio ambiente associados aos indicadores químicos de pH, mas também representa uma escolha ecologicamente responsável (Begum; Deka, 2017; Junior, 2014; Zamora, 2016).

Na literatura, pode-se encontrar diversos estudos que abordam a utilização de extratos de plantas como indicadores ácido-base. Terci e Rossi (2002) investigaram os extratos brutos de frutas como amora (*Morus Nigra*), jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*), jabolão (*Syzygium cuminii*) e uva (*Vitis vinífera*) como possíveis indicadores e medidores de pH. Outro estudo relevante é o de Soares e Cavalheiro (2001) que fizeram a aplicação de extratos brutos de flores de quaresmeira e azaleia e da casa de feijão preto em volumetria ácido-base. Essas pesquisas oferecem propostas interessantes para a utilização de corantes presentes em tecidos vegetais na determinação colorimétrica de pH, atribuindo as mudanças de coloração à presença de antocianinas e outros compostos (Junior, 2014; Soares; Cavalheiro, 2001).

2.2.1. Antocianinas

As antocianinas constituem um grupo de flavonoides que estão amplamente distribuídos em frutas, bagas e flores, proporcionando cores atrativas, vermelho e azul. Esses pigmentos, solúveis em água, possuem a vantagem de serem facilmente incorporados em diversos sistemas alimentares aquosos. Sua aplicação abrange uma variedade de preparações alimentares, incluindo sobremesas de geleia, sobremesas lácteas, sorvetes macios, sorvetes duros e iogurtes. A Figura 5 representa a estrutura geral das antocianinas (Begum; Deka, 2017).

Figura 5 - Molécula da antocianina



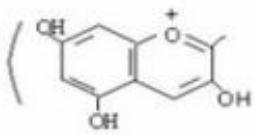
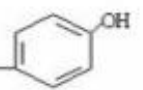
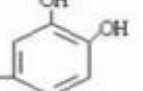
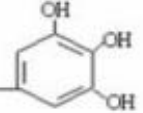
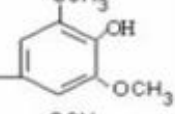
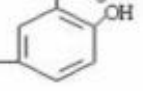
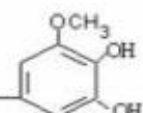
Fonte : Adaptado (Li *et al.*, 2017)

Além de suas propriedades corantes, as antocianinas exibem características biológicas, farmacológicas, anti-inflamatórias, antioxidantes e quimioprotetoras. Destaca-se ainda a utilidade das antocianinas no tratamento de diversas doenças crônicas. Recentemente, esses compostos têm recebido crescente atenção como corantes naturais em sistemas alimentares, refletindo a tendência geral de preferência por produtos naturais em detrimento dos sintéticos (Begum; Deka, 2017; Ferreira, 2014).

Estão presentes nas plantas atuando como filtro às radiações ultravioleta. Elas também desempenham um papel crucial na interação planta animal, apresentando atividade inibidora no crescimento de larvas de insetos e contribuindo para os mecanismos reprodutivos das plantas ao atrair insetos e pássaros para polinização e dispersão de sementes. Além de suas funções essenciais nas plantas as antocianinas têm impacto significativo na saúde humana, sendo associadas à prevenção de doenças como câncer, diabetes, desordens cardiovasculares e neurológicas (Begum; Deka, 2017; Ferreira, 2014; Junior, 2014).

A Tabela 1 apresenta as estruturas químicas das antocianinas, destacando algumas de suas fontes naturais presentes em plantas e frutas.

Tabela 1- Estruturas, nomes e fontes na natureza das principais antocianinas

Estrutura do Cátion flavílico	Estrutura do Anel B	Nome	Encontrado em:
		Pelargonidina	Morango, amora, vermelha e bananeira.
		Cianidina	Jabuticaba, figo, cereja, ameixa, jambolão, amora e repolho roxo.
		Delfinidina	Berinjela, romã e maracujá.
		Malvidina	Uva e feijão.
		Peonidina	Uva e cereja.
		Petunidina	Frutas diversas e petúnias.

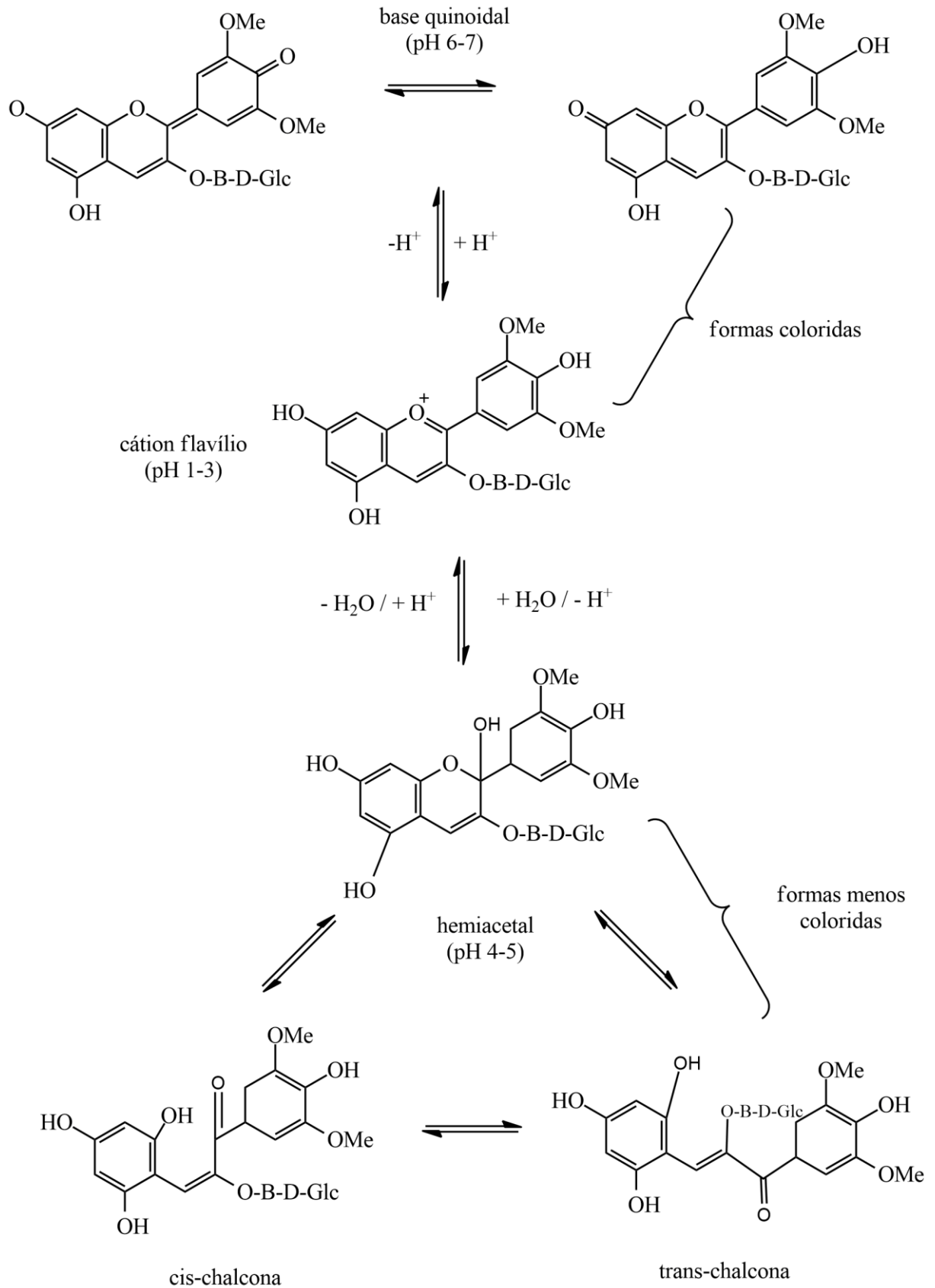
Fonte: Adaptado (Pereira Junior, 2014)

As estruturas das antocianinas são influenciadas por vários fatores, como temperatura, substituição dos grupos hidroxila e metoxila na molécula, mudança de pH e interações com outras substâncias químicas, resultando em diferentes colorações (Ferreira, 2014).

Em ambientes ácidos, as antocianinas exibem geralmente uma tonalidade vermelha brilhante na forma catiônica, sendo mais estáveis. À medida que o pH aumenta, a intensidade da cor diminui, e em solução alcalina, a cor azul surge, embora seja instável, ocorrendo uma rápida desprotonação para formar a base quinoidal (Ferreira, 2014; Junior, 2014).

A Figura 6 ilustra as alterações na estrutura das antocianinas conforme ocorre a mudança de pH da solução.

Figura 6 - Mudanças nas estruturais das antocianinas



Fonte: Adaptado (Ferreira, 2014)

Recentemente, foi identificada a presença de pigmentos de antocianina nas brácteas da bananeira, atribuindo-se sua coloração roxa. Dado que as brácteas de bananeira são facilmente acessíveis e já são utilizadas como alimento, surge uma perspectiva promissora para explorá-las como uma fonte valiosa de antocianinas (Ove *et al.*, 2019).

2.3. Biopolímeros

As biomoléculas poliméricas provenientes de organismos vivos são conhecidas como biopolímeros, sendo amplamente presentes na natureza. Alguns exemplos comuns desses biopolímeros em nosso cotidiano incluem a celulose e o amido. Sua característica marcante é a biodegradabilidade, atoxicidade e ecocompatibilidade. Esses materiais são considerados polímeros biodegradáveis naturais devido à sua origem natural (González-Aviña *et al.*, 2024; Rahman *et al.*, 2024).

A obtenção de biopolímeros pode ocorrer a partir de diversas fontes naturais, como plantas, animais e microrganismos. Proteínas, carboidratos, cera lipídica, polifenóis, ácidos nucleicos e polihidroxicarboxilatos são exemplos de biopolímero. Esses materiais apresentam notável resistência à oxidação (Rahman *et al.*, 2024).

Os biopolímeros são comumente empregados em materiais de embalagem, servindo como envoltórios para diversos produtos alimentícios. A diversidade de propriedades dos biopolímeros, dependendo de sua origem biológica, possibilita sua aplicação em diversas áreas além da embalagem (Rahman *et al.*, 2024; Verma *et al.*, 2024).

Recentemente, observou-se um avanço na substituição de biopolímeros sintéticos por opções naturais, impulsionado pela preocupação com a poluição ambiental e os impactos na saúde humana causados pelo uso excessivo de materiais de embalagem derivados do petróleo. Atualmente, pesquisas extensas e avanços tecnológicos visam desenvolver materiais de filme inovadores que sejam ecologicamente corretos, seguros e degradáveis para embalagens de alimentos (González-Aviña *et al.*, 2024; Rahman *et al.*, 2024; Verma *et al.*, 2024).

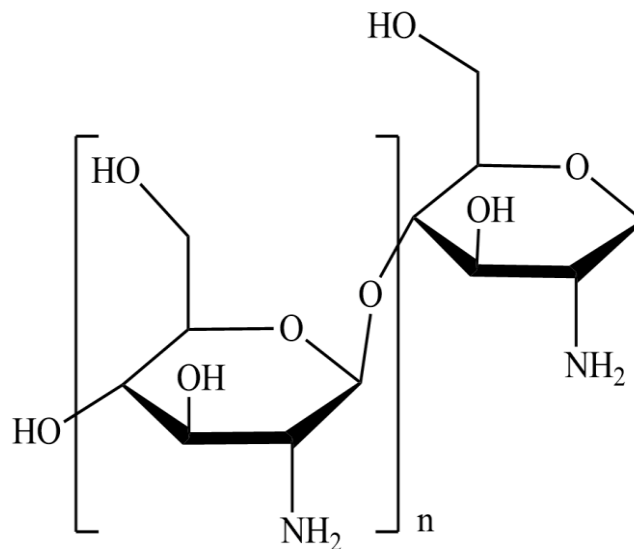
Os biopolímeros derivados de animais compreendem gelatina (obtida pela degradação do colágeno presente na pele, ossos e tecidos conjuntivos), quitosana (encontrada principalmente em conchas de insetos, peixes e vertebrados), e queratina (presente em chifres, garras e cascos), os quais são extensivamente empregados em aplicações de embalagem. Quitosana, em particular, destaca-se por sua abundância na natureza e suas propriedades, tais

como flexibilidade, biocompatibilidade, biodegradabilidade, além de atividade antibacteriana e fungistática. Essa substância tem sido utilizada em colaboração com outros polissacarídeos na produção de filmes biocompostos comestíveis (Rahman *et al.*, 2024).

2.3.1. Quitosana

A quitosana, resultante da desacetilação alcalina da quitina, é um polissacarídeo desacetilado notável, destacando-se por sua estrutura molecular complexa composta por unidades de d-glucosamina e n-acetil-glucosamina (Figura 7). Como único polissacarídeo catiônico da natureza, apresenta notáveis atributos biológicos, como capacidade antimicrobiana, atividade antioxidante, potencial adesivo e biodegradabilidade (Xu; Han; Lin, 2017).

Figura 7 - Estrutura quitosana



Fonte: Autora (2024)

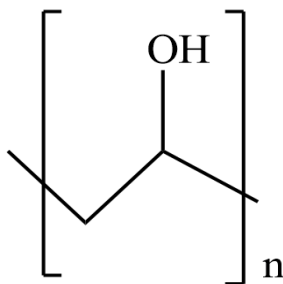
Os hidrogéis à base de quitosana são encontrados em diversas aplicações em engenharia de tecidos, distribuição de medicamentos, ciência de alimentos e muito mais. Sua capacidade de resposta a estímulos externos os torna promissores em várias áreas. Com o crescente foco na química verde e na preservação ambiental, esses hidrogéis surgem como alternativas sustentáveis aos materiais biodegradáveis convencionais, oferecendo simplicidade de fabricação, custo-benefício e baixa toxicidade (Hong *et al.*, 2024; Vieira *et al.*, 2020).

Além disso, é possível enriquecer esses filmes de quitosana com extratos naturais ou partículas de metais inorgânicos para aprimorar suas propriedades, como atividade antimicrobiana ou antioxidante. Essa incorporação de substâncias adicionais expande as possibilidades de aplicação dos filmes de quitosana, conferindo-lhes funcionalidades específicas (Hong *et al.*, 2024; Pereira; Arruda; Stefani, 2015).

2.3.2. Álcool Polivinílico (PVA)

O álcool polivinílico é um polímero sintético notável obtido pela polimerização do acetato de vinila e subsequente hidrólise do poli(acetato de vinila) para formar o Poli(álcool vinílico-co-acetato de vinila) (PVA) sua estrutura está ilustrado na Figura 8. Os monômeros do PVA apresentam grupos hidroxila que desempenham um papel crucial em suas propriedades físicas e químicas, conferindo-lhe notável estabilidade mecânica. O hidrogel derivado do PVA destaca-se não apenas pela sua transparência e consistência marcantes, mas também pela capacidade de formar filmes com resistência mecânica superior em comparação com outros polímeros sintéticos (Mohammadkhani *et al.*, 2024; Pereira; Arruda; Stefani, 2015).

Figura 8 - Estrutura PVA



Fonte: Autora (2024)

Além dessas propriedades mecânicas, o PVA demonstra ser biocompatível, atendendo a critérios vitais, tais como a ausência de mutagenicidade, não citotoxicidade e a completa isenção de atividade carcinogênica, conforme afirmado por Junior (2014) e Zhang *et al.* (2023). Essa combinação de características faz do PVA não apenas uma escolha técnica superior na produção de hidrogéis, mas também uma opção segura e confiável em aplicações que exigem materiais biocompatíveis e de alta performance (Junior, 2014; Zhang *et al.*, 2023).

3. OBJETIVOS

3.1.OBJETIVO GERAL

Investigar se há possibilidade de utilizar o extrato da bráctea de inflorescência de bananeira como indicador alternativo de pH incorporado em biopolímero.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar se há melhores condições de extração de antocianinas da bráctea por meio do planejamento fatorial.
- Avaliar se o extrato da bráctea da flor da bananeira tem potencial como indicador de pH.
- Analisar se há possibilidade de obter os valores de pka do extrato da bananeira.
- Verificar se há concentrações de metais essenciais e fenólicos totais importantes nas partes comestíveis da inflorescência.
- Desenvolver um biopolímero e testar se é possível a incorporação do extrato da bráctea no biopolímero para ser utilizado como material para medida de pH.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Reagentes

Os reagentes foram utilizados foram: acetato de sódio (Biotec); ácido acético (Biotec); ácido clorídrico (Biotec); ácido gálico (Vetec); ácido nítrico (Sigma-Aldeich); água ultrapura (modelo Gehaka OS 10LX); carbonato de cálcio (Biotec); cloreto de potássio (Sigma-Aldeich); etanol 99,5 %, (Biotec); Folin-ciocalteau (Dinâmica); hidróxido de amônia (Fmaia); hidróxido de sódio (Neon); padrão metais ($1000 \mu\text{g mL}^{-1}$, marca BIOTEC, 99%); álcool polivinílico (Dinâmica); quitosana (Êxodo). Todos os reagentes utilizados foram de grau analítico.

4.2. Coleta das amostras e tipo de bananeira

As amostras utilizadas neste estudo foram coletadas em uma região situada no interior de Rio Bonito do Iguaçu, localizada no estado do Paraná. As coordenadas geográficas específicas da coleta são -25.519803, -52.537216. A espécie de banana coletada no local foi identificada como a "Banana Nanica" (*Musa acuminata*, também conhecida como *Musa cavendishii*), principalmente com base em características morfológicas, incluindo a altura da bananeira e o tamanho da banana, os frutos da banana nanica são curvos e variam de 15 a 24 centímetros (Guimarães *et al.*, 2022; Nomura *et al.*, 2020)

A Figura 9 revela a medida e a curvatura do fruto coletado nesta região, cujo tamanho é aproximadamente 15,5 cm, indicando sua classificação como da variedade nanica.

Figura 9 - Medida da banana para confirmação da espécie



Fonte: Autora (2024)

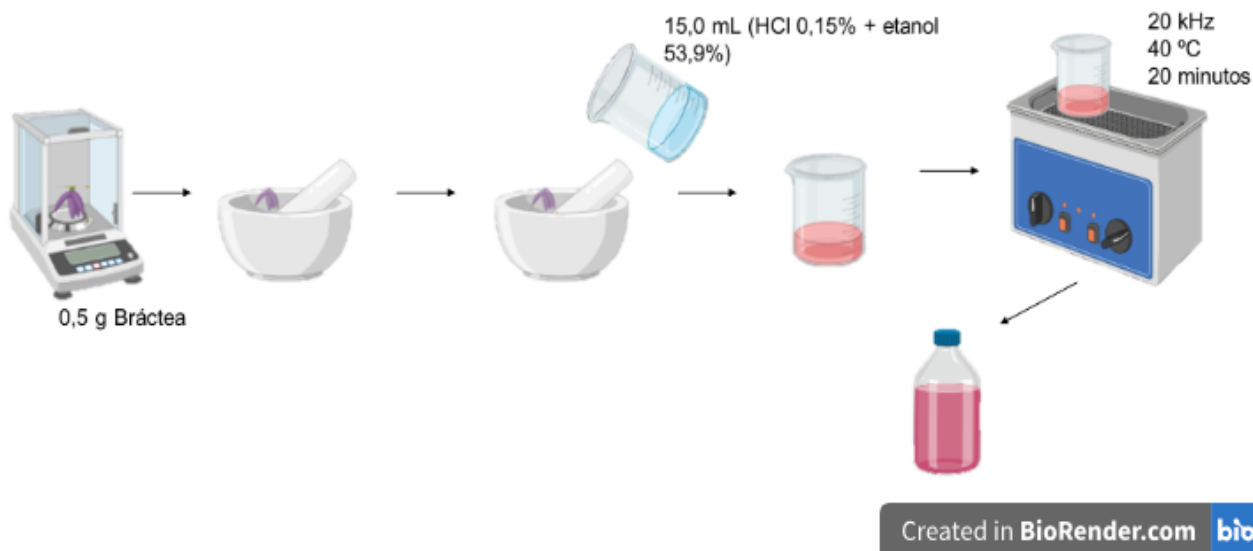
Optou-se por essa região devido à sua acessibilidade, o que facilita o processo de colaboração e coleta das inflorescências de bananeira. A praticidade do acesso à área permite uma abordagem mais eficiente para a obtenção das exigências necessárias para o estudo. Isso contribui para a viabilidade e realização eficaz da pesquisa.

As amostras foram armazenadas sob refrigeração em uma geladeira doméstica até duas semanas.

4.3. Planejamento de experimentos para otimização da extração

Para a extração das antocianinas, utilizou-se o método proposto por Begum e Deka (2017) representado pela Figura 10. Inicialmente, 0,5 g de folha de bráctea mais externa foi pesada e picada grosseiramente. Essa quantidade foi adicionada a um almofariz com 15 mL de etanol acidificado (Etanol 53,9 % + HCl 0,15 %) e posteriormente macerada. A maceração foi realizada até que as brácteas permaneceram completamente amassadas e com uma textura fina. Após a maceração, a mistura foi levada a um banho ultrassônico, da marca Elmasonic modelo P 30 H, em um béquer de 150 mL com frequência de 20 kHz, mantendo-se a temperatura em 40 °C por 20 minutos (Begum; Deka, 2017).

Figura 10 – Esquema representativo da extração das antocianinas.



Fonte: Autora (2023)

Em seguida, a solução foi filtrada utilizando uma peneira de utilização doméstica com menos de 1 milímetro de malha. Para a otimização desses parâmetros foi utilizado o planejamento fatorial 2^3 , no qual foram avaliados os fatores tempo de extração, concentração do ácido clorídrico e temperatura em dois níveis com um ponto central (Tabela 2). A temperatura de extração máxima de tolerância foi de até 40 °C, para garantir a estabilidade das antocianinas, uma vez que estas substâncias podem se degradar a temperaturas superiores. Para esse estudo empregou-se a massa de 0,5 g de bráctea e 15 mL de solvente (Nunes; Jansen; Quináia, 2021).

Tabela 2 - Planejamento fatorial 2³ para a extração de antocianinas

Ensaio	Tempo (Min)	Temperatura (°C)	HCl (%)
1	10	40	0,15
2	10	40	0,05
3	10	30	0,15
4	10	30	0,05
5	5	40	0,15
6	5	40	0,05
7	5	30	0,15
8	5	30	0,05
Ponto Central	7,5	35	0,10

Fonte: Autora (2022)

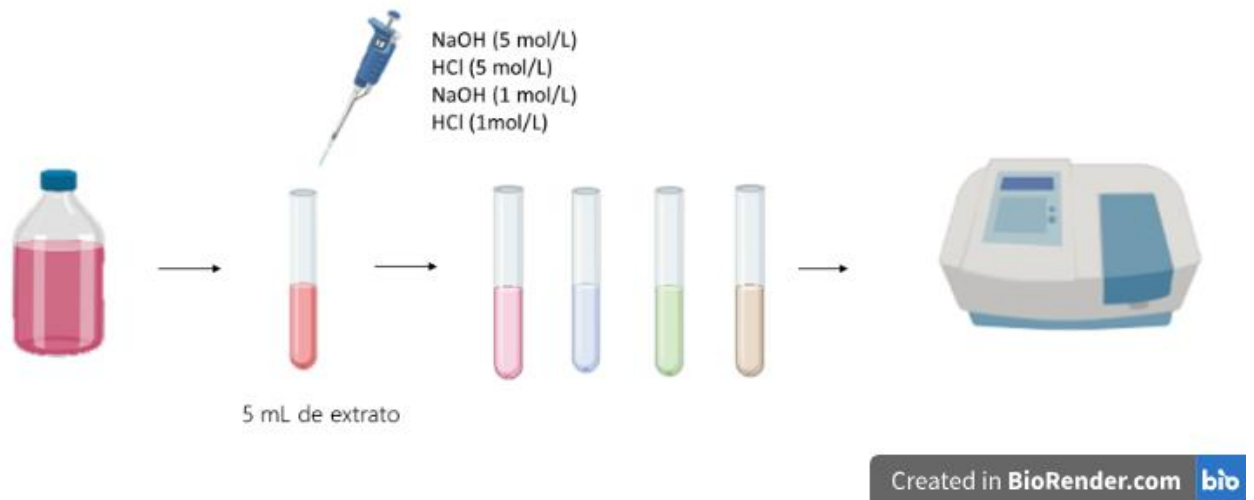
Após realizados os ensaios foi feita a escolha da melhor condição de extração das antocianinas, através das medidas dos extratos nos comprimentos de ondas em 281 nm e 534 nm. A avaliação dos resultados foi realizada através do diagrama de Pareto.

4.4. Determinação dos valores de pKa no extrato indicador

Para a determinação do valor de pKa do indicador natural, foi realizada uma escala de pH com o extrato definido pelo planejamento de experimentos. Para esta escala utilizou-se um pHmetro de bancada da marca Hanna Instruments[®] pH 21. O pH do extrato foi ajustado utilizando soluções de ácido clorídrico (5 mol/L) e hidróxido de sódio (1 mol/L). Essas soluções permitiram realizar os ajustes necessários para obter os valores desejados de pH (Nunes; Jansen; Quináia, 2021).

Elaborada a escala de pH, entre 1 a 12, com intervalos de 0,5, cada solução foi levada à análise no espectrofotômetro de absorção UV-visível Shimadzu[®] Uv-1800 para determinar os comprimentos de onda de absorbância das antocianinas presentes no extrato nas diferentes condições de pH (Figura 11). Optou-se por determinar o pKa por meio de uma representação gráfica da Absorbância em função do pH, combinada com análises das primeira e segunda derivadas (Nunes; Jansen; Quináia, 2021).

Figura 11 - Determinação dos valores de pKa no extrato



Fonte: Autora (2023)

4.5. Quantificação de antocianinas no extrato

Segundo Campos (2006), a concentração dos extratos antociânicos pode ser determinada por meio do método do pH diferencial. Esse método se baseia nas mudanças estruturais das antocianinas em resposta ao pH, o que resulta na formação de soluções coloridas. A forma cátion flavílico, que é vermelha, prevalece em um ambiente com pH 1,0, enquanto a forma carbinol, que é incolor, é predominante em um pH de 4,5. Para aplicar esse método, foram realizadas medições espectrofotométricas das antocianinas em soluções com pH 1,0 e 4,5, usando comprimentos de onda de 517 nm (máximo de absorção das antocianinas) e 700 nm, com a finalidade de corrigir possíveis erros relacionados à dispersão da luz. Isso é relevante, uma vez que extratos podem conter partículas coloidais. Também é importante destacar que a quantificação de extratos contendo diferentes tipos de antocianinas pode ser realizada utilizando a Equação 2. No entanto, os valores de absorvidade molar e massa molar se referem ao cianidina 3-glicosídeo (cy-3-glu). Nesse caso, o resultado representa a quantidade total de antocianinas. A escolha do cianidina 3-glicosídeo como um padrão de antocianinas é comum em vários procedimentos experimentais, devido à sua abundância em frutas (Campos, 2006).

Para a quantificação das antocianinas, adotou-se o método do pH diferencial. Foram preparadas soluções tampão com pH 1,0 e 4,5. A solução de pH 1,0 foi obtida pela dissolução de 0,0466 g de cloreto de potássio em balão volumétrico de 25 mL e a solução de pH 4,5 foi preparada através da dissolução de 0,8203 g de acetato de sódio em balão volumétrico de 25

mL. Para o ajuste do pH das soluções tampão adicionou-se HCl (0,2 M) até o pH desejado (Ferreira, 2014).

A seguir, alíquotas de 0,5 mL do extrato foram adicionados a 3 mL de cada uma das soluções tampão, esse experimento foi realizado em triplicata. Após completa dissolução, a leitura foi realizada no espectrofotômetro de absorção UV-visível (Shimadzu Uv-1800) nos comprimentos de onda de 520 e 700 nm, tendo as soluções tampão como branco (Ferreira, 2014).

Para o cálculo da quantidade de antocianinas, foram empregadas as Equações 1 e 2 (Ferreira, 2014).

$$A = (A_{520} - A_{700})_{\text{pH}1,0} - (A_{520} - A_{700})_{\text{pH}4,5}$$

Equação 1

$$\text{Pigmento antocianina} \left(\text{mg} \frac{\text{C}_3\text{G}}{\text{L}} \right) = \frac{A \times \text{MW} \times \text{DF} \times 10^3}{\epsilon \times l}$$

Equação 2

Em que: A: valor determinado na Equação;

MW: o peso molecular do pigmento cianina-3-glucósido (449,2 g.mol⁻¹);

DF: é o fator de diluição;

ϵ : é a absorção molar de cianidina-3-glucósido (26900 L.mol⁻¹cm⁻¹);

l: é comprimento da cubeta (1 cm).

4.6. Estabilidade do extrato

Foi conduzido um teste para avaliar a estabilidade do extrato indicador, no qual o mesmo foi distribuído em dois frascos âmbar. Um frasco foi submetido à refrigeração em uma geladeira doméstica, enquanto o outro permaneceu em temperatura ambiente. Este procedimento foi adotado com o propósito de simular distintas condições de armazenamento ao longo do tempo.

Os frascos foram mantidos nessas condições por um período de seis meses. Durante este período, foram realizadas leituras de varredura por espectrofotometria UV-Vis aos três meses, além das leituras realizadas após seis meses de armazenamento. Adicionalmente, foi realizada uma leitura de varredura com o extrato refrigerado após doze meses de armazenamento. Essas

leituras tiveram o objetivo de acompanhar a evolução da estabilidade do extrato ao longo do tempo e sob diferentes condições de armazenamento.

Após cada período de armazenamento e realização das leituras de varredura, os resultados foram analisados para detectar possíveis alterações na estabilidade dos extratos. Adicionalmente, uma varredura do extrato recém-preparado foi realizada para fins de comparação.

4.7. Concentrações de metais essenciais

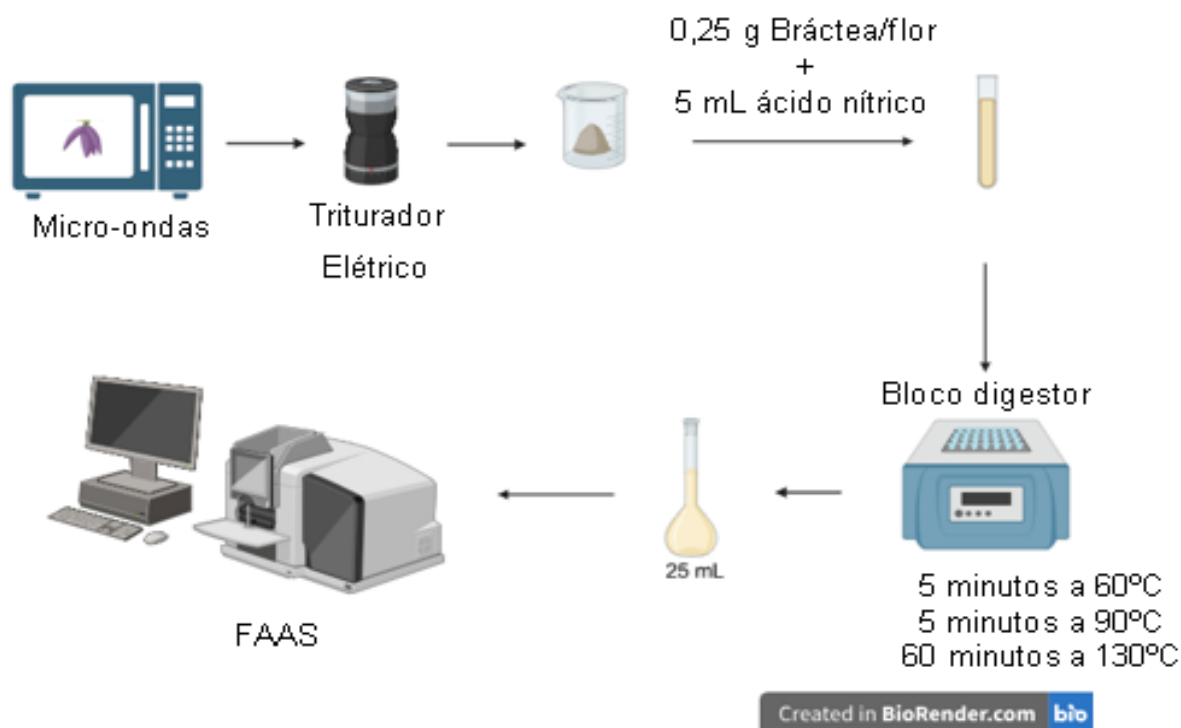
Para determinar os metais essenciais presentes nas diferentes partes da inflorescência da bananeira, bráctea e flor, foi realizado um processo de secagem utilizando um forno de micro-ondas doméstico LG 30 L, com aquecimento de 1 em 1 minuto até a secagem total dos mesmos. O processo total levou aproximadamente 10 minutos. Após a secagem, as amostras foram trituradas em um triturador elétrico (DCG-20BKN Coffee Grinder[®]) durante 3 minutos até obter uma homogeneidade entre as partículas para a análise (Rosa *et al.*, 2020).

Para a digestão das amostras, foram utilizados 0,25 g de bráctea ou flor secas e trituradas, aos quais foram adicionados 5 mL de ácido nítrico concentrado. A digestão ocorreu por via úmida, utilizando um bloco digestor e tubos de ensaio de 20 mL. Nesse processo, as amostras foram submetidas a uma rampa de aquecimento: 5 minutos a 60 °C, 5 minutos a 90 °C e, por fim, 60 minutos a 130 °C (Rosa *et al.*, 2020).

Após a digestão, as amostras foram diluídas com água ultrapura até atingirem um volume final de 25 mL e levadas para a leitura dos metais: potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), ferro (Fe), manganês (Mn), cobre (Cu), sódio (Na) e zinco (Zn), por espectrometria de Absorção Atômica em Chama – FAAS (Varian, modelo Spectra[®] AA-220) (Figura 12). Tanto as amostras da bráctea quanto a da flor foram realizadas em triplicata, garantindo a obtenção de resultados e avaliação entre as amostras (Rosa *et al.*, 2020).

Para a construção das curvas de calibração foram utilizadas soluções padrão estoque dos metais (1000 µg mL⁻¹, marca BIOTEC, 99%). Todas as soluções foram preparadas utilizando água ultrapura (modelo Gehaka OS 10LX). Os frascos e utensílios de vidro foram previamente descontaminados por meio de um banho em ácido nítrico 5% por 24 horas, seguido de enxágue com água deionizada para evitar contaminações das amostras.

Figura 12 - Esquema do preparo das amostras para a determinação dos elementos metálicos



Fonte: Autores (2023)

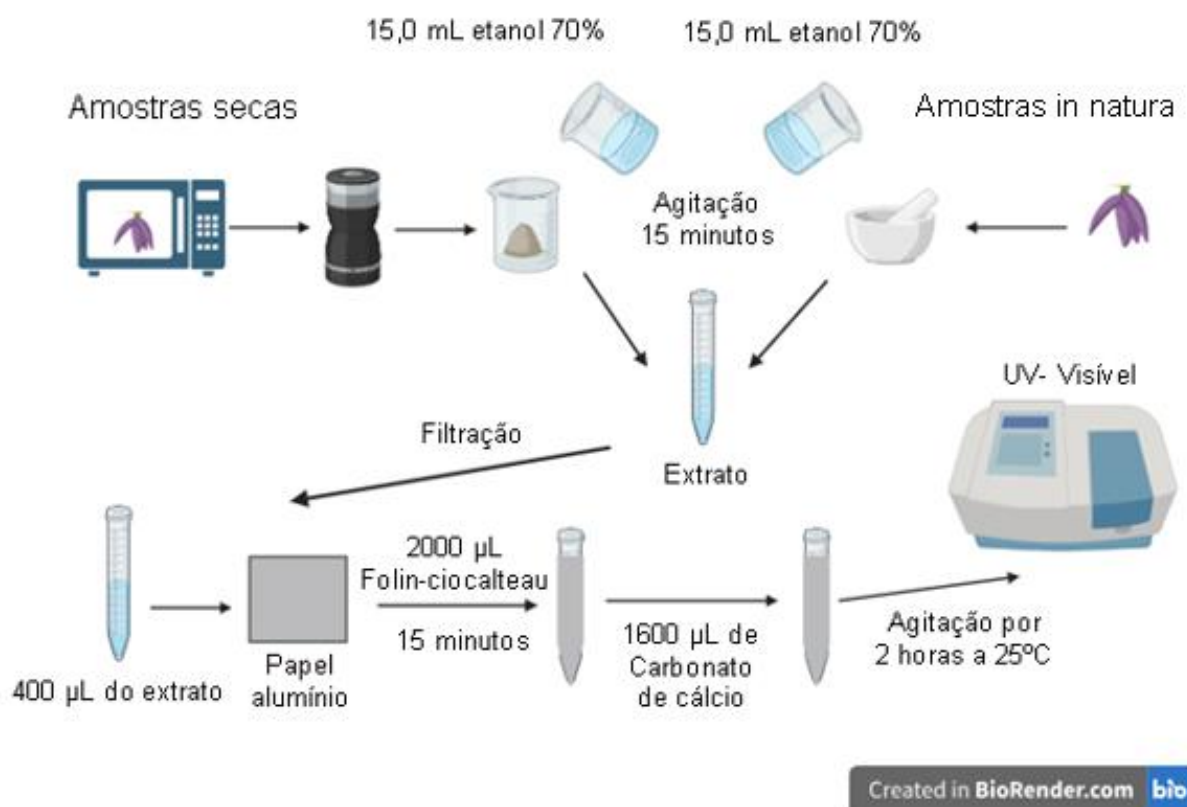
4.8. Fenólicos totais nas flores da bananeira

A determinação dos fenólicos totais da inflorescência foram realizadas em nas brácteas e flores, tanto na forma seca quanto na forma natural (Figura 13). Para as amostras secas, utilizou-se um forno de micro-ondas para o processo de secagem. Já para as amostras “*in natura*”, foi realizado a maceração das mesmas com o solvente extrator. Os extratos foram preparados utilizando 0,5 g da amostra e 15 mL de álcool 70 %. Em seguida, as amostras foram mantidas a uma agitação durante 15 minutos a 25 °C. Após a extração, as amostras foram filtradas utilizando papel filtro. As amostras secas foram diluídas com etanol 70% na proporção de 1:100 devido à alta concentração de fenólicos presentes.

Para a determinação da concentração dos fenólicos, adicionaram-se 400 µL do extrato e 2000 µL do reagente de Folin-ciocalteau (Dinâmica), diluído na proporção de 1:10 com água destilada em um tubo de ensaio envolvido em papel alumínio para proteção da luz. A solução foi deixada em repouso por 15 minutos e, posteriormente, adicionaram-se 1600 µL de carbonato de cálcio (0,7 mol L⁻¹). Após a adição do carbonato, a solução foi agitada em uma incubadora modelo TE-240, Tecnal, no escuro, por 2 horas a 25 °C (Rodrigues *et al.*, 2018).

Também foram preparadas soluções para a curva de calibração, nas quais foram adicionados 2000 μL do reagente de Folin-ciocateau (diluído na proporção de 1:10 com água destilada) a solução foi deixada em repouso por 15 minutos e 1600 μL de carbonato de cálcio ($0,7 \text{ mol L}^{-1}$) em um balão de 10 ml completando o volume com álcool 70%, acompanhado de concentrações diferentes do ácido gálico. Após a adição do carbonato, a solução foi agitada no escuro por 2 horas a 25°C . A solução mãe de ácido gálico foi criada com uma concentração de 1000 ppm, pela adição de 0,01 g de ácido gálico em um balão de 10 mL. Os pontos utilizados para construir a curva de calibração variaram de 1 a 10 ppm, todos em balões de 10 mL. Logo após a preparação dos pontos da curva e das amostras, foram encaminhados para o espectrofotômetro UV-visível para realizar a leitura no comprimento de onda de 760 nm (Rodrigues *et al.*, 2018).

Figura 13 - Ilustração do método proposto para a extração e determinação dos fenólicos totais



Fonte: Autores (2023)

4.9. Preparação e incorporação do extrato no biopolímero

O biopolímero foi preparado a partir de um hidrogel de álcool polivinílico (PVA) dissolvendo-se 1 g de PVA (Dinâmica) em 100 mL de água destilada sob agitação magnética a aproximadamente 70 °C, até completa dissolução. O hidrogel de quitosana foi preparado pela dissolução de 1 g de quitosana (Êxodo) em 100 mL de ácido acético aquoso a 1%, sob agitação magnética por 24 horas à temperatura ambiente. O extrato do indicador foi incorporado ao hidrogel final de PVA/quitosana (3:7 (V/V)). A concentração final do extrato no filme foi fixada em 25% do volume total da mistura de hidrogel. Para a secagem, foram utilizados 130 mL de hidrogel final, os quais foram colocados em placas de Petri de silicone com diâmetro de 140 mm e altura de 12 mm. Em seguida, as placas foram levadas à incubadora por um período de 48 horas, a uma temperatura de 30 °C, a fim de permitir a remoção do solvente. Além disso, foi preparado um hidrogel PVA/quitosana de 3:7 sem a incorporação do extrato, com o intuito de estabelecer uma base de comparação (Pereira; Arruda; Stefani, 2015).

4.10. Caracterização do biopolímero

4.10.1. Espessura

A determinação da espessura dos filmes foi realizada calculando a média aritmética de dez determinação em pontos aleatórios distribuídos em diferentes regiões do filme. Essas ações foram realizadas utilizando um micrômetro, Figura 14 (modelo Vonder® Externo 0-25MM 0,01MM) (Batista, 2004).

Figura 14 – Micrômetro modelo Vonder®



Fonte: Autora (2023)

4.10.2. Transparência

A transmitância de cada filme foi medida por espectrofotômetro UV-visível. O filme foi cortado em formato retangular (35 mm x 10 mm) e colocado em uma cubeta de quartzo conforme a Figura 15. Uma cubeta vazia foi usada como controle. Foi realizada a medida do biopolímero sem indicador e com indicador. A transparência foi calculada seguindo a Equação 3.

$$T = \frac{|600|}{d}$$

Equação 3

Onde T é a transparência, Abs600 é a absorbância do filme em 600 nm, enquanto d é a espessura do filme (mm). Vale ressaltar que maior o valor de T indica menor transparência e alto grau de opacidade (WANG et al., 2020).

Figura 15 - Cubeta de quartzo com biopolímero sem e com indicador respectivamente



Fonte: Autora (2024)

4.10.3. Colorimetria

A cor é um atributo fundamental na determinação de parâmetros de objetos, exigindo técnicas que reduzam variações subjetivas na avaliação visual. A colorimetria, uma ciência que mede a cor, é amplamente utilizada na indústria e laboratórios para expressar a cor de maneira

numérica, seguindo padrões internacionalmente regulados (Konica Minolta, [s. d.]; Wendt, 2006).

A percepção e interpretação subjetiva da cor pelo olho humano levaram ao desenvolvimento de sistemas como o CIE $L^*a^*b^*$, que fornece uma representação numérica das cores e é amplamente utilizado na análise colorimétrica. Esse método permite avaliar luminosidade, matiz e croma entre amostras de cores (Konica Minolta, [s.d.]).

Os parâmetros de cor do biopolímero indicador foram determinados em um colorímetro portátil 3nh modelo NR60CP, com fonte de luz D65 (Figura 16).

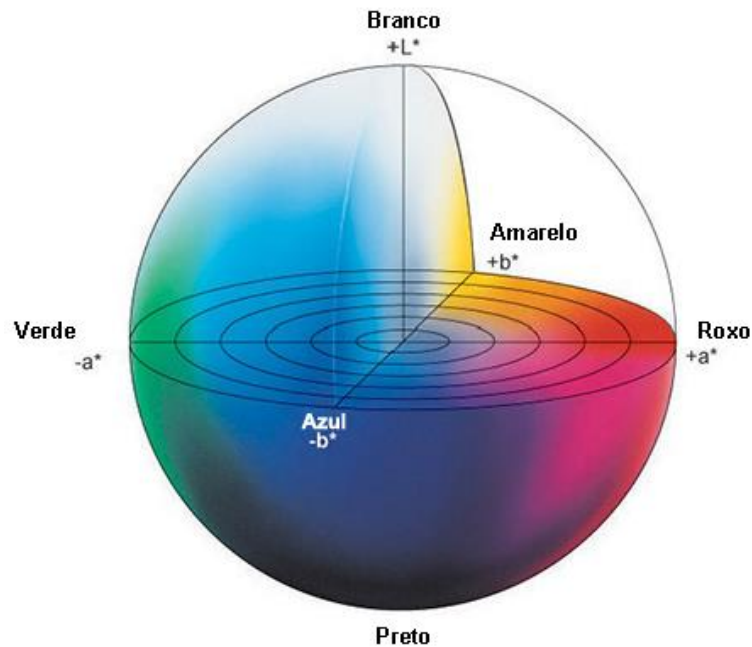
Figura 16 - Colorímetro portátil 3nh modelo NR60CP



Fonte: Autora (2024)

O método permite a avaliação da luminosidade (L), matiz (h) e croma (C) entre amostras de cores puras ou dispersas em tinta ou outro dispersante. Os parâmetros $L^* a^* b^*$ representam a luminosidade ($L=100$ para branco e 0 para preto), “a” positivo para cor vermelha, “a” negativo para verde; “b” positivo para amarelo e “b” negativo para azul (Figura 17) (Schons, 2023).

Figura 17 - Quadrantes de cores do sistema CIE L*a*b*



Fonte: Adaptado (Konica Minolta, [s.d.]).

Os valores dos parâmetros L^* (luminosidade) variam de 0 a 100, onde quanto maior o valor, mais branco e luminoso, e quanto menor, mais preto e menos luminoso. O parâmetro a^* representa a tonalidade entre o vermelho e o verde, onde um valor maior de a^* indica uma tonalidade mais vermelha, enquanto um valor mais baixo indica uma tonalidade mais verde. O parâmetro b^* representa a tonalidade entre o amarelo e o azul, onde um valor maior de b^* indica uma tonalidade mais amarela, e um valor menor indica uma tonalidade mais azul. Os parâmetros foram registrados para avaliar as mudanças de cor devido ao contato do biopolímero com uma solução ácida (HCl 5 mol/L), solução tampão neutra (pH 7,0) e uma solução alcalina (NaOH 5 mol/L), também foram analisados o biopolímero sem indicador e com indicador. Uma placa de porcelana branca (padrão do equipamento) foi empregada como suporte na leitura, sendo que o biopolímero com antocianina foi comparado com o biopolímero sem antocianina. (Pereira; Arruda; Stefani, 2015).

Os testes foram realizados em triplicata e a diferença de cor total foi obtida de acordo com a Equação 4 (Pereira; Arruda; Stefani, 2015).

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$$

Equação 4

Em que: $\Delta L^* = L^* - L_0^*$

$\Delta a^* = a^* - a_0^*$

$\Delta b^* = b^* - b_0^*$

Sendo L_0^* , a_0^* , b_0^* os valores de cor do padrão, ou seja, o biopolímero sem antocianina.

4.10.4. Teste de Sensibilidade do Biopolímero Indicador às Variações de pH na atmosfera

Para avaliar a sensibilidade do biopolímero indicador às variações de pH do meio, conduziu-se um teste utilizando um recipiente plástico fechado contendo um fragmento de 4 cm² do biopolímero indicador e um béquer de 50 mL, contendo 10 mL de ácido clorídrico (HCl), permanecendo nessa condição por 20 minutos (Figura 18). O objetivo era verificar se o biopolímero apresentaria alteração de cor em resposta à mudança de pH. Posteriormente, um procedimento análogo foi realizado utilizando hidróxido de amônia para determinar a capacidade do biopolímero em detectar base.

Figura 18 - Teste de Sensibilidade do biopolímero indicador antes da mudança de cor



Fonte: Autora (2023)

4.10.5. Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)

Foram realizadas medidas de espectroscopia de infravermelho no biopolímero em duas condições distintas, uma com a presença do indicador e outra sem. Além disso, a análise dos materiais constituintes do biopolímero, a quitosana e o PVA, foi conduzida utilizando a mesma técnica. Essas medidas tiveram como objetivo identificar grupos funcionais, avaliar a influência do indicador na estrutura molecular do biopolímero e caracterizar as estruturas moleculares da quitosana e do PVA. Os espectros de FTIR foram obtidos em um equipamento Perkin Elmer modelo Frontier no intervalo de 4000 a 650 cm^{-1} no modo ATR. As medidas foram realizadas no CCMN da Unicentro.

4.10.6. Termogravimetria (TG)

A aplicação da Termogravimetria (TG) no biopolímero teve como objetivo compreender as alterações que ocorrem em sua estrutura molecular quando submetido a variações controladas de temperatura. Essa técnica permite analisar a variação de massa da substância em função do tempo ou temperatura durante processos térmicos, tais como sublimação, evaporação, condensação, degradação, decomposição ou oxidação.

Essa abordagem visa compreender o comportamento do biopolímero em condições de processamento térmico, contribuindo para otimizar sua formulação e aplicação em diversas áreas. A análise também foi conduzida no biopolímero, tanto com quanto sem o extrato, a fim de identificar eventuais diferenças. As análises térmicas dos materiais sintetizados, foram realizadas no equipamento da Perkin Elmer TM, STA 6000. Intervalo de temperatura de 25 °C a 800 °C, em uma taxa de 10 °C/min sob atmosfera de N_2 em vazão de 20 mL/min, as amostras foram colocadas em cadinho de alumina.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Otimização da extração

Os extratos obtidos foram analisados por meio de leituras realizadas em um equipamento de espectrofotômetro UV-Vis, abrangendo uma faixa de comprimentos de onda

entre 240 a 800 nm. Os resultados referentes à absorção dos picos nos comprimentos de onda nas varreduras estão apresentados na Tabela 3. Verificou-se que o experimento de ordem 7 demonstrou um maior valor de absorbância, indicando uma extração mais eficiente, onde os melhores fatores do ensaio foram: solução extratora contendo ácido clorídrico 0,15%, tempo de extração de 5 minutos e temperatura de a 30 °C.

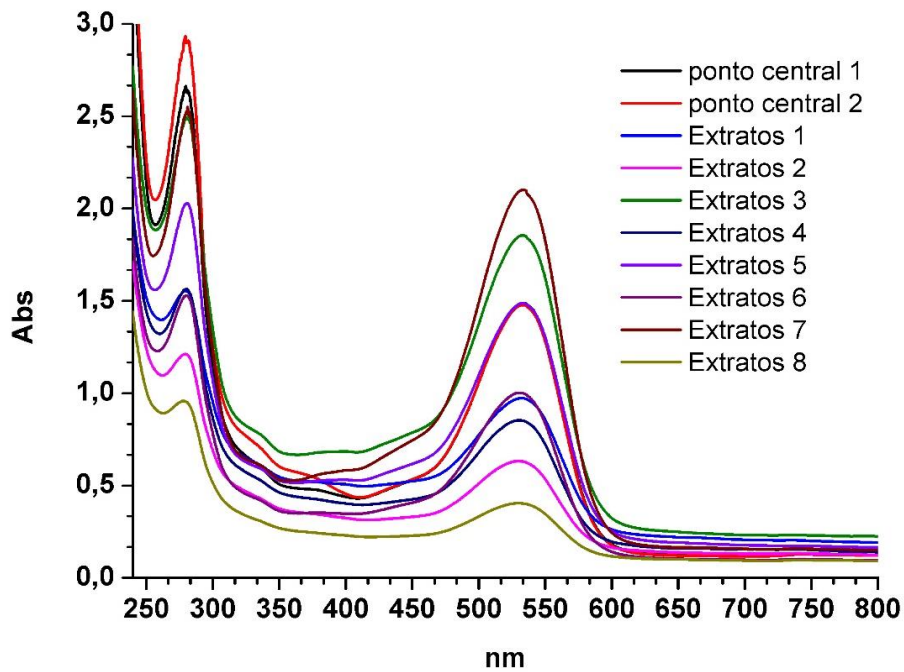
Tabela 3- Resultados do Planejamento fatorial 2³

Ensaio	Tempo (Min)	Temperatura (°C)	HCl (%)	Abs 281 nm	Abs 534 nm
1	10	40	0,15	1553	972
2	10	40	0,05	1212	632
3	10	30	0,15	2484	1854
4	10	30	0,05	1552	853
5	5	40	0,15	2029	1487
6	5	40	0,05	1528	1002
7	5	30	0,15	2546	2100
8	5	30	0,05	956	440
Ponto central	7,5	35	0,10	2089	1473

Fonte: Autora (2022)

Na Figura 19 estão apresentados diversos espectros, cada um deles correspondente a um experimento do planejamento fatorial (Tabela 3), bem como o experimento do ensaio 7 que apresentou a maior absorbância no espectro e que foi escolhida como a condição ótima para os próximos estudos, vale ressaltar que o branco foi subtraído dos espectros durante a análise.. Após as extrações, foi realizada a escolha da melhor condição de extração das antocianinas considerando os comprimentos de onda de maior absorção, 281 nm e 534 nm, determinados experimentalmente. Para definir quais parâmetros tiveram significância, foi utilizado um diagrama de Pareto.

Figura 19 - Varredura de comprimentos de onda para os extratos da inflorescência da bananeira



Fonte: Autora (2022)

Na Figura 20, é possível observar a imagem do extrato obtido no ensaio 7, que foi selecionado para ser utilizado nas etapas subsequentes do projeto.

Figura 20- Coloração da solução indicadora de pH obtida a partir da inflorescência de bananeira nas condições experimentais do ensaio 7

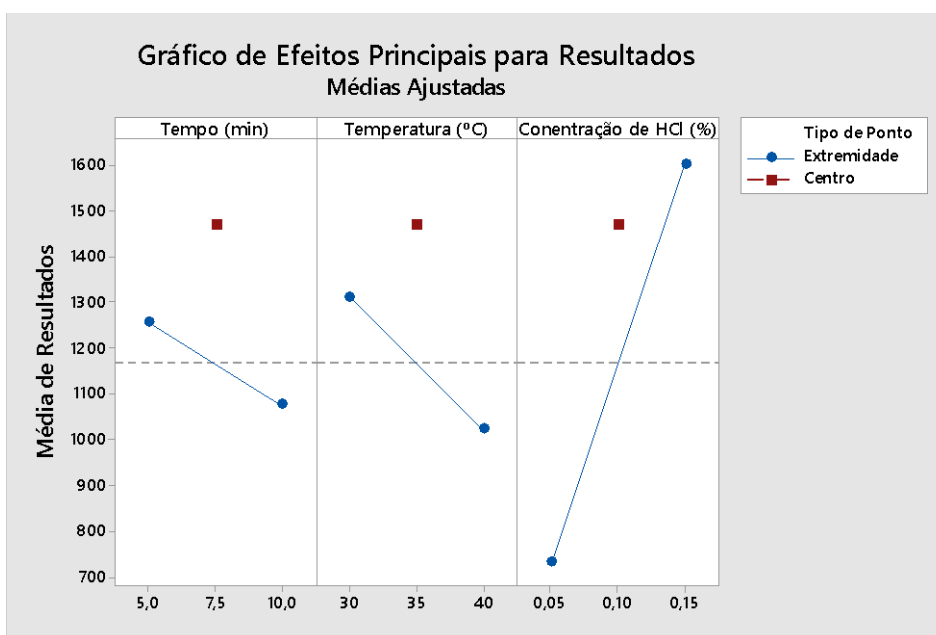


Fonte: Autora (2022)

A Figura 21 apresenta o gráfico dos efeitos observados com os resultados do planejamento fatorial. É possível notar que as maiores inclinações indicam uma influência

maior na extração. Nesse sentido, foi observado que o solvente com maior concentração de ácido clorídrico apresentou melhores resultados na extração das antocianinas. A temperatura de extração também demonstrou ser um fator importante, ficando evidente que temperaturas mais baixas preservam as antocianinas presentes na matriz. Em relação ao tempo de extração, percebe-se que tempos menores são suficientes para extrair as antocianinas. O tempo de extração mais curto é preferível devido à sua rapidez, enquanto a temperatura central é mais vantajosa devido à sua proximidade com as temperaturas ambiente.

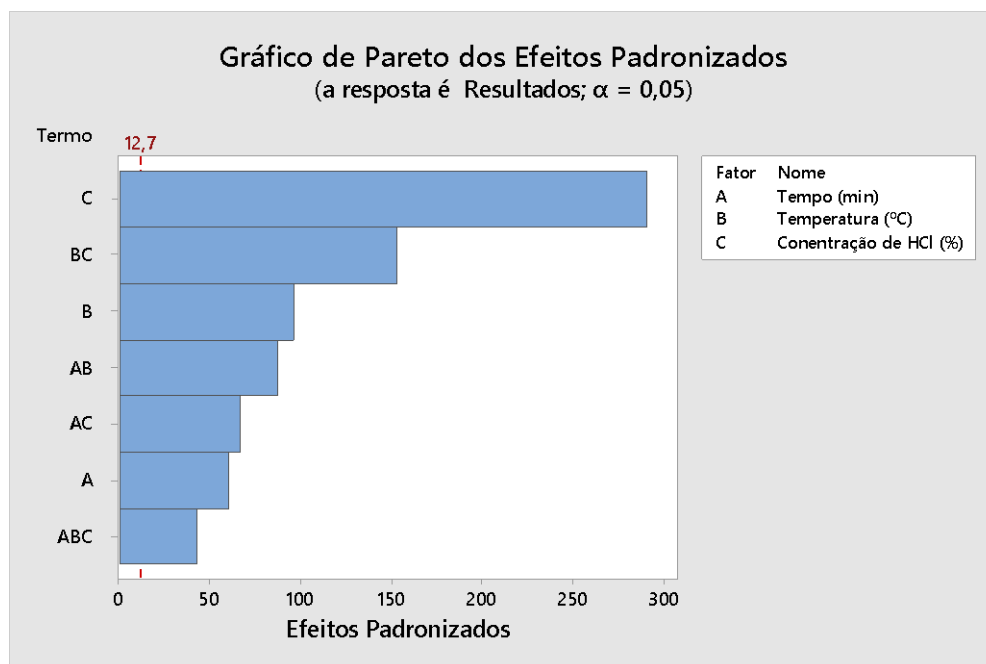
Figura 21 - Gráfico dos efeitos principais do planejamento fatorial



Fonte: Autora (2022)

Na Figura 22, pode-se observar o gráfico de Pareto, o qual também indica que o parâmetro maior importância para a extração foi a concentração do HCl. Esses resultados sugerem que a concentração de HCl no solvente desempenha um papel crucial na eficiência da extração das substâncias desejadas. A temperatura e o tempo de extração também se mostraram significativos, assim como as interações entre as variáveis.

Figura 22 - Diagrama de Pareto obtido através do planejamento fatorial



Fonte: Autora (2022)

5.2. Determinação dos valores de pKa

Para determinar os valores de pKa, foi realizado um experimento inicial consistindo em uma escala de pH em intervalos de 0,5 unidades, como mostrado na Figura 23. Em seguida, foi realizada uma varredura do espectro de absorção na faixa de 200 a 800 nm para cada solução empregando um espectrofotômetro UV-Vis.

Figura 23 - Escala de pH usando o extrato de brácteas

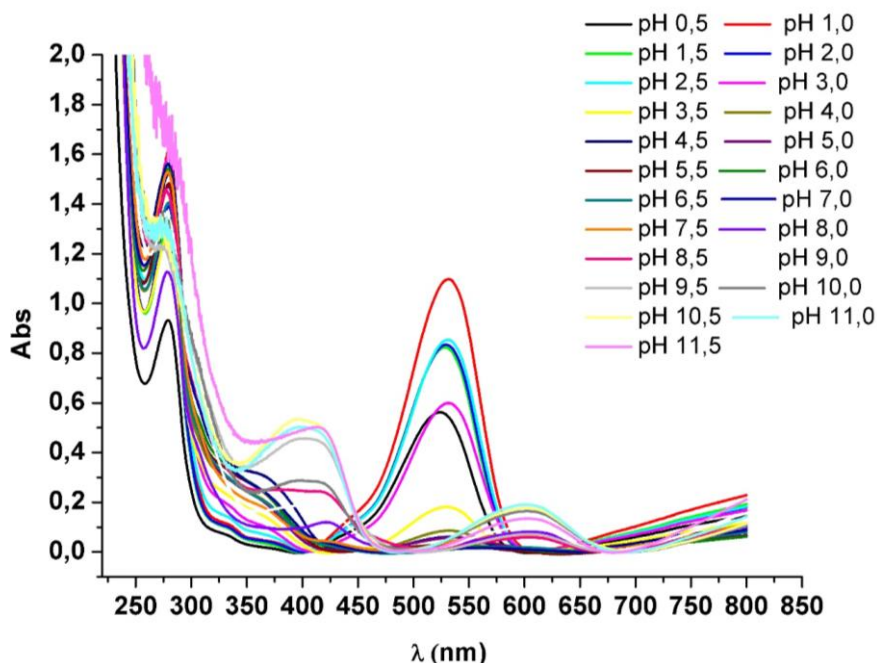


Fonte: Autora (2023)

A Figura 24 exibe os espectros resultantes das soluções, evidenciando uma diminuição na intensidade da absorbância ($\lambda = 534 \text{ nm}$) à medida que o pH aumenta. Simultaneamente, observa-se um aumento na intensidade da Abs em $\lambda = 600 \text{ nm}$. Além disso, destaca-se o surgimento de um terceiro pico em $\lambda = 420 \text{ nm}$ para valores de pH mais elevados. Esses padrões estão associados às mudanças estruturais das antocianinas em resposta ao pH da solução. As variações na intensidade de absorbância em diferentes comprimentos de onda refletem as interações das antocianinas com íons OH^- e H^+ nas ligações, evidenciando sua sensibilidade às mudanças nas condições iônicas do meio.

Esses resultados indicam que a estrutura molecular das antocianinas é sensível às variações de acidez na solução. O deslocamento na absorção para 600 nm sugere mudanças na conformação ou nas propriedades químicas das antocianinas em resposta ao pH. O terceiro pico em 420 nm , observado em valores de pH mais altos, aponta para mudanças estruturais em condições alcalinas.

Figura 24- Espectro de varredura da escala de pH dos extratos

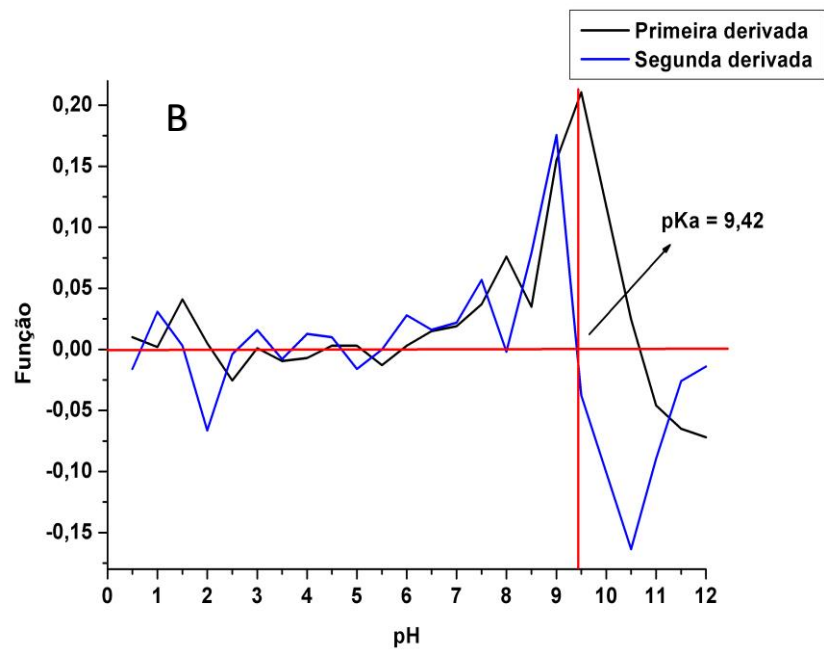
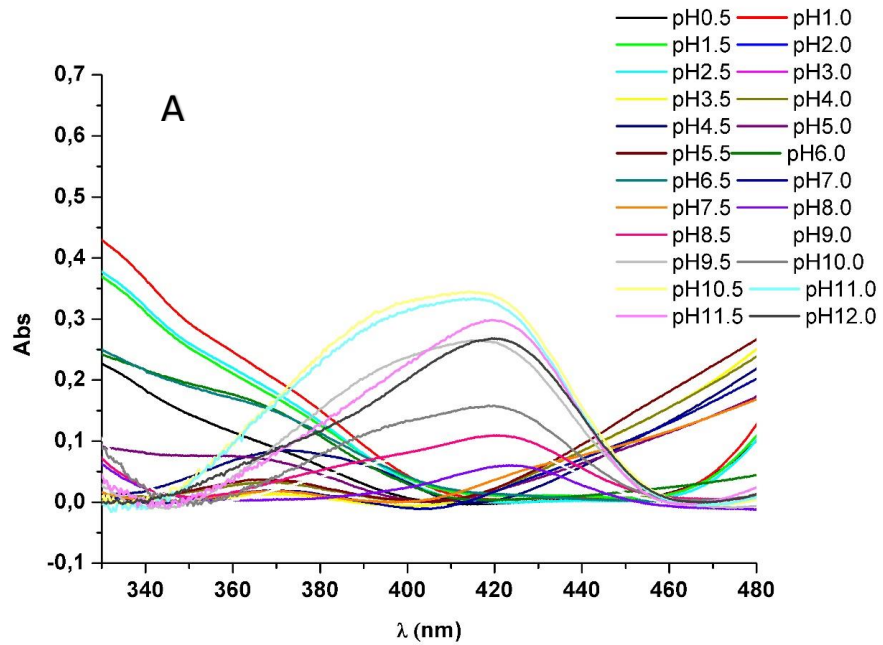


Fonte: Autora (2023)

As Figura 25, Figura 26 e Figura 27 referem-se aos máximos picos de absorbância obtidos com o extrato e as derivadas para cálculos de pK_a . Realizadas as medidas dos extratos

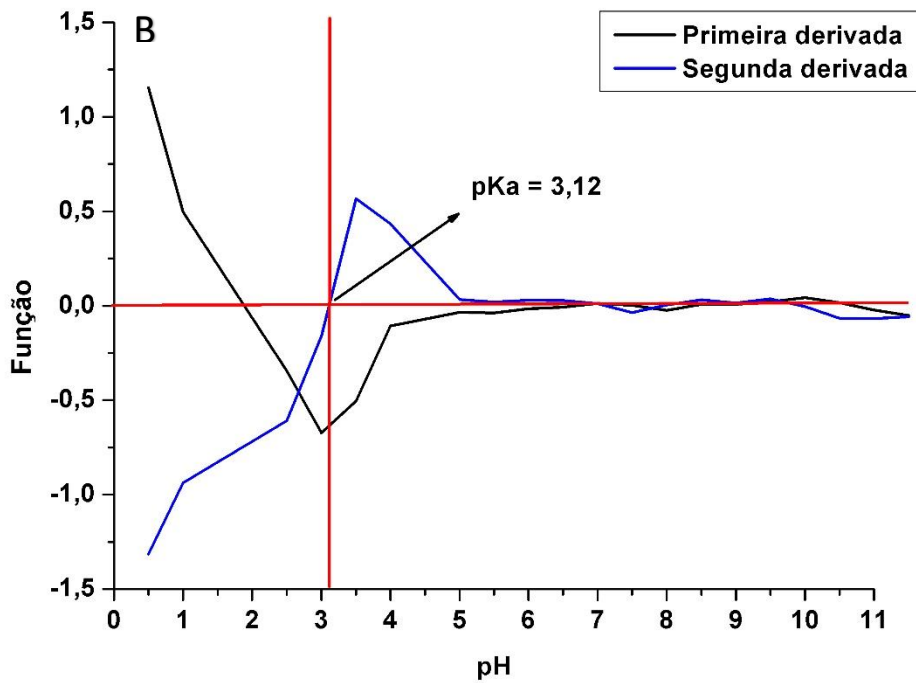
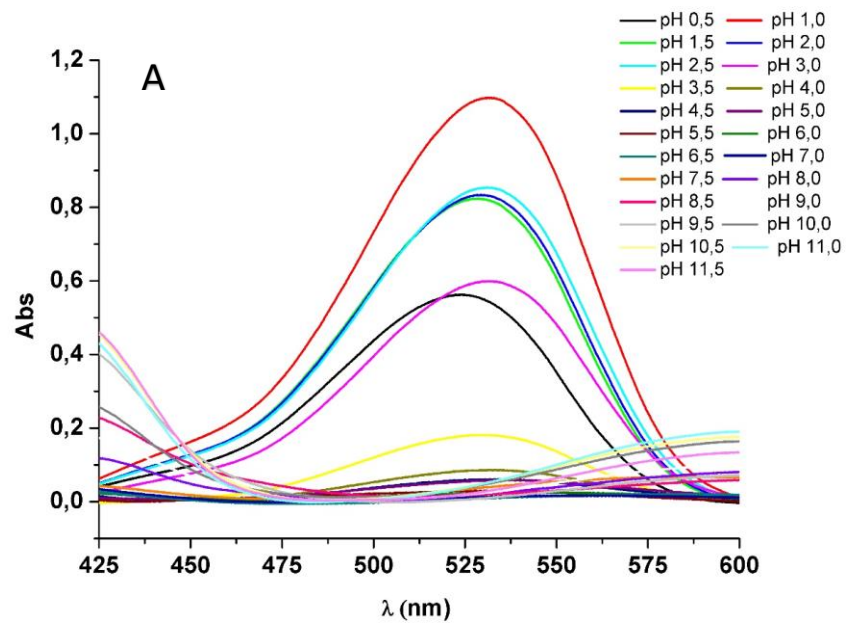
em diferentes valores de pH, a intensidade da absorbância foi amostrada e utilizada para plotar um gráfico da Abs em função do pH em cada um dos comprimentos de onda de maior absorbância. Por meio destes resultados pode-se determinar os valores de pKa das substâncias presentes. A dedução dos valores de pKa baseou-se na aplicação da equação de Henderson-Hasselbalch. Em concordância com a lei de Beer, a concentração da substância absorvente guarda uma relação direta com sua absorbância. Dessa forma, ao acompanhar a absorbância em um comprimento de onda específico (λ) conforme o pH varia, é viável estabelecer o valor de pKa do indicador. Foram utilizados cálculos da primeira e segunda derivadas, no qual o ponto de maior ou menor intensidade para a primeira derivada indica o pKa e o ponto onde cruza o eixo x da segunda derivada aponta também o pKa (Nunes; Jansen; Quináia, 2021).

Figura 25 - (A) Espectro do máximo de absorvância no comprimento de onda em 420 nm (B) Derivadas e pKa do respectivo espectro



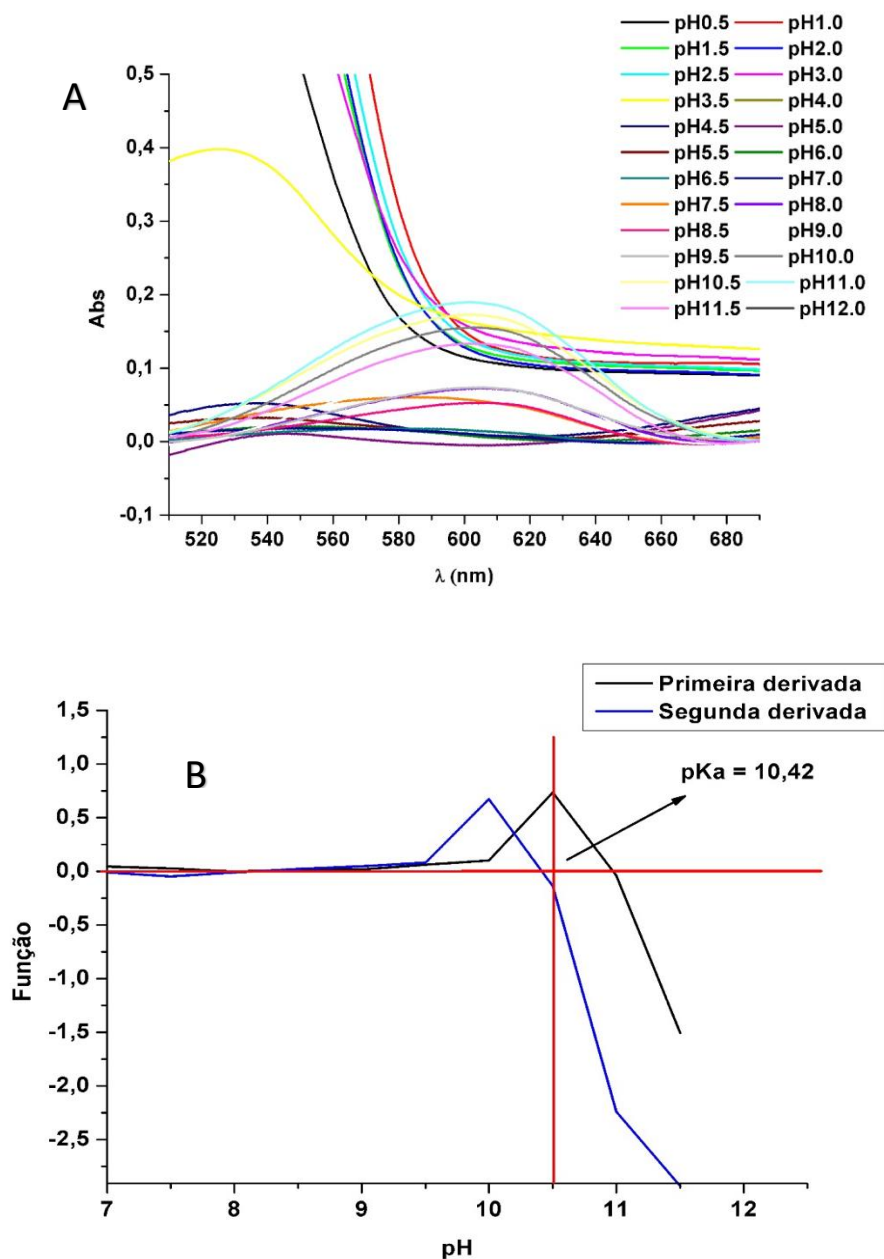
Fonte: Autora (2023)

Figura 26 - (A) Espectro do máximo de absorvância no comprimento de onda em 534nm (B) Derivadas e pKa do respectivo espectro



Fonte: Autora (2023)

Figura 27 - A) Espectro do máximo de absorvância no comprimento de onda em 600nm (B) Derivadas e pKa do respectivo espectro



Fonte: Autora (2023)

A análise dos espectros apresentados nas Figura 25, Figura 26 e Figura 27 revelam a presença de três valores de pKa diferentes. Observa-se um pKa aproximado de 9,42 no pico de absorção em $\lambda = 420$ nm, um pKa em torno de 3,12 no pico de absorção em $\lambda = 524$ nm e por fim, destaca-se um valor de pKa aproximado de 10,42 no pico de absorção em $\lambda = 600$ nm. Esses resultados reforçam a complexidade do comportamento das antocianinas em solução, demonstrando que estruturas diferentes estão presentes em diferentes valores de pH.

5.3. Quantificação de antocianinas no extrato

A quantificação das antocianinas por meio do método do pH diferencial na bráctea foi conduzida em três replicatas, e os resultados são expressos em miligramas de cianidina 3-glicosídeo por litro (mg C₃G/L). Essa análise foi realizada no extrato indicador. Os valores obtidos, são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Resultado da concentração de antocianinas por pH diferencial

Concentração de antocianinas (mg C ₃ G/L)	
1° Réplica	1,017
2° Réplica	1,029
3° Réplica	1,064
Concentração final	1,036 ± 0,024

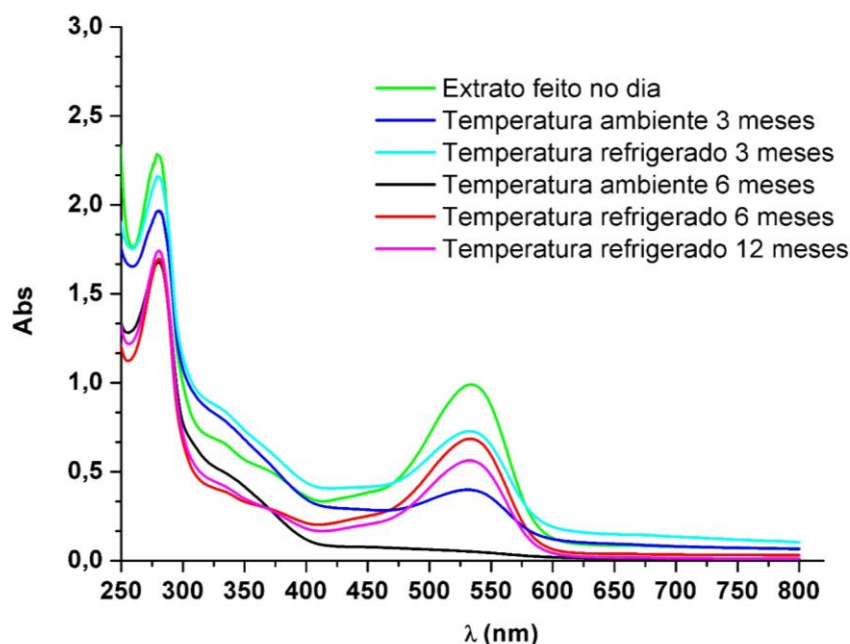
Fonte: Autora (2023)

O resultado obtido para o extrato indicador de bráctea foi de $1,036 \pm 0,024$ mg de cianidina 3-glicosídeo por litro (mg C₃G/L). Este valor é menor do que o encontrado no morango por Ferreira 2014, que foi de 2,6633 mg C₃G/L. Essa diferença sugere uma concentração relativamente mais baixa de cianidina 3-glicosídeo no extrato de bráctea em comparação com o morango (Ferreira, 2014).

5.4. Estabilidade do extrato

Na Figura 28, é possível visualizar os espectros de varredura dos diferentes extratos analisados para avaliar sua estabilidade. Esses extratos foram examinados após três, seis e doze meses, tanto em temperatura ambiente quanto refrigerados, também foi analisado um extrato recém preparado.

Figura 28 - Espectro de estabilidade dos extratos de brácteas com o tempo.



Fonte: Autora (2023)

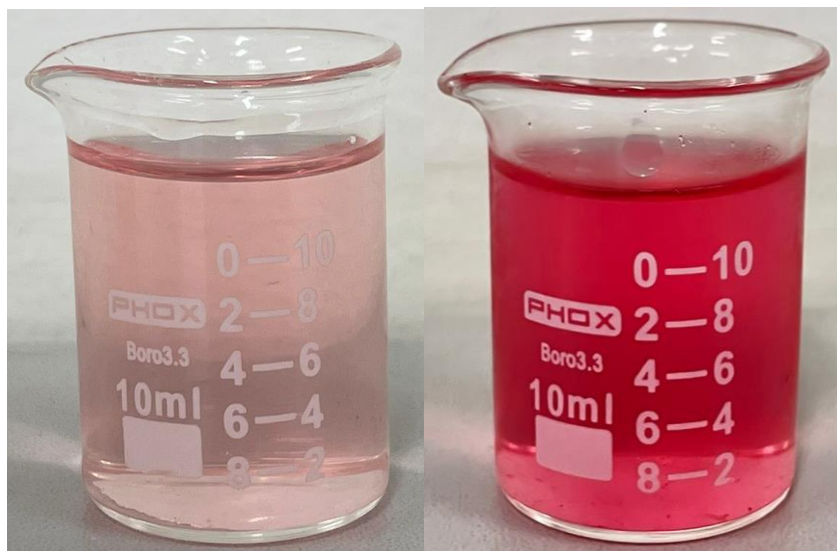
Observa-se que o extrato mantido à temperatura ambiente por três meses apresentou uma estabilidade menor em comparação com o extrato refrigerado por doze meses. Esse resultado pode ser atribuído à degradação das antocianinas. As antocianinas são mais estáveis em temperaturas mais baixas, o que explica a maior estabilidade do extrato refrigerado. Portanto, as condições de temperatura de armazenamento influenciam a preservação das características do extrato ao longo do tempo, com temperaturas mais baixas favorecendo a preservação das características do extrato ao longo do tempo.

Visualmente, baseado na coloração, o extrato refrigerado parece ter perdido um pouco de estabilidade ao longo dos doze meses. No entanto, o extrato refrigerado ainda manteve suas propriedades indicadoras e sua coloração avermelhada, mantendo sua eficácia como indicador. Por outro lado, o extrato mantido à temperatura ambiente por três meses apresentou uma diminuição dessas propriedades, e após seis meses, perdeu completamente sua coloração e capacidade de indicador.

A Figura 29 apresenta uma comparação entre os extratos mantidos com e sem refrigeração durante 6 meses para fins de análise visual. O extrato refrigerado ainda conservou suas propriedades indicadoras, mantendo sua coloração avermelhada e, conseqüentemente, sua eficácia como indicador. Por outro lado, o extrato mantido à temperatura ambiente mostrou

uma diminuição dessas propriedades, perdendo sua coloração e capacidade de funcionar como indicador.

Figura 29 - Estabilidade do extrato em temperatura ambiente e do extrato refrigerado (6 meses), respectivamente



Fonte: Autora (2023)

5.5. Concentrações de metais essenciais

As concentrações de metais (mg/g) em cada parte da inflorescência são apresentadas na Tabela 5. Além disso, as Figura 30 (A) e (B) ilustram as concentrações majoritárias e minoritárias dos elementos nas amostras. Essas representações fornecem uma visão geral clara dos elementos principais nas flores e brácteas da bananeira.

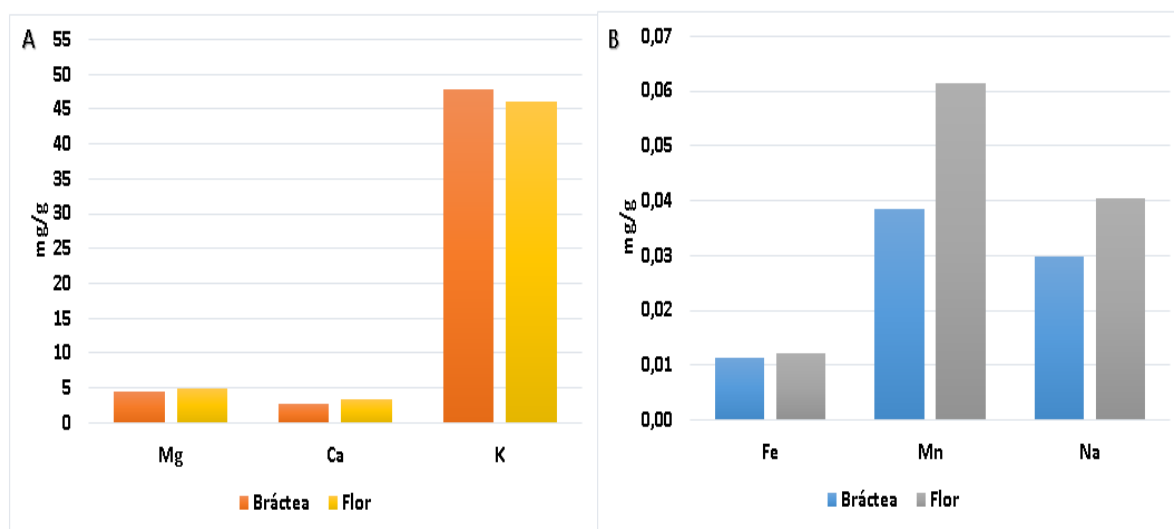
Tabela 5 - Concentração de metais essenciais na inflorescência da bananeira

Metais	Bráctea (mg/g)	Flor (mg/g)
Fe	0,01 ± 0,01	0,01 ± 0,01
Mg	4,48 ± 0,04	4,99 ± 0,02
Cu	ND	ND
Mn	0,04 ± 0,02	0,06 ± 0,02
Ca	2,75 ± 0,03	3,47 ± 0,04
Zn	ND	ND
K	47,74 ± 0,49	46,10 ± 0,13
Na	0,04 ± 0,02	0,049 ± 0,02

*ND = Não detectado

Fonte: Autora (2023)

Figura 30 - Concentrações dos metais essenciais na inflorescência (A) majoritários, (B) minoritários.



Fonte: Autora (2023)

Os teores dos elementos Mg, Ca, K e Fe revelaram-se bastante próximos nas diversas partes da amostra, brácteas e flores, indicando uma distribuição uniforme desses nutrientes nas estruturas da inflorescência. Em contrapartida, os elementos Mn e Na apresentaram uma pequena diferença. Segundo o trabalho de Jansen et al. (2023), concentrações de 0,1 mg Fe/g e 0,1 mg Mn/g foram determinadas em brácteas, enquanto em flores, os valores foram de 0,1 mg Fe/g e 0,1 mg Mn/g. Quanto aos elementos K, Ca e Mg, foram identificadas diferenças mais expressivas, com concentrações de 79,4 mg/g, 20,5 mg/g e 6,1 mg/g em brácteas, e 77,1 mg/g,

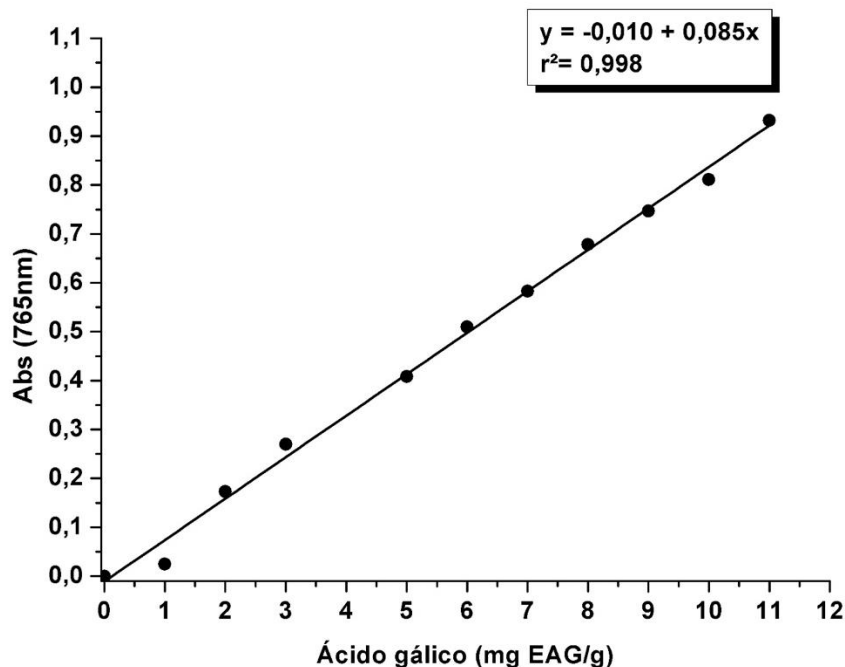
21,6 mg/g e 7,4 mg/g em flores, respectivamente. Essas disparidades foram atribuídas às distintas épocas e locais de coleta das amostras.

Ao comparar os resultados com o estudo de Fingolo et al. (2012), que analisou metais em flores de bananeira coletadas em Magé, Rio de Janeiro, observa-se que as concentrações médias de K e Ca neste estudo foram de 50,1 mg/g e 3,8 mg/g, respectivamente. No presente estudo, as concentrações médias de potássio foram de 47,7 mg/g em brácteas e 46,1 mg/g em flores, enquanto para o cálcio foram registradas concentrações de 2,75 mg/g em brácteas e 3,47 mg/g em flores.

5.6. Concentrações de fenólicos totais

Na caracterização dos extratos, os teores de compostos fenólicos totais foram expressos em miligramas de equivalente de ácido gálico por grama (mg EAG/g) das partes de inflorescência da bananeira e do tipo de secagem da amostra Figura 31. Quanto mais elevado o valor de equivalente de ácido gálico, maior o teor de compostos fenólicos na amostra.

Figura 31 - Curva de calibração de ácido gálico para a determinação dos fenólicos totais



Fonte: Autora (2023)

Tabela 6 - Concentração de fenólicos totais na inflorescência de bananeira

Amostra	Concentração (mg EAG/g)
Bráctea <i>in natura</i>	3,23 ± 0,53
Bráctea seca	122,64 ± 61,64
Flor <i>in natura</i>	4,51 ± 2,16
Flor seca	154,82 ± 23,43

Fonte: Autora (2023)

Os resultados obtidos na caracterização dos extratos revelam uma notável semelhança entre as flores e as brácteas. Entretanto, é possível observar uma grande diferença entre as amostras secas e as *in natura*, destacando-se uma maior concentração de compostos fenólicos nas amostras submetidas à secagem.

Essa diferença nos teores de fenólicos entre as amostras secas e *in natura* pode ser atribuída ao processo de secagem, que removeu praticamente toda a água das amostras que representa parte significativa da massa dessa amostra.

Ao comparar os valores de fenólicos obtidos por Rodrigues et al., 2018 (bráctea seca: 104,69 ± 2,75 e flor seca: 182,29 ± 1,73) com os valores obtidos neste estudo (bráctea seca: 122,64 ± 61,64 e flor seca: 154,82 ± 23,43), observa-se que os valores de fenólicos para as brácteas são mais altos no estudo atual, enquanto os valores para as flores são comparativamente menores. Essa diferença nos valores pode ser atribuída a diversos fatores, como o local específico de coleta das amostras, variações climáticas, condições de crescimento das plantas, análise instrumentais e operacionais e preparo de amostra.

5.7. Incorporação do extrato da bráctea no biopolímero

O hidrogel produzido, composto por PVA e quitosana (Figura 32), adicionado do extrato de antocianina proveniente da bráctea da inflorescência da bananeira, manifesta-se como um biopolímero funcional. Podendo ser utilizado para a detecção de possíveis vazamentos de reagentes e em embalagens de alimentos.

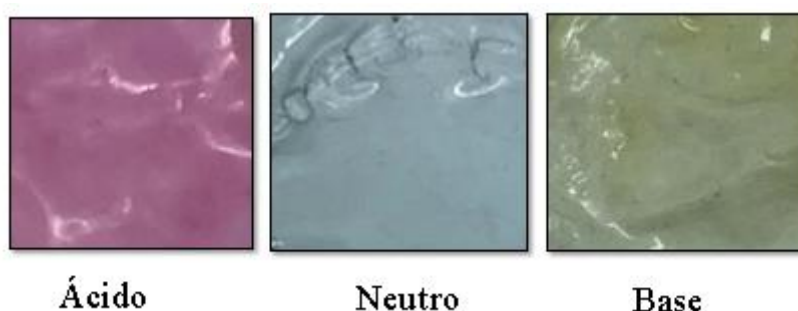
Figura 32 - Biopolímero de PVA/quitosana impregnado com o indicador de pH extraído da bráctea da inflorescência da bananeira.



Fonte: Autora (2023)

A observação detalhada do hidrogel de PVA/quitosana, enriquecido com o extrato de antocianina, revela uma eficaz capacidade de detectar distintos valores de pH, promovendo variações visuais de cor conforme o ambiente em que é aplicado. A Figura 33 ilustra a notável alteração na coloração do indicador em resposta às condições de pH do meio. Em experimentos conduzidos em meio ácido, utilizando um fragmento do biopolímero imerso em uma solução de HCl (5 mol/L) dentro de uma placa de Petri, a coloração resultante foi rosa. Por outro lado, em testes realizados em meio alcalino, com um fragmento do biopolímero submerso em uma solução de NaOH (5 mol/L), a coloração observada foi marrom-amarelada.

Figura 33 - Variação de cor do biopolímero em função do pH do meio.



Fonte: Autora (2023)

Esses resultados evidenciam não apenas a capacidade do biopolímero de responder de maneira distinta às variações de pH, mas também sua eficácia como indicador confiável de

acidez ou alcalinidade. Este biopolímero destaca-se como uma abordagem promissora para o desenvolvimento de indicadores de pH sustentáveis e funcionais. Essa inovação promove avanços não apenas na área de polímeros, mas também na aplicação de compostos bioativos em dispositivos sensoriais, consolidando a interseção entre química e biotecnologia.

5.8. Caracterização do biopolímero

5.8.1. Espessura

Foi realizada a média de 10 medidas ao longo do material para determinar sua espessura. Além disso, a espessura média do biopolímero foi avaliada sem a presença do indicador. Os resultados indicam que o biopolímero com o indicador apresentou uma espessura de $0,08 \pm 0,01$ cm, enquanto o biopolímero sem indicador uma espessura de $0,11 \pm 0,02$ cm.

5.8.2. Transparência

Ao comparar os resultados, observou-se uma diferença na transparência entre o biopolímero com indicador ($1,385 \pm 0,003$) e o biopolímero sem indicador ($4,30 \pm 0,04$). Essa diferença pode ser atribuída à interação entre o indicador e o biopolímero. O indicador provavelmente contribui para a absorção de mais luz, resultando em uma menor transparência. Vale ressaltar que maior o valor de T indica menor transparência e um alto grau de opacidade.

Apesar dessa diferença, os resultados ainda são considerados satisfatórios e em conformidade com os obtidos por Wang (2020), que relatou transmitâncias de 1,14 para biopolímero de quitosana (Wang *et al.*, 2020).

5.8.3. Colorimetria

Na Tabela 7, estão expressos os parâmetros de cor para o biopolímero com o extrato indicador e para o biopolímero sem indicador, permitindo a comparação entre ambos.

Tabela 7 - Parâmetros de cor L*, a*, b* biopolímero com e sem indicador

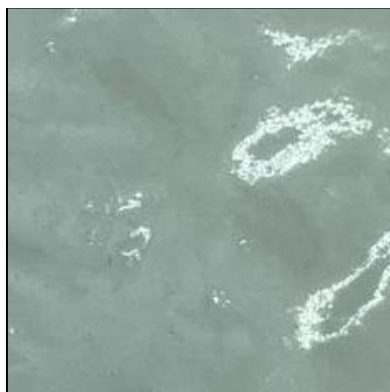
Amostra	Parâmetros de Cor		
	L*	a*	b*
Biopolímero Sem Indicador	51,83	-1,31	5,85
Biopolímero Com Indicador	42,50	-2,54	2,13

L* representa a luminosidade; a* positivo representa cor vermelha, negativo representa cor verde; b* positivo representa cor amarela, negativo representa cor azul com valor negativo indica tonalidades de verde

Fonte: Autora (2024)

É possível observar que o biopolímero sem indicador (Figura 34) exibe os seguintes parâmetros de cor: L* com o valor de 51,83, a* com o valor de -1,31 e b* com o valor de 5,85. No contexto dos parâmetros de cor, L* representa a luminosidade, variando de 0 para preto até 100 para branco, enquanto a* com valor negativo indica tonalidades de verde, e b* com valor positivo denota tonalidades de amarelo.

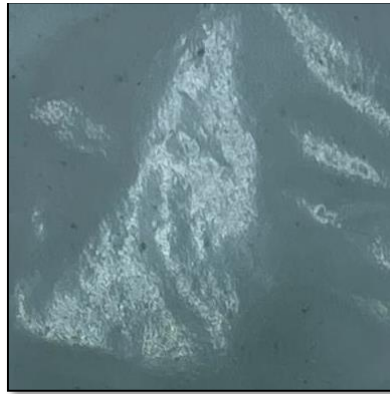
Figura 34 - Biopolímero sem indicador



Fonte: Autora (2023)

Os valores para o biopolímero com indicador (Figura 35) são: L* = 42,50, a* = -2,54 e b* = 2,13. Estes parâmetros indicam uma coloração com uma tonalidade ligeiramente mais voltada para o azul-verde. Os parâmetros de cor do biopolímero com indicador estão próximos aos do biopolímero sem indicador, embora exibam diferenças sutis, isso se dá devido as coordenadas CIEL*a*b*, onde "a" positivo representa cor vermelha, "a" negativo representa cor verde, "b" positivo representa cor amarela, e "b" negativo representa cor azul, observa-se que o biopolímero com indicador possui uma proximidade maior com o quadrante verde em relação ao parâmetro "a", enquanto o parâmetro "b" está mais próximo do quadrante azul. Isso sugere uma sutil tonalidade verde-azulada na coloração do biopolímero com indicador.

Figura 35 - Biopolímero com indicador



Fonte: Autora (2023)

A Tabela 8 apresenta os valores médios e os desvios padrão dos parâmetros de cor L^* , a^* , b^* , bem como a variação total de cor (ΔE) em escala CIELab com a média das triplicatas das amostras de biopolímero indicador em diferentes condições de pH: meio ácido, neutro e meio básico.

Tabela 8 - Parâmetros de cor L^* , a^* , b^* e Variação total de cor (ΔE)

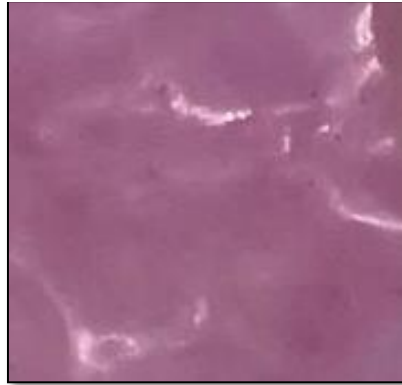
Amostra	Parâmetros de Cor			
	L^*	a^*	b^*	ΔE
Biopolímero meio ácido	32,80±2,33	17,88±2,94	3,52±1,90	27,13
Biopolímero neutro	42,35±2,11	-1,90±0,47	3,73±0,30	9,73
Biopolímero meio básico	44,91±1,51	-0,82±0,13	10,27±0,50	8,23

L^* representa a luminosidade; a^* positivo representa cor vermelha, negativo representa cor verde; b^* positivo representa cor amarela, negativo representa cor azul com valor negativo indica tonalidades de verde

Fonte: Autora (2024)

Para o biopolímero em meio ácido pode-se notar um valor baixo para L^* (32,80), o que sugere uma menor luminosidade. Os valores de a^* (17,88) e b^* (3,52) são positivos, indicando uma tonalidade mais avermelhada e amarelada, respectivamente (Figura 36).

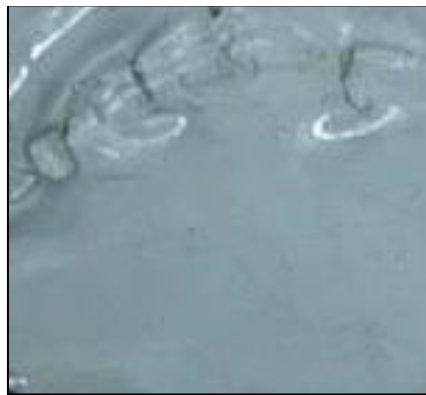
Figura 36 - Biopolímero em meio ácido



Fonte: Autora (2023)

Já para o biopolímero neutro, o valor de L^* (42,35) aumenta em comparação com o meio ácido, indicando uma maior luminosidade na amostra. O valor de a^* (-1,90) é negativo, sugerindo uma tonalidade mais voltada para o verde, enquanto o valor de b^* (3,73) permanece positivo, indicando uma tonalidade amarelada (Figura 37).

Figura 37 - Biopolímero em meio neutro



Fonte: Autora (2023)

E para o biopolímero em meio básico, o valor de L^* (44,91) continua a aumentar em relação ao neutro, indicando uma maior luminosidade na amostra. Os valores de a^* (-0,82) e b^* (10,27) também são ligeiramente diferentes, com a^* próximo de zero e b^* significativamente mais alto, sugerindo uma tonalidade menos avermelhada e mais amarelada (Figura 38)

Figura 38 - Biopolímero meio básico



Fonte: Autora (2023)

Esses resultados demonstram como as variações no pH afetam os parâmetros de cor do biopolímero, confirmando assim a funcionalidade do biopolímero indicador. Essa capacidade de resposta às mudanças de pH sugere que o biopolímero indicador pode ser usado como uma ferramenta eficaz em aplicações que exigem detecção ou monitoramento de variações de acidez ou alcalinidade em diferentes ambientes ou processos.

Ao comparar os resultados obtidos neste estudo com os resultados apresentados no estudo de Junior (2014), pode-se identificar padrões semelhantes de variação de cor em relação às mudanças de pH. No estudo de Junior (2014), os valores de variação total de cor (ΔE) em escala CIE $L^*a^*b^*$ foram relatados como 27,01 em meio ácido, 5,78 em meio neutro e 13,85 em meio básico. Em contraste, os valores obtidos neste estudo foram 27,13 em meio ácido, 9,73 em meio neutro e 8,23 em meio básico.

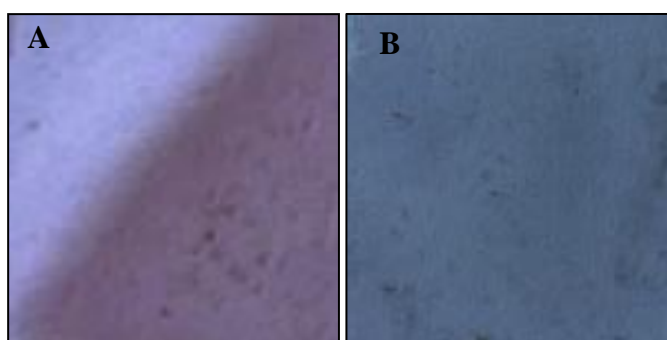
Ambos os conjuntos de resultados demonstram uma tendência consistente de diminuição da variação de cor à medida que o pH aumenta. Isso sugere que tanto o biopolímero indicador desenvolvido neste estudo quanto o biofilme à base de quitosana e antocianinas estudado por Junior (2014) respondem de forma sensível às variações de pH. Essas diferenças podem ser atribuídas a diferentes formulações dos materiais indicadores, condições experimentais ou métodos de análise utilizados em cada estudo.

No entanto, apesar dessas diferenças, a consistência na resposta dos materiais indicadores às mudanças de pH sugere que ambos os sistemas possuem potencial para identificação de pH.

5.8.4. Teste de sensibilidade do biopolímero indicador às variações de pH na atmosfera

Observou-se que o biopolímero indicador apresentou uma mudança de coloração em resposta à variação de pH causada pelo ácido clorídrico (HCl). A Figura 39 ilustra essa mudança de cor do biopolímero em um ambiente contendo a presença de vapores do ácido clorídrico após 20 minutos.

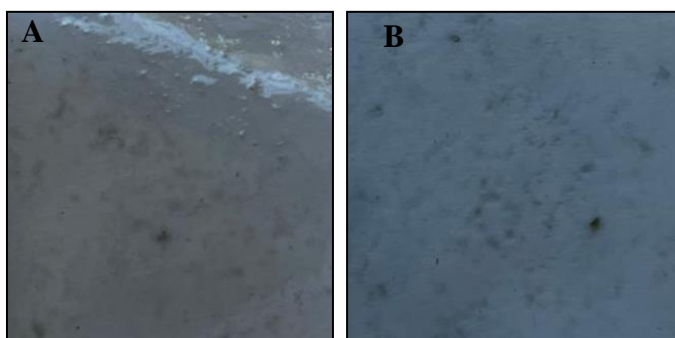
Figura 39 - A) biopolímero em presença do ácido clorídrico B) biopolímero sem presença do ácido clorídrico



Fonte: Autora (2023)

O teste utilizando vapor de hidróxido de amônia, também apresentou uma mudança de cor do biopolímero indicador, evidenciando sua sensibilidade à variação de pH causada pela base. A Figura 40 exemplifica essa mudança de cor do biopolímero em resposta à presença da amônia após os 20 minutos.

Figura 40 – A) biopolímero em presença do hidróxido de amônia B) biopolímero sem presença do hidróxido de amônia



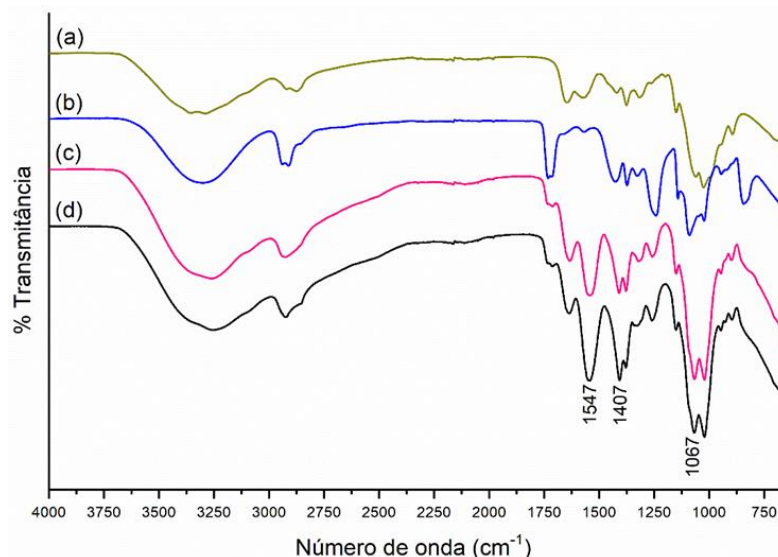
Fonte: Autora (2023)

Esses resultados reforçam a capacidade do biopolímero indicador em detectar as mudanças de pH na atmosfera causadas por ácidos ou bases, abrindo portas para a utilização do material como um sensor para detecção de pH.

5.8.5. Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)

Na Figura 41 são apresentados os espectros de FTIR do biopolímero com e sem a adição do indicador, acompanhado dos espectros dos seus precursores, a pectina e o PVA.

Figura 41 - Espectros FTIR das amostras: (a) Quitosana, (b) PVA, (c) Biopolímero com indicador e (d) Biopolímero sem indicador



Fonte: Autora (2024)

No espectro da quitosana pura, Figura 41(a), estão presentes as bandas características deste composto, sendo as bandas em 894, 1026 e 1154 cm^{-1} atribuídas à estrutura sacarídea (Bonilla *et al.*, 2014; Costa-Júnior; Pereira; Mansur, 2009; Wang; Turhan; Gunasekaran, 2004) e a banda de 1066 cm^{-1} atribuída ao estiramento da ligação C-O na quitosana (Wang; Turhan; Gunasekaran, 2004). Já a banda em 1568 cm^{-1} é referente ao modo de deformação angular da amida primária e a banda em 1650 cm^{-1} pode ser atribuída ao estiramento da ligação C=O da amida secundária (Wang, 2004). As bandas em 1378 e 1422 cm^{-1} ao modo de deformação do CH_3 . A banda larga entre 3400 e 3000 cm^{-1} é devida à sobreposição das bandas dos estiramentos

das ligações N-H e O-H. Adicionalmente, as bandas na região de 2980 a 2800 cm^{-1} são atribuídas ao estiramento da ligação C-H (Wang; Turhan; Gunasekaran, 2004).

Para o PVA puro, Figura 41(b), a banda larga em 3280 cm^{-1} pode ser atribuída ao modo de estiramento da ligação O-H. As bandas em 2940 e 2910 cm^{-1} são características dos estiramentos da ligação C-H em grupos metileno (Costa-Júnior; Pereira; Mansur, 2009), enquanto a banda em 1425 cm^{-1} é atribuída à deformação do grupo hidroxila (Bonilla *et al.*, 2014). A presença da banda em 1730 cm^{-1} está relacionada ao estiramento da ligação C=O dos grupos acetil presentes no PVA. As bandas identificadas no espectro da Figura 41(b), em 1144 e 1093 cm^{-1} correspondem ao estiramento da ligação C-O (Bonilla *et al.*, 2014; Costa-Júnior; Pereira; Mansur, 2009).

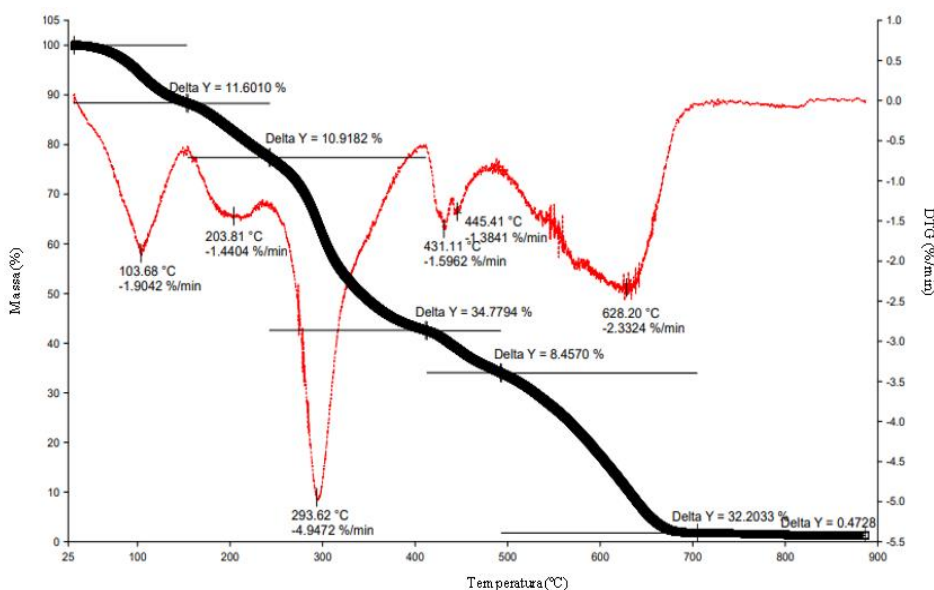
Os espectros do biopolímero formado pela combinação da quitosana e PVA, são diferentes dos espectros dos seus precursores. Entretanto não há diferenças significativas entre o espectro do biopolímero (Figura 41(d)) e do biopolímero indicador (Figura 41(c)), deste modo, a presença da antocianina não pode ser detectada por FTIR. Estes espectros, além das bandas características dos seus precursores, apresentam três novas bandas em 1547, 1407 e 1067 cm^{-1} . A banda em 1547 cm^{-1} pode estar relacionada ao modo de deformação simétrica da espécie $-\text{NH}_3^+$, que é resultante da ionização do grupo amina primária em meio ácido. Já a banda em 1407 cm^{-1} pode ser atribuída à presença do ácido carboxílico nos polímeros (Costa-Júnior; Pereira; Mansur, 2009; Wang; Turhan; Gunasekaran, 2004). A terceira banda, em 1067 cm^{-1} está associada com a presença de grupos hidroxila (-OH) com associação polimérica a uma amina ($-\text{NH}_2$) (Bonilla *et al.*, 2014). Além disso, outras diferenças podem ser observadas no espectro dos biopolímeros. A diminuição na intensidade da banda em aproximadamente 1730 cm^{-1} , presente originalmente no espectro do PVA, que está associada ao estiramento da ligação C=O em grupos acetil, e a ausência da banda em 840 cm^{-1} , indicando a restrição desse modo vibracional. Esta banda pode ser atribuída ao modo vibracional de dobramento no plano (balanço) da ligação C-H da cadeia polimérica do PVA (Hema *et al.*, 2009). Assim como as demais diferenças observadas nos espectros FTIR dos biopolímero, o desaparecimento da banda em 840 cm^{-1} pode estar relacionado com a interação entre as cadeias dos dois polímeros, que segundo Bonilla e colaboradores, ocorre por ligações de hidrogênio (Bonilla *et al.*, 2014).

5.8.6. Termogravimetria (TG)

A análise termogravimétrica (TG-DTG) do biopolímero sem o indicador (Figura 42) revelou seis etapas distintas de decomposição térmica. Na primeira etapa, entre

aproximadamente 25° C e 150° C, observou-se uma perda de massa de 11,60%, atribuída à remoção da água superficial adsorvida. A segunda etapa, ocorrendo entre aproximadamente 150° C e 240° C, apresentou uma perda de massa de 10,92%, resultante da eliminação da água intrínseca presente na constituição do filme. A terceira etapa, compreendida entre 240° C e 400° C, registrou uma perda de massa de 34,77%. Este processo de degradação térmica foi associado à desidroxilação da cadeia polimérica do PVA e da quitosana, envolvendo desidratação, despolimerização e decomposição da estrutura polissacarídea. Durante essa etapa, ocorre a formação de água, dióxido de carbono, metano e amônia (Pereira; Arruda; Stefani, 2015). A quarta etapa de decomposição, ocorrendo entre aproximadamente 400° C e 500° C, resultou em uma perda de massa de 8,45%. Na quinta etapa, que se estendeu até 700° C, observou-se uma perda de massa de 32,20%. Finalmente, a sexta etapa de decomposição térmica, ocorrendo até 900° C, registrou uma perda de massa de 0,47%. Essa análise foi essencial para compreender as propriedades térmicas do material.

Figura 42 - TG-DTG biopolímero sem indicador

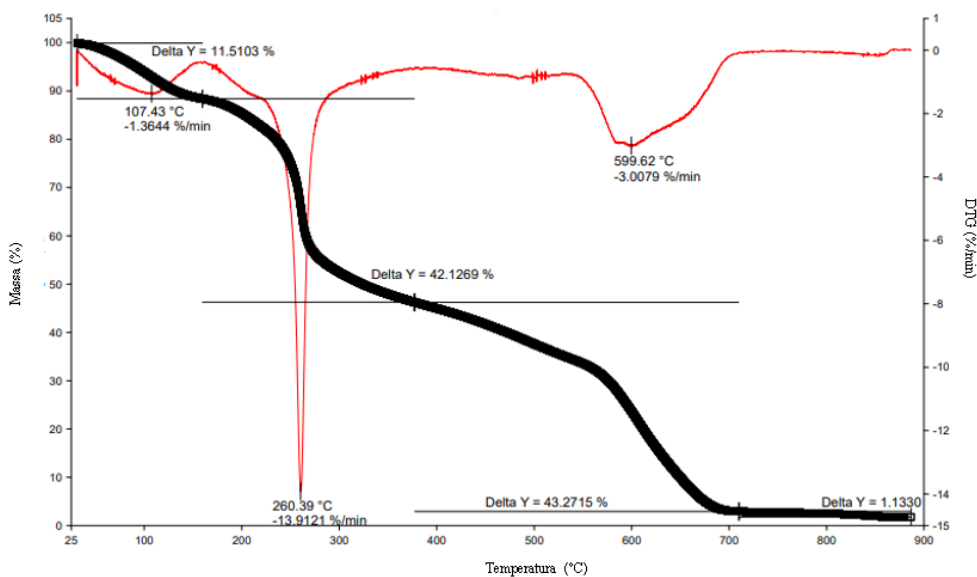


Fonte: Autora (2024)

A análise termogravimétrica (TG-DTG) do biopolímero com indicador (Figura 43) apresentou resultados semelhantes ao biopolímero sem indicador, entretanto, foram observadas apenas quatro etapas de decomposição térmica. Na primeira etapa, ocorrida entre aproximadamente 25° C e 150° C, houve uma perda de massa de 11,50%, valor próximo ao do biopolímero sem indicador. Esta perda é atribuída à remoção da água superficial. Na segunda

etapa, entre aproximadamente 150° C e 390° C, registrou-se uma perda de massa de 42,12%. Nesta etapa, ocorreu a remoção da água intrínseca presente na constituição do filme, com a degradação térmica associada à desidroxilação da cadeia polimérica do PVA e da quitosana. Este processo envolve desidratação, despolimerização e decomposição dos biopolímero, resultando na formação de água, dióxido de carbono, metano e amônia. No caso do biopolímero sem indicador, esse processo ocorreu em duas etapas, enquanto no biopolímero com indicador, ocorreu em uma única etapa. A terceira etapa, entre 390° C e 700° C, resultou em uma perda de massa de 43,27%. Esta etapa ocorreu de forma contínua, ao contrário do biopolímero sem indicador, que apresentou essa etapa em duas partes. Por fim, a última etapa, ocorrida entre aproximadamente 710° C e 900° C, registrou uma perda de massa de 1,013%, valor próximo ao observado no biopolímero sem indicador.

Figura 43 - TG-DTG biopolímero com indicador



Fonte: Autora (2024)

6. CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo destacam a viabilidade da otimização da extração de antocianinas da inflorescência da bananeira. Por meio da análise dos espectros obtidos por espectrofotometria UV-Vis, identificou-se que o experimento de ordem 7 obteve a maior

absorbância, indicando uma extração mais eficiente. Os melhores fatores de extração, utilizando um planejamento fatorial, foram a solução extratora contendo ácido clorídrico a 0,15%, um tempo de extração de 5 minutos e temperatura de 30 °C.

As análises do extrato revelaram a presença de três valores de pKa diferentes, destacando a sensibilidade das antocianinas às variações de pH, com os valores de pKa sendo eles 9,42; 3,12 e 10,42. A quantificação das antocianinas resultou em uma concentração de $1,04 \pm 0,02$ mg de cianidina 3-glicosídeo por litro. Além disso, os metais essenciais foram quantificados nas partes da inflorescência da bananeira. Nas brácteas, foram encontrados os seguintes metais: Fe, Mg, Cu, Mn, Ca, Zn, K e Na, enquanto nas flores foram identificados: Fe, Mg, Cu, Mn, Ca, Zn, K e Na. Destacando o K que apresentou uma concentração maior em relação aos outros metais, o que era de se esperar devido à sua relevância como nutriente essencial e à sua alta concentração na banana. Além disso, a análise dos compostos fenólicos revelou uma notável diferença entre as amostras secas e as *in natura*, com uma maior concentração de compostos fenólicos nas amostras submetidas à secagem

A incorporação do extrato no biopolímero demonstrou sua eficácia como indicador de pH, com o material apresentando respostas consistentes em meio ácido, neutro e básico, tanto quando submerso nas soluções quanto para detecção do pH na atmosfera. Esta versatilidade do biopolímero valida sua utilização em diversas aplicações práticas, como indicadores de pH sustentáveis e funcionais.

Os resultados da termogravimetria indicaram que o biopolímero indicador e o biopolímero não indicador, exibem uma boa resistência térmica, com pouca diferença observada na curva de TG. Isso sugere que a adição do indicador não alterou significativamente as propriedades térmicas do biopolímero em comparação com o biopolímero não indicador.

Os espectros de infravermelho da quitosana e do PVA puros exibiram bandas características associadas às suas respectivas estruturas químicas. No entanto, ao analisar o espectro do biopolímero resultante da combinação dos dois precursores, observou-se a presença de três novas bandas, sugerindo a formação de novas espécies químicas ou a modificação das estruturas dos polímeros originais. A ausência de diferenças significativas entre os espectros do biopolímero e do biopolímero indicador sugere que a presença da antocianina não pode ser detectada por FTIR. Ademais, outras alterações sutis foram observadas nos espectros dos biopolímeros, como a diminuição na intensidade de certas bandas e o desaparecimento de outras, indicando possíveis interações moleculares entre as cadeias poliméricas.

7. REFERÊNCIAS

- ABRAFRUTAS -; DERIVADOS., A. B. dos P. E. de F. e **Banana é uma fruta de sucesso - Abrafrutas**. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://abrafrutas.org/2020/05/banana-e-uma-fruta-de-sucesso/>. Acesso em: 1 set. 2022.
- AMORIM, E. P. *et al.* Genetic diversity of carotenoid-rich bananas evaluated by Diversity Arrays Technology (DArT). **Genetics and Molecular Biology**, [s. l.], v. 32, n. 1, p. 96–103, 2009.
- BATISTA, J. A. Desenvolvimento, Caracterização e Aplicações de Biofilmes a Base de Pectina, Gelatina e Ácidos Graxos em Bananas e Sementes de Brócolos. [s. l.], p. 141, 2004.
- BEGUM, Y. A.; DEKA, S. C. Stability of spray-dried microencapsulated anthocyanins extracted from culinary banana bract. <https://doi.org/10.1080/10942912.2016.1277739>, [s. l.], v. 20, n. 12, p. 3135–3148, 2017a. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10942912.2016.1277739>. Acesso em: 11 jul. 2022.
- BEGUM, Y. A.; DEKA, S. C. Stability of spray-dried microencapsulated anthocyanins extracted from culinary banana bract. **International Journal of Food Properties**, [s. l.], v. 20, n. 12, p. 3135–3148, 2017b.
- BEGUM, Y. A.; DEKA, S. C. Ultrasound-assisted extracted dietary fibre from culinary banana bract as matrices for anthocyanin: its preparation, characterization and storage stability. **Journal of Food Science and Technology**, [s. l.], v. 57, n. 6, p. 2354–2363, 2020. Disponível em: </pmc/articles/PMC7230098/>. Acesso em: 11 jul. 2022.
- BONILLA, J. *et al.* Physical, structural and antimicrobial properties of poly vinyl alcohol-chitosan biodegradable films. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], v. 35, p. 463–470, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.07.002>.
- BORGE, C. V. . *et al.* Compostos fenólicos em frutos de bananeira. [s. l.], p. 4570–4573, 2012.
- COSTA-JÚNIOR, E. de S.; PEREIRA, M. M.; MANSUR, H. S. Properties and biocompatibility of chitosan films modified by blending with PVA and chemically crosslinked. **Journal of Materials Science: Materials in Medicine**, [s. l.], v. 20, n. 2, p. 553–561, 2009.
- FERREIRA, A. L. EXTRAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE ANTOCIANINA EM FRUTA E POLPA DE MORANGO. [s. l.], 2014.
- FINGOLO, C. E. *et al.* **The natural impact of banana inflorescences (*Musa acuminata*) on human nutrition** **An Acad Bras Cienc**. [S. l.: s. n.], 2012. Disponível em: www.scielo.br/aabc.
- GALA, K.; KOLTE, S. **Application of banana flower bracts extract in simple titrimetric techniques as an indicator**. [S. l.: s. n.], 2016.
- GONZÁLEZ-AVIÑA, J. V. *et al.* New biopolymers as viscosity-modifying admixtures to improve the rheological properties of cement-based materials. **Cement and Concrete Composites**, [s. l.], v. 146, n. December 2023, p. 105409, 2024.
- GUIMARÃES, W. P. *et al.* Guia de frutas e hortaliças comercializadas na CEASA-DF. [s. l.], p. 23, 2022. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmninnibpcjpcglefndmkaj/https://ceasa.df.gov.br/wp-content/uploads/2022/11/batata-doce.pdf>.
- HEMA, M. *et al.* FTIR, XRD and ac impedance spectroscopic study on PVA based polymer electrolyte doped with NH₄X (X = Cl, Br, I). **Journal of Non-Crystalline Solids**, [s. l.], v. 355, n. 2, p. 84–90, 2009.

HONG, F. *et al.* Chitosan-based hydrogels: From preparation to applications, a review. **Food Chemistry**: X, [s. l.], v. 21, n. 8326, p. 101095, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.101095>.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção de Banana no Brasil | IBGE**. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/banana/br>. Acesso em: 1 set. 2022.

JANSEN, A. B. *et al.* Inflorescência Da Banana: Uma Rica Fonte De Minerais Para a Nutrição. **O papel da química entre as ciências naturais**, [s. l.], p. 38–43, 2023.

JUNIOR, V. A. P. Desenvolvimento e caracterização de indicador de tempo-temperatura a partir de quitosana, pva e antocianinas para aplicações em embalagens inteligentes. [s. l.], p. 1–71, 2014.

LAU, B. F. *et al.* **Banana inflorescence: Its bio-prospects as an ingredient for functional foods**. [S. l.]: Elsevier Ltd, 2020.

LI, D. *et al.* Health benefits of anthocyanins and molecular mechanisms: Update from recent decade. <http://dx.doi.org/10.1080/10408398.2015.1030064>, [s. l.], v. 57, n. 8, p. 1729–1741, 2017. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10408398.2015.1030064>. Acesso em: 4 set. 2023.

MOHAMMADKHANI, A. *et al.* Novel nanocomposite zinc phosphate/ polyvinyl alcohol / carboxymethyl cellulose: Synthesis, characterization and investigation of antibacterial and anticorrosive properties. **Case Studies in Chemical and Environmental Engineering**, [s. l.], v. 9, n. November 2023, p. 100591, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2023.100591>.

NOMURA, E. S. *et al.* Cultivo De Bananeira. **Manual técnico CDRS**, [s. l.], v. 82, p. 1–186, 2020.

NUNES, C.; JANSEN, A.; QUINÁIA, S. OTIMIZAÇÃO DA EXTRAÇÃO DE ANTOCIANINAS PRESENTES NO FEIJÃO-PRETO E IMPREGNAÇÃO DO EXTRATO EM MATRIZ POLIMÉRICA NATURAL PARA USO COMO INDICADOR DE pH. **Química Nova**, [s. l.], v. 45, n. 1, p. 113–120, 2021.

OLIVEIRA, H. S. De. COMPORTAMENTO DE CULTIVARES DE BANANEIRA (*Musa spp*) RESISTENTES A DOENÇAS NO PROCESSO DE MICROPROPAGAÇÃO. **Theoretical and Applied Genetics**, [s. l.], v. 7, n. 2, p. 1–7, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tplants.2011.03.004><http://dx.doi.org/10.1016/j.pbi.2010.01.004><http://www.biomedcentral.com/1471-2156/12/42><http://dx.doi.org/10.1016/j.biotechadv.2009.11.005><http://www.sciencemag.org/content/323/5911/240.short>

OVE, T. A. *et al.* Extraction and Quantification of Anthocyanin from Banana Bracts Using Different pH and Solvent Concentration Efficacy of Fenugreek Diet Therapy on Blood Glucose Level: A Randomized Pilot Study in Type 2 Diabetes View project Undergraduation project View p. [s. l.], 2019. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/332780316>.

PATIL, G. *et al.* Extraction, dealcoholization and concentration of anthocyanin from red radish. **Chemical Engineering and Processing: Process Intensification**, [s. l.], v. 48, n. 1, p. 364–369, 2009.

PEREIRA, V. A.; ARRUDA, I. N. Q. de; STEFANI, R. Active chitosan/PVA films with anthocyanins from Brassica oleraceae (Red Cabbage) as Time-Temperature Indicators for application in intelligent food packaging. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], v. 43, p. 180–188, 2015.

RAHMAN, S. *et al.* Animal derived biopolymers for food packaging applications: A review.

International Journal of Biological Macromolecules, [s. l.], v. 255, n. July 2023, p. 128197, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.128197>.

RODRIGUES, A. S. *et al.* AVALIAÇÃO DOS COMPOSTOS BIOATIVOS DA INFLORESCÊNCIA DE BANANEIRA (*Musa cavendishii*). [s. l.], 2018.

ROSA, R. H. *et al.* Determination of Macro- And Microelements in the Inflorescences of Banana Tree Using ICP OES: Evaluation of the Daily Recommendations of Intake for Humans. **Scientific World Journal**, [s. l.], v. 2020, 2020.

SCHONS, A. B. **SÍNTESE VERDE DE ABIETATO DE SÓDIO POR SALIFICAÇÃO DA RESINA DE *Pinus elliottii* E PREPARO DO OXOVANÁDIO(IV)-bis(ABIETATO): APLICAÇÃO COMO AGENTES ANTIMICROBIANOS**. 2023. 88–100 f. - UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA APLICADA PPGQA/UNICENTRO-PR, [s. l.], 2023.

SENSING, K. M. **Conceitos Básicos de Colorimetria**. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://sensing.konicaminolta.us/br/blog/conceptos-basicos-de-colorimetria/>. Acesso em: 30 jan. 2024.

SOARES, M. H. F. B.; CAVALHEIRO, É. T. G. APLICAÇÃO DE EXTRATOS BRUTOS DE FLORES DE QUARESMEIRA E AZALÉIA E DA CASCA DE FEIJÃO PRETO EM VOLUMETRIA ÁCIDO-BASE. UM EXPERIMENTO PARA CURSOS DE ANÁLISE QUANTITATIVA. **Quim. Nova**, Vol. 24, No. 3, 408-411, 2001., [s. l.], v. 24, n. 3, p. 408–411, 2001.

VERMA, D. *et al.* A sustainable and green approach towards the utilization of biopolymers for effective wound dressing applications : A detailed review. **Nano-Structures & Nano-Objects**, [s. l.], v. 37, n. December 2023, p. 101086, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.nanoso.2023.101086>.

VIEIRA, B. B. *et al.* Efficiency of chitosan synergism with clove essential oil in the coating of intentionally contaminated Tambaqui filets. **Semina: Ciências Agrárias**, [s. l.], v. 41, n. 6, p. 2793–2802, 2020.

WANG, C. *et al.* Biopolymer films based on chitosan/potato protein/linseed oil/ZnO NPs to maintain the storage quality of raw meat. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 332, n. May, p. 127375, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127375>.

WANG, T.; TURHAN, M.; GUNASEKARAN, S. Selected properties of pH-sensitive, biodegradable chitosan-poly(vinyl alcohol) hydrogel. **Polymer International**, [s. l.], v. 53, n. 7, p. 911–918, 2004.

WENDT, S. C. ANÁLISE DA MUDANÇA DE COR EM CONCRETOS SUBMETIDOS A ALTAS TEMPERATURAS COMO INDICATIVO DE TEMPERATURAS ALCANÇADAS E DA DEGRADAÇÃO TÉRMICA. [s. l.], 2006.

XU, Y.; HAN, J.; LIN, H. Fabrication and characterization of a self-crosslinking chitosan hydrogel under mild conditions without the use of strong bases. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], v. 156, p. 372–379, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.09.046>.

ZAMORA, G. M. Efficacy of four cultivars of banana bract extract as PH indicator. **Scholars Academic Journal of Biosciences (SAJB)**, [s. l.], 2016.

ZHANG, K. *et al.* Application of polyvinyl alcohol/chitosan copolymer hydrogels in biomedicine: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, [s. l.], v. 242, n. P4, p. 125192, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.125192>.

8. PERSPECTIVAS FUTURAS

Para as perspectivas futuras do biopolímero, é possível explorar sua aplicação em embalagens inteligentes para alimentos, aproveitando sua capacidade como indicador de pH sustentável para garantir a qualidade e segurança dos produtos. Essa utilização tem o potencial de oferecer soluções inovadoras para o mercado, proporcionando maior controle e monitoramento dos alimentos durante o armazenamento e transporte.

Além disso, é fundamental avaliar a estabilidade do biopolímero ao longo do tempo e em diferentes condições ambientais. Estudos adicionais são necessários para verificar sua resistência à degradação química e física, aspectos essenciais para sua viabilidade prática e comercial. Essa análise aprofundada contribuirá para aprimorar as propriedades do biopolímero, garantindo sua eficácia e durabilidade em aplicações diversas.

9. PRODUÇÃO BIBLIOGRÁFICA

9.1. Artigos completos publicados em periódicos

BORTOLANZA, A.; NUNES, C. N.; QUINÁIA, S. P. Inflorescência da bananeira: uma opção a mais na dieta alimentar. **Cuadernos de Educación y Desarrollo**, [S. l.], v. 16, n. 1, p. 955–965, 2024. DOI: 10.55905/cuadv16n1-050. Disponível em: <https://ojs.europublications.com/ojs/index.php/ced/article/view/3046>. Acesso em: 31 jan. 2024.

Inflorescência da bananeira: uma opção a mais na dieta alimentar

Banana plant inflorescence: an additional option in the dietary plan

Aline Bortolanza

Mestranda em Química

Instituição: Universidade Estadual Centro Oeste

Endereço: Alameda Élio Antonio Dalla Vecchia, 838, Vila Carli,

Guarapuava – PR, CEP: 85040-167

E-mail: alinebortolanza13@gmail.com

Chalder Nogueira Nunes

Doutor em Química

Instituição: Universidade Estadual Centro Oeste

Endereço: Alameda Élio Antonio Dalla Vecchia, 838, Vila Carli,

Guarapuava – PR, CEP: 85040-167

E-mail: chaldernunes@gmail.com

Sueli Pércio Quináia

Doutora em Química

Instituição: Universidade Estadual Centro Oeste

Endereço: Alameda Élio Antonio Dalla Vecchia, 838, Vila Carli,

Guarapuava – PR, CEP: 85040-167

E-mail: spquinaia@unicentro.br

9.2. Capítulos de livros publicados

JANSEN, Aline Bortolanza *et al.* Inflorescência Da Banana: Uma Rica Fonte De Minerais Para a Nutrição. **O papel da química entre as ciências naturais**, [s. l.], p. 38–43, 2023.



DECLARAÇÃO DE PUBLICAÇÃO

A Atena Editora, especializada na publicação de livros, revistas internacionais e coletâneas de artigos científicos em todas as áreas do conhecimento, com sede na cidade de Ponta Grossa-PR, declara que após avaliação cega pelos pares, membros do nosso Conselho Editorial, o artigo intitulado "INFLORESCÊNCIA DA BANANA: UMA RICA FONTE DE MINERAIS PARA A NUTRIÇÃO", de autoria de "Aline Bortolanza Jansen, Carlos Eduardo Cecchin, Chalder Nogueira Nunes, Sueli Pécio Quinãia", foi aprovado e publicado no livro eletrônico "O papel da química entre as ciências naturais", sob ISBN e DOI 10.22533/at.ed.2102324085.

Agradeço a escolha pela Atena Editora como meio de transmitir ao público científico e acadêmico o trabalho e parabenizo os autores pela publicação.

Reitero protestos de mais elevada estima e consideração.

Ponta Grossa, 28 de agosto de 2023

Prof.ª Antonella Carvalho de Oliveira
Doutora em ensino de ciência e tecnologia
Editora Chefe
ATENA EDITORA
PREFIXO EDITORIAL ISBN 97865
PREFIXO EDITORIAL DOI 10.22533

Rua Antônio Rodrigues Teixeira Júnior,122
Ponta Grossa – PR
CEP: 84.015-400
contato@atenaeditora.com.br
www.atenaeditora.com.br