

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA**

**OTIMIZAÇÃO DA EXTRAÇÃO DE COMPOSTOS BIOATIVOS DA CASCA DA  
BANANA (MUSA SPP) EMPREGANDO SOLVENTES EUTÉTICOS PROFUNDOS  
NATURAIS (NADES)**

Rejane Dos Santos Garcia Ribeiro  
*Magister Scientiae*

**VIÇOSA - MINAS GERAIS  
2024**

**REJANE DOS SANTOS GARCIA RIBEIRO**

**OTIMIZAÇÃO DA EXTRAÇÃO DE COMPOSTOS BIOATIVOS DA CASCA DA  
BANANA (MUSA SPP) EMPREGANDO SOLVENTES EUTÉTICOS PROFUNDOS  
NATURAIS (NADES)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientadora: Rita de C Superbi de Sousa

**VIÇOSA - MINAS GERAIS  
2024**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

R484o  
2024

Ribeiro, Rejane dos Santos Garcia, 1989-

Otimização da extração de compostos bioativos da casca da banana (*Musa spp.*) empregando solventes eutéticos profundos naturais (NADES) / Rejane dos Santos Garcia Ribeiro. – Viçosa, MG, 2024.

1 dissertação eletrônica (62 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Rita de Cássia Superbi de Sousa.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Química, 2024.

Referências bibliográficas: f. 54-62.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2024.732>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Extração por solventes. 2. Banana. 3. Compostos bioativos. 4. Flavonóides. I. Sousa, Rita de Cássia Superbi de, 1983-. II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Química. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. III. Título.

CDD 22. ed. 660.284248

**REJANE DOS SANTOS GARCIA RIBEIRO**

**OTIMIZAÇÃO DA EXTRAÇÃO DE COMPOSTOS BIOATIVOS DA CASCA DA BANANA (MUSA SPP) EMPREGANDO SOLVENTES EUTÉTICOS PROFUNDOS NATURAIS (NADES)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 21 de fevereiro de 2024.

Assentimento:

---

Rejane Dos Santos Garcia Ribeiro  
Autora

---

Rita de Cassia Superbi de Sousa  
Orientadora

Essa dissertação foi assinada digitalmente pela autora em 27/11/2024 às 17:19:45 e pela orientadora em 27/11/2024 às 21:30:22. As assinaturas têm validade legal, conforme o disposto na Medida Provisória 2.200-2/2001 e na Resolução nº 37/2012 do CONARQ. Para conferir a autenticidade, acesse <https://siadoc.ufv.br/validar-documento>. No campo 'Código de registro', informe o código **DPCX.KZXV.RUO1** e clique no botão 'Validar documento'.

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”.

(Martin Luther King)

## AGRADECIMENTOS

Ser mestre é um sonho que se iniciou na graduação com o desejo de transmitir e adquirir saberes com aqueles que anseiam por aprendizado. Esse sonho está próximo de se tornar real e tenho muito que agradecer à todos que foram peça fundamental nessa trajetória.

Primeiramente, agradeço a Deus por ter me conduzido por caminhos que nunca imaginei chegar, me tornando a primeira graduanda da família e agora perto de ser mestre;

À minha mãe Janaina e irmã Shirlei, por serem minha base e acreditar no meu potencial em toda minha trajetória, me dando forças e suporte emocional todas as vezes que foram necessárias;

As minhas tias, em especial Ana Beatriz e Alba Valéria por estarem sempre em oração, vibrando com cada passo que prossegui;

Aos meus amigos, que sempre foram compreensíveis com minha ausência nos anos de estudo, nunca esquecendo de perguntar como estava e desejar boas vibrações com as conquistas. As minhas amigas de república Jaqueline e Maria Eduarda por todo o apoio nesse ciclo tão importante;

À minha amiga Larissa, que embarcou junto nessa trajetória. Obrigada pelas risadas, pelas crises de ansiedade partilhadas e sempre superadas, ainda temos muito o que conquistar e juntas comemorar;

Sou grata aos meus queridos amigos David Campos e Juliana Abreu, que me incentivaram diariamente para a conclusão do mestrado;

À mestre Bruna Vilarino por toda generosidade e disponibilidade de ajuda sempre que necessário;

À minha prezada orientadora Professora Rita de Cássia, desejo manifestar um especial agradecimento pela confiança, ensinamentos e profissionalismo. Graças a sua compreensão e incentivo fui capaz de concluir essa caminhada;

Aos membros do Laboratório PROTEC pela boa convivência, em especial a graduanda Bruna Martins pela parceria e amizade;

Agradeço ao Professor Sérgio do Laboratório GQSB por sua assistência com equipamentos e insumos, e à Sara, pela sua contribuição e generosidade;

Aos membros da banca examinadora que generosamente aceitaram participar e colaborar com esta dissertação;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq),

pela concessão da bolsa de estudos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pela concessão da bolsa de estudos.

Agradeço aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, pelo valioso aprendizado pessoal e profissional.

À Universidade Federal de Viçosa por tornar possível a realização deste mestrado; Deixo expresso o meu reconhecimento a todos que de algum modo contribuíram para a concretização deste trabalho, serei eternamente grata.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

## RESUMO

RIBEIRO, Rejane Dos Santos Garcia, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2024. **OTIMIZAÇÃO DA EXTRAÇÃO DE COMPOSTOS BIOATIVOS DA CASCA DA BANANA (*MUSA spp*) EMPREGANDO SOLVENTES EUTÉTICOS PROFUNDOS NATURAIS (NADES)**. Orientadora: Rita de Cassia Superbi de Sousa.

A banana (*Musa spp*) é uma fruta de clima tropical considerada uma das mais consumidas no mundo, o que gera elevada obtenção de resíduos uma vez que a casca corresponde a 40% do peso total da fruta. A casca da banana contém compostos bioativos, com pectina, carotenoides e flavonoides, sendo o último de maior relevância pois possuem propriedades cicatrizantes, anti-inflamatórias, antioxidante, antimicrobianas e analgésica levando a interesse científico pela vasta possibilidade de utilização do extrato contendo tais propriedades. Solventes eutéticos profundos naturais, do inglês *natural deep eutectic solvents* (NADES) estão sendo cada vez mais empregados para extração de compostos bioativos, sendo uma alternativa para os solventes orgânicos convencionais pois possuem uma vasta faixa de polaridade, além de serem menos tóxicos, terem menor custo, serem biodegradáveis e provenientes de fontes renováveis. O presente estudo teve como objetivo a otimização da extração de fenólicos totais presentes na casca da banana (*Musa spp*) bem com determinar a concentração de flavonoides totais e avaliar a atividade antioxidante (AA) dos extratos. A obtenção dos extratos foi a partir da extração assistida por micro-ondas (MAE) com diferentes NADES e com os solventes convencionais etanol e acetato de etila a fim de comparação. A síntese dos NADES foi realizada através da combinação de cloreto de colina com ácido oxálico [Ch]Cl:AO, cloreto de colina com ácido cítrico [Ch]Cl:AC e cloreto de colina com ácido láctico [Ch]Cl:AL. Para o planejamento experimental, foi aplicado a metodologia de superfície de resposta (MRS) avaliando a temperatura, razão (biomassa/solvente) e concentração (água/solvente). A análise dos extratos com NADES e solventes convencionais fora realizada por Espectrofotometria UV-Vis determinando a concentração de fenólicos e flavonoides totais, assim como o percentual de AA. O ponto ótimo obtido através da otimização dos resultados foi de 66,73°C para temperatura, 30% de biomassa no solvente e concentração de 58,42% adição de água no solvente. O presente estudo demonstra através dos resultados que os

NADES são uma alternativa eficaz para extração de compostos bioativos da casca da banana (*Musa spp*). A extração efetuada empregando o NADES sintetizado a partir do ácido láctico apresentou resultados superiores de concentração de flavonoides totais (0,11 g. L<sup>-1</sup>) e atividade antioxidante (93,58%), corroborando os resultados, podendo ser considerado o solvente mais eficaz utilizado na pesquisa.

Palavras-chave: compostos bioativos; flavonoides; atividade antioxidante; planejamento experimental.

## ABSTRACT

RIBEIRO, Rejane Dos Santos Garcia, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2024. **OPTIMIZATION OF EXTRACTION OF BIOACTIVE COMPOUNDS FROM BANANA PEEL (MUSA spp) USING NATURAL DEEP EUTETIC SOLVENTS (NADES)**. Adviser: Rita de Cassia Superbi de Sousa.

Bananas (*Musa spp*) are one of the most widely consumed tropical fruits in the world, which generates a lot of waste since the peel accounts for 40% of the fruit's total weight. The banana peel contains bioactive compounds such as pectin, carotenoids and flavonoids, the latter being of greater relevance as they have healing, anti-inflammatory, antioxidant, antimicrobial and analgesic properties, leading to scientific interest in the vast possibility of using the extract containing such properties. Natural deep eutectic solvents (NADES) are increasingly being used to extract bioactive compounds and are an alternative to conventional organic solvents as they have a wide polarity range, are less toxic, less expensive, biodegradable and come from renewable sources. The aim of this study was to optimize the extraction of total phenolics from banana peel (*Musa spp*), determine the concentration of total flavonoids and evaluate the antioxidant activity (AA) of the extracts. The extracts were obtained by microwave-assisted extraction (MAE) with different NADES and with the conventional solvent's ethanol and ethyl acetate for comparison. The NADES were synthesized by combining choline chloride with oxalic acid [Ch]Cl:AO, choline chloride with citric acid [Ch]Cl:AC and choline chloride with lactic acid [Ch]Cl:AL. For the experimental design, the response surface methodology (RSM) was applied, evaluating temperature, ratio (biomass/solvent) and concentration (water/solvent). The extracts were analyzed with NADES and conventional solvents using UV-Vis spectrophotometry to determine the concentration of total phenolics and flavonoids, as well as the percentage of AA. The optimum point obtained by optimizing the results was 66.73°C for temperature, 30% biomass in the solvent and a concentration of 58.42% added water in the solvent. The results of this study show that NADES is an effective alternative for extracting bioactive compounds from banana peel (*Musa spp*). The extraction carried out using NADES synthesized from lactic acid showed superior results in terms of total flavonoid concentration (0.11 g. L<sup>-1</sup>) and antioxidant activity (93.58%), corroborating the results, and can be

considered the most effective solvent used in the research.

Keywords: bioactive compounds; flavonoids; antioxidant activity; experimental design.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Exemplo de Compostos fenólicos encontrados em alimentos vegetais.....	16
Figura 2 - (A) Estrutura básica dos flavonoides pirano heterocíclicos e (B) estrutura dos flavonoides com grupo carbonila na posição C-4.....	17
Figura 3 - Estrutura química da leucocianidina.....	19
Figura 4 - Diagrama esquemático do ponto eutético em um sistema de dois componentes..	21
Figura 5 - Estruturas selecionadas para síntese dos solventes.....	22
Figura 6 - (A) Esquema de montagem do aparelho Soxhlet, (B) Solvente + óleo e (C) Óleo concentrado após evaporação do solvente.....	24
Figura 7 - (A) Mistura de [Ch]Cl + AO, (B) Solvente NADE .....	25
Figura 8 - (A) Banana Cavendish e (B) Casca da banana ( <i>Musa spp</i> ) após secagem. ....	30
Figura 9 - Cinzas da casca da banana ( <i>Musa spp</i> ) .....	32
Figura 10 - Curva Padrão para determinação de Fenólicos Totais .....	32
Figura 11 - Curva Padrão para determinação de Flavonoides Totais .....	33
Figura 12 - Diagrama de Pareto para extração de fenólicos totais da Casca da Banana empregando [Ch]Cl:AO.....	37
Figura 13 - Diagrama de Pareto para extração de fenólicos totais da Casca da Banana empregando [Ch]Cl:AC:H2O .....	37
Figura 14 - Diagrama de Pareto para extração de fenólicos totais da Casca da Banana empregando [Ch]Cl:AL .....	38
Figura 15 - Superfície de resposta e gráfico de contorno para o rendimento dos Fenólicos com efeitos para as variáveis (A) Temperatura e Razão, (B) Temperatura e Concentração e (C) Razão e Concentração para extrações com [Ch]Cl:AO.....	39
Figura 16- Superfície de resposta e gráfico de contorno para o rendimento dos Fenólicos com efeitos para as variáveis (A) Temperatura e Razão, (B) Temperatura e Concentração e (C) Razão e Concentração para extrações com [Ch]Cl:AC:H2O .....	40
Figura 17 - Superfície de resposta e gráfico de contorno para o rendimento dos Fenólicos	

com efeitos para as variáveis (A) Temperatura e Razão, (B) Temperatura e Concentração e (C) Razão e Concentração para extrações com [Ch]Cl:AL .....	41
Figura 18 - Perfil de valores preditos/otimizados e desejabilidade para extração de compostos fenólicos totais com [Ch]Cl:AO .....	43
Figura 19 - Perfil de valores preditos/otimizados e desejabilidade para extração de compostos fenólicos totais com [Ch]Cl:AC:H2O .....	43
Figura 20 - Perfil de valores preditos/otimizados e desejabilidade para extração de compostos fenólicos totais com [Ch]Cl:AL.....	44
Figura 21 - Representação visual da Concentração de fenólicos totais presentes nos extratos da casca da banana .....	45
Figura 22 - Representação visual da Concentração de flavonoides totais presente nos extratos da casca da banana. ....	46
Figura 23 - Representação da reação química do radical DPPH com um antioxidante.....	47
Figura 24 - Processo do sequestro do radical estável DPPH – A) Momento inicial solução de DPPH + Extratos. B) Tempo final da reação.....	48

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição nutricional em 100 g da banana ( <i>Musa spp</i> ) madura e verde.....	15
Tabela 2 - Estágios de maturação da banana.....	15
Tabela 3 - Autores que realizaram extração de Flavonoides da casca da Banana.....	18
Tabela 4 - Razão molar dos componentes para preparo dos NADES .....	25
Tabela 5 - Níveis e variáveis dos fatores do CCRD .....	27
Tabela 6 - Ensaio para o planejamento experimental, destacando os pontos centrais.....	27
Tabela 7 - Configuração MAE .....	28
Tabela 8 - Resultados obtidos em literatura do teor de umidade da casca da banana .....	31
Tabela 9 - Matriz do planejamento experimental + Concentração de fenólicos totais presentes na casca da banana ( <i>Musa spp</i> ) empregando NADES variados .....	34
Tabela 10 - Estimativa dos efeitos para extração de compostos fenólicos totais com NADES [Ch]Cl:AO .....	35
Tabela 11 - Estimativa dos efeitos para extração de compostos fenólicos totais com NADES [Ch]Cl:AC:H2O .....	35
Tabela 12 - Estimativa dos efeitos para extração de compostos fenólicos totais com NADES [Ch]Cl:AL.....	36
Tabela 13 - Concentração de fenólicos totais nas condições ótimas nos extratos de NADES, acetato de etila e etanol.....	45
Tabela 14 - Atividade antioxidante dos extratos da casca da banana pelo método do sequestro do radical DPPH.....	48

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AL	Ácido láctico
AC	Ácido cítrico
AO	Ácido oxálico
AA	Atividade Antioxidante
[Ch]Cl	Cloreto de colina
DES	Deep eutectic solvents
CCRD	Planejamento composto central rotacional
DPPH	(1,1-difenil-2-picrilhidrazil)
HBA	Hydrogen bond acceptor
HBD	Hydrogen bond donor
H <sub>2</sub> O	ÁGUA
MAE	Microwave assisted extraction
MRS	Metodologia de superfície de resposta
NADES	Natural deep eutectic solvents
Tc	Teor de cinzas

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>17</b>
2.1. OBJEITIVO GERAL .....	17
2.2. Objetivos Específicos .....	17
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>17</b>
3.1. Banana .....	17
3.2. Compostos bioativos .....	19
3.2.1. Flavonoides.....	20
3.3. Extração sólido-líquido .....	22
<b>4. METODOLOGIA</b> .....	<b>26</b>
4.1. Material.....	26
4.2. Preparo da matéria prima.....	26
4.4. Preparo do Solvente (NADES).....	28
4.5. Planejamento experimental.....	29
4.7. Caracterização dos extratos .....	31
4.7.3. Atividade Antioxidante (AA) .....	32
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>33</b>
<b>6. CONCLUSÃO</b> .....	<b>53</b>
<b>7. REFERÊNCIAS</b> .....	<b>54</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A banana (*Musa spp*) é uma planta herbácea pertencente à família Musacea. Por se tratar de um fruto com baixo custo de produção e comercialização, a banana é consumida em todo o mundo (SIDHU; ZAFAR, 2018).

O Brasil encontra-se no quarto lugar na produção mundial de banana, sendo seus maiores produtores os estados de São Paulo, Bahia e Minas Gerais. Estima-se que a produção de banana em 2023 no país chegue a 7 milhões de toneladas. Ocupando o terceiro lugar nacionalmente, Minas Gerais é responsável por 12% da produção nacional de banana. De acordo com os dados da Secretaria de Estado da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Seapa) de Minas Gerais, prevê-se também para o ano de 2023 o crescimento de 5,6% na produção de bananas em relação a 2022, em que alcançou 841,6 mil toneladas (Diário do Comercio, 2023).

A casca da banana possui elevado valor agregado pois é rica em compostos bioativos como pectina (KHAMSUCHARIT et al., 2018), flavonoides (ZHANG et al., 2019) e carotenoides (YAN et al., 2016) e, além disso, vem sendo empregada na medicina popular por ser conhecida como cicatrizante (NOVAK; ALMEIDA; SILVA, 2003). Ademais, é rica em: saponinas, que atuam com efeito hemostático fazendo com que o sangramento de uma ferida seja interrompido; taninos que podem agir como vasoconstritores, contraindo os vasos sanguíneos e controlando a perfuração tecidual (ACHMAD; PUTRI, 2021; ROSIDA; SUKARDIMAN; KHOTIB, 2014) e flavonoides como o leucocianidina que acelera a cicatrização da ferida na pele pois estimula a reprodução celular (ATZINGEN et al., 2013). ROSSO (2009) e PEREIRA (2014) realizaram extração de fenólicos totais da casca da banana (*Musa spp*), utilizando como solvente orgânico o etanol, com o intuito de evidenciar seu potencial antioxidante e cicatrizante.

Produtos naturais ricos em compostos bioativos são empregados desde a antiguidade como fármacos para tratamento de diversas doenças (DIAS; URBAN; ROESSNER, 2012) sendo designados também como fonte de estudo e criação de novos medicamentos (MISHRA; TIWARI, 2011).

Para obtenção de extratos a partir de plantas medicinais, frequentemente empregam-se solventes orgânicos pela sua elevada habilidade extratora, porém tais solventes diversas vezes podem ser oriundos de fontes não renováveis, além de tóxicos e

dispendiosos. Diante destes fatores, visando uma alternativa verde, estão sendo empregados para extração de compostos bioativos, solventes eutéticos profundos (DES) (TANG; ZHANG; ROW, 2015; ZAINAL-ABIDIN et al., 2017). Para obtenção dos DES, são necessários dois compostos: um acceptor de ligação de hidrogênio (*hydrogen bond acceptor* - HBA) e um doador de ligação de hidrogênio (*hydrogen bond donor* – HBD). A mistura dos compostos leva a um ponto de fusão menor do que de cada componente individual. Os DES possuem características importantes que se destacam em relação aos solventes orgânicos tradicionais, sendo fáceis de serem preparados, tem menor custo, baixa volatilidade, são estáveis química e termicamente, apresentam elevada condutividade, menor toxicidade e são biodegradáveis (LI; ROW, 2016; TANG et al., 2014). Solventes eutéticos naturais, do inglês *natural deep eutectic solvents* (NADES) são uma subclasse dos DES e seus estudos estão crescendo gradativamente nos últimos anos por serem produzidos unicamente por compostos naturais (VANDA et al., 2018a).

Até o momento, são poucos os artigos em literatura sobre a extração de compostos bioativos da casca da banana utilizando NADES. Gómez et al. (2019), em sua pesquisa, realizou a extração de açúcares solúveis de purê da banana. Por sua vez, Aziz et al. (2021) retrata a extração de compostos fenólicos da casca da banana, ambos empregando NADES. Apesar de serem limitados os estudos provenientes da extração da casca da banana, mais de 150 combinações de NADES foram propostas e aplicadas principalmente na extração de produtos naturais por diferentes pesquisadores (DAI et al., 2013; GONZÁLEZ et al., 2018; HUANG et al., 2017; PARADISO et al., 2016). Assim, desperta-se o interesse por novas pesquisas acerca da extração de compostos bioativos da casca da banana usando uma variedade de combinações de NADES.

Diante do exposto, visando o reaproveitamento de resíduos, o presente estudo teve por objetivo otimizar a extração assistida por micro-ondas de compostos bioativos existentes na casca da banana (*Musa spp*), empregando NADES. Ademais foi avaliada a atividade antioxidante (AA) dos extratos obtidos.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo Geral

Realizar a otimização da extração assistida por micro-ondas de flavonoides a partir da casca da banana (*Musa spp*), aplicando solventes eutéticos profundos naturais e caracterizar a capacidade antioxidante dos extratos obtidos.

### 2.2. Objetivos Específicos

- Realizar a secagem da casca da banana (*Musa spp*);
- Realizar a caracterização físico-química da matéria prima;
- Elaborar o planejamento experimental, avaliando-se diferentes condições operacionais: temperatura, tipo de solvente razão sólido/solvente e concentração de água no solvente, visando maior rendimento de extração;
- Realizar a extração por assistida por micro-ondas de acordo com as condições estabelecidas no planejamento experimental e caracterizar os fenólicos totais presentes na casca da banana (*Musa spp*) utilizando espectrofotômetro;
- Identificar condições ótimas da extração de fenólicos totais e aplicá-las na extração de flavonoides;
- Avaliar a capacidade antioxidante dos extratos obtidos.

## 3. REVISÃO DE LITERATURA

### 3.1. Banana

A banana (*Musa spp*) pertence à família Masacea (PEREIRA; MARASCHIN, 2015), sendo denominada uma fruta de clima tropical originária da Ásia, cultivada atualmente por aproximadamente 135 países, conhecida como a fruta mais popular do mundo (ANHWANGE; UGYE; NYIAATAGHER, 2009; SIDHU; ZAFAR, 2018).

Rica em carboidratos e calorias (Tabela 1), pode ser considerada grande fonte de energia para a saúde humana. A banana também é constituída por sais mineiras e vitaminas (SEPTEMBRE-MALATERRE et al., 2016).






**Tabela 1.** Composição em 100 g da casca e poupa da banana (*Musa spp*) madura e verde.

Composição	Poupa Madura	Poupa Verde	Casca Madura	Casca Verde
Calorias	106,268 Kcal	113,664 Kcal	35,30 Kcal	37,86 Kcal
Carboidratos	24,434g	26,304g	4,91 g	6,95 g
Gorduras	0,076 g	0,072g	0,99 g	0,66 g
Proteínas	1,962g	1,95g	1,69 g	1,03 g
Vitamina C	18 mg	20 mg	41,64	36,29
Cálcio	37,43 mg	39,58	66,71 mg	66,17 mg
Ferro	0,78 mg	1,18mg	1,26 mg	1,16 mg
Fibra	0,808 g	1,084g	1,99 g	1,64 g
Sódio	34,60 mg	61,78 mg	54,27 mg	41,86 mg
Potássio	220,10 mg	219,66 mg	300,92 mg	335,06mg

**Fonte:** (BIANCHI, 2010; NERIS et al., 2018; MEDEIROS et al., 2005)

Além das propriedades citadas, a banana e sua casca contêm grande quantidade de compostos bioativos como flavonoides, carotenoides, fitosteróis, ácidos graxos e pectina, sendo de extrema importância para a saúde humana. A quantidade dos compostos bioativos presentes pode modificar dependendo do estágio de maturação da banana (Tabela 2) (HAPPI EMAGA et al., 2007; KUMAR et al., 2019; ZHANG et al., 2019).

**Tabela 2.** Estágios de maturação da banana.

Nº de dias de maturação	Grau de maturação	Aspecto visual
0	Totalmente verde	
3	Verde com traços amarelo	
6	Mais verde do que amarelo	
9	Mais amarelo do que verde	
12	Amarelo com pontas verde	

15

Amarelo



21

Amarelo com áreas marrons



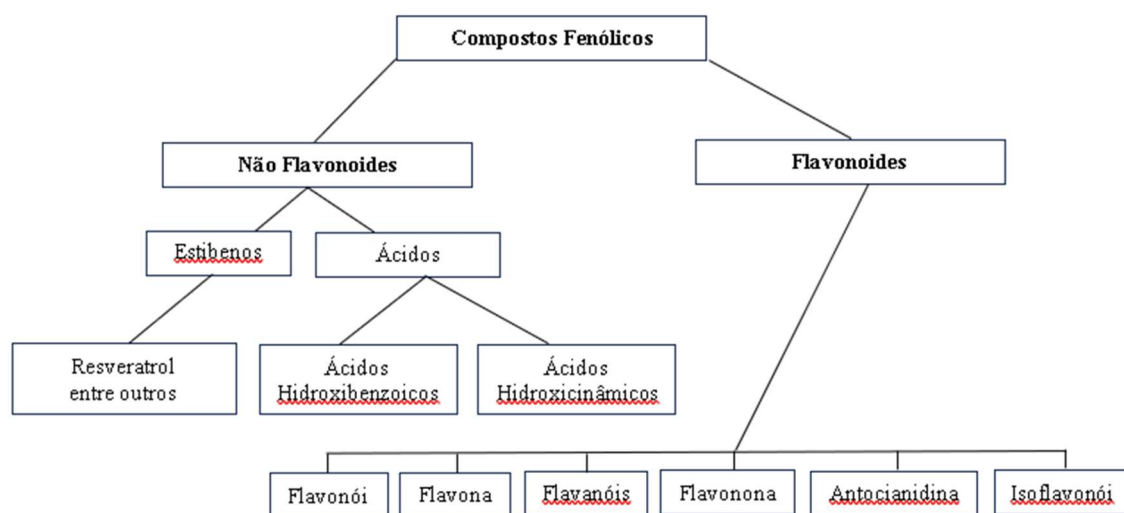
**Fonte:** Adaptado de Instituto de tecnologia de alimentos, 1990; PBMH & PIF, 2022

### 3.2. Compostos bioativos

Os compostos bioativos são extraídos de diversas partes da planta, como raízes, polpa, casca, semente, flores, folhas e caule. Compostos bioativos apresentam características extra nutricionais e são denominados metabólitos secundários das plantas (BARBA; ESTEVE; FRÍGOLA, 2014). Tais compostos são ricos em carotenoides, vitamina C, compostos fenólicos, dentre outros (AGUILERA; MARTIN-CABREJAS; GONZÁLEZ DE MEJIA, 2016; BIESALSKI et al., 2009; CARBONELL-CAPELLA et al., 2014).

Os compostos fenólicos presentes nos vegetais desempenham diversas funções de defesa, ao passo que nos alimentos estão divididos em dois grupos, flavonoides e não flavonoides (Figura 1) e têm sido objeto de estudo como antioxidante (RAUHA et al., 2000; TIVERON et al., 2012).

**Figura 1.** Exemplo de Compostos fenólicos encontrados em alimentos vegetais.



**Fonte:** REBELLO, 2013.

Com elevada capacidade antioxidante, compostos bioativos são valiosos na prevenção de doenças crônicas além de serem utilizados no tratamento de diversas

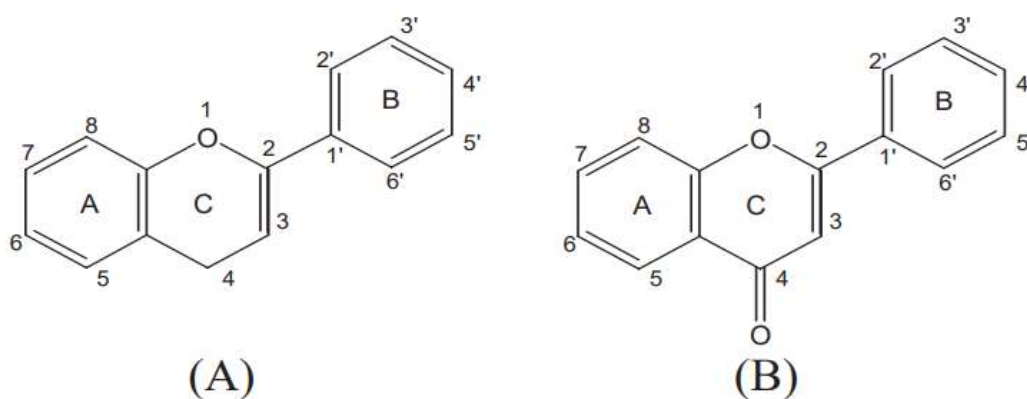
doenças como úlceras, inflamações, diarreia e dores no corpo (BARBA et al., 2017; TIMALSENA; LAMICHHANE, 2019). Calcula-se que aproximadamente 40% dos medicamentos utilizados na medicina são provenientes de fontes naturais o que gera interesse em novos estudos de métodos e solventes alternativos para extração e métodos de caracterização dos compostos bioativos encontrados nas plantas (XIANG et al., 2022; XIAO; CHEN; LI, 2018).

### 3.2.1. Flavonoides

A banana é rica em flavonoides sendo estes benéficos para a saúde por conterem propriedades antioxidantes (SIDHU; ZAFAR, 2018).

A estrutura dos flavonoides é composta por 15 carbonos que formam anéis fenólicos, A, B e C (Figura 2). Na Figura 2A, pode ser observada a estrutura básica dos flavonoides pirano heterocíclicos como os flavan-3-óis (catequinas) e antocianidinas. A Figura 2B apresenta a estrutura dos flavonoides que detêm um grupo carbonila na posição C-4 do anel como os flavonóis, flavonas, isoflavonas e flavanonas (HUBER; RODRIGUEZ-AMAYA, 2008).

**Figura 2.** (A) Estrutura básica dos flavonoides pirano heterocíclicos e (B) estrutura dos flavonoides com grupo carbonila na posição C-4.



**Fonte:** HUBER *et al.*, 2008.

Os flavonoides são classificados como metabólitos secundários das plantas que possuem propriedades anti-inflamatórias, antimicrobianas, analgésicas, antioxidante e cicatrizantes (HIDALGO; SÁNCHEZ-MORENO; DE PASCUAL-TERESA, 2010; INAN et al., 2006; OWOYELE et al., 2008), podendo ser encontrados em frutas, cascas,

flores, raízes, entre outros (PANCHE; DIWAN; CHANDRA, 2016). Além disso, estudos vêm sendo realizados sobre a aplicabilidade dos flavonoides no tratamento e prevenção do câncer (LISKOVA et al., 2020; PARK; M. PEZZUTO, 2012).

A Tabela 3 apresenta diferentes autores que estudaram a extração de compostos fenólicos presentes na casca da banana.

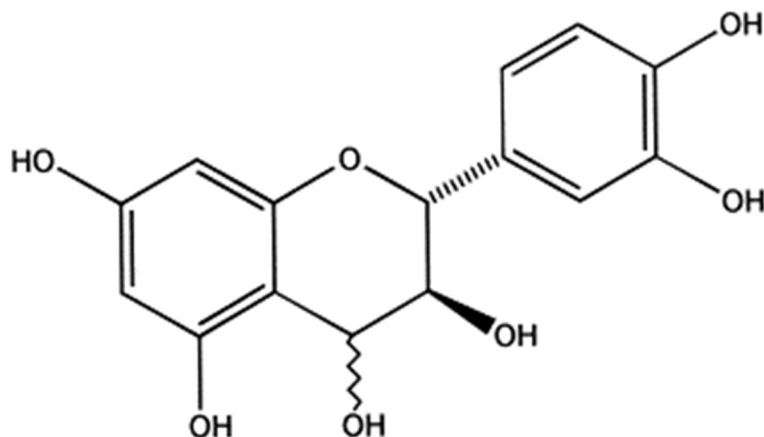
**Tabela 3.** Autores que realizaram extração de Compostos Fenólicos da casca da Banana.

<b>Autor</b>	<b>Método de extração</b>	<b>Solvente</b>	<b>Rendimento da extração</b>
DOS et al., 2021	Banho de Ultrassom	álcool de cereais a 80%,	-
LOPES et al., 2019	Maceração	água destilada	-
ZHANG et al., 2019	Maceração	Etanol	-
ANAL; JAISANTI; NOOMHORM, 2014	micro-ondas	Etanol	13,03%
REBELLO et al., 2014	banho ultrassônico	metanol, água e ácido fórmico	-
ROSSO, 2009	Maceração Soxhlet	etanol- água destilada na proporção 2:3, v/v	38,20%
	Extração supercrítica	CO <sub>2</sub> com 99,9 % de pureza	12% 6,90%
SULTANA et al., 2008	Maceração	-	24,60%

**Fonte:** O autor, 2022.

Popularmente, a casca da banana é aplicada na medicina como cicatrizante, isso se deve ao fato de a casca conter um flavonoide conhecido como leucocianidina (Figura 3). Tal flavonoide estimula o crescimento da produção de células apicais, o que favorece a cicatrização do tecido agredido (NOVAK; ALMEIDA; SILVA, 2003).

**Figura 3.** Estrutura química da leucocianidina.



**Fonte:** LEWIS; FIELDS; SHAW, 1999.

### 3.3. Extração sólido-líquido

A extração sólido-líquido é uma operação unitária empregada para separar um ou mais componentes de uma matriz sólida por meio de um solvente líquido (AGUILERA, 2003). O solvente entra em contato com o soluto que se deseja obter, ocorrendo assim a transferência de massa do soluto para o solvente, resultando na formação do extrato. A extração sólido-líquido é um processo muito utilizado nas indústrias química, farmacêutica e alimentícia, sendo responsável por extrair compostos bioativos como carotenoides, flavonoides, entre outros (BECERRA; LÓPEZ; SOSSA, 2021; MEIRELES, 2009).

Existem diversas técnicas tradicionais para realização da extração sólido-líquido, dentre elas estão a maceração, Soxhlet e hidro destilação. No entanto, tais procedimentos podem acarretar baixa pureza, danos ambientais por descarte inadequado de solventes, provável degradação de compostos termolábeis, além de possível baixa seletividade do processo e elevado tempo de extração (DHOUIBI et al., 2020; SAGAR et al., 2018; SULAIMAN; ABDUL AZIZ; AROUA, 2013).

O êxito do rendimento do extrato de interesse está vinculado à composição química da amostra, ao tipo de solvente utilizado e sua diversa possibilidade de polaridades, pH, temperatura e tempo de extração adequados (JUSTINO et al., 2014).

Os solventes eutéticos profundos naturais (NADES) possuem uma ampla faixa de polaridade, detém menor tempo de extração além de baixa temperatura de transição, tais

fatores possibilitam maiores rendimentos em comparação com solventes orgânicos convencionais aplicados na extração sólido-líquido (VANDA et al., 2018).

### 3.4. Extração assistida por micro-ondas (MAE)

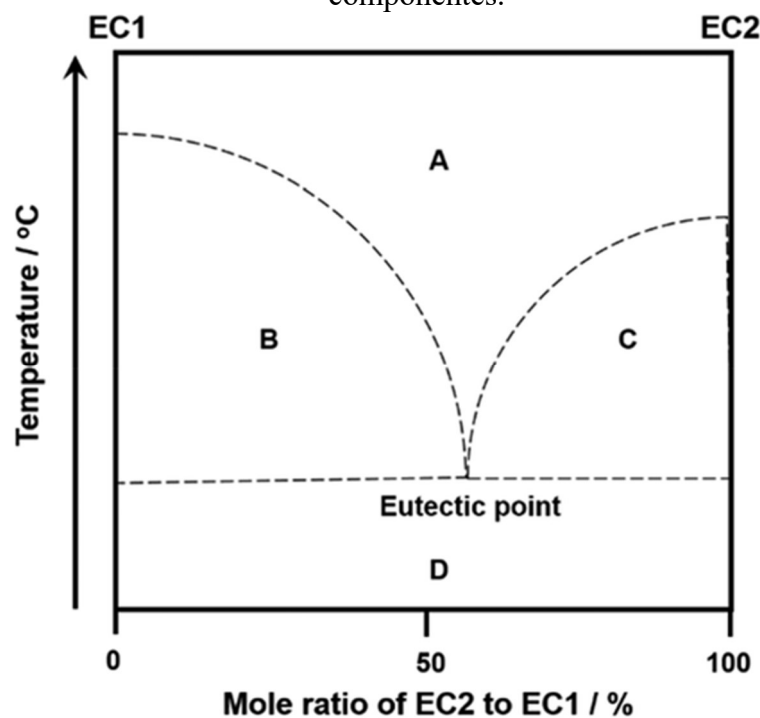
Micro-ondas são um tipo de energia radiante que pertencem ao espectro eletromagnético, isto é, criam uma espécie de radiação eletromagnética assim como as ondas de rádio, a luz visível, a eletricidade e o infravermelho. Para seu funcionamento, ocorre o aquecimento por vibração das moléculas, sendo este o princípio fundamental da radiação micro-ondas. Tais radiações penetram o material vegetal de forma superficial, ocorrendo a vibração das moléculas. (CARVALHO, 2005). A Extração Assistida por Micro-ondas do inglês *microwave assisted extraction* (MAE) tem sido cada vez mais empregada ao conceito de química verde, visto que em seu funcionamento, o aquecimento seletivo do solvente e dos compostos durante o processo, intensifica a cinética de extração e aumenta consideravelmente o rendimento, economizando solvente, energia e tempo (LEE; KIM, 2019)

### 3.5. Solventes eutéticos profundos (DES)

A expressão eutético provem da palavra grega que significa facilmente fundível, desta forma, uma mistura de dois ou mais componentes que apresentam baixo ponto de fusão formam em um sistema eutético (ZHANG et al., 2012).

O diagrama de fases retratado na Figura 4 apresenta um sistema eutético binário composto por dois fatores determinantes, temperatura e razão de componente onde, EC1 e EC2 são os componentes eutéticos e a curva tracejada corresponde os pontos de fusão sob razões molares distintas. Os meios líquidos consolidados estão localizados em A, as espécies eutéticas aplicadas encontram-se a temperatura ambiente ou abaixo da mesma como parte de A. As misturas de EC1 e EC2 (sólido + líquido) estão representados por B e C, tal combinação apresenta ponto de fusão menor que dos componentes puros, ao observar a diminuição da temperatura, ocorre a formação do ponto eutético. Por último, D é a mistura de EC1 e EC2 (Sólido + Sólido) (LIU, 2018; SMITH; ABBOTT; RYDER, 2014).

**Figura 4.** Diagrama esquemático do ponto eutético em um sistema de dois componentes.



Fonte: LIU et al., 2018.

DES são formados por dois componentes, um HBA que se trata de acceptor de ligação de hidrogênio que podem ser sais quaternário de amônio, tetra alquilamônio ou fosfônio, e por um HBD, esse por sua vez é o doador de ligação de hidrogênio geralmente representados pelos álcoois, aminas ou carboidratos (SMITH; ABBOTT; RYDER, 2014). As preparações dos DES são fáceis de serem executadas, produzidas com matéria prima de baixo custo, não necessita de etapas de purificação, contém baixa toxicidade ou desprezível além de ser biodegradável e reciclável (CUNHA; FERNANDES, 2018).

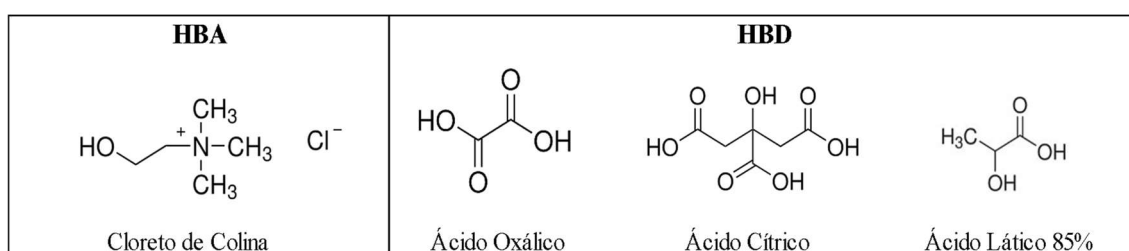
Devido ao rendimento de extração superior aos solventes tradicionais e por serem provenientes de fontes renováveis, os DES vem sendo empregados nas últimas décadas na extração de compostos bioativos. Os solventes orgânicos tradicionais podem conter elevada toxicidade o que pode agredir a saúde e o meio ambiente, além de ter elevado custo uma vez que os processos de extração são longos e por ser necessário a purificação do composto de interesse (TANG; ZHANG; ROW, 2015; ZAINAL-ABIDIN et al., 2017).

### 3.5. Solventes eutéticos profundos naturais (NADES)

Os DES foram criados como alternativa de solventes comuns por sua menor toxicidade e custo, porém WEN et al. (2015) relata que existe a possibilidade de ocorrer malefícios para alguns organismos vivos. Neste sentido, visando uma alternativa satisfatória, foram criados os solventes eutéticos profundos naturais, do inglês *natural deep eutectic solvents* (NADES). Os NADES são derivados dos DES, sendo assim, uma combinação de compostos naturais podendo ser ácidos e bases orgânicas, aminoácidos, açúcares e poli álcoois (VANDA et al., 2018a).

Os NADES por serem uma alternativa mais segura em relação a toxicidade, vem sendo aplicados na extração de compostos bioativos provenientes de produtos naturais, para aplicação na indústria farmacêutica. Outra característica importante a ser ressaltada é a facilidade de ajustar a sua viscosidade, ser sustentável e seguro, além de poder dissolver metabólitos polares e apolares o que aumenta a gama de compostos naturais que podem ser extraídos (PAIVA et al., 2014). Na última década, houve um aumento significativo nas pesquisas científicas que empregaram NADES e DES, atualmente mais de 15 mil publicações sobre o tema foram realizadas na Web of Scienc (2023), abrangido diversas áreas de aplicações como química multidisciplinar, engenharia química, combustíveis energéticos eletroquímica etc. A Figura 5 apresenta o HBA e HBDS empregados no presente estudo para síntese dos NADES.

**Figura 5.** Estruturas selecionadas para síntese dos solventes.



**Fonte:** O autor, 2022.

## 4. METODOLOGIA

### 4.1. Material

O presente estudo foi realizado no Departamento de Química situado na Universidade Federal de Viçosa (UFV), Campus Viçosa, Minas Gerais e utilizado como matéria-prima cascas de bananas caturra adquiridas em mercado local.

Para a preparação do NADES foram empregados o cloreto de colina [Ch]Cl como HBAs e como HBDs ácido oxálico (AO), ácido láctico (AL) e ácido cítrico (AC). A fim de comparar a capacidade de extração do NADES, solventes convencionais, etanol (98%) e acetato de etila também foram utilizados para extração.

### 4.2. Preparo da matéria prima

As bananas (*Musa spp*) foram selecionadas segundo sua etapa de desenvolvimento e estado, sendo empregadas as de grau de maturação amarela e descartadas as danificadas. Os frutos foram higienizados em água corrente a fim de retirar quaisquer impurezas presentes. As cascas foram separadas manualmente e colocadas em estufa de secagem a 45 °C, pois temperaturas elevadas podem acarretar a deterioração da matéria prima (PESSOA, 2009). Após seca, a casca foi cortada no tamanho de aproximadamente 0,2 cm de comprimento e armazenada em um dessecador de com sílica gel até o uso.

### 4.3. Caracterização Físico Química

#### 4.3.1. Teor de Umidade

A casca da banana (*Musa spp*) foi seca em estufa, aproximadamente 100 g de amostra (em triplicata) foram pesadas em balança de precisão e dispostas em estufa a 45 °C até peso constante. As cascas secas foram armazenadas em dessecador de sílica em gel. O teor de Umidade foi determinado por meio da Equação 1.

$$\text{Teor de umidade (\%)} = \left( \frac{m_i - m_f}{m_i} \right) \times 100 \quad (1)$$

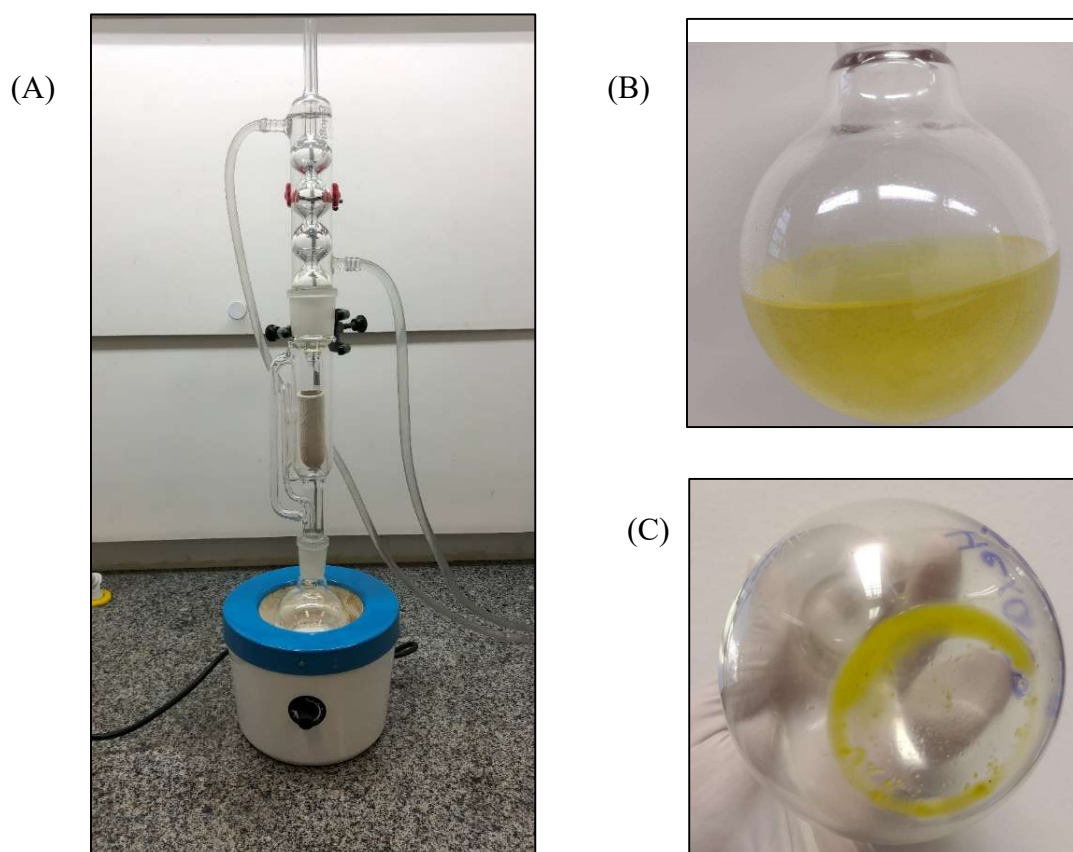
Em que:  $m_i$  = massa inicial da matéria prima (g); e  $m_f$  = massa final da matéria prima após secagem (g).

### 4.3.2. Teor de Lipídios

Para determinação do teor de lipídios presentes na casca da banana foi aplicado o método de extração sólido líquido Soxhlet (em duplicata), utilizando como solvente etanol (98%). Aproximadamente 5 g da biomassa foi pesada em um cartucho de celulose e inserido no Soxhlet acoplado a um balão com 150 ml sob a manta aquecedora. Ao totalizar 4 horas de extração, a mistura contendo extrato + solvente foi levado a estufa a fim de evaporar o solvente e permanecer apenas o óleo. O teor de lipídios foi calculado por meio da Equação 2:

$$\text{Rendimento lipídios (\%)} = \left( \frac{\text{Massa do óleo extraído}}{\text{Massa da matéria prima}} \right) \times 100 \quad (2)$$

**Figura 6.** (A) Esquema de montagem do aparelho Soxhlet, (B) Solvente + óleo e (C) Óleo concentrado após evaporação do solvente.



Fonte: O autor, 2022.

### 4.3.3. Teor de Cinzas

Para determinação do Teor de cinzas (Tc) foi seguida a metodologia empregada por PYAR e PEH (2018) utilizando mufla modelo Quimis. Aproximadamente 2 g da Casca da banana, em duplicata, foi pesada na balança Analítica Bel M214-AIH, posteriormente foram acondicionados em cadinhos de porcelana e encaminhados para carbonização em mufla a 550°C por 5 horas.

A mudança na massa em função da temperatura foi avaliada até que a massa atingisse estado estacionário. Após carbonizadas, as cinzas foram levadas para dessecador de sílica em gel até atingirem temperatura ambiente e pesadas. O Teor das cinzas foi obtido pela Equação 3.

$$TC (\%) = \left( \frac{(Massa\ do\ cadinho\ com\ as\ cinzas - Massa\ do\ cadinho\ vazio)}{Massa\ da\ amostra} \right) \times 100 \quad (3)$$

### 4.4. Preparo do Solvente (NADES)

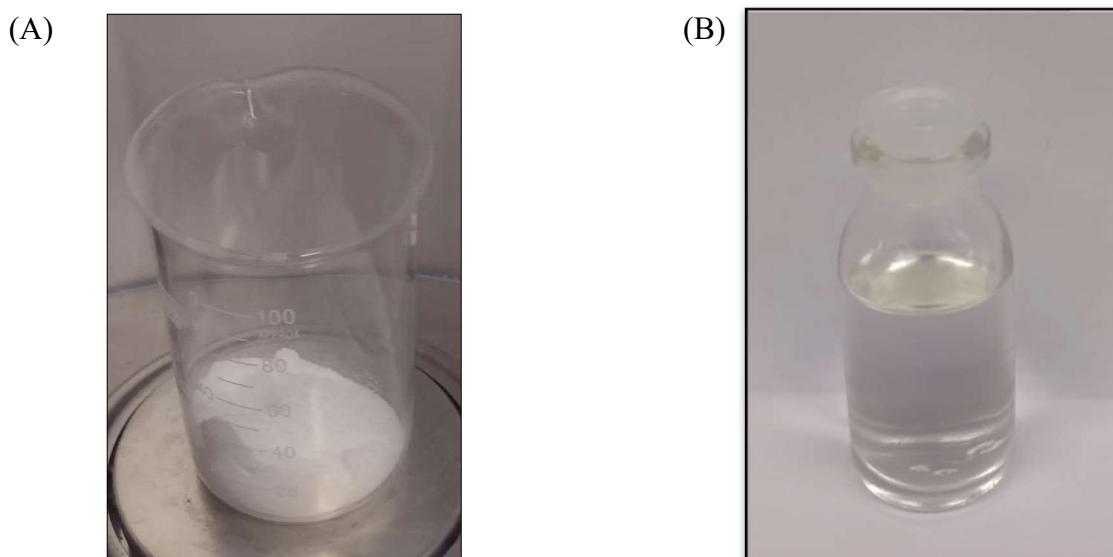
A preparação dos NADES seguiu a metodologia proposta por ABBOTT et al. (2004). Os HBA e HBD foram adicionados a um béquer na proporção apresentada na Tabela 4 levadas para chapa aquecedora mantida sob agitação à temperatura de 80°C por 30 minutos, resultando em uma mistura eutética, densa e translúcida. O armazenamento dos solventes ocorreu em dessecador de sílica em gel, onde permaneceu até o uso.

**Tabela 4.** Razão molar dos componentes para preparo dos NADES

Componentes	Razão Molar da Mistura
[Ch]Cl + AO	1:1
[Ch]Cl + AC + H <sub>2</sub> O	2:1:6.55
[Ch]Cl + AL	1:1

**Fonte:** O autor, 2022.

**Figura 7.** (A) Mistura de [Ch]Cl + AO, (B) Solvente NADES



Fonte: O autor, 2022.

#### 4.5. Planejamento experimental

O planejamento experimental utilizado para efetuar a otimização da extração de compostos fenólicos presentes na casca da banana (*Musa spp*) foi a metodologia de superfície de resposta de composto central rotacional (CCRD 2<sup>3</sup>) de cinco níveis e três variáveis sendo estas temperaturas °C, razão sólido/solvente e concentração água/solvente expresso pelo modelo de resposta da Equação 4:

$$y_1 = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_3x_3 + \beta_{11}x_1^2 + \beta_{22}x_2^2 + \beta_{33}x_3^2 + \beta_{12}x_1x_2 + \beta_{13}x_1x_3 + \beta_{23}x_2x_3 \quad (4)$$

Em que:  $y_1$  é a concentração;  $x_1, x_2, x_3$  são os níveis das variáveis codificadas e  $\beta$  é o coeficiente estimado sobre a resposta.

A Tabela 5 apresenta as variáveis e os níveis que foram testados.

**Tabela 5.** Níveis e variáveis dos fatores do CCRD

Variáveis	Níveis				
	-1,68	-1	0	1	1,68
Temperatura °C	33,3	40	50	60	66,7
Razão sólido/solvente (m/v)	0,05	0,1	0,175	0,25	0,30
Concentração de água/solvente (v/v)	16,5	25	37,5	50	58,4

**Fonte:** Próprio autor, 2022

Foram realizados 17 experimentos, sendo estes, 8 pontos fatoriais (+1 e -1), 6 pontos axiais ( $\alpha$  e  $-\alpha$ ) e 3 repetições no ponto central, como pode ser visto na Tabela 6.

**Tabela 6.** Ensaios para o planejamento experimental, destacando os pontos centrais

Ensaio	Codificada			Decodificada		
	Temperatura (°C)	Razão sólido/Solvente (m/v)	Conc. água/Solvente (v/v)	Temperatura (°C)	Razão sólido/Solvente (m/v)	Conc. água/solvente (v/v)
1	-1	-1	-1	40	0,10	25
2	-1	1	1	40	0,25	50
3	1	-1	1	60	0,10	50
4	1	1	-1	60	0,25	25
5	-1	-1	1	40	0,10	50
6	-1	1	-1	40	0,25	25
7	1	-1	-1	60	0,10	25
8	1	1	1	60	0,25	50
9	-1,67	0	0	33,27	0,18	37,5
10	1,67	0	0	66,73	0,18	37,5
11	0	-1,67	0	50	0,05	37,5
12	0	1,67	0	50	0,30	37,5
13	0	0	-1,67	50	0,18	16,58
14	0	0	1,67	50	0,18	58,42
15	0	0	0	50	0,18	37,5
16	0	0	0	50	0,18	37,5
17	0	0	0	50	0,18	37,5

**Fonte:** Próprio autor, 2022

A análise de dados para obtenção das condições ótimas de extração foi executada no software StatSoft Statistica© 7.0. Foram realizados cálculos para determinar os efeitos de cada variável, assim como os coeficientes e erros atribuídos. O teste t de Stent foi aplicado para estabelecer os parâmetros estatísticos da regressão a um nível de significância de 5% ( $p < 0,05$ ).

#### 4.6. Mecanismo de extração

Em um tubo de ensaio foram adicionados 0,2 g da biomassa seca, juntamente ao NADES (Tabela 5). Em seguida, os tubos foram levados a extração assistida por micro-ondas (MAE) modelo Discovery System nº 908005, série nº DU9203, configurado de acordo com a Tabela 7.

**Tabela 7.** Configuração MAE

<b>Configuração</b>	<b>Ajuste</b>
Temperatura (°C)	Conforme Design experimental (TABELA 5)
Potência	30 W
Tempo	5 min

**Fonte:** Próprio autor, 2022

Os extratos obtidos foram caracterizados por meio de espectrofotômetro determinando os fenólicos totais presentes. As respostas encontradas foram aplicadas no software StatSoft Statistica© designando o ponto ótimo dos experimentos. De acordo com as condições otimizadas, foram realizadas novas extrações com NADES e com solventes convencionais, quantificando-se os fenólicos totais, flavonoides totais e determinando a capacidade antioxidante dos extratos.

#### 4.7. Caracterização dos extratos

Para caracterização dos fenólicos totais, flavonoides totais e determinação da capacidade antioxidante dos extratos empregou-se o espectrofotômetro UV-Vis Modelo: SP1105 SPECTROPHOTOMETER - P/NO KJ1B09091811.

##### 4.7.1 Fenólicos totais

A determinação da concentração dos compostos fenólicos totais foi realizada aplicando a metodologia proposta por SINGLETON e ROSSI (1965) com adaptações empregando como reagente Folin-Ciocalteu. O método aplicado é baseado em reações colorimétricas onde os fenólicos totais existentes no extrato reagem com o Folin-Ciocalteu que, ao oxidar os fenóis, se reduz a óxido de tungstênio (W8O23) e de molibdênio (Mo8O23) formando um complexo azul que pode ser quantificado por espectrofotometria. Para uma absorção máxima é necessária uma solução alcalina.

(BLAINSKI; LOPES; DE MELLO, 2013). Uma curva de calibração com ácido gálico nas concentrações de 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350 e 500 mg. L<sup>-1</sup> foi construída para as análises. Em um tubo de ensaio foi adicionado 100 µL do extrato diluído (1:10), 4,5 mL de água destilada e 100 µL de Folin-Ciocalteu. A solução foi misturada em agitador vórtex Warmnest (VX-38) e mantida em repouso por cerca de 3 minutos. Logo após houve a adição de 300 µL de solução de carbonato de sódio (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) a 10% (m/v) e a solução foi, novamente, mantida em repouso por 2 horas na ausência de luz. Após este tempo, a absorvância das amostras foi medida em espectrofotômetro (Modelo: SP1105 SPECTROPHOTOMETER – P/NO KJ1B09091811) a 760 nm em cubeta de quartzo.

#### **4.7.2. Flavonoides totais**

A caracterização de flavonoides totais foi realizada por espectrofotômetro seguindo o procedimento relatado por WOISKY; SALATINO (1998) , modificado pelos pesquisadores CHANG et al. (2020) que empregaram o método colorimétrico com cloreto de alumínio (AlCl<sub>3</sub>). Para construção da curva de calibração foi utilizada o padrão de quercetina diluído em etanol 80% nas concentrações de 5, 10, 15, 20 e 25 mg. L<sup>-1</sup>. Em um tubo de ensaio foram adicionados 0,5 ml do extrato diluído (1:5), 1,5 ml de etanol 95%, 0,1 ml de solução de cloreto de alumínio a 10 % m/v, 0,1 ml de acetato de potássio e 2,8 ml de água destilada. A solução foi misturada em agitador vórtex e, logo após, mantida em repouso por 30 minutos. Finalizado o tempo de incubação, as amostras foram submetidas a leitura em espectrofotômetro a 415 nm em cubeta de quartzo. Na curva de calibração, o extrato foi substituído pelas concentrações de quercetina e para o branco por água destilada.

#### **4.7.3. Atividade Antioxidante (AA)**

A atividade antioxidante dos extratos da casca da banana foi determinada seguindo a metodologia aplicada por BRAND-WILLIAMS; CUVELIER; BERSSET (1995) com modificações, pela redução do radical estável DPPH (2,2- Difenil-1-picrilhidrazilo), de coloração púrpura. Com a ação de um antioxidante, o DPPH é convertido a difenil-picril-hidrazina (DPPH-H) de coloração amarela. Uma solução foi produzida com DPPH e metanol em concentração de 6,0.10<sup>-5</sup> (mol. L<sup>-1</sup>) levados para banho ultrassônico modelo 521 – 3D n° série: 18988/09 cod: BAN.521.0302 por 40 minutos, sendo completamente dissolvido. Foram preparadas amostras de controle

contendo a DPPH e o solvente utilizado na extração ( $A^0$ ). A leitura da absorvância foi feita a 517 nm. Em um tubo de ensaio foram adicionados 4 ml da solução de DPPH e 100  $\mu$ L do extrato e a mistura foi agitada e mantida em repouso ao abrigo de luz por 30 minutos. Posteriormente, foi medida a absorvância ( $A^t$ ) em espectrofotometro. Os experimentos foram realizados em duplicata e calculados conforme a Equação 5.

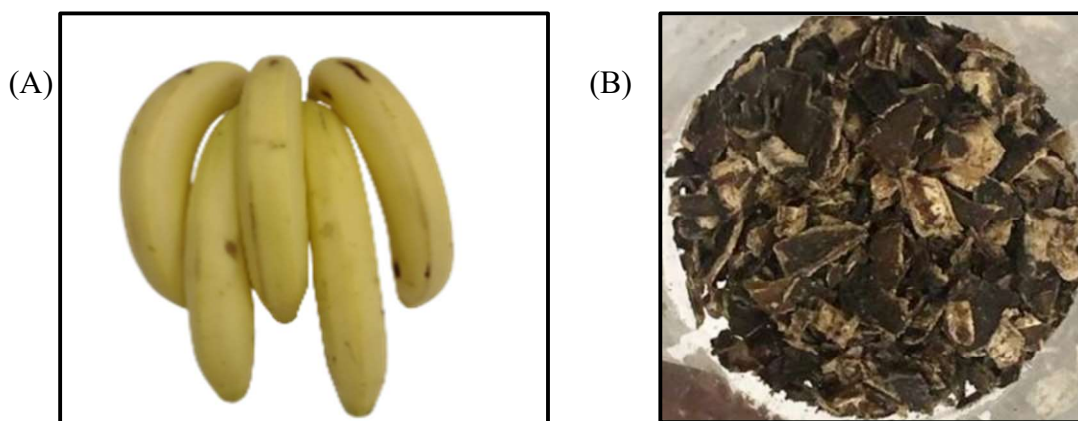
$$AA (\%) = \left( \frac{A^0 - A^t}{A^0} \right) \times 100 \quad (5)$$

Em que AA é a atividade antioxidante;  $A^0$  é a absorvância de controle medida no tempo zero e  $A^t$  é a absorvância medida após 30 minutos.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 8 apresenta a banana *Cavendish* (nanica) utilizado na pesquisa (A) e a casca após o processo de secagem (B).

**Figura 8.** (A) Banana *Cavendish* e (B) Casca da banana (*Musa spp*) após secagem.



Fonte: O autor, 2022.

### 5.1. Teor de Umidade

Segundo BORGIO et al. (2010), a umidade pode propiciar a degradação dos princípios ativos, uma vez que é capaz de acarretar a atividade hidrolítica de numerosas enzimas encontradas nas células vegetais e o desenvolvimento de microrganismos. A casca da banana foi seca em triplicata e obtido o teor de umidade de  $89,6\% \pm 0,9$ . De acordo com dados disponíveis em literatura como mostra a Tabela 8, o resultado obtido está dentro da faixa encontrada em publicações.

**Tabela 8.** Resultados obtidos em literatura do teor de umidade da casca da banana

<b>Autor</b>	<b>Teor de Umidade (%)</b>
NERIS et al. (2018)	83,61± 4,03
GONZÁLEZ-MONTELONGO; GLORIA LOBO; GONZÁLEZ (2010)	88 ± 2
GONZÁLEZ-MONTELONGO; LOBO; GONZÁLEZ (2010)	89 ± 1
GONDIM et al. (2005)	89,47

**Fonte:** O autor, 2022.

## 5.2. Teor de Lipídios

A extração do óleo da casca da banana foi realizada segundo a metodologia aplicada por AWELE OKOLIE; HENRY; EPELLE, 2016, com modificações, o resultado obtido em porcentagem foi de 16,8%±1,4 próximo aos encontrados por ROSSO (2009) e SILVA et al. (2020), 12% e 14,42% ± 0.37 respectivamente.

O óleo da casca da banana contém fitosteróis, contribuintes para a diminuição do nível de colesterol, ácidos graxos poli saturados, que reduzem o risco de doenças inflamatórias (NILSSON et al., 1988).

## 5.2. Teor de Cinzas

A avaliação do teor de cinzas indica a quantidade de substância residual não-volátil presentes na biomassa da casca da banana (*Musa spp*). Trata-se de resíduos inorgânicos presentes na matéria orgânica, ou seja, mede a quantidade de minerais totais, como, cobre (Cu), sódio (Na), potássio (K), cálcio (Ca), etc., sendo estes de grande importância para os seres humanos pois contribuem para o funcionamento do organismo, favorecendo para uma melhor qualidade de vida (BRAGA et al., 2007; OLIVEIRA et al., 2021).

O teor de cinzas obtido da amostra da casa da banana (*Musa spp*) foi de 9,4%, resultado semelhante aos atingidos por IJAZ et al. (2023), 9,76% e 8,8% por PYAR; PEH (2018).

**Figura 9.** Cinzas da casca da banana (*Musa spp*)

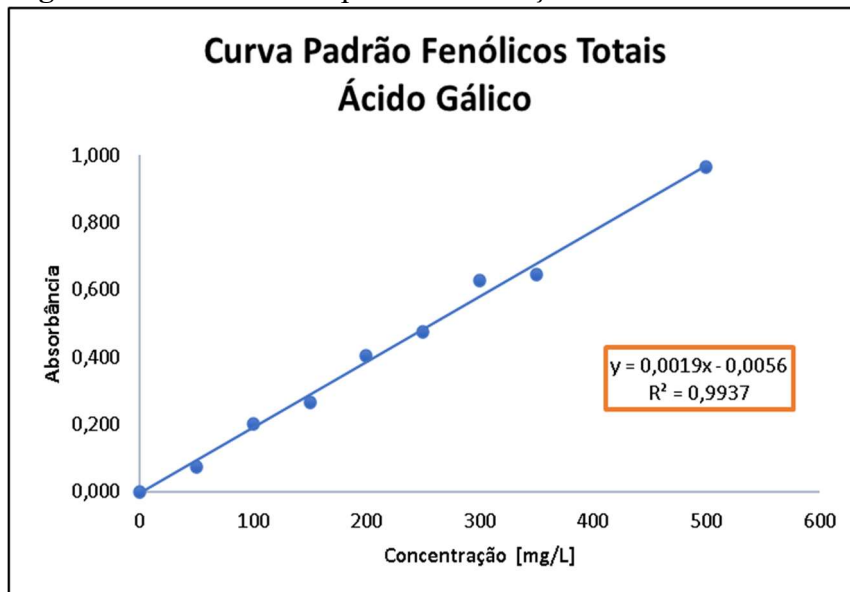


**Fonte:** O autor, 2022.

### 5.3. Curvas de Calibração

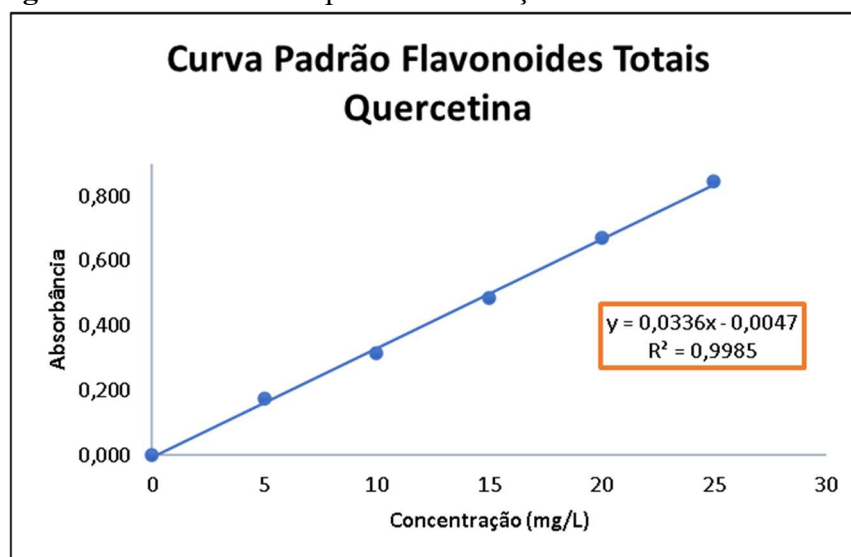
A determinação da concentração de fenólicos e flavonoides totais foram constituídas a partir das concentrações de ácido gálico (tópico 4.6.1) e quercetina (tópico 4.6.2), representadas graficamente nas Figuras 10 e 11, contendo a equação obtida para cada composto e o coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

**Figura 10.** Curva Padrão para determinação de Fenólicos Totais



**Fonte:** O autor, 2022.

**Figura 11.** Curva Padrão para determinação de Flavonoides Totais



**Fonte:** O autor, 2022.

#### 5.4. Planejamento Experimental

As amostras foram levadas a MAE conforme planejamento experimental CCRD  $2^3$  apresentado no tópico 4.6.1 empregando como solvente os NADES produzidos neste estudo.

Para avaliar a influência da temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), razão (sólido/solvente) e concentração (água/solvente) sobre a concentração de fenólicos nos extratos para diferentes NADES (Tabela 9), empregou-se a MRS com o auxílio do software estatístico STATISTICA® 7.0.

**Tabela 9.** Matriz do planejamento experimental + Concentração de fenólicos totais presentes na casca da banana (*Musa spp*) empregando NADES variados.

Ensaio	Temperatura °C	Razão sólido/Solvente (m/v)	Conc. água/solvente (v/v)	Conc. [Ch]Cl:AO (g. L-1)	Conc. [Ch]Cl:AC (g. L-1)	Conc. [Ch]Cl:AL (g. L-1)
1	40	0,10	25	1,13	1,23	0,66
2	40	0,25	50	2,85	2,43	2,42
3	60	0,10	50	1,56	1,39	0,79
4	60	0,25	25	2,91	2,20	2,05
5	40	0,10	50	1,55	1,52	1,28
6	40	0,25	25	1,78	2,14	1,17
7	60	0,10	25	1,11	1,25	0,74
8	60	0,25	50	3,08	2,33	2,38
9	33,27	0,18	37,5	1,02	2,33	1,12
10	66,73	0,18	37,5	2,04	2,02	1,56
11	50	0,05	37,5	0,64	0,84	0,49
12	50	0,30	37,5	2,11	2,77	1,40
13	50	0,18	16,58	0,68	1,12	0,83
14	50	0,18	58,42	1,91	2,02	1,65
15	50	0,18	37,5	1,88	1,98	1,27
16	50	0,18	37,5	1,69	1,69	1,47
17	50	0,18	37,5	1,56	1,59	0,78

Fonte: O autor, 2022.

#### 5.4.1. Otimização da extração de Fenólicos Totais

A otimização da concentração dos fenólicos totais foi realizada a fim de identificar os parâmetros de desejabilidade aplicando-os na extração dos flavonoides totais e na caracterização da atividade antioxidante presentes na casca da banana (*Musa spp*).

Os efeitos das variáveis independentes (temperatura, razão e concentração) sobre a variável dependente (concentração fenólicos totais) foram avaliados a um nível de significância de 95% de confiabilidade, apresentados nas Tabela 10, 11 e 12. Os efeitos significativos foram destacados em negrito.

**Tabela 10.** Estimativa dos efeitos para extração de compostos fenólicos totais com NADES [Ch]Cl:AO

Fatores	Efeito	Erro Puro	t(2)	p	Intervalo de Confiança (-)	Intervalo de Confiança (+)
<b>Intercepto</b>	<b>1,6206</b>	<b>0,0939</b>	<b>17,2502</b>	<b>0,0033</b>	<b>1,2164</b>	<b>2,0248</b>
<b>(1)T (°C) (L)</b>	<b>0,4418</b>	<b>0,0884</b>	<b>4,9996</b>	<b>0,0378</b>	<b>0,0616</b>	<b>0,8221</b>
T (°C) (Q)	0,1653	0,0976	1,6931	0,2325	-0,2548	0,5854
<b>(2)Razão (m/v) (L)</b>	<b>1,1255</b>	<b>0,0884</b>	<b>12,7266</b>	<b>0,0061</b>	<b>0,745</b>	<b>1,5061</b>
Razão (m/v) (Q)	0,0821	0,0985	0,8335	0,4922	-0,3417	0,5059
<b>(3)Conc. (v/v) (L)</b>	<b>0,6093</b>	<b>0,0884</b>	<b>6,8955</b>	<b>0,0204</b>	<b>0,2291</b>	<b>0,9895</b>
Conc. (v/v) (Q)	-0,0009	0,0976	-0,0095	0,9933	-0,4208	0,4189
1L by 2L	0,3491	0,115	3,0342	0,0936	-0,1459	0,844
1L by 3L	-0,2128	0,1151	-1,8478	0,2059	-0,7082	0,2827
2L by 3L	0,0975	0,115	0,8479	0,4858	-0,3974	0,5925

**Fonte:** O autor, 2022.

**Tabela 11.** Estimativa dos efeitos para extração de compostos fenólicos totais com NADES [Ch]Cl:AC:H<sub>2</sub>O

Fatores	Efeito	Erro Puro	t (2)	p	Intervalo de Confiança (-)	Intervalo de Confiança (+)
<b>Intercepto</b>	<b>1,7189</b>	<b>0,1168</b>	<b>14,7211</b>	<b>0,0046</b>	<b>1,2165</b>	<b>2,2213</b>
(1) T (°) (L)	-0,0984	0,1098	-0,8955	0,4650	-0,5710	0,3742
T (°C) (Q)	0,2902	0,1213	2,3918	0,1392	-0,2319	0,8123
<b>(2) Razão (m/v) (L)</b>	<b>1,0227</b>	<b>0,1099</b>	<b>9,3045</b>	<b>0,0114</b>	<b>0,5498</b>	<b>1,4957</b>
Razão (m/v) (Q)	0,0524	0,1224	0,4282	0,7102	-0,4743	0,5792
<b>(3) Conc. (v/v) (L)</b>	<b>0,3481</b>	<b>0,1098</b>	<b>3,1692</b>	<b>0,0868</b>	<b>-0,1245</b>	<b>0,8206</b>
Conc. (v/v) (Q)	-0,1397	0,1213	-1,1520	0,3684	-0,6615	0,3821
1L by 2L	0,0116	0,1430	0,0809	0,9429	-0,6036	0,6268
1L by 3L	-0,0755	0,1431	-0,5273	0,6506	-0,6912	0,5403

2L by 3L	0,0051	0,1430	0,0356	0,9748	-0,6101	0,6203
----------	--------	--------	--------	--------	---------	--------

**Fonte:** O autor, 2022.

**Tabela 12.** Estimativa dos efeitos para extração de compostos fenólicos totais com NADES [Ch]Cl:AL

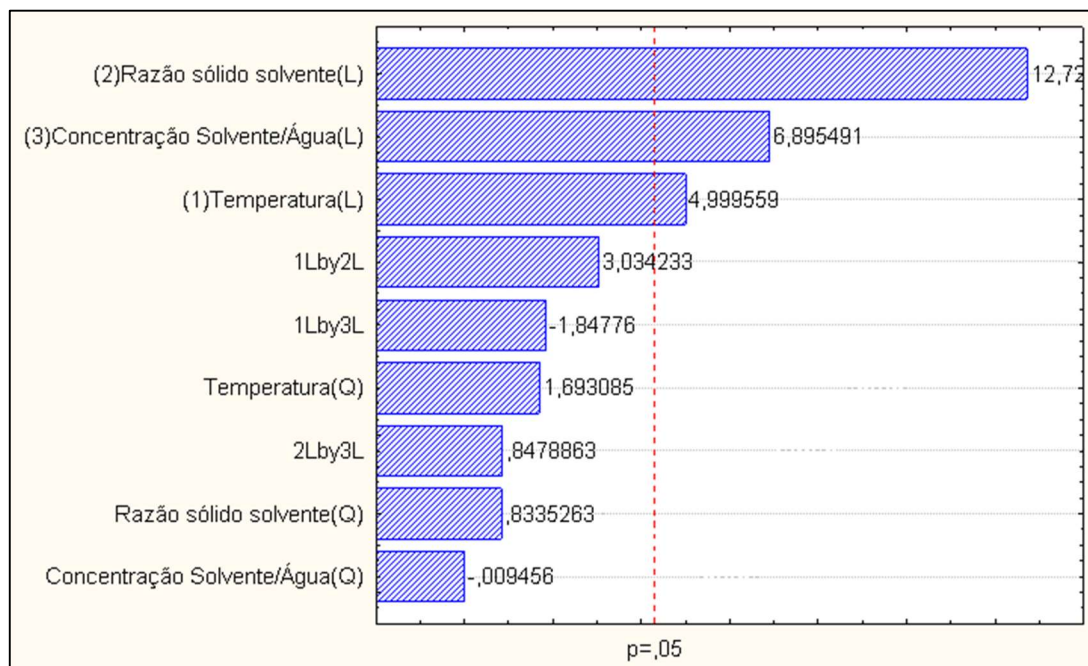
Fatores	Efeito	Erro Puro	t (2)	p	Intervalo de Confiança (-)	Intervalo de Confiança (+)
<b>Intercepto</b>	<b>1,1207</b>	<b>0,2051</b>	<b>5,4645</b>	<b>0,0319</b>	<b>0,2383</b>	<b>2,0031</b>
(1) T (°C) (L)	0,1629	0,1929	0,8442	0,4875	-0,6672	0,9930
T (°C) (Q)	0,2466	0,2131	1,1570	0,3668	-0,6705	1,1636
<b>(2) Razão (m/v) (L)</b>	<b>0,8931</b>	<b>0,1931</b>	<b>4,6258</b>	<b>0,0437</b>	<b>0,0624</b>	<b>1,7238</b>
Razão (m/v) (Q)	-0,0119	0,2150	-0,0553	0,9609	-0,9371	0,9133
(3) Conc. (v/v) (L)	0,5237	0,1929	2,7150	0,1131	-0,3062	1,3537
Conc. (v/v) (Q)	0,1750	0,2130	0,8217	0,4976	-0,7415	1,0915
1L by 2L	0,3128	0,2511	1,2454	0,3391	-0,7678	1,3933
1L by 3L	-0,3778	0,2514	-1,5031	0,2717	-1,4594	0,7037
2L by 3L	0,2252	0,2511	0,8966	0,4645	-0,8554	1,3057

**Fonte:** O autor, 2022.

As Tabelas 10, 11 e 12 demonstram que os modelos apresentam parâmetros lineares significativos. As estimativas referentes a extrações realizadas com NADES [Ch]Cl:AO alcançaram significância linear nas variáveis referente a temperatura (1), razão (2) e concentração (3) enquanto as extrações com NADES [Ch]Cl:AC:H<sub>2</sub>O e [Ch]Cl:AL, apresentaram linear na razão (2).

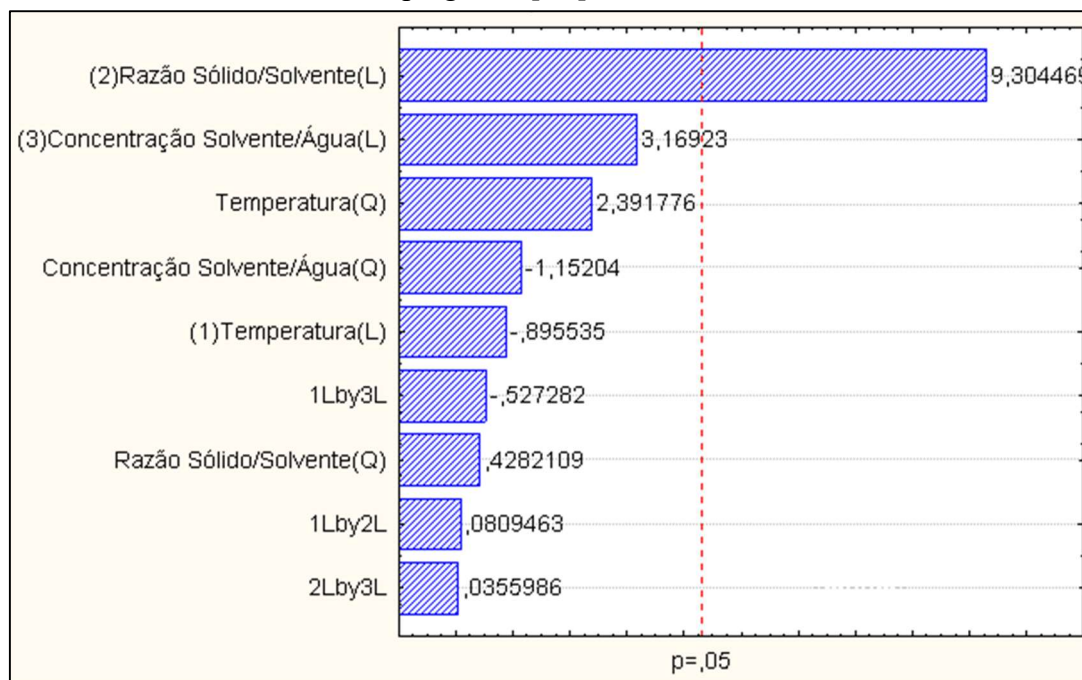
Para melhor visualização dos efeitos de maior e menor significância foram criados os diagramas de Pareto apresentados nas Figuras 12, 13 e 14. Os gráficos identificam os efeitos por meio do nível de significância estatística ( $p=0,05$ ) destacada pela linha tracejada, demonstrando assim, a variável que interfere para obtenção de maior rendimento dos extratos fenólicos.

**Figura 12.** Diagrama de Pareto para extração de fenólicos totais da Casca da Banana empregando [Ch]Cl:AO



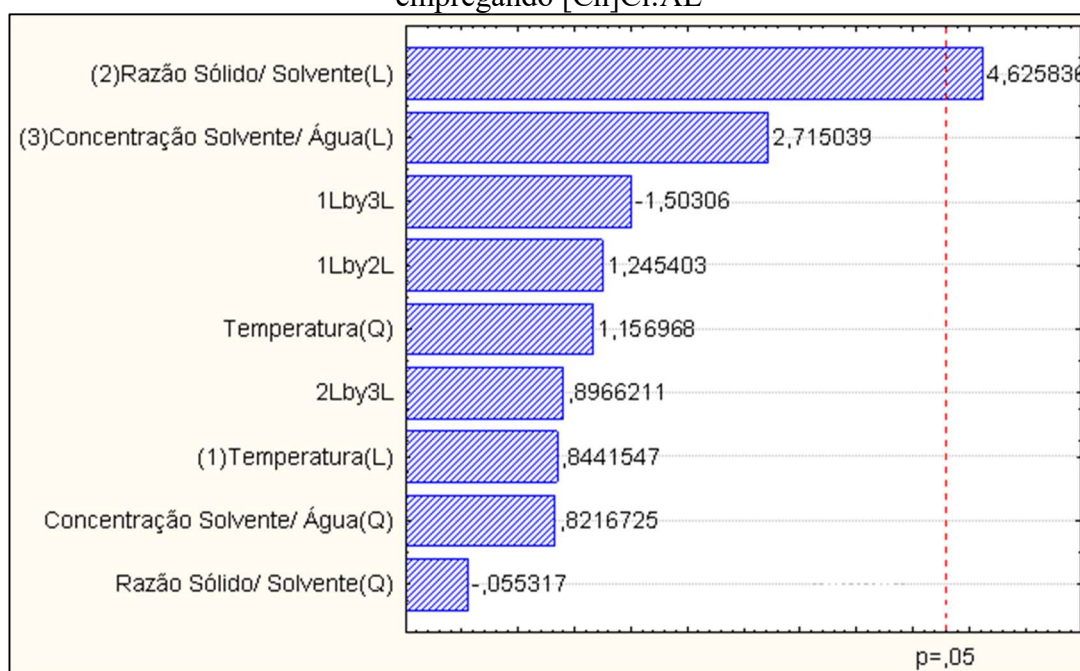
Fonte: O autor, 2022.

**Figura 13.** Diagrama de Pareto para extração de fenólicos totais da Casca da Banana empregando [Ch]Cl:AC:H<sub>2</sub>O



Fonte: O autor, 2022.

**Figura 14.** Diagrama de Pareto para extração de fenólicos totais da Casca da Banana empregando [Ch]Cl:AL

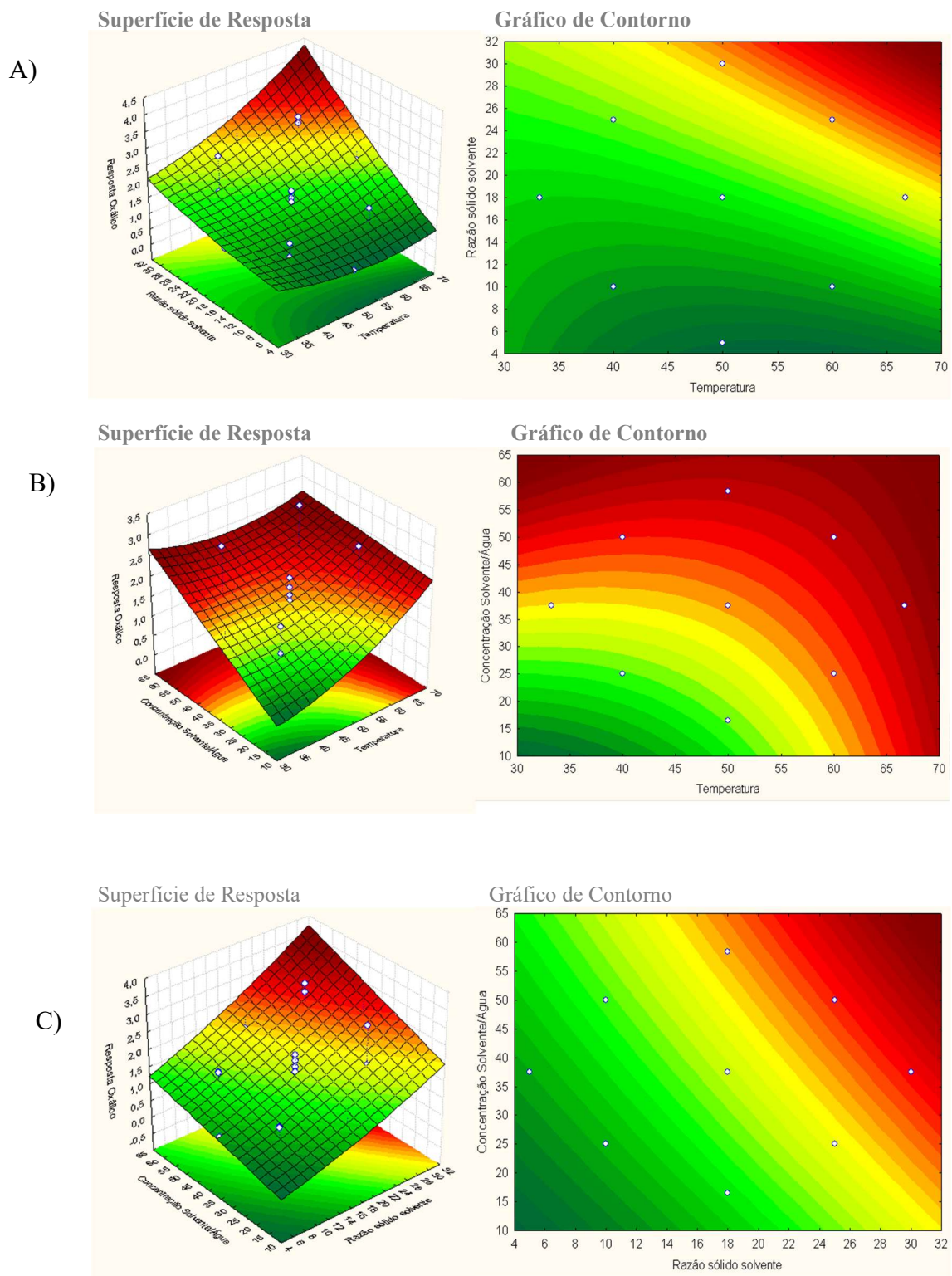


**Fonte:** O autor, 2022.

O  $R^2$  obtido para os coeficientes de regressão para extrações com diferentes NADES foram:  $R^2$  80,0 % ([Ch]Cl:AO),  $R^2$  95,0% ([Ch]Cl:AC:H<sub>2</sub>O) e  $R^2$  84,8% ([Ch]Cl:AL).

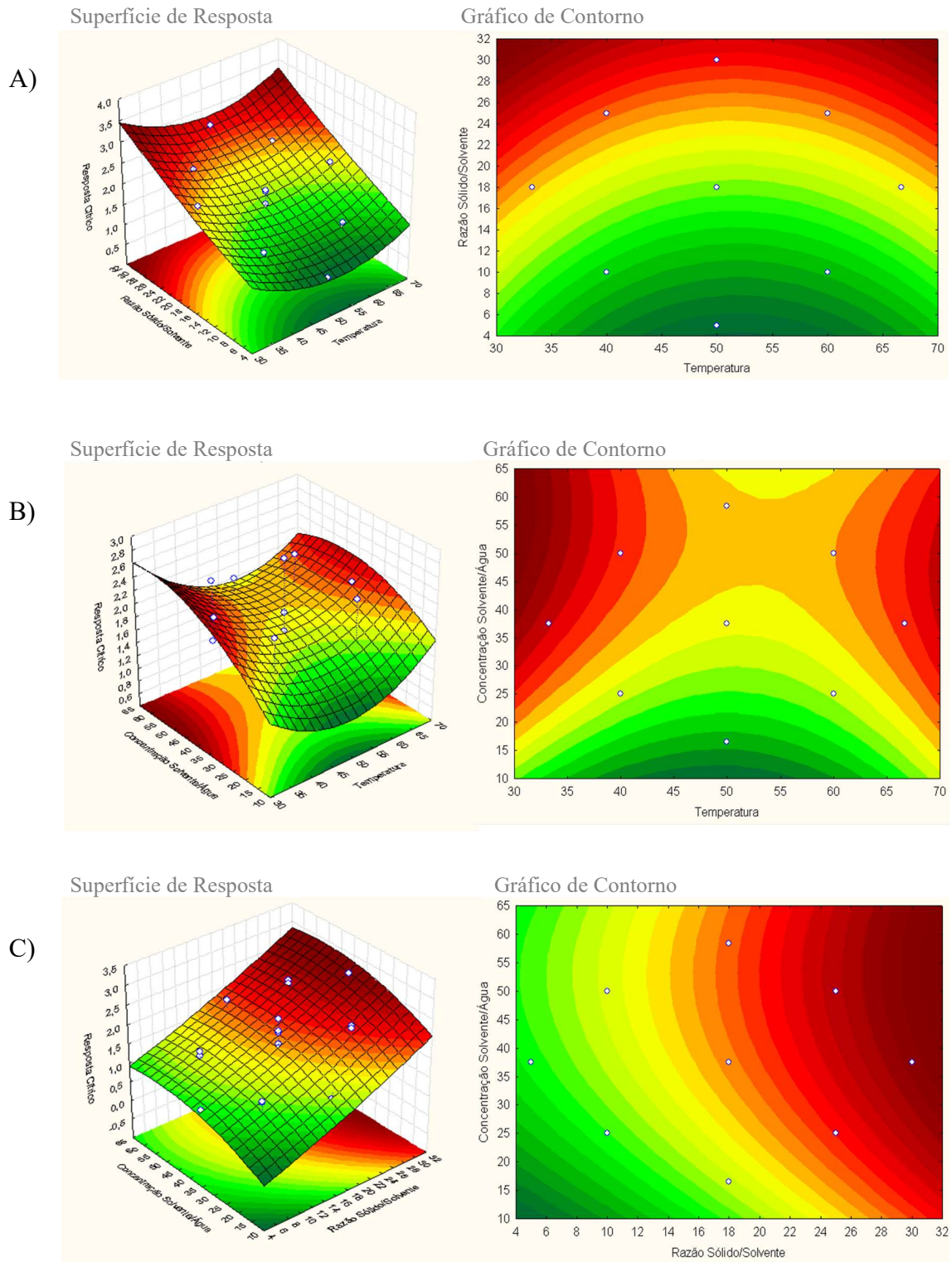
A MRS foi aplicada gerando a superfície de respostas apresentadas nas Figuras 15, 16 e 17 juntamente com seus gráficos de contorno. Esse método permite uma melhor visualização da região ótima do sistema, onde um fator foi mantido constante. Os gráficos de contorno (Figuras 15, 16 e 17) apresentam superfície de resposta para o rendimento de fenólicos totais presentes na casca da banana (*Musa spp*), inicialmente demonstra-se as variáveis temperatura e razão, fixando a concentração (A), em seguida apresentam-se a temperatura e concentração, fixando assim a razão (B) e para concluir, as variáveis razão e concentração, fixando a temperatura (C).

**Figura 15.** Superfície de resposta e gráfico de contorno para o rendimento dos Fenólicos com efeitos para as variáveis (A) Temperatura e Razão, (B) Temperatura e Concentração e (C) Razão e Concentração para extrações com [Ch]Cl:AO.



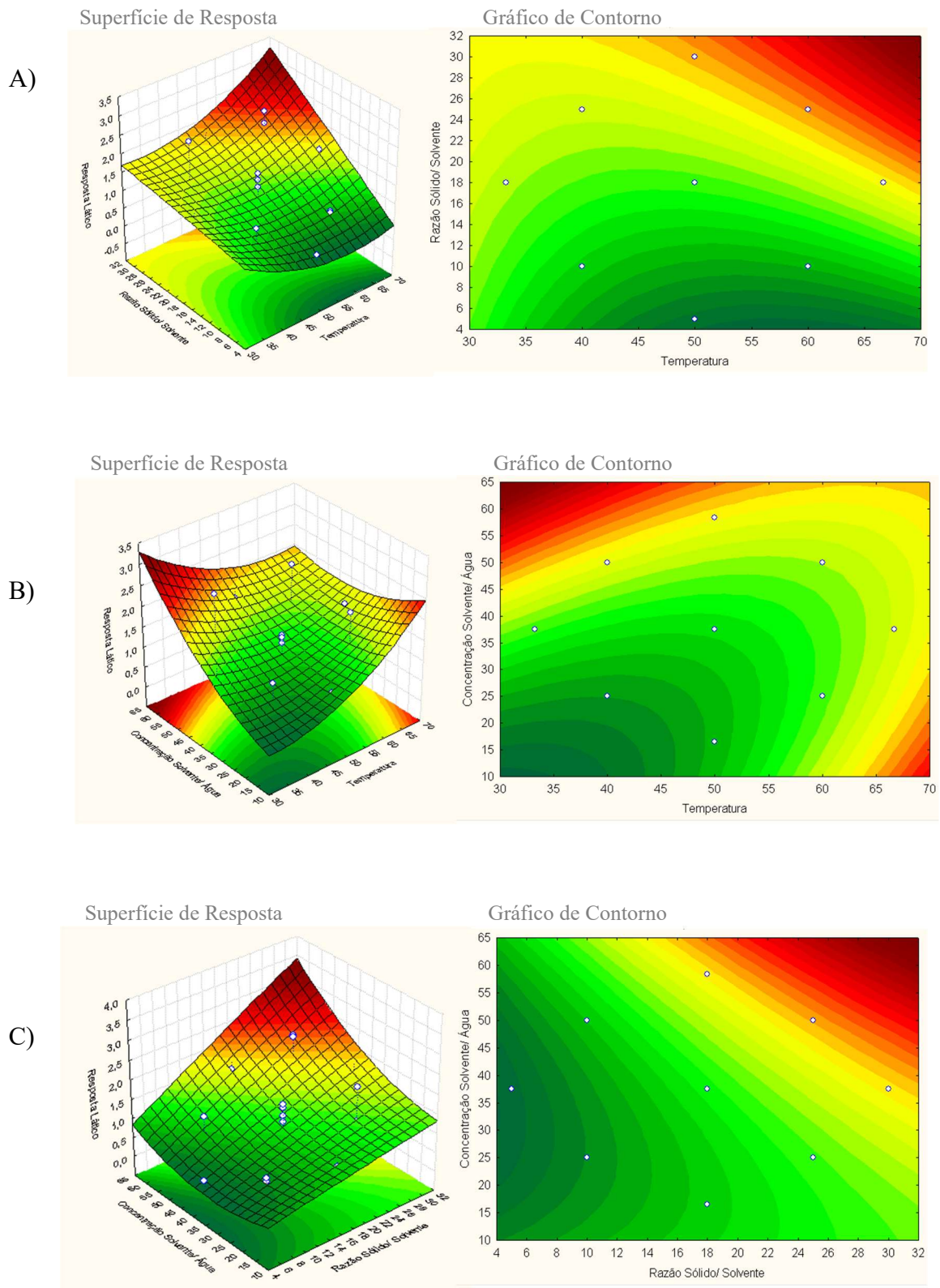
Fonte: O autor, 2022.

**Figura 16.** Superfície de resposta e gráfico de contorno para o rendimento dos Fenólicos com efeitos para as variáveis (A) Temperatura e Razão, (B) Temperatura e Concentração e (C) Razão e Concentração para extrações com [Ch]Cl:AC:H<sub>2</sub>O



Fonte: O autor, 2022.

**Figura 17.** Superfície de resposta e gráfico de contorno para o rendimento dos Fenólicos com efeitos para as variáveis (A) Temperatura e Razão, (B) Temperatura e Concentração e (C) Razão e Concentração para extrações com [Ch]Cl:AL.



Fonte: O autor, 2022.

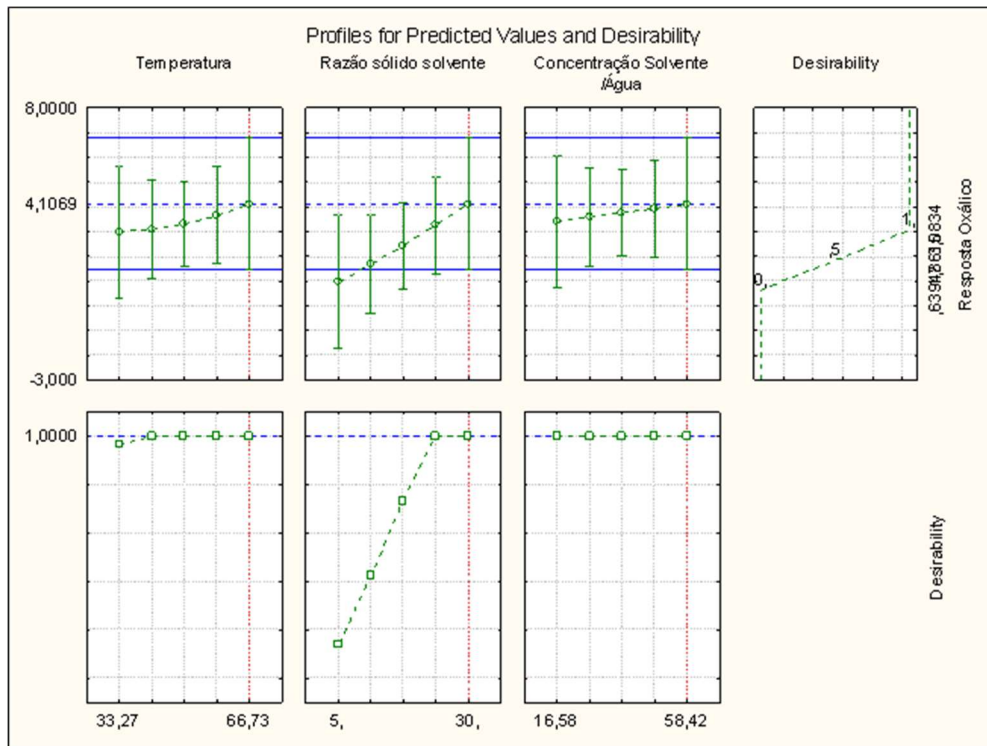
Ao avaliar as superfícies de respostas, juntamente com seus devidos gráficos de contorno, identifica-se que maiores rendimentos de fenólicos totais extraídos da casca da banana (*Musa spp*), na Figura 15 está associado a Temperatura, Razão sólido/solvente e Concentração solvente/água, Figura 16 e 17 razão sólido solvente.

Por se tratar de um estudo onde a matéria prima principal é de origem vegetal é importante retratar as particularidades presentes nas análises. A casca da banana ao entrar em contato com o solvente, o absorve, tornando-se difícil a separação do extrato da matéria prima após a MEA, o que influencia no aumento da razão sólido/solvente. Outrossim, é a influência da temperatura na biomassa, segundo PESSOA (2009), temperaturas elevadas podem deteriorar a matéria prima, sendo capaz de prejudicar o rendimento dos compostos bioativos. Nesse cenário, a aplicação de um planejamento experimental juntamente com o conceito de química verde, mostra-se essencial minimizando os custos envolvidos no processo como gastos dispendiosos com número de análises maiores que o necessário e utilização inadequada dos solventes.

Os perfis de cada variável empregado do estudo (Temperatura, Razão, Concentração) foram otimizados empregando o método de desejabilidade proposto por DERRINGER; SUICH (1980). Este método possibilita a otimização de uma ou mais respostas de um modelo, encontrando condições operacionais que estejam em acordo com os critérios de todas as respostas obtidas e que proporcionem os valores de resposta mais desejáveis. Essa função se baseia na transformação de cada resposta individual para uma escala adimensional de desejabilidades individuais ( $d_i$ ). Calculando a média geométrica das desejabilidades individuais, obtém-se a desejabilidade global ( $D$ ) com o objetivo de maximizá-la. A escala de desejabilidade varia de 0 a 1, em que 0 representa uma resposta inaceitável e 1 a resposta desejada. Essa função pode ser empregada na busca por valores-alvo ou ao menos mantê-los em faixas desejáveis.

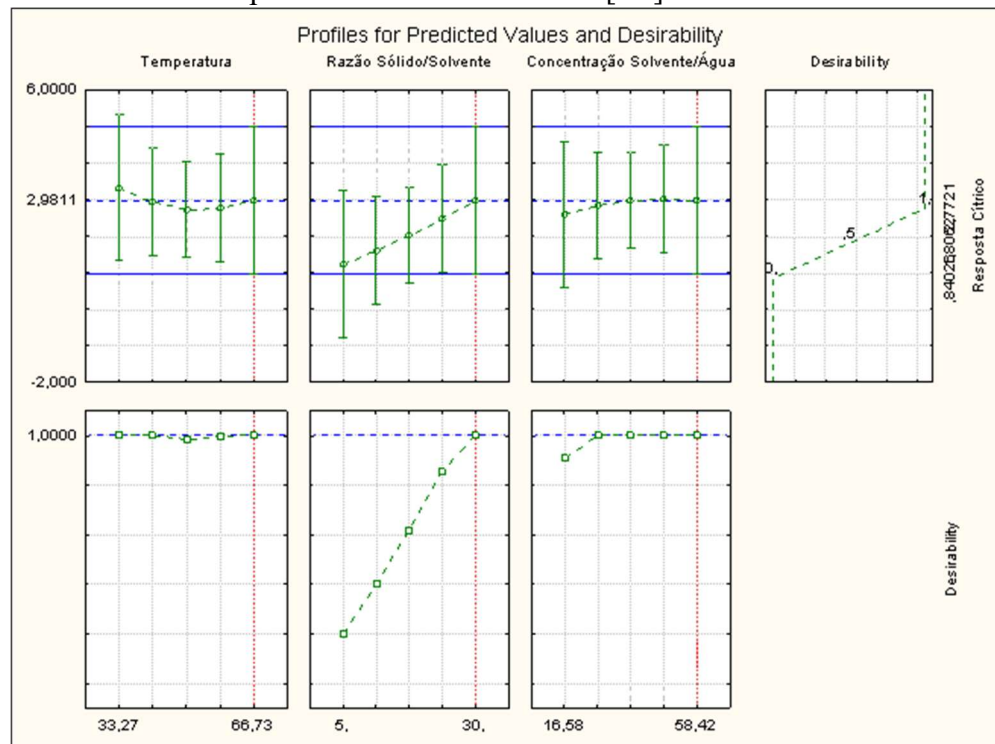
As Figuras 18, 19 e 20, apresentam o Perfil dos valores preditos/otimizados e desejabilidade para a eficiência da extração de compostos fenólicos totais. Os três primeiros perfis presentes nos gráficos descrevem a razão entre os valores previstos e otimizados. O quarto perfil corresponde a desejabilidade ( $D$ ) desta razão, oscilando de 0 a 1, nota-se que quanto maior o valor de  $D$  mais conveniente é a resposta do sistema. Os três últimos perfis apresentam a desejabilidade de cada variável separadamente. Por fim, as linhas tracejadas verticais indicam as condições de máxima desejabilidade.

**Figura 18.** Perfil de valores preditos/otimizados e desejabilidade para extração de compostos fenólicos totais com [Ch]Cl:AO



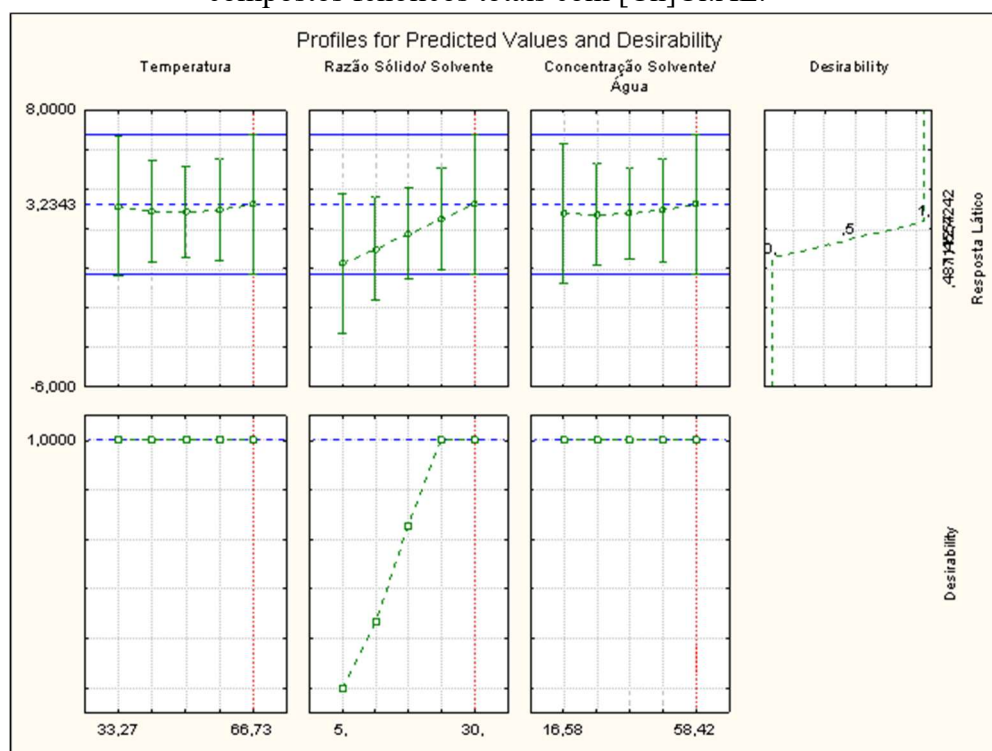
Fonte: O autor, 2022.

**Figura 19.** Perfil de valores preditos/otimizados e desejabilidade para extração de compostos fenólicos totais com [Ch]Cl:AC:H<sub>2</sub>O



Fonte: O autor, 2022.

**Figura 20.** Perfil de valores preditos/otimizados e desejabilidade para extração de compostos fenólicos totais com [Ch]Cl:AL.



Fonte: O autor, 2022.

Analisando os gráficos, verifica-se que os perfis desejáveis obtidos para as extrações com [Ch]Cl:AO, [Ch]Cl:AC:H<sub>2</sub>O e [Ch]Cl:AL são similares, sendo estes, 66,73°C para temperatura, 30% de razão sólido/líquido e 58,42% de Concentração água/solvente (v/v).

Com base nos resultados obtidos, novas extrações foram efetuadas empregando o ponto ótimo, com exceção da temperatura que ao analisada nota-se que em todo processo sua influência permaneceu constante. Desta forma adotou-se a temperatura de 50°C visando a não deterioração da matéria. Além dos NADES, foram avaliados os solventes convencionais acetatos de etila e etanol para efeitos de comparação. As concentrações foram calculadas conforme equação apresentada na Figura 10 e os resultados alcançados estão apresentados na Tabela 13.

**Tabela 13.** Concentração de fenólicos totais nas condições ótimas nos extratos de NADES, acetato de etila e etanol.

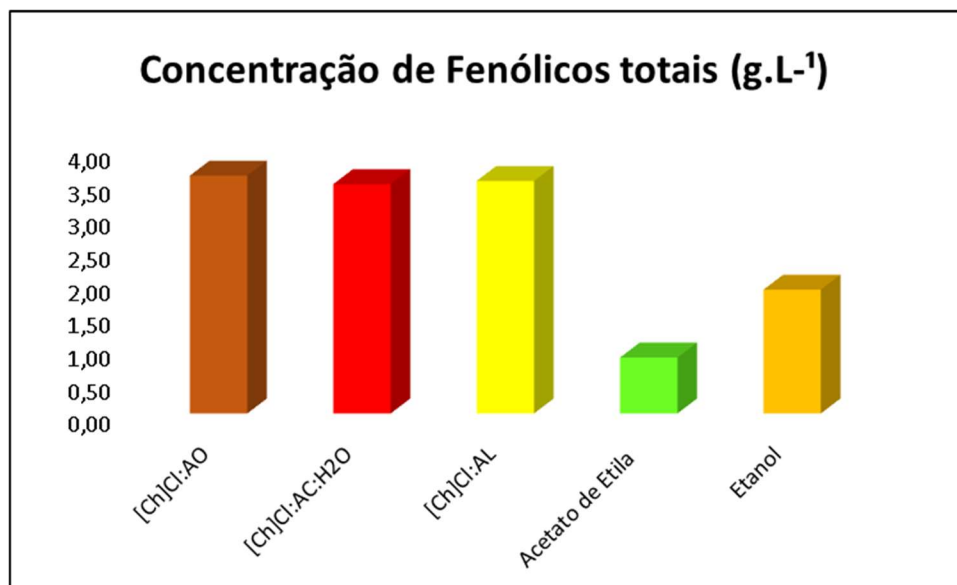
<b>Solvente</b>	<b>Concentração (g. L<sup>-1</sup>)</b>
[Ch]Cl:AO	3,59±0,16
[Ch]Cl:AC:H <sub>2</sub> O	3,49±0,19
[Ch]Cl:AL	3,51±0,15
Acetato de Etila	0,84
Etanol (98%)	1,87±0,03

**Fonte:** O autor, 2022.

Avaliando-se os resultados obtidos (Tabela 13), observa-se que as extrações realizadas com solventes NADES obtiveram rendimentos superiores ao etanol e acetato de etila, mostrando-se uma boa alternativa para os solventes convencionais.

A Figura 21 permite melhor visualização dos resultados, identificando que o [Ch]Cl:AO, [Ch]Cl:AC:H<sub>2</sub>O e [Ch]Cl:AL obtiveram valores similares.

**Figura 21.** Representação visual da Concentração de fenólicos totais presentes nos extratos da casca da banana



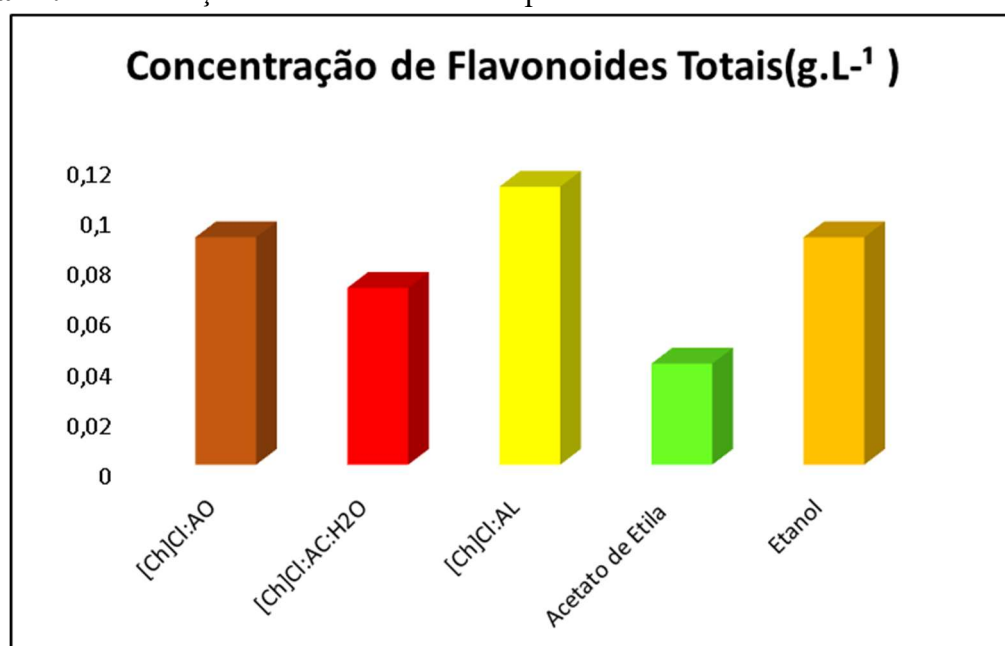
**Fonte:** O autor, 2022.

O rendimento superior dos extratos fenólicos presentes na casca da banana (*Musa spp*) obtidos através de NADES, podem estar atrelados a ampla faixa de polaridade que os solventes detêm, isto é, possuem afinidade a compostos polares e não polares o que expande o alcance de extração (VANDA et al., 2018b). DAI et al. (2013) empregaram diferentes NADES nas extrações de fenólicos em Cártamo, planta com ampla gama de polaridade, empregada no desenvolvimento de medicamentos (ASGARPANAH; KAZEMIVASH, 2013). Em suas pesquisas, DAI et al., (2013) mostra que os NADES obtiveram resultados superiores de compostos fenólicos a extração realizada com etanol e água, chegando em até 95% de rendimento.

### 5.5. Determinação dos Flavonoides Totais

Os extratos obtidos no ponto ótimo empregando NADES e solventes convencionais foram analisados quanto ao teor de Flavonoides totais. As concentrações alcançadas foram apresentadas na Figura 22.

**Figura 22.** Concentração de flavonoides totais presente nos extratos da casca da banana.



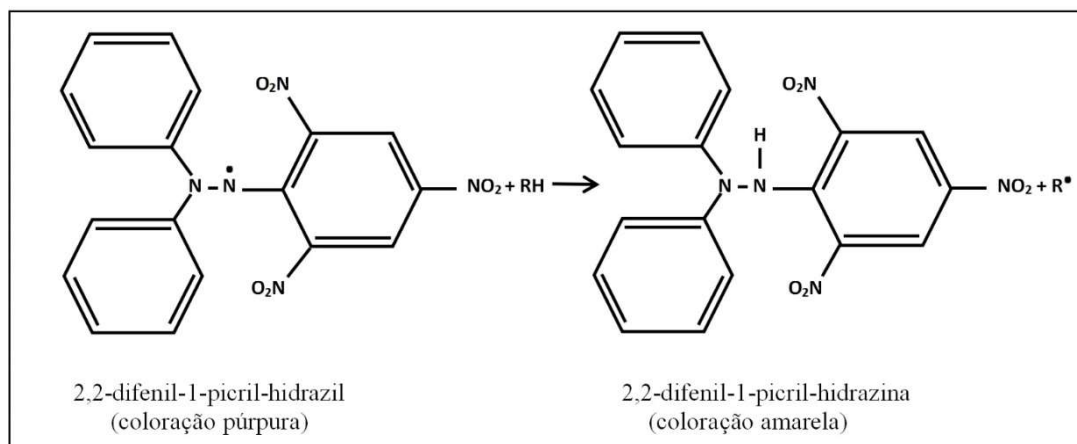
Fonte: O autor, 2022.

A amostra com acetato de etila apresentou concentração de flavonoides totais inferiores aos demais extratos, o que pode estar associado a afinidade dos solventes aos compostos de interesse (SPENCER LIMA, 2014).

### 5.6. Determinação da Atividade Antioxidante (AA)

A atividade antioxidante presente nos extratos da casca da banana obtidos com NADES e solventes convencionais, foram determinadas (em duplicata) através do método da captura do radical estável DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazila) pela ação de um antioxidante (Figura 23). Ao adicionar o extrato na solução DPPH preparada conforme tópico 4.7 do presente estudo, pode-se verificar o início da mudança de coloração imediatamente, como apresentado na Figura 24 (A), indicando a presença do antioxidante. Após o tempo de pausa de 30 minutos, pode ser observada a completa mudança de coloração, passando de roxo para amarelo como visto na Figura 24 (B), realizando assim a leitura dos resultados no espectrofotômetro e as expressando como o percentual da atividade antioxidante (%AA) na Tabela 14.

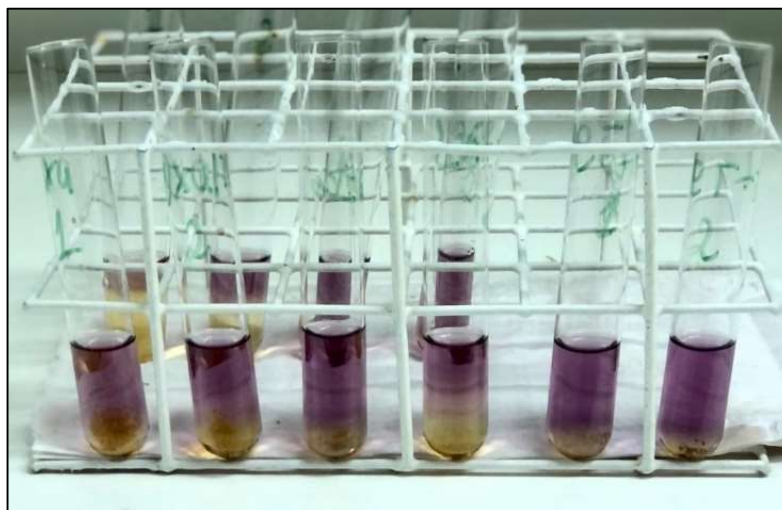
**Figura 23.** Representação da reação química do radical DPPH com um antioxidante.



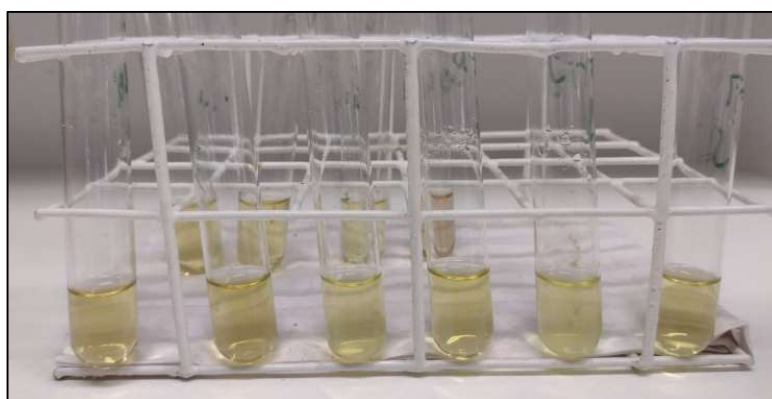
**Fonte:** PYRZYNSKA; PEKAL, 2013.

**Figura 24.** Processo do sequestro do radical estável DPPH – A) Momento inicial solução de DPPH + Extratos. B) Tempo final da reação.

(A)



(B)



**Fonte:** O autor, 2022

**Tabela 14.** Atividade antioxidante dos extratos da casca da banana pelo método do sequestro do radical DPPH.

<b>Solvente</b>	<b>% AA</b>
[Ch]Cl:AO	91,00
[Ch]Cl:AC:H <sub>2</sub> O	92,76
[Ch]Cl:AL	93,58
Acetato de Etila	83,94
Etanol (98%)	82,71

**Fonte:** O autor, 2022

Quanto maior a absorção de DPPH pela amostra, maior o valor da atividade antioxidante. Todas as amostras apresentaram níveis satisfatórios de atividade antioxidante em relação às porcentagens. No entanto, ao analisar a Tabela 14, é notável que as amostras com a extração com NADES tiveram resultados aproximadamente 10% superiores em comparação aos solventes convencionais.

Não foram encontrados em literatura estudos afins de comparação da atividade antioxidante de extratos da casca da banana extraídos empregando NADES, porém, ao analisar a Figura 22, nota-se que o solvente que obteve maior concentração de flavonoides totais se trata do mesmo que alcançou a maior capacidade antioxidante, sintetizado a partir do ácido láctico, [Ch]Cl:AL. Os dados obtidos sustentam a tese retratada em estudos anteriores, de que flavonoides são um dos principais compostos fenólicos com capacidade antioxidante (RAUHA et al., 2000).

## 6. CONCLUSÃO

No presente estudo, foi apresentado a otimização da extração de fenólicos totais da casca da banana (*Musa spp*) por meio da MAE utilizando NADES, avaliando as variáveis aplicadas (temperatura, razão biomassa/solvente e concentração água/solvente) obtendo desta forma o ponto ótimo e o empregando na extração de flavonoides totais, analisando também a atividade antioxidante presente nos extratos.

Ao analisar as amostras identificou-se que os solventes eutéticos profundos naturais são uma alternativa favorável para a extração de compostos fenólicos, uma vez que seus resultados foram superiores aos solventes tradicionais empregados. Observa-se que o extrato da casca da banana obtido do NADES sintetizado com ácido láctico, [Ch]Cl:AL, pode ser considerado o mais vantajoso uma vez que a concentração de flavonoides totais e a capacidade antioxidante mostraram-se significativos em relação aos demais solventes.

Faz-se necessário destacar que por ser uma matéria prima vegetal, os resultados dos extratos da casca da banana podem sofrer alteração dependendo do estado de maturação da fruta, mudanças climáticas, variação do solo e até mesmo a utilização de agrotóxicos.

Por meio do planejamento experimental empregado no estudo (CCRD 2<sup>3</sup>), foi possível otimizar o processo de extração e validar a eficácia dos NADES, podendo ser considerados solventes promissores para obtenção de compostos bioativos, visto que são provenientes de fontes renováveis, possuem menor custo, serem biodegradáveis e não tóxicos.

Novos estudos devem ser realizados visando aprofundamento nos benefícios dos compostos bioativos presentes na casca da banana utilizando solventes eutéticos profundos naturais, podendo contribuir cada vez mais em pesquisas de cosméticos naturais e fármacos.

## 7. REFERÊNCIAS

ABBOTT, A. P. et al. Deep Eutectic Solvents formed between choline chloride and carboxylic acids: Versatile alternatives to ionic liquids. **Journal of the American Chemical Society**, v. 126, n. 29, 2004.

ACHMAD, H.; PUTRI, A. Contents of banana peel extract as hemostasis in wound healing. **Annals of the Romanian Society for Cell Biology**, v. 25, n. 1, 2021.

AGUILERA, Y.; MARTIN-CABREJAS, M. A.; GONZÁLEZ DE MEJIA, E. consumed as part of the mediterranean diet: their role in prevention of chronic. **Phenolic compounds in fruits and beverages diseases. Phytochemistry Reviews**, 2016.

ANAL, A. K.; JAISANTI, S.; NOOMHORM, A. Enhanced yield of phenolic extracts from banana peels (*Musa acuminata* Colla AAA) and cinnamon barks (*Cinnamomum varum*) and their antioxidative potentials in fish oil. **Journal of Food Science and Technology**, v. 51, n. 10, 2014.

ANHWANGE, B. A.; UGYE, T. J.; NYIAATAGHER, T. D. Chemical composition of *Musa sapientum* (Banana) peels. **Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry**, v. 8, n. 6, 2009.

ASGARPANA, J.; KAZEMIVASH, N. Phytochemistry, pharmacology and medicinal properties of *Carthamus tinctorius* L. **Chinese Journal of Integrative Medicine**, v. 19, n. 2, p. 153–159, 31 fev. 2013.

AWELE OKOLIE, J.; HENRY, O. E.; EPELLE, E. I. Determination of the Antioxidant Potentials of Two Different Varieties of Banana Peels in Two Different Solvents. **Food and Nutrition Sciences**, v. 07, n. 13, p. 1253–1261, 2016.

AZIZ, A. H. A. et al. Extraction of Phenolic Compound using Natural Deep Eutectic Solvent from Biomass Waste. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 1192, n. 1, 2021.

BARBA, F. J. et al. Bioaccessibility of bioactive compounds from fruits and vegetables after thermal and nonthermal processing. **Trends in Food Science and Technology**, 2017.

BARBA, F. J.; ESTEVE, M. J.; FRÍGOLA, A. Bioactive components from leaf vegetable products. Em: **Studies in Natural Products Chemistry**. [s.l: s.n.]. v. 41.

BIANCHI, Márcia. **Banana Verde-Propriedades e Benefícios**, 2010. Disponível em <<https://www.uece.br/wp-content/uploads/sites/82/2021/07/BananaVerdePropriedadeseBeneficios.pdf>>. Acesso em: 19/03/2024.

BIESALSKI, H. K. et al. Bioactive compounds: Definition and assessment of activity. **Nutrition**, v. 25, n. 11–12, 2009.

BLAINSKI, A.; LOPES, G.; DE MELLO, J. Application and Analysis of the Folin Ciocalteu Method for the Determination of the Total Phenolic Content from *Limonium Brasiliense* L. **Molecules**, v. 18, n. 6, p. 6852–6865, 10 jun. 2013.

BORGO, J. et al. Influência dos processos de secagem sobre o teor de flavonoides e na atividade antioxidante dos extratos de *Baccharis articulata* (Lam.) Pers., Asteraceae. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 20, n. 1, 2010.

BRAGA, T. V et al. Determinação de massa fresca, massa seca, água e cinzas totais de folhas de *Cissus verticillata* (L.) Nicolson & C. E. Jarvis subsp. *verticillata* e avaliação do processo de secagem em estufa com ventilação forçada. **Revista de Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada Journal of Basic and Applied Pharmaceutical Sciences Rev. Ciênc. Farm. Básica Apl**, p. 287–290, 2007.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. **Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity**. **LWT - Food Science and Technology**, 1995.

CARBONELL-CAPELLA, J. M. et al. Analytical methods for determining bioavailability and bioaccessibility of bioactive compounds from fruits and vegetables: A review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 13, n. 2, 2014.

CHANG, C.-C. et al. Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. **Journal of Food and Drug Analysis**, v. 10, n. 3, 14 jul. 2020.

CUNHA, S. C.; FERNANDES, J. O. **Extraction techniques with deep eutectic solvents. TrAC - Trends in Analytical Chemistry**, 2018.

DAI, Y. et al. Natural deep eutectic solvents as new potential media for green technology. **Analytica Chimica Acta**, v. 766, 2013a.

DAI, Y. et al. Natural Deep Eutectic Solvents as a New Extraction Media for Phenolic Metabolites in *Carthamus tinctorius* L. **Analytical Chemistry**, v. 85, n. 13, p. 6272–6278, 2 jul. 2013b.

DERRINGER, G.; SUICH, R. Simultaneous Optimization of Several Response Variables. **Journal of Quality Technology**, v. 12, n. 4, p. 214–219, 22 out. 1980.

DHOUBI, N. et al. Hydrodistillation residues of *Centaurea nicaeensis* plant for copper and zinc ions removal: Novel concept for waste re-use. **Journal of Cleaner Production**, v. 261, 2020.

DIAS, D. A.; URBAN, S.; ROESSNER, U. A Historical overview of natural products in drug discovery. **Metabolites**, 2012.

CARDOSO, Fernanda dos Santos; NERY, Tatiana Barreto Rocha; LEAL, Ingrid Lessa. **Caracterização dos Compostos Bioativos em Bagaço de Frutas e Hortaliças**. In: VI Seminário de Avaliação de Pesquisa Científica e Tecnológica (SAPCT) e V Workshop de Integração e Capacitação em Processamento de Alto Desempenho (ICPAD) - SENAI CIMATEC, 2021. Disponível em: <<https://doity.com.br/anais/sapcticpad2021/trabalho/186298>>. Acesso em: 21/03/2024.

GÓMEZ, A. V. et al. Microwave-assisted extraction of soluble sugars from banana puree with natural deep eutectic solvents (NADES). **LWT**, v. 107, 2019.

GONDIM, J. A. M. et al. Composição centesimal e de minerais em cascas de frutas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 4, p. 825–827, dez. 2005.

GONZÁLEZ, C. G. et al. Application of natural deep eutectic solvents for the “green” extraction of vanillin from vanilla pods. **Flavour and Fragrance Journal**, v. 33, n. 1, 2018.

GONZÁLEZ-MONTELONGO, R.; GLORIA LOBO, M.; GONZÁLEZ, M. Antioxidant activity in banana peel extracts: Testing extraction conditions and related bioactive compounds. **Food Chemistry**, v. 119, n. 3, p. 1030–1039, 1 abr. 2010.

GONZÁLEZ-MONTELONGO, R.; LOBO, M. G.; GONZÁLEZ, M. The effect of extraction temperature, time and number of steps on the antioxidant capacity of methanolic banana peel extracts. **Separation and Purification Technology**, v. 71, n. 3, p. 347–355, 10 mar. 2010.

HAPPI EMAGA, T. et al. Effects of the stage of maturation and varieties on the chemical composition of banana and plantain peels. **Food Chemistry**, v. 103, n. 2, 2007.

HERNÁNDEZ BECERRA, E.; DE JESÚS PÉREZ LÓPEZ, E.; ZARTHA SOSSA, J. W. Recovery of Biomolecules from Agroindustry by Solid-Liquid Enzyme-Assisted Extraction: a Review. **Food Analytical Methods**, 2021.

HIDALGO, M.; SÁNCHEZ-MORENO, C.; DE PASCUAL-TERESA, S. Flavonoid-flavonoid interaction and its effect on their antioxidant activity. **Food Chemistry**, v. 121, n. 3, 2010.

HUANG, Y. et al. Green and efficient extraction of rutin from tartary buckwheat hull by using natural deep eutectic solvents. **Food Chemistry**, v. 221, 2017.

HUBER, L. S.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Flavonóis E Flavonas: Fontes Brasileiras E Fatores Que Influenciam a Composição Em. **Alimentos Nutrição**, v. 19, n. 1, 2008.

IJAZ, N. et al. Structural and functional investigations of wall material extracted from banana peels. **International Journal of Food Properties**, v. 26, n. 1, p. 1636–1644, 22 set. 2023.

INAN, A. et al. The effect of purified micronized flavonoid fraction on the healing of anastomoses in the colon in rats. **Surgery Today**, v. 36, n. 9, 2006.

JUSTINO, C. I. L. et al. Classical methodologies for preparation of extracts and fractions. Em: **Comprehensive Analytical Chemistry**. [s.l: s.n.]. v. 65.

KHAMSUCHARIT, P. et al. Characterization of pectin extracted from banana peels of different varieties. **Food Science and Biotechnology**, v. 27, n. 3, 2018.

KUMAR, P. S. et al. Structural, functional characterization and physicochemical properties of green banana flour from dessert and plantain bananas (*Musa spp.*). **LWT**, v. 116, 2019.

LEE, S.-H.; KIM, J.-H. Kinetic and thermodynamic characteristics of microwave-assisted extraction for the recovery of paclitaxel from *Taxus chinensis*. **Process Biochemistry**, v. 76, p. 187–193, jan. 2019.

LEWIS, D. A.; FIELDS, W. N.; SHAW, G. P. A natural flavonoid present in unripe plantain banana pulp (*Musa sapientum* L. var. *paradisica*) protects the gastric mucosa from aspirin-induced erosions. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 65, n. 3, 1999.

LI, X.; ROW, K. H. Development of deep eutectic solvents applied in extraction and separation. **Journal of Separation Science**, 2016.

LISKOVA, A. et al. Flavonoids in cancer metastasis. **Cancers**, v. 12, n. 6, 2020.

LIU, Y. et al. Natural Deep Eutectic Solvents: Properties, Applications, and Perspectives. **Journal of Natural Products**, v. 81, n. 3, p. 679–690, 23 mar. 2018.

LOPES, Susane et al. **Perfil químico do extrato aquoso de cascas de banana (*Musa SP.*, cv. Prata Anã) e avaliação in vitro dos seus efeitos sobre a cicatrização de lesões cutâneas e fotoproteção à radiação UVB.** 2019. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/206374>>. Acesso em 15/12/2023.

MEIRELES, M. A. A. **Extracting Bioactive Compounds for Food Products - Theory and Applications.** *Contemporary food engineering*, 2009.

MISHRA, B. B.; TIWARI, V. K. **Natural products: An evolving role in future drug discovery.** *European Journal of Medicinal Chemistry*, 2011.

NERIS, T. S. et al. Avaliação físico-química da casca da banana (*Musa spp.*) In natura e desidratada em diferentes estádios de maturação. **Ciência e Sustentabilidade**, v. 4, n. 1, p. 5, 10 jul. 2018.

NILSSON, W. B. et al. Fractionation of menhaden oil ethyl esters using supercritical fluid CO<sub>2</sub>. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 65, n. 1, p. 109–117, jan. 1988.

OLIVEIRA, D. H. DE S. et al. A importância de uma alimentação saudável como forma de aumento da imunidade através das vitaminas e minerais. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 12, p. e103101220305, 14 set. 2021.

PAIVA, A. et al. **Natural deep eutectic solvents - Solvents for the 21st century**. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 2014.

PANCHE, A. N.; DIWAN, A. D.; CHANDRA, S. R. **Flavonoids: An overview**. *Journal of Nutritional Science*, 2016.

PARADISO, V. M. et al. Towards green analysis of virgin olive oil phenolic compounds: Extraction by a natural deep eutectic solvent and direct spectrophotometric detection. *Food Chemistry*, v. 212, 2016.

PARK, E.-J.; M. PEZZUTO, J. Flavonoids in Cancer Prevention. **Anti-Cancer Agents in Medicinal Chemistry**, v. 12, n. 8, 2012.

MEDEIROS, VPQ de et al. Determinação da composição centesimal e do teor de minerais da casca e polpa da banana Pacovã (*Musa paradisiaca L.*). Produzida no estado do Rio Grande do Norte. **Reunião Anual da SBPC**, v. 57, 2005. Disponível em: <[https://www.sbpcnet.org.br/livro/57ra/programas/senior/RESUMOS/resumo\\_603.html](https://www.sbpcnet.org.br/livro/57ra/programas/senior/RESUMOS/resumo_603.html)>. Acesso em: 10/05/2023.

PEREIRA, A.; MARASCHIN, M. Banana (*Musa spp*) from peel to pulp: Ethnopharmacology, source of bioactive compounds and its relevance for human health. *Journal of Ethnopharmacology*, 2015.

PEREIRA, Aline. **Determinação Do Perfil Químico E Da Atividade Cicatrizante De Extratos De Casca De Banana Cultivar Prata Anã (*Musa Sp.*) E O Desenvolvimento De Um Curativo Para Pequenas Lesões**, 2014. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/194017>>. Acesso em: 10/06/2023.

ROSSO, Sibeles Recco et al. **Aproveitamento do resíduo da agroindústria da banana: caracterização química e levantamento de parâmetros termodinâmicos**, 2009. Disponível em: <<http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/92351>>. Acesso em 05/10/2022.

PYAR, H.; PEH, K. K. Chemical Compositions of Banana Peels (*Musa sapientum*) Fruits cultivated in Malaysia using proximate analysis. **Research Journal of Chemistry and Environment**, v. 22, n. 2, p. 108–111, 2018.

PYRZYNSKA, K.; PEKAL, A. Application of free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) to estimate the antioxidant capacity of food samples. **Analytical Methods**, v. 5, n. 17, p. 4288, 2013.

RAUHA, J.-P. et al. Antimicrobial effects of Finnish plant extracts containing flavonoids and other phenolic compounds. **International Journal of Food Microbiology**, v. 56, n. 1, p. 3–12, maio 2000.

REBELLO, Ligia Portugal Gomes. **Evaluation of phenolic extraction and characterization of pectin peel flour banana (*Musa AAA*)**. 2013. 105 f. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos; Tecnologia de Alimentos; Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013. Disponível em: <<http://locus.ufv.br/handle/123456789/485>>. Acesso em: 05/11/2023.

REBELLO, L. P. G. et al. Flour of banana (*Musa AAA*) peel as a source of antioxidant phenolic compounds. **Food Research International**, v. 55, 2014.

REIS NOVAK, F.; APRÍGIO GUERRA DE ALMEIDA, J.; DE SOUZA SILVA, R. Casca de banana: uma possível fonte de infecção no tratamento de fissuras mamilares. Banana peel: a possible source of infection in the treatment of nipple fissures. **Jornal de Pediatria**, v. 79, n. 3, 2003.

ROSIDA; SUKARDIMAN; KHOTIB, J. The increasing of vegf expression and re-epithelialization on dermal wound healing process after treatment of banana peel extract (*Musa acuminata* colla). **International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences**, v. 6, n. 11, 2014.

SAGAR, N. A. et al. Fruit and Vegetable Waste: Bioactive Compounds, Their Extraction, and Possible Utilization. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 17, n. 3, 2018.

SEPTEMBRE-MALATERRE, A. et al. Evaluation of nutritional and antioxidant properties of the tropical fruits banana, litchi, mango, papaya, passion fruit and pineapple cultivated in Réunion French Island. **Food Chemistry**, v. 212, 2016.

SIDHU, J. S.; ZAFAR, T. A. **Bioactive compounds in banana fruits and their health benefits. Food Quality and Safety**, 2018.

SILVA, V. et al. Use of paper spray-mass spectrometry to determine the chemical profile of ripe banana peel flour and evaluation of its physicochemical and antioxidant properties. **Química Nova**, 2020.

SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdc-Phosphotungstic Acid Reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 16, n. 3, p. 144–158, 1965.

SMITH, E. L.; ABBOTT, A. P.; RYDER, K. S. **Deep Eutectic Solvents (DESs) and Their Applications. Chemical Reviews**, 2014.

SPENCER LIMA, L. Solvente. **Revista de Ciência Elementar**, v. 2, n. 1, 30 mar. 2014.

SULAIMAN, S.; ABDUL AZIZ, A. R.; AROUA, M. K. Optimization and modeling of extraction of solid coconut waste oil. **Journal of Food Engineering**, v. 114, n. 2, 2013.

Sultana 2008. [s.d.].

TANG, B. et al. Deep eutectic solvent-based HS-SME coupled with GC for the analysis of bioactive terpenoids in *Chamaecyparis obtusa* leaves. **Chromatographia**, v. 77, n. 3–4, 2014.

TANG, B.; ZHANG, H.; ROW, K. H. Application of deep eutectic solvents in the extraction and separation of target compounds from various samples. **Journal of Separation Science**, 2015.

TIMALSENA, S.; LAMICHHANE, P. P. *Astible Rivularis*: Bioactive Compounds and Pharmacological Functions. **Chinese Journal of Integrative Medicine**, 2019.

TIVERON, A. P. et al. Antioxidant Activity of Brazilian Vegetables and Its Relation with Phenolic Composition. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 13, n. 7, p. 8943–8957, 18 jul. 2012.

PESSOA, Thayze Rodrigues Bezerra. **Process evaluation to produce banana (*Musa sapientum*) flour from peels of fresh fruit varieties Prata, Pacovan and Apple**, 2009. 123 f. Dissertação (Mestrado em Química e Bioquímica de Alimentos) - Universidade

Federal da Paraíba, João Pessoa, 2009. Disponível em: <<https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/tede/4061>>. Acesso em: 10/05/2023.

VANDA, H. et al. Green solvents from ionic liquids and deep eutectic solvents to natural deep eutectic solvents. **Comptes Rendus Chimie**, v. 21, n. 6, 2018a.

VANDA, H. et al. Green solvents from ionic liquids and deep eutectic solvents to natural deep eutectic solvents. **Comptes Rendus Chimie**, v. 21, n. 6, p. 628–638, jun. 2018b.

OWOYELE, Bamidele Victor et al. Analgesic, anti-inflammatory and antipyretic activities from flavonoid fractions of *Chromolaena odorata*. **Journal of Medicinal Plants Research**, v. 2, n. 9, p. 219-225, 2008.

VON ATZINGEN, D. A. N. C. et al. Unripe *Musa sapientum* peel in the healing of surgical wounds in rats. **Acta Cirurgica Brasileira**, v. 28, n. 1, 2013.

WEN, Q. et al. Assessing the toxicity and biodegradability of deep eutectic solvents. **Chemosphere**, v. 132, 2015.

WOISKY, R. G.; SALATINO, A. Analysis of propolis: some parameters and procedures for chemical quality control. **Journal of Apicultural Research**, v. 37, n. 2, p. 99–105, 24 jan. 1998.

XIANG, B. et al. Infrared assisted extraction of bioactive compounds from plant materials: Current research and future prospect. **Food Chemistry**, 2022.

XIAO, J.; CHEN, G.; LI, N. **Ionic liquid solutions as a green tool for the extraction and isolation of natural products**. **Molecules**, 2018.

YAN, L. et al. Effect of extraction method and ripening stage on banana peel pigments. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 51, n. 6, 2016.

ZAINAL-ABIDIN, M. H. et al. New horizons in the extraction of bioactive compounds using deep eutectic solvents: A review. **Analytica Chimica Acta**, 2017.

ZHANG, J. W. et al. Extraction and characterization of phenolic compounds and dietary fibres from banana peel. **Acta Alimentaria**, v. 48, n. 4, 2019.

ZHANG, Q. et al. Deep eutectic solvents: Syntheses, properties and applications. **Chemical Society Reviews**, v. 41, n. 21, 2012.