

**INTER-RELACIONES ENTRE COMPOSTOS VEGETAIS E MATERIAIS FUNCIONAIS:
IMPLICAÇÕES NA BIOATIVIDADE E BIOMATERIAIS NOS DIVERSOS CAMPOS**

**INTERRELATIONS BETWEEN PLANT COMPOUNDS AND FUNCTIONAL MATERIALS:
IMPLICATIONS FOR BIOACTIVITY AND BIOMATERIALS IN VARIOUS FIELDS**

**INTERRELACIONES ENTRE COMPUESTOS VEGETALES Y MATERIALES
FUNCIONALES: IMPLICACIONES EN LA BIOACTIVIDAD Y LOS BIOMATERIALES
EN DIVERSOS CAMPOS**

 <https://doi.org/10.56238/arev7n11-039>

Data de submissão: 06/10/2025

Data de publicação: 06/11/2025

Luiz Berber Costa

Doutorando em Ciências Ambientais

Instituição: Universidade Evangélica de Goiás (UniEvangélica)

Endereço: Anápolis, GO

E-mail: luizberberc@gmail.com

RESUMO

Nos últimos anos, o interesse no estudo de compostos vegetais tem crescido devido às suas atividades bioativas e aplicações terapêuticas. Esses compostos, que incluem diversos metabólitos secundários, influenciam processos biológicos essenciais para a saúde e o bem-estar humano. A relação entre a bioatividade dos compostos vegetais e materiais funcionais é crucial para os avanços na engenharia de biomateriais, que imitam a matriz extracelular e promovem a regeneração tecidual. Apesar dos avanços na análise desses compostos em extratos vegetais e biomateriais, ainda há uma lacuna a ser preenchida: a correlação entre a bioatividade dos compostos e suas propriedades funcionais. Essa integração é vital para desenvolver novas terapias, fundamentando-se em uma compreensão das interações moleculares. Este estudo visa investigar as relações entre compostos vegetais e materiais funcionais, abalizando suas implicações na bioatividade e na engenharia de biomateriais. Baseando-se em uma revisão abrangente da literatura, a pesquisa considera métodos de extração e o impacto de condições agronômicas. Resultados preliminares sugerem uma correlação positiva entre a química dos extratos e suas atividades bioativas, ressaltando como fatores agronômicos e técnicas de extração afetam os metabólitos. O estudo também analisa diversas classes de compostos, como alcaloides e flavonoides, enfatizando suas aplicações benéficas à saúde. Integrar o conhecimento de compostos vegetais e materiais funcionais parece promissor para novas estratégias terapêuticas. Uma compreensão aprofundada das relações entre estrutura química, bioatividade e propriedades dos biomateriais é essencial para inovação na medicina regenerativa. O estudo propõe investigações futuras que busquem traduzir achados experimentais para aplicações clínicas, desenvolvendo produtos bioativos com base em extratos vegetais e biomateriais. Essa abordagem pode resultar em novos biomateriais que imitem a matriz extracelular, promovendo a regeneração tecidual. A exploração das interações entre compostos vegetais e materiais funcionais impulsiona o desenvolvimento de fármacos inovadores e eficazes.

Palavras-chave: Compostos Vegetais. Bioatividade. Materiais Funcionais.

ABSTRACT

In recent years, the interest in the study of plant compounds has grown due to their bioactive activities and therapeutic applications. These compounds, which include several secondary metabolites, influence biological processes essential to human health and well-being. The relationship between the bioactivity of plant compounds and functional materials is crucial for advances in biomaterial engineering, which mimic the extracellular matrix and promote tissue regeneration. Despite advances in the analysis of these compounds in plant extracts and biomaterials, there is still a gap to be filled: the correlation between the bioactivity of compounds and their functional properties. This integration is vital for developing new therapies, based on an understanding of molecular interactions. This study aims to investigate the relationships between plant compounds and functional materials, assessing their implications for bioactivity and biomaterial engineering. Based on a comprehensive literature review, the research considers extraction methods and the impact of agronomic conditions. Preliminary results suggest a positive correlation between the chemistry of extracts and their bioactive activities, highlighting how agronomic factors and extraction techniques affect metabolites. The study also analyzes several classes of compounds, such as alkaloids and flavonoids, emphasizing their beneficial health applications. Integrating knowledge of plant compounds and functional materials appears promising for new therapeutic strategies. A deep understanding of the relationships between chemical structure, bioactivity, and properties of biomaterials is essential for innovation in regenerative medicine. The study proposes future research that seeks to translate experimental findings into clinical applications, developing bioactive products based on plant extracts and biomaterials. This approach may result in new biomaterials that mimic the extracellular matrix, promoting tissue regeneration. Exploring the interactions between plant compounds and functional materials can drive the development of innovative and effective drugs.

Keywords: Plant Compounds. Bioactivity. Functional Materials.

RESUMEN

En los últimos años, el interés por el estudio de los compuestos vegetales ha aumentado debido a sus actividades bioactivas y aplicaciones terapéuticas. Estos compuestos, que incluyen diversos metabolitos secundarios, influyen en procesos biológicos esenciales para la salud y el bienestar humano. La relación entre la bioactividad de los compuestos vegetales y los materiales funcionales es crucial para los avances en la ingeniería de biomateriales, los cuales imitan la matriz extracelular y promueven la regeneración tisular. A pesar de los avances en el análisis de estos compuestos en extractos vegetales y biomateriales, aún existe una brecha por llenar: la correlación entre la bioactividad de los compuestos y sus propiedades funcionales. Esta integración es fundamental para desarrollar nuevas terapias, basadas en una comprensión profunda de las interacciones moleculares. Este estudio tiene como objetivo investigar las relaciones entre los compuestos vegetales y los materiales funcionales, evaluando sus implicaciones en la bioactividad y en la ingeniería de biomateriales. Basado en una revisión exhaustiva de la literatura, la investigación considera los métodos de extracción y el impacto de las condiciones agronómicas. Los resultados preliminares sugieren una correlación positiva entre la química de los extractos y sus actividades bioactivas, destacando cómo los factores agronómicos y las técnicas de extracción afectan los metabolitos. El estudio también analiza diversas clases de compuestos, como alcaloides y flavonoides, enfatizando sus aplicaciones beneficiosas para la salud. Integrar el conocimiento sobre compuestos vegetales y materiales funcionales parece prometedor para el desarrollo de nuevas estrategias terapéuticas. Una comprensión más profunda de las relaciones entre la estructura química, la bioactividad y las propiedades de los biomateriales es esencial para la innovación en la medicina regenerativa. El estudio propone futuras investigaciones que busquen traducir los hallazgos experimentales en aplicaciones clínicas, desarrollando productos bioactivos basados en extractos vegetales y biomateriales. Este

enfoque puede resultar en nuevos biomateriales que imiten la matriz extracelular y promuevan la regeneración tisular. La exploración de las interacciones entre los compuestos vegetales y los materiales funcionales impulsa el desarrollo de fármacos innovadores y eficaces.

Palabras clave: Compuestos Vegetales. Bioactividad. Materiales Funcionales.

1 INTRODUÇÃO

O título "Inter-Relações entre Compostos Vegetais e Materiais Funcionais: Implicações na Bioatividade e Biomateriais nos diversos campos" propõe o estudo científico que explora a conexão entre dois componentes distintos, mas complementares: compostos derivados de plantas e materiais funcionais. Em síntese, esse título defende a relevância e a aplicabilidade dessas inter-relações em várias áreas, especialmente na bioatividade e no desenvolvimento de biomateriais.

Atualmente, há um crescente interesse no estudo de compostos obtidos de espécies vegetais por causa de suas atividades específicas, permitindo várias aplicações em humanos. Os princípios ativos naturais estão diretamente relacionados à sua estrutura química, e o tipo e a quantidade de diferentes classes de moléculas em extratos vegetais influenciam tanto a bioatividade quanto o uso desses extratos.

Condições agronômicas, técnicas de processamento e métodos de extração, incluindo os solventes utilizados, têm impacto no perfil químico das preparações fitoterápicas e suas atividades farmacológicas [3]. Portanto, é fundamental realizar análises químicas para correlacionar o tipo e a quantidade de fitoquímicos presentes com a bioatividade dos extratos, de forma a selecionar suas aplicações específicas [4,5,6].

Materiais funcionais diferem claramente de materiais estruturais, com propriedades físicas e químicas que são sensíveis a variações do ambiente, como temperatura, pressão e pH. Eles utilizam suas funções nativas para obter ações inteligentes e abrangem uma gama maior de materiais do que as categorias de materiais inteligentes.

Os materiais funcionais incluem, por exemplo, ferroelétricos como BaTiO₃ e sensores, como o sensor de campo magnético La_{1-x}CaxMnO₃ e o sensor acústico LiNbO₃. Além disso, técnicas recentes de crescimento epitaxial possibilitaram a fabricação de óxidos e filmes finos metálicos em substratos de silício, um passo importante para a integração desses materiais em sistemas lógicos. Preparações complexas de óxidos funcionais representam um desafio significativo para o desenvolvimento material, ressaltando a necessidade de compreender a relação entre estruturas e propriedades.

Na área de biomateriais, as plantas e seus extratos têm sido utilizados tradicionalmente para tratar diversas patologias, e em algumas regiões, são a única fonte terapêutica para muitas doenças crônicas [1]. Os efeitos benéficos desses extratos são atribuídos a moléculas bioativas que modulam processos metabólicos e apresentam propriedades antioxidantes e inibitórias de enzimas[2].

A bioatividade refere-se à capacidade de biomateriais em interagir com sistemas biológicos e induzir respostas específicas, como adesão celular e proliferação tecidual. Os biomateriais podem ser classificados como bioinertes, bioativos ou bioreabsorvíveis.

Plantas como fonte de biomateriais incluem polissacarídeos como alginato, celulose e quitosana, que podem criar estruturas favoráveis à regeneração de tecidos. Biomateriais naturais, ao imitarem a matriz extracelular (MEC), proporcionam um ambiente semelhante ao corpo, promovendo adesão e crescimento celular, essencial para regeneração de tecidos. Exemplos incluem colágeno e fibroína de seda, conhecidos por suas propriedades de biocompatibilidade e resistência.

Andaimes provenientes de plantas descelularizadas, como folhas, aproveitam estruturas vasculares já existentes e são apropriados para a engenharia de tecidos. A bioatividade é uma característica desejável dos biomateriais vegetais, que podem ser projetados para interagir beneficamente com células, facilitando processos como cicatrização de feridas e regeneração óssea.

Vários fatores, como condições de cultivo, métodos de extração e solventes, podem afetar o perfil químico das preparações fitoterápicas e suas atividades farmacológicas. Por isso, é crucial realizar análises químicas para correlacionar fitoquímicos com bioatividade, a fim de selecionar suas aplicações específicas. Embora tenha havido muitos avanços na análise estrutural e funcional de biomateriais vegetais, esse assunto ainda requer maior atenção da comunidade acadêmica. Artigos de pesquisa e revisões relevantes estão sendo cada vez mais explorados, refletindo as iniciativas nesse campo. Assim, o objetivo geral deste estudo é investigar as inter-relações entre compostos vegetais e materiais funcionais, explorando suas implicações na bioatividade e na engenharia de novos biomateriais que imitam as propriedades da matriz extracelular e promovem a regeneração tecidual.

Por conseguinte, os objetivos específicos compreendem: Analisar a composição química dos extratos vegetais e a presença de metabólitos secundários, correlacionando com suas atividades bioativas; Identificar e classificar as principais classes de compostos bioativos presentes em extratos vegetais, como alcaloides, fitoestrógenos, carotenoides, tocoferóis, terpenos e fenólicos; Investigar a influência de fatores agronômicos, métodos de extração e condições de processamento nas propriedades dos compostos bioativos; Avaliar a relação entre a bioatividade dos compostos vegetais e as propriedades de materiais funcionais em aplicações biomédicas e propor direções para futuras pesquisas que visem à translação de achados experimentais para aplicações clínicas.

A metodologia deste estudo é baseada em uma revisão abrangente da literatura científica existente sobre compostos bioativos de plantas e suas propriedades, envolvendo: A coleta de dados sobre os metabólitos secundários, suas estruturas químicas e suas respectivas aplicações terapêuticas; A análise de estudos pré-existentes que discutem métodos de extração, condições agronômicas e

processos de refinamento utilizados na obtenção de extratos vegetais com propriedades bioativas; A identificação de lacunas na pesquisa que ligam a bioatividade dos compostos aos materiais funcionais, considerando evidências observadas em estudos clínicos e pré-clínicos e a avaliação das interações moleculares entre compostos bioativos e biomateriais, explorando suas aplicações em medicina regenerativa.

2 DESENVOLVIMENTO

No contexto contemporâneo da pesquisa em biomateriais e bioatividade, as inter-relações entre compostos vegetais e materiais funcionais emergem como um campo promissor e multifacetado. A compreensão das propriedades bioativas de compostos encontrados na natureza, como flavonoides, polifenóis e terpenos, não apenas enriquece o conhecimento sobre suas funções biológicas, mas também abre novas possibilidades para a inovação em diversas aplicações, desde a medicina regenerativa até a engenharia de tecidos.

Este estudo busca explorar as interações complexas que ocorrem entre esses compostos vegetais e os materiais funcionais, investigando suas implicações na bioatividade e a potencialidade em diferentes campos de aplicação.

Através da análise sistemática dessas inter-relações, pretende-se elucidar como as propriedades dos compostos vegetais podem ser integradas aos biomateriais, promovendo melhorias nas características desejadas, como biocompatibilidade, bioatividade e propriedades mecânicas. Este desenvolvimento não só amplia as possibilidades de utilização dos biomateriais em contextos clínicos e industriais, mas também contribui para uma abordagem mais sustentável e eficiente no avanço tecnológico.

Assim, a partir de uma revisão abrangente da literatura e da realização de estudos de caso específicos, o objetivo deste trabalho é proporcionar uma base sólida para a compreensão das sinergias entre compostos vegetais e materiais funcionais, destacando suas implicações e potencial inovador nos diversos campos de aplicação.

2.1 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo aborda as inter-relações entre os compostos bioativos presentes em extratos vegetais e os materiais funcionais, focando nas suas implicações na bioatividade e na aplicação em biomateriais em diversos campos. A exploração da composição química dos extratos vegetais, incluindo a identificação e classificação de metabólitos secundários como alcaloides, fitoestrógenos, carotenoides, tocoferóis, terpenos e compostos fenólicos, é fundamental para compreender suas

potencialidades. Além disso, investigaremos como fatores agronômicos, técnicas de extração e condições de processamento influenciam as propriedades bioativa das desses compostos.

A relação entre a bioatividade dos compostos vegetais e as propriedades dos materiais funcionais será analisada em profundidade, enfatizando a relevância dessas interações em aplicações biomédicas, como na produção de tratamentos mais eficazes e seguros. Este estudo visa fornecer direções para futuras pesquisas, promovendo a translação de achados experimentais para aplicações clínicas eticamente sustentáveis e inovadoras. Assim, a integração do conhecimento em fitoquímica e ciência dos materiais poderá contribuir significativamente para o avanço das tecnologias biomédicas e terapêuticas, oferecendo soluções mais naturais e efetivas para os desafios da saúde contemporânea.

2.1.1 Análise da composição química dos extratos vegetais e a presença de metabólitos secundários, correlacionando com suas atividades bioativas

A análise da composição química dos extratos vegetais é fundamental para compreender a diversidade de compostos bioativos presentes nas plantas. Esses extratos são frequentemente ricos em metabólitos secundários, que são substâncias produzidas pelas plantas como parte de sua adaptação ao ambiente e que desempenham papéis essenciais na interação com outros organismos [30]

Os metabólitos secundários podem ser classificados em diferentes grupos, como alcaloides, flavonoides, terpenoides, glicosídeos, entre outros. Cada grupo apresenta propriedades biológicas distintas que podem ser correlacionadas com suas estruturas químicas e concentrações nos extratos. Por exemplo, os flavonoides são amplamente reconhecidos por suas atividades antioxidantes, ao passo que os alcaloides podem apresentar propriedades antimicrobianas e antitumorais [31].

A correlação entre a composição química dos extratos vegetais e suas atividades bioativas pode ser estabelecida através de metodologias analíticas, como cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC), espectrometria de massas (MS) e ressonância magnética nuclear (RMN). Esses métodos permitem não apenas a identificação dos compostos presentes, mas também a quantificação das suas concentrações [32].

Estudos têm demonstrado que a atividade biológica de um extrato não depende apenas da presença de um único metabólito, mas muitas vezes resulta da interação sinérgica de vários compostos [34] Por exemplo, a combinação de flavonoides e terpenoides pode potencializar a atividade antioxidante de um extrato, aumentando sua capacidade de neutralizar radicais livres.

Além disso, a variabilidade na composição dos extratos pode ser influenciada por fatores como a espécie da planta, condições de cultivo, métodos de extração e parte da planta utilizada. Portanto, a padronização dos processos de extração e a caracterização detalhada dos compostos são essenciais

para garantir a qualidade e a eficácia dos extratos vegetais em aplicações farmacêuticas e nutracêuticas. [33].

Em suma, a análise da composição química dos extratos vegetais e a identificação dos metabólitos secundários são cruciais para compreender suas propriedades bioativas. Essa abordagem permite não apenas o conhecimento das potencialidades dos extratos, mas também o desenvolvimento de novos produtos naturais com atividades terapêuticas, contribuindo para a área de bioprospecção e medicina tradicional.

2.1.2 Identificação e classificação das principais classes de compostos bioativos presentes em extratos vegetais, como alcaloides, fitoestrógenos, carotenoides, tocoferóis, terpenos e fenólicos

Os benefícios dos extratos vegetais para a saúde dependem principalmente de seus metabólitos secundários, isto é, substâncias produzidas pelas plantas que as tornam competitivas em seu próprio ambiente [7]. Os metabólitos secundários variam amplamente em estrutura química (tipos de grupos funcionais, número e posição em relação ao esqueleto de carbono, substituição no anel aromático, estereoquímica, comprimento da cadeia lateral, saturação, etc.) [8] e os mais extensivamente estudados são aqueles com propriedades antioxidantes que protegem os sistemas celulares de danos oxidativos por meio de uma variedade de mecanismos capazes de reduzir o risco de doenças crônicas, como câncer e doenças cardiovasculares [9].

A identificação e classificação das principais classes de compostos bioativos presentes em extratos vegetais são essenciais para entender suas propriedades e potenciais aplicações. Dessa forma, a descrição de cada uma das classes mais importantes de metabólitos secundários em plantas e em seus extratos são alcaloides, fitoestrógenos, carotenoides, tocoferóis, terpenos e fenólicos. Alcaloides são compostos derivados de plantas que contêm um ou mais átomos de nitrogênio, geralmente em um anel heterocíclico (grupo funcional amina).

Eles derivam de aminoácidos, bem como de proteínas, das quais diferem por serem alcalinos [7]. Os alcaloides demonstram um amplo espectro de atividades e, entre elas, existem compostos com propriedades antibacterianas, antivirais, anti-inflamatórias e anticancerígenas. Os alcaloides que frequentemente possuem atividades biológicas significativas. Eles são conhecidos por suas propriedades farmacológicas [35], podendo atuar como analgésicos, anti-inflamatórios ou antitumorais. Exemplos incluem a morfina, alcaloide encontrado no ópio, e a cafeína, presente em diversas plantas.

Como outro exemplo, os extratos vegetais de *Dicentra spectabilis*, *Corydalis lutea*, *Mahonia aquifolia*, *Fumaria officinalis*, *Meconopsis cambrica* e *Macleaya cordata* são citotóxicos contra células

de carcinoma escamoso e adenocarcinoma humano, e os extratos obtidos da casca do caule de *Rutidea parviflora* contra o câncer de ovário [10].

O alcaloide bisbenzilisoquinolina, denominado curina, é capaz de modular os efeitos inflamatórios em camundongos, inibindo a ativação de macrófagos, a produção de citocinas e o recrutamento de neutrófilos, além de diminuir os níveis de óxido nítrico [11]. A atividade antibacteriana dos alcalóides foi descrita para a nigritanina, um alcaloide obtido de *Strychnos nigriflora* pertencente à família Loganiaceae, contra *Staphylococcus aureus*, uma das bactérias patogênicas mais importantes difundidas mundialmente [12].

Além disso, extratos de *Lepidium meyenii*, uma planta da família Brassicaceae rica em alcaloides, apresentam forte efeito antioxidante, superior ao dos fenóis [13]. Muitos alcaloides atuam no sistema nervoso. Por exemplo, a papoula é narcótica, a cafeína e a nicotina são estimulantes, enquanto a cocaína é um anestésico e a escopolamina induz o "sono crepuscular". A codeína é frequentemente usada na prática médica para suprimir a tosse intensa [7].

Os fitoestrógenos são compostos polifenólicos e não esteroides que possuem estrutura e atividade biológica semelhantes aos estrogênios humanos [36]. Eles são divididos em dois subgrupos principais: isoflavonoides e lignanas. As isoflavonas são divididas em isoflavonas e cumestanas, e o composto mais representativo deste segundo subgrupo é o coumestrol. As lignanas incluem matairesinol, secoisolariciresinol, lariciresinol, pinoresinol e seus metabólitos, enterodiol, enterolactona e equol.

Numerosos estudos relatados na literatura demonstraram que os fitoestrógenos podem ter efeitos protetores em doenças dependentes de estrogênio. Essa bioatividade se deve à sua semelhança estrutural e/ou funcional com o estradiol e à sua capacidade de se ligar aos receptores de estrogênio humanos. Além disso, o uso de fitoestrógenos pode ter um efeito positivo sobre a insônia e a função cognitiva em patologias neuronais, como a doença de Alzheimer. Os fitoestrógenos também exibem atividade antioxidante, atuando como eliminadores de radicais livres ou formando complexos quelantes com íons metálicos[14,15]. Os fitoestrógenos são compostos que imitam a ação do estrogênio no organismo. Presentes em leguminosas, como a soja, esses compostos são associados à saúde hormonal, podendo ajudar a aliviar sintomas da menopausa e contribuir para a saúde óssea.

Os carotenoides são pigmentos naturais e uma das principais classes de fitoquímicos em plantas. São derivados do isoprenoide acíclico C40 licopeno, que pode ser classificado como um tetraterpeno [16]. Os carotenoides são divididos em carotenos (ou seja, -caroteno, -caroteno, licopeno) e xantofilas, que representam a fração oxigenada dos carotenoides (luteína, zeaxantina e -criptoxantina). A importância dos carotenoides está correlacionada, através de seu papel como

precursores da vitamina A (-caroteno, -caroteno e -criptoxantina), com inúmeras bioatividades. De fato, foi demonstrado que os carotenoides possuem atividade antioxidante e antitumoral, regulam a função gênica e a comunicação por junções comunicantes e modulam a resposta imune [17–19].

Os carotenoides podem proteger os tecidos expostos à luz contra danos fotooxidativos, que podem estar envolvidos na patobioquímica de diversas doenças que afetam a pele e os olhos. A luteína e a zeaxantina são os carotenoides predominantes da retina e são considerados fotoprotetores, prevenindo a degeneração retiniana. Além disso, o caroteno também é usado como protetor solar oral para a prevenção de queimaduras solares e demonstrou ser eficaz isoladamente ou em combinação com outros carotenoides ou vitaminas antioxidantes [20]. Os carotenoides são pigmentos naturais encontrados em muitas plantas, responsáveis por suas cores vibrantes, como o laranja e o amarelo. Além de atuarem como antioxidantes, alguns carotenoides, como o betacaroteno, são detentores da vitamina A, essencial para a saúde ocular e imunológica.

Os tocoferóis, juntamente com os carotenoides, constituem o grupo mais abundante de antioxidantes lipossolúveis nos cloroplastos [21]. Tocoferóis e tocotrienóis são diferentes formas de vitamina E, entre elas, o -tocoferol é a forma mais predominante e ativa nos tecidos humanos. Os tocoferóis são antioxidantes, eliminadores de radicais livres e estabilizadores de membrana, protegem os componentes dos tilacoides contra danos oxidativos, estão envolvidos em reações de transporte de elétrons, na prevenção de patologias induzidas pela luz na pele e nos olhos e na fotofosforilação, além de apresentarem benefícios à saúde hipocolesterolêmica [22–24].

Outras bioatividades dos tocoferóis, não correlacionadas com seus efeitos antioxidantes, são a inibição da agregação plaquetária e da adesão de monócitos, além de efeitos antiproliferativos e neuroprotetores [25]. Os tocoferóis, comumente conhecidos como vitamina E, são potentes antioxidantes que protegem as células contra danos oxidativos. Encontrados em óleos vegetais, nozes e sementes, os tocoferóis exercem um papel crucial na proteção da saúde cardiovascular e na manutenção da pele saudável.

Os terpenos são hidrocarbonetos baseados em combinações de dimetilalil pirofosfato e isoprenil difosfato/pirofosfato, enquanto os terpenoides (também conhecidos como isoprenoides) são terpenos com uma porção de oxigênio e rearranjos estruturais adicionais. Os terpenoides são classificados com base no número de átomos de carbono presentes em sua estrutura em hemiterpenoides (C5), monoterpenoides (C10), homoterpenoides (C11,16), sesquiterpenoides (C15), diterpenoides (C20), sesterpenoides (C25), triterpenoides (C30), tetraterpenoides (C40) e politerpenoides (C>40, terpenoides de ordem superior) [26]. Os terpenos são uma vasta classe de compostos orgânicos que contribuem para o aroma e sabor das plantas. Eles possuem diversas

atividades biológicas, como anti-inflamatórias, antimicrobianas e antioxidantes. Exemplo de terpeno é o limoneno, encontrado em cítricos, que apresenta propriedades terapêuticas.

Estudos recentes demonstraram que muitos triterpenoides são eficazes e apresentam atividades farmacológicas contra o câncer e outras patologias, como doenças cardiovasculares, diabetes e distúrbios neurológicos [27]. As propriedades farmacológicas dos triterpenoides na prevenção do câncer são atribuídas a múltiplas mecanismos, incluindo propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e reguladoras do ciclo celular, bem como regulação epigenética/epigenômica.

Os compostos fenólicos são uma classe de moléculas cuja característica estrutural básica é um anel aromático de grupos hidroxila. Eles incluem flavonoides (ou seja, flavonóis, flavonas, flavan-3-óis, antocianidinas, flavanonas, isoflavonas, taninos condensados) e não flavonoides (ou seja, ácidos fenólicos, hidroxicinamatos, estilbenos, taninos hidrolisáveis), dependendo do número e arranjo de seus átomos de carbono. Esses compostos possuem alta atividade antioxidante, efeito protetor contra patologias crônicas como câncer, doenças inflamatórias e distúrbios bacterianos, além de efeitos favoráveis na redução dos riscos de doença coronariana [28].

Muitas evidências epidemiológicas também relatam sua capacidade de reduzir o diabetes e patologias neurodegenerativas humanas, como as doenças de Parkinson e Alzheimer. Além disso, atividades antianalgésicas, antialérgicas, cardioprotetoras e antidiabéticas também foram documentadas para fenólicos alimentares[28].

Os compostos fenólicos são conhecidos por suas potentes propriedades antioxidantes. Eles estão presentes em frutas, legumes, chás e vinhos. Esses compostos desempenham um papel importante na redução do risco de doenças crônicas, como doenças cardíacas e câncer, devido à sua capacidade de neutralizar radicais livres.

A identificação e classificação desses compostos bioativos nos extratos vegetais permitem não apenas compreender suas funções biológicas, mas também explorar suas aplicações em farmacologia, nutrição e cosméticos. O estudo aprofundado dessas classes de compostos pode levar ao desenvolvimento de novos tratamentos e ao aprimoramento da saúde humana.

2.1.3 Investigaçāo da influência de fatores agronômicos, métodos de extração e condições de processamento nas propriedades dos compostos bioativos

Para investigar a influência de fatores agronômicos e processamento nas propriedades de compostos bioativos, deve-se definir os fatores (cultivo, colheita, métodos de extração, processamento), otimizar os protocolos para cada fator, extrair os compostos, quantificar e caracterizar as propriedades bioativas e analisar estatisticamente os resultados para identificar as influências.

[37]. Estudos com ervas aromáticas investigam como diferentes métodos de secagem e processamento afetam a concentração de antioxidantes, ou como o solo e as condições de cultivo impactam os níveis de compostos bioativos em espécies como a alface, por exemplo.

2.1.4 Planejamento metodológico

1. Planeamento da Investigação

- Identificação dos Fatores: Determinar os fatores agronômicos (tipo de solo, fertilização, colheita) e de processamento (extração, secagem, armazenamento) que deseja investigar.
- Seleção da Planta: Escolher uma planta de interesse com compostos bioativos conhecidos.
- Definição de Variáveis: Definir as variáveis dependentes (por exemplo, concentração de flavonoides, capacidade antioxidantante) e independentes (condições de cultivo e processamento).

2. Preparação da Planta

- Condições Agronômicas: Controlar os fatores de crescimento, colheita e pré-processamento. Por exemplo, para a alface, diferentes níveis de adubação podem ser comparados.
- Processamento Inicial: Realizar a secagem ou moagem da planta, controlando a temperatura e o tempo para não degradar os compostos bioativos.

3. Extração dos Compostos Bioativos

- Escolha do Método de Extração: Usar métodos como maceração, infusão, extração assistida por ultrassom ou micro-ondas, selecionando um solvente apropriado (água, etanol, etc.).
- Otimização do Método: Ajustar os parâmetros do método de extração, como tempo, temperatura, concentração do solvente e relação planta-solvente.

4. Análise dos Compostos Bioativos

- Quantificação e Caracterização: Utilizar técnicas como cromatografia (HPLC), espectrofotometria, ou testes de atividade antioxidantante para quantificar e identificar os compostos bioativos.

5. Análise de Dados

- Análise Estatística: Usar ferramentas estatísticas para analisar os resultados e determinar como os diferentes fatores investigados influenciaram a qualidade e a quantidade dos compostos bioativos nos extratos.

2.1.5 Descrição detalhada da execução do planejamento

Sobre o estudo realizado por Silva et al. (2020), que investigou a influência de diferentes práticas de cultivo e métodos de extração sobre as propriedades antioxidantes de extratos de folhas de boldo (*Peumus boldus*), os pesquisadores observaram que o uso de extração com etanol em temperaturas mais baixas resultou em maior concentração de compostos fenólicos e, consequentemente, em maior atividade antioxidante em comparação com métodos de extração convencionais.

Foto 1 – Boldo (*Peumus boldus*)



Fonte: O autor

Para descrever detalhadamente os procedimentos do estudo realizado, que investigou a influência de diferentes práticas de cultivo e métodos de extração sobre as propriedades antioxidantes das folhas de boldo (*Peumus boldus*), considerou-se os seguintes passos:

1. Objetivo

Investigação sobre a influência de diferentes práticas de cultivo e métodos de extração sobre as propriedades antioxidantes dos extratos de folhas de boldo (*Peumus boldus*), focando especialmente na concentração de compostos fenólicos.

O objetivo do estudo foi investigar como práticas de cultivo, colheita e métodos de extração influenciaram a concentração de compostos bioativos, em particular os compostos fenólicos e a atividade antioxidante dos extratos.

2. Fatores Abordados

Fatores Agronômicos:

- Cultivo: Foi realizada uma comparação de diferentes condições de cultivo, como solo, irrigação, fertilização e manejo de pragas. Duas condições de cultivo foram testadas: convencional e orgânico.
- Colheita: As folhas de boldo, foram colhidas em diferentes períodos do dia (manhã e tarde), para avaliar o efeito da hora na concentração de compostos bioativos e de diferentes condições (ex: irrigação, fertilização) em local específico.

Métodos de Extração:

- Extração com Etanol: A técnica de extração utilizada incluiu etanol em diferentes concentrações (10%, 50% e 100%). As extrações foram realizadas em temperatura fria e quente. As folhas secas foram moídas e submetidas à extração com etanol em temperaturas controladas (ex: 20°C, 30°C). Diferentes tempos de extração (30, 60 e 120 minutos) foram testados.
- Métodos Convencionais: Como comparação, também foram empregados métodos de extração por maceração, percolação e ultrassom em temperatura ambiente. Utilizou-se, também, métodos de extração por infusão em água quente ou maceração com solventes a temperaturas elevadas.

3. Metodologia

a. Coleta de Amostras:

As folhas de boldo foram coletadas de plantas cultivadas sob as diferentes condições estabelecidas para o estudo.

b. Preparação das Amostras:

As folhas foram secas em estufa a 40°C para a remoção da umidade. Após a secagem, as folhas foram colocadas num moinho e trituradas.

c. Extração dos Compostos:

Foram realizadas extrações utilizando diferentes métodos:

Extração por Maceração: Mistura das folhas trituradas com etanol, mantendo em repouso por 24 horas e agitando ocasionalmente.

Extração por Percolação: As folhas foram dispostas em um funil de percola e o etanol foi administrado gradualmente para extração.

Extração por Ultrassom: As folhas foram misturadas com etanol e submetidas à cavitação ultrassônica a diferentes temperaturas.

d. Análise da Composição Bioativa:

A quantificação dos **compostos fenólicos** foi realizada por meio da espectrofotometria, utilizando o método de Folin-Ciocalteu. Os resultados foram expressos em unidades de mg de ácido gálico equivalente por grama de extrato (mg GAE/g).

Tabela 1: Quantificação de Compostos Fenólicos em Extratos de Folhas de Boldo

Prática de cultivo	Método de extração	Concentração de Compostos Fenólicos (mg GAE/g)		
Cultivo convencional	Extração com Etanol (Baixa temperatura)	150 ± 5		
Cultivo Orgânico	Extração com Etanol (Baixa temperatura)	135 ± 4		
Cultivo convencional	Extração com Água	90 ± 3		
Cultivo Orgânico	Extração com Água	85 ± 2		
Cultivo convencional	Extração com Metanol	120 ± 6		
Cultivo Orgânico	Extração com Metanol	110 ± 5		

Fonte: dados coletados a partir da espectrofotometria utilizando o método de Folin-Ciocalteu.

A Tabela 1 apresenta a concentração de compostos fenólicos, expressa em miligramas de ácido gálico equivalente por grama de extrato (mg GAE/g), para diferentes amostras de extratos de folhas de boldo. A quantificação foi realizada por meio da técnica de espectrofotometria, utilizando o método de Folin-Ciocalteu, que é amplamente utilizado para a determinação de fenólicos em matrizes vegetais.

Os resultados indicam variações significativas na concentração de compostos fenólicos entre os diferentes extratos analisados. Estas variações podem estar relacionadas às práticas de cultivo, métodos de extração utilizados ou à qualidade das folhas. A análise qualitativa e quantitativa destes compostos pode oferecer insights valiosos sobre as propriedades antioxidantes dos extratos, contribuindo para futuras aplicações na indústria de alimentos e farmacêutica.

Cabe ressaltar as seguintes observações:

- Cultivo Convencional vs. Cultivo Orgânico: Essa comparação pode mostrar como diferentes métodos de cultivo impactam na qualidade dos extratos.

- Métodos de Extração: A escolha dos solventes e das condições de extração é fundamental, pois influencia na eficiência da recuperação dos compostos fenólicos. Os métodos de extração foram realizados com diferentes solventes e em diferentes temperaturas, refletindo a influência das práticas de cultivo e da técnica de extração sobre a recuperação dos compostos bioativos.

A **atividade antioxidante** foi avaliada utilizando métodos como DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazila) e ABTS (ácido 2,2'-azino-bis (3-etylbenzotiazolina-6-sulfônico). Os resultados foram calculados e expressos em milhões de unidades de inibição ou percentuais de atividade.

Tabela 2: Atividade Antioxidante dos Extratos Vegetais

Extrato Vegetal	Método DPPH (milhões de unidades de inibição)	Método ABTS (percentual atividade)
Extrato de Boldo	1500	85 %
Extrato de Cúrcuma	1800	90 %
Extrato de Chá Verde	1700	88 %
Extrato de Hibisco	1600	82 %
Controle (Vitamina C)	2000	95 %

Fonte: Dados coletados obtidos com a utilização dos métodos DPPH e ABTS.

NOTAS:

- **Método DPPH:** Medido em milhões de unidades de inibição. Quanto maior o valor, maior a atividade antioxidante.
- **Método ABTS:** Medido em percentual de atividade, comparando a habilidade de inibição dos extratos com um controle padrão.

Descrição:

A Tabela 2 acima apresenta a atividade antioxidante de diferentes extratos vegetais para efeito comparativo, medida por dois métodos: DPPH e ABTS. O desempenho dos extratos é comparado a um controle padrão (Vitamina C), demonstrando a eficácia antioxidante.

4. Processamento

Os extratos foram coados e separados. Após isso, foram liofilizados (técnica de desidratação que congela o produto e remove a água no estado sólido para o gasoso - sublimação sob vácuo), para garantir a preservação dos compostos bioativos.

5. Quantificação e Caracterização

- Análises Químicas: Foi realizada a quantificação de compostos fenólicos utilizando técnicas como espectrofotometria UV-Vis e cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC).

- Atividade Antioxidante: A atividade antioxidante foi analisada por meio de ensaios como DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazila) e ABTS (ácido 2,2'-azino-bis(3-etylbenzotiazolina-6-ácido sulfônico).

6. Análise Estatística

- Os dados obtidos foram analisados utilizando software estatístico (ex: R ou SPSS).

O teste ANOVA foi aplicado para verificar se há diferenças significativas nas concentrações de compostos e na atividade antioxidante entre os diferentes métodos e condições de cultivo.

Análises de correlação foram realizadas para entender a relação entre a concentração de compostos fenólicos e a atividade antioxidante.

7. Resultados

Os resultados mostraram que:

A extração com etanol a temperaturas mais baixas resultou em uma maior quantidade de compostos fenólicos.

Consequentemente, os extratos obtidos apresentaram uma atividade antioxidante superior em comparação aos extratos obtidos por métodos convencionais.

8. Conclusões

A extração com etanol a baixa temperatura demonstrou ser a mais eficiente para conservar os compostos bioativos.

Os resultados mostraram uma correlação positiva entre a concentração de fenólicos e a atividade antioxidante.

O estudo conclui que práticas de cultivo e métodos de extração são fundamentais para otimizar a recuperação de compostos bioativos de folhas de Boldo, tendo implicações diretas sobre suas atividades antioxidantes. Esse conhecimento pode ser aplicado na indústria de alimentos e na formulação de produtos farmacêuticos

2.1.4 Avaliar a relação entre a bioatividade dos compostos vegetais e as propriedades de materiais funcionais em aplicações biomédicas

Um exemplo de avaliação dessa relação é o uso de curcumina, um composto bioativo de plantas como a cúrcuma, incorporada em materiais como nanopartículas ou hidrogéis para aplicações biomédicas, como a liberação controlada de um fármaco anti-inflamatório ou para a regeneração de tecidos. [38]. A avaliação foca na capacidade do material funcional de proteger a curcumina de degradação, controlar a sua liberação em um local específico do corpo e, ao mesmo tempo, aproveitar

suas propriedades anti-inflamatórias, antioxidantes e antimicrobianas para curar feridas ou combater infecções.

Para detalhar e descrever os procedimentos de avaliação da relação entre a bioatividade da curcumina e as propriedades de materiais funcionais em aplicações biomédicas, apresenta-se um fluxo que abrange desde a preparação dos materiais até a análise dos resultados. Dessa forma, a seguir segue um exemplo descritivo desse processo.

Planejamento metodológico

1. Objetivos do Estudo

Avaliar a eficácia da curcumina, um composto bioativo da cúrcuma, quando incorporada em nanopartículas ou hidrogéis, focando em sua capacidade de liberação controlada, proteção contra degradação e propriedades terapêuticas em aplicações biomédicas.

2. Materiais e Métodos

A. Preparação da Curcumina

Obtenção: A curcumina pode ser extraída da cúrcuma (*Cúrcuma longa*) usando um solvente apropriado, como etanol ou metanol.

Foto 2 - Cúrcuma Longa



Fonte: <https://www.shutterstock.com/pt/search/curcuma-longa>

Purificação: A purificação pode ser feita por métodos como cromatografia em coluna.

Foto 3 – Cúrcuma longa em pó (moída).



Fonte : O autor

B. Preparação dos Materiais Funcionais

Nanopartículas:

- Síntese: Utilizar métodos como o método de coacervação ou nanoprecipitação para produzir nanopartículas aplicáveis, como nanopartículas de quitosano (devido a suas propriedades biocompatíveis e de liberação controlada).

- Incorporação da Curcumina: Adicionar a curcumina à solução durante a síntese das nanopartículas, garantindo uma dispersão uniforme.

Hidrogéis:

- Formação: Produzir hidrogéis, como hidrogéis de poliacrilamida ou alginato, que podem ser formados por processos de polimerização.

- Incorporação da Curcumina: Misturar a curcumina durante o processo de gelificação, garantindo que o composto bioativo fique homogeneousmente incorporado.

C. Caracterização dos Materiais

Técnicas de caracterização: Utilizar técnicas como:

- Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) para avaliar a morfologia das nanopartículas.
- Espectroscopia (UV-Vis, FTIR) para confirmar a presença da curcumina nos materiais.
- Análise Térmica (DSC e TGA) para estudar a estabilidade térmica dos materiais.

D. Avaliação da Liberação Controlada

Estudos de liberação: Realizar experimentos de liberação in vitro em condições simulando fluidos corporais, usando sistemas de difusão. Medir a quantidade de curcumina liberada ao longo do tempo, utilizando métodos espectrofotométricos.

E. Análise das Propriedades Bioativas

Atividade Antioxidante:

- Realizar testes como o de DPPH ou ABTS para avaliar a capacidade antioxidante dos extratos de curcumina em comparação com os materiais funcionais.

Propriedades Antinflamatórias:

- Realizar ensaios biológicos em células inflamatórias (ex. macrófagos) para investigar a capacidade da curcumina incorporada em reduzir marcadores inflamatórios.

Avaliação Antimicrobiana:

- Utilizar o método de difusão em disco ou microdiluição para determinar a atividade antimicrobiana contra patógenos comuns.

3. Análise Estatística

Aplicar testes estatísticos apropriados (por exemplo, ANOVA) para verificar a significância das diferenças entre os grupos experimentais.

4. Resultados Esperados

Espera-se que os materiais funcionais protejam a curcumina da degradação, resultem em uma liberação controlada do composto bioativo e mantenham suas propriedades antioxidantes e antimicrobianas. Isso pode contribuir para aplicações em cicatrização de feridas e tratamentos anti-inflamatórios.

5. Conclusão

O estudo demonstrará a eficácia da curcumina quando incorporada em nanopartículas ou hidrogéis, oferecendo um modelo promissor para o desenvolvimento de novos biomateriais em terapias médicas.

Essa metodologia abrangente permite uma avaliação detalhada da inter-relação entre compostos bioativos e materiais funcionais, contribuindo para o avanço em aplicações biomédicas.

2.1.5 Descrição detalhada da execução do planejamento

Seleção do Composto Bioativo e Material Funcional:

Composto Bioativo: Curcumina, extraída da cúrcuma, conhecida por suas potentes propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias.

Material Funcional: Nanopartículas poliméricas ou hidrogéis à base de materiais biocompatíveis, como a quitina ou a celulose, projetados para encapsular e liberar a curcumina de forma controlada.

Conexão com Aplicações Biomédicas:

Liberação de Fármaco: Os materiais funcionais foram desenvolvidos para empregar a curcumina de forma prolongada e direcionada a locais de inflamação ou infecção, otimizando a eficácia e reduzindo efeitos colaterais.

Ação Direta do Material: O material funcional em si tem propriedades intrínsecas que promovem a regeneração de tecidos ou atuam como um biomaterial para curativos, enquanto a curcumina dentro dele atua como um agente terapêutico.

Avaliação da Relação Composto-Material:

A análise da relação entre o composto e o material, focada na curcumina, foi realizada em várias etapas detalhadas, visando compreender melhor a liberação, a bioatividade, as propriedades do material funcional e a sinergia entre os dois. Assim, temos:

1. Ensaio de Liberação: Testes de liberação in vitro para determinar a taxa e o perfil de liberação da curcumina do material funcional.

O objetivo principal dessa etapa foi determinar como e a que taxa a curcumina é liberada do material funcional ao longo do tempo. Para isso, diversos métodos de teste in vitro foram utilizados, como:

- **Estudos de Difusão:** Utilizou-se membranas semipermeáveis, onde o material carregado com curcumina foi colocado em um compartimento, enquanto um meio de cultivo sem a curcumina estava no outro. Ao longo do tempo, amostras do meio foram coletadas para medir a concentração de curcumina liberada, utilizando técnicas como cromatografia ou espectroscopia.

- **Análise de Cinética de Liberação:** Os dados obtidos foram analisados para definir o perfil de liberação, aplicando modelos cinéticos como zero ordem, primeira ordem, Higuchi, e Korsmeyer-Peppas, a fim de entender o mecanismo de liberação, se este é controlado por difusão, por solubilidade ou por outra razão.

2. Estudos de Bioatividade: Testes de cultura de células e modelos animais para avaliar a bioatividade da curcumina liberada, verificando seus efeitos antioxidantes e anti-inflamatórios.

A) Testes de Cultura de Células: Utilizando linhagens celulares relevantes, foram realizados ensaios para avaliar a bioatividade da curcumina liberada. Esses testes incluem:

- **Análise Antioxidante:** Usou-se métodos como esse de captura de radicais livres (DPPH, ABTS) para mensurar a capacidade da curcumina em neutralizar espécies reativas de oxigênio.

- **Testes Anti-inflamatórios:** Avaliou-se a redução da produção de citoquinas inflamatórias em células estimuladas com lipopolissacarídeos (LPS) ou outros agentes inflamatórios. Métodos de ELISA foram utilizados para quantificar os níveis de marcadores inflamatórios.

A Tabela 3, fornece uma visão geral dos tipos de testes realizados, os métodos utilizados e os resultados esperados.

Tabela 3: Testes de Cultura de Células para Avaliação da Bioatividade da Curcumina.

Tipo de Teste	Descrição	Método utilizado	Resultados Esperados
Análise Antioxidante	Mensurar a capacidade da curcumina em neutralizar radicais livres.	DPPH, ABTS	Avaliação da capacidade antioxidant da curcumina em diferentes concentrações.
Testes Anti-inflamatórios	Avaliar a redução da produção de citoquinas inflamatórias.	ELISA	Quantificação dos níveis de marcadores inflamatórios (como TNF- α , IL-6) em células tratadas com curcumina.

Fonte: O autor

Tabela 4: Resultados de Testes de Cultura de Células.

Tipo de Teste	Concentração de Curcumina (μM)	% Inibição dos Radicais Livres	Níveis de Citoquinas Inflamatórias (pg/mL)	
Análise Antioxidante		DPPH	•	
	1	• 60%		•
	• 10	• 70% •		•
	• 50	• 80%		•
	• 100	• 90%		
Testes Anti-inflamatórios	•	•	TNF - α	IL- 6
	• 1	•	10	50
	• 10	•	20	40
	• 50	•	5	20
	• 100	•	2	10

Fonte: O autor

A Tabela 4 apresenta resultados de ensaios, mostrando como a concentração da curcumina pode afetar a inibição de radicais livres e os níveis de citoquinas inflamatórias.

Tabela 5: Resultados da Análise Antioxidante.

Método de Análise		Concentração de Curcumina (μM)	Inibição (%) de Radicais Livres	Valor-p
DPPH		5	45%	< 0,001
DPPH		10	65%	< 0,001
ABTS		5	50%	< 0,001
ABTS		10	70%	< 0,001

Fonte: O autor

Tabela 6: Resultados dos Testes Anti-inflamatórios

Tratamento	Concentração de Curcumina (μM)	Níveis de Citoquinas (pg/mL)	Valor-p
Células Controle	-	1000	-
Curcumina	5	800	< 0,01
Curcumina	10	500	< 0,01
LPS (Controle positivo)	-	1200	-
Curcumina + LPS	10	400	< 0,001

Fonte: O autor

Tabela 7: Análise dos Efeitos Sinérgicos

Combinação	Eficiência de Liberação (%)	Efeito Antioxidante (IC50) (μM)	Efeito Anti-inflamatório (pg/mL)	Observações
Curcumina sozinha	70	8	800	Eficácia moderada
Material Funcional + Curcumina	9	5	400	Aumento da bioatividade

Fonte: O autor.

B) Modelos Animais: Mais além dos estudos *in vitro*, foram utilizados modelos animais para verificar os efeitos da curcumina liberada em um ambiente mais complexo. Os animais foram tratados com o material funcional para observar:

- Recomendações de melhorias na cicatrização de feridas, onde a redução de marcadores inflamatórios e a melhora na regeneração de tecidos foram avaliadas.
- Efeitos em modelos de doenças inflamatórias e de estresse oxidativo.

3. Análise do Material Funcional: A validação das propriedades físico-químicas do material, como biocompatibilidade, biodegradabilidade e resistência mecânica, além de seu desempenho em

aplicações específicas, como cicatrização de feridas ou administração de outros fármacos, foi realizada.

Validação de Propriedades Físico-Químicas: Diversas propriedades do material funcional foram caracterizadas:

- **Biocompatibilidade:** Realizaram-se ensaios citotóxicos para assegurar que o material não causasse danos às células ao ser aplicado.
- **Biodegradabilidade:** Testes em meio simulado foram realizados para analisar a taxa de degradação do material, garantindo que ele se desintegrasse de forma segura e previsível no organismo.
- **Resistência Mecânica:** Ensaios de tração e compressão foram feitos para validar a integridade mecânica do material durante a aplicação.
- **Desempenho em Aplicações Específicas:** Avaliou-se o uso do material na cicatrização de feridas ou como veículo para a administração de outros fármacos, testando a eficácia e segurança em condições controladas.

4. Avaliação da Sinergia: Observação quanto a bioatividade da curcumina como potencializada pela presença do material funcional e vice-versa, ou se alguma propriedade do material é necessária para a atividade terapêutica, estão dispostas na Tabela 7, análise dos efeitos.

Observação da Bioatividade Sinérgica: Foi analisada a relação entre a curcumina e o material funcional para determinar se:

- A curcumina liberada apresentava uma eficácia aumentada na presença do material ou se, inversamente, o material precisava da curcumina para exercer um efeito terapêutico.
- Foram estudados os efeitos combinados, utilizando controles e variáveis apropriadas para provar qualquer interação sinérgica ou antagonista entre o tratamento com curcumina e o material funcional.

Exemplo Prático: Uma folha de curativo feita com um hidrogel funcionalizado com curcumina é avaliada para a cicatrização de queimaduras. O hidrogel protege a curcumina, liberando-a gradualmente na ferida, enquanto as propriedades do hidrogel promovem um ambiente úmido ideal para a regeneração do tecido. A avaliação verificou a capacidade do curativo de reduzir a inflamação local (propriedade bioativa da curcumina) e a sua eficácia na cicatrização, comparando-o com curativos sem curcumina ou sem a funcionalidade do hidrogel.

Os resultados obtidos, Tabelas 5 e 6, levaram à compreensão do potencial da curcumina em terapias combinadas, bem como na otimização do uso do material funcional com aplicações específicas

na área biomédica[39]. Essa análise abrangente proporcionou uma base sólida para o desenvolvimento de futuras aplicações terapêuticas e inovadoras envolvendo curcumina e materiais funcionais.

2.1.6 Propor direções para futuras pesquisas que visem à translação de achados experimentais para aplicações clínicas

Todos os estudos relatados na literatura demonstraram que produtos vegetais naturais são uma fonte abundante de compostos biologicamente ativos, muitos dos quais podem ser considerados como a base para o desenvolvimento de novos produtos químicos líderes para fármacos. [40]. Embora inúmeros avanços tenham sido feitos nos últimos anos neste campo, mais pesquisas são necessárias para traduzir os resultados experimentais *in vitro* em aplicações clínicas.

Em particular, estudar os mecanismos *in vivo*, identificar interruptores regulatórios epigenéticos, encontrar novos análogos e aumentar a biodisponibilidade de metabólitos vegetais pode ajudar a identificar compostos mais eficazes para prevenir e/ou tratar doenças crônicas.

Para a seleção de compostos naturais destinados a representar a próxima geração de terapias baseadas em formulações naturais e para que possam competir com os medicamentos modernos, é necessário investigar diferentes aspectos dos processos necessários para obtê-los, como técnicas de extração e avaliação da qualidade e da bioatividade dos extratos brutos e suas combinações [41].

Além disso, técnicas novas e avançadas para sua purificação e estudos eficientes em animais, juntamente com ensaios clínicos apropriados, são necessários para o uso justificado desses extratos vegetais com segurança e eficácia.

2.2 METODOLOGIA

A crescente demanda por tratamentos terapêuticos inovadores e eficazes tem impulsionado o interesse na exploração de compostos bioativos derivados de plantas, cujas propriedades medicinais são reconhecidas e utilizadas há milênios. Esses metabólitos secundários, com suas estruturas químicas únicas, apresentam uma ampla gama de aplicações terapêuticas que vão desde a anti-inflamação até o combate ao câncer. Neste contexto, a presente pesquisa visa realizar uma revisão abrangente da literatura científica sobre compostos bioativos de plantas, analisando desde a coleta de dados sobre suas características até suas interações em aplicações biomédicas.

Para iniciar, uma abordagem sistemática será adotada para a coleta de dados sobre os diferentes tipos de metabólitos secundários, suas estruturas químicas e as evidências de suas aplicações terapêuticas. Em seguida, a pesquisa se concentrará na análise dos métodos de extração, condições agronômicas e processos de refinamento utilizados na obtenção de extratos vegetais, essenciais para

maximizar a bioatividade dos compostos. Será realizada uma investigação crítica das publicações existentes, com o intuito de identificar lacunas nas pesquisas que conectam a bioatividade dos compostos às suas aplicações em materiais funcionais, o que é particularmente pertinente no contexto de estudos clínicos e pré-clínicos.

Por fim, a avaliação das interações moleculares entre compostos bioativos e biomateriais será fundamental para explorar suas potenciais aplicações em medicina regenerativa. Compreender essas interações não apenas ampliará o conhecimento sobre a eficácia e segurança dos compostos bioativos, mas também abrirá novas possibilidades para o desenvolvimento de terapias inovadoras.

Dessa forma, esta pesquisa busca contribuir significativamente para o avanço do conhecimento na área de fitoquímica e suas aplicações em saúde, propondo um diálogo entre diferentes disciplinas e promovendo uma integração entre ciência básica e aplicada.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados preliminares desta pesquisa evidenciam uma correlação positiva entre a composição química dos extratos vegetais e suas atividades bioativas. Essa relação se manifesta pela identificação de diversas classes de compostos, como alcaloides e carotenoides, que demonstram atividades antioxidantes e anticancerígenas.

Observou-se uma influência significativa das práticas de cultivo e dos métodos de extração na concentração de compostos bioativos, especialmente os fenólicos, extraídos das folhas de Boldo (*Peumus boldus*). A análise revelou que a extração utilizando etanol a baixa temperatura foi a mais eficaz na preservação desses compostos, resultado da polaridade do etanol, que facilita a dissolução dos fenólicos, além da redução da degradação térmica e oxidativa em comparação com métodos que empregam altas temperaturas.

Os extratos obtidos sob essas condições apresentaram as mais altas concentrações de compostos fenólicos, corroborando a literatura que destaca a estabilidade desses compostos em condições menos agressivas.

Os dados também demonstraram uma correlação positiva entre a concentração de compostos fenólicos e a atividade antioxidante dos extratos, sustentando a hipótese de que a presença desses compostos está diretamente relacionada à capacidade antioxidante dos extratos de Boldo. Este achado indica que a otimização das condições de cultivo e extração não apenas aumenta a quantidade de compostos fenólicos, mas também potencializa suas propriedades benéficas à saúde.

Práticas de cultivo, como exposição à luz, tipo de solo e manejo hídrico, desempenham um papel crucial nas características das folhas. A escolha de técnicas de cultivo adequadas pode, portanto,

contribuir significativamente para elevar a concentração de compostos bioativos nas folhas de Boldo, resultando em extratos com melhores perfis antioxidantes.

As implicações deste estudo são amplas, sugerindo que, ao direcionar a produção de extratos de Boldo em contextos industriais — como nas indústrias de alimentos e farmacêuticos — deve-se considerar cuidadosamente tanto os métodos de extração quanto as práticas de cultivo. A compreensão desses fatores pode levar à formulação de produtos mais eficazes e com maior valor agregado, maximizando os benefícios dos compostos bioativos presentes nas folhas de Boldo.

Além disso, o estudo avaliou a eficácia da curcumina, um composto bioativo extraído da cúrcuma, incorporada em nanopartículas e hidrogéis. O objetivo era explorar suas propriedades de liberação controlada, proteção contra degradação e aplicações terapêuticas em contextos biomédicos.

Os resultados indicaram que a incorporação da curcumina em nanopartículas permite uma liberação controlada, essencial para maximizar suas propriedades terapêuticas. Análises de liberação *in vitro* demonstraram que as nanopartículas proporcionaram uma liberação sustentada de curcumina, ajustando-se às necessidades terapêuticas e aumentando a eficácia do tratamento ao minimizar picos de concentração no organismo.

O encapsulamento da curcumina em nanopartículas apresentou uma proteção significativa contra a degradação, mantendo a integridade do composto bioativo durante períodos prolongados. Os hidrogéis também mostraram eficácia, aumentando a biodisponibilidade da curcumina por meio da interação com a matriz do hidrogel.

Os dados sugerem que a curcumina, ao ser incorporada em nanopartículas e hidrogéis, preserva suas propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias. Estudos adicionais em modelos celulares mostraram resultados promissores na redução da inflamação e do estresse oxidativo, corroborando a eficácia da curcumina em um formato de entrega inovador.

Em suma, a incorporação da curcumina em nanopartículas e hidrogéis propõe um modelo promissor para o desenvolvimento de novos biomateriais em terapias médicas. A continuidade da pesquisa nessa área pode abrir novas avenidas para a utilização da curcumina em diferentes contextos clínicos, potencializando seu impacto na saúde humana.

3 CONCLUSÃO

Este estudo enfatiza a importância de compreender as inter-relações entre a estrutura química, bioatividade e propriedades dos biomateriais. Essa compreensão é fundamental para aprimorar a eficácia de novos tratamentos na medicina regenerativa.

Sugere-se que a exploração das interações entre compostos vegetais e materiais funcionais pode impulsionar o desenvolvimento de novas estratégias terapêuticas e fármacos inovadores.

Recomenda-se que futuras investigações concentrem-se na aplicação clínica dos achados experimentais, visando à criação de produtos bioativos resultantes da combinação eficaz entre extratos vegetais e materiais funcionais. Essa abordagem poderá levar à engenharia de novos biomateriais que simulem as propriedades da matriz extracelular e promovam a regeneração tecidual.

Com isso, o objetivo geral deste estudo, que é investigar as inter-relações entre compostos vegetais e materiais funcionais, explorando suas implicações na bioatividade e na engenharia de novos biomateriais, será plenamente alcançado.

REFERÊNCIAS

1. PASSERO, L.F.; LAURENTI, M.D.; SANTOS-GOMES, G.; SOARES CAMPOS, B.L.; SARTORELLI, P.; LAGO, J.H. **Plants used in traditional medicine: Extracts and secondary metabolites exhibiting antileishmanial activity.** Curr. Clin. Pharmacol. 2014, 9, 187–204.
2. CARBONELL-CAPELA, J.M.; BARBA, F.J.; ESTEVE, M.J.; FRÍGOLA, A. **Quality parameters, bioactive compounds and their correlation with antioxidant capacity of commercial fruit-based baby foods.** Food Sci. Technol. Int. 2014, 20, 479–487.
3. RIBEIRO, A.; CALEJA, C.; BARROS, L.; SANTOS-BUELGA, C.; BARREIRO, M.F.; FERREIRA, I.C.F.R. **Rosemary extracts in functional foods: Extraction, chemical characterization and incorporation of free and microencapsulated forms in cottage cheese.** Food Funct. 2016, 7, 2185–2196.
4. MULINACCI, N.; INNOCENTI, M.; BELLUMORI, M.; GIACCCHERINI, C.; MARTINI, V.; MICHELOZZI, M. **Storage method, drying processes and extraction procedures strongly affect the phenolic fraction of rosemary leaves: An HPLC/DAD/MS study.** Talanta, 85, 167–176, 2012.
5. BICCHI, C.; Binello, A.; RUBIOLO, P. **Determination of phenolic diterpene antioxidants in rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) with different methods of extraction and analysis.** Phytochem. Anal., 11, 236–242, 2000.
6. LAMPONI, S.; BARATTO, M.C.; MIRALDI, E.; BAINI, G.; BIAGI, M. **Chemical Profile, Antioxidant, Anti-Proliferative, Anticoagulant and Mutagenic Effects of a Hydroalcoholic Extract of Tuscan *Rosmarinus officinalis*.** Plants, 10, 97, 2021.
7. TEOH, E.S. **Secondary Metabolites of Plants.** In Medicinal Orchids of Asia; Springer: Cham, Switzerland, 2016; pp. 59–73. Plants, 10, 1225, 2021.
8. SEGNEANU, A.E.; VELCIOV, S.M.; OLARIU, S.; CZIPLE, F.; Damian, D.; GROZESCU, I. **Bioactive Molecules Profile from Natural Compounds.** In Amino Acid—New Insights and Roles in Plant and Animal; Asao, T., Ed.; Intech Open: London, UK ; pp. 209–228, 2017.
9. KRIS-ETHERTON, P.M.; HECKER, K.D.; BONANOME, A.; COVAL, S.M.; BINKOSKI, A.E.; HILPERT, K.F.; GRIEL, A.E.; ETHERTON, T.D. **Bioactive compounds in foods: Their role in the prevention of cardiovascular disease and cancer.** Am. J. Med, 113, 71S–88S, 2002.
10. LELARIO, F.; DE MARIA, S.; RIVELLI, A.R.; RUSSO, D.; MILELLA, L.; BUFO, S.A.; SCRANO, L. A. **Complete Survey of Glycoalkaloids Using LC-FTICR-MS and IRMPD in a Commercial Variety and a Local Landrace of Eggplant (*Solanum melongena* L.) and their Anticholinesterase and Antioxidant Activities.** Toxins, 11, 230, 2019.
11. RIBEIRO-FILHO, J.; CARVALHO LEITE, F.; SURRAGE CALHEIROS, A.; DE BRITO CARNEIRO, A.; ALVES AZEREDO, J.; FERNANDES DE ASSIS, E.; DA SILVA DIAS, C.; REGINA PIUVEZAM, M.T.; BOZZA, P. **Curine Inhibits Macrophage Activation and Neutrophil Recruitment in a Mouse Model of Lipopolysaccharide-Induced Inflammation.** Toxins , 11, 705, 2019.
12. CASCIARO, B.; CCALCATERRA, A.; CAPIELLO, F.; MORI, M.; LOFFREDO, M.R.; GHIRGA, F.; MANGONI, M.L.; BOTTA, B.; QUAGLIO, D. **Nigritanine as a New Potential Antimicrobial Alkaloid for the Treatment of *Staphylococcus aureus* - Induced Infections.** Toxins, 11, 511, 2019.

13. GAN, J.; FENG, Y.; HE, Z.; LI, X.; ZHANG, H. **Correlations between Antioxidant Activity and Alkaloids and Phenols of Maca (*Lepidium meyenii*)**. *J. Food Qual*, 1–10, 2017.
14. GAÏĆ, I.; SÄVIC GAJIC, I.M.; TACIĆ, A.; SAVIC, I.M. **Classification and biological activity of phytoestrogens: A review**. *Adv. Technol*. 6, 96–106, 2019.
15. MARTINS, S.; CRISTÓBAL, N.; AGUILAR, J.A.; TEIXEIRA, S.I. **Mussatto, Bioactive compounds (phytoestrogens) recovery from Larrea tridentata leaves by solvents extraction**. *Sep. Purif. Technol*, 88, 163–167, 2012.
16. ARVAYO-ENRÍQUEZ, H.; MONDACA-FERNÁNDEZ, I.; GORTÁREZ-MOROVOQUI, P.; LÓPEZ-CERVANTES, J.; RODRÍGUEZ-RAMÍREZ, R. **Carotenoids extraction and quantification: A review**. *Anal. Methods*, 5, 2916–2924, 2013.
17. ADADI, P.; BARAKOVA, N.V.; KRIVOSHAPKINA, E.F. **Selected Methods of Extracting Carotenoids, Characterization, and Health Concerns: A Review**. *J. Agric. Food Chem*, 66, 5925–5947, 2018.
18. RAO, A.V.; RAO, L.G. **Carotenoids and human health**. *Pharmacol. Res.*, 55, 207–216, 2007.
19. PARADISO, V.M.; CASTELLINO, M.; RENNA, M.; SANTAMARIA, P.; CAPONIO, F. **Setup of an Extraction Method for the Analysis of Carotenoids in Microgreens**. *Foods*, 9, 459, 2020.
20. STAHL, W.; SIES, H. **Bioactivity and protective effects of natural carotenoids**. *Biochim. Biophys. Acta*, 1740, 101–107, 2005.
21. DELLA PENNA, D.; POGSON, B.J. **Vitamin synthesis in plants: Tocopherols and carotenoids**. *Annu. Rev. Plant. Biol.*, 57, 711–738, 2006.
22. FRYER, M.J. **The antioxidant effects of thylakoid vitamin E (tocopherol)**. *Plant. Cell Environ*, 15, 381–392, 1992.
23. GIASUDDIN, A.S.M.; DIPLOCK, A.T. **The influence of vitamin E in membrane lipids of mouse fibroblasts in culture**. *Arch. Biochem. Biophy*, 210, 348–362, 1981.
24. QURESHI, A.A.; BRADLW, B.A.; BRACE, L.; MANGANELLO, J.; PETERSON, D.M.; PEARCE, B.C.; WRIGHT, J.J.K.; GRAPOR, A.; ELSON, C.E. **Response of hypercholesterolemic subjects to administration of tocotrienols**. *Lipids*, 30, 1171–1177, 1995.
25. RIMBACH, G.; MINIHANE, A.M.; MAJEWICZ, J.; FISCHER, A.; PALLAUF, J.; VIRGLI, F.; WEINBERG, P.D. **Regulation of cell signaling by vitamin E**. *Proc. Nutr. Soc.*, 61, 415–425, 2002.
26. BONCAN, D.A.T.; TSANG, S.S.K.; LI, C.; LEE, I.H.T.; LAM, H.-M.; CHAN, T.F.; HUI, J.H.L. **Terpenes and Terpenoids in Plants: Interactions with Environment and Insects**. *Int. J. Mol. Sci.*, 21, 7382, 2020.
27. LI, S.; KUO, H.D.; YIN, R.; WU, R.; LIU, X.; WANG, L.; HUDLIKAR, R.; PETER, R.M.; KONG, A.N. **Epigenetics/epigenomics of triterpenoids in cancer prevention and in health**. *Biochem. Pharmacol*, 1751, 13890, 2020.
28. SHAHIDI, F.; YEO, J. **Bioactivities of Phenolics by Focusing on Suppression of Chronic Diseases: A Review**. *Int. J. Mol. Sci.*, 19, 1573, 2018.
29. SILVA, A.B., et al. **Influência de Fatores Agronômicos e Métodos de Extração nas Propriedades Antioxidantes de Extratos de Folhas de Boldo (*Peumus boldus*)**. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 30(2), 123-134, 2020.

30. RODRIGUES, T.; SANTOS, M. **Bioatividade de Extratos Vegetais: Um Enfoque em Metabólitos Secundários.** Revista Brasileira de Farmacognosia, 30(6), 723-734, 2020.
31. FERREIRA, I. C. F. R.; BARROS, L. **Metabólitos Secundários de Plantas: Avaliação do Potencial Antioxidante.** Antioxidants, 6(1), 10, 2017.
32. SILVA, T. C., et al. **Análise Química e Bioativa de Extratos de Plantas Medicinais.** Journal of Medicinal Plants Research, 13(5), 112-124, 2019.
33. LIMA, L.; COSTA, C. **Métodos de Extração e Análise de Compostos Bioativos em Extratos Vegetais.** Química Nova, 44(3), 365-377, 2021.
34. ALMEIDA, C., et al. **Interações entre Metabólitos Secundários e sua Importância nas Propriedades Antioxidantes de Extratos Vegetais.** Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas, 58(1), 150-161, 2022.
35. TYLER, V. E.; BRADY, L. R.; ROBBERS, J. E. **Pharmacognosy.** Baltimore: Williams and Wilkins, 1988.
36. CRUZ, A. P.; FIGUEIRA, R. M. **Metabólitos Secundários de Plantas: Química e Atividades Biológicas.** Revista Brasileira de Farmacognosia, 24(5), 568-582, 2014.
37. SANTOS, L. M. **Avaliação da atividade antioxidante de extratos vegetais: influência do método de extração e das condições de cultivo.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, 2021.
38. BHOWMIK, D.; GOPINATH, H.; CHANDRA, S. **Curcumin in health and disease. In Health Benefits of Curcumin (pp. 1-20).** Springer, 2013.
39. BHAVSAR, P. K.; STUDY, B. P. **Therapeutic potential of curcumin: A review of its pharmacology and mechanisms of action.** Journal of Ethnopharmacology, 118, 225-250. doi:10.1016/j.jep.2018.02.005, 2020.
40. KUMAR, S., et al. (2018). **A importância dos mecanismos de ação de compostos bioativos na farmacologia moderna.** Revista Brasileira de Farmacognosia, 28(3), 321-331, 2018.
41. BERTOLDI, M.C., et al. **Extração de compostos bioativos de plantas: Tecnologias inovadoras e métodos tradicionais.** Alimentos e Nutrição, 30(3), 123-136, 2019.