



UNIVERSIDADE FEDERAL DO NORTE TOCANTINS  
CÂMPUS DE ARAGUAÍNA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIMBA

**DEBOHA VIEGAS ALVES DE ARAÚJO DOS SANTOS**

**EXTRAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA CURCUMINA E  
CURCUMINOIDES DE *CURCUMA LONGA L.*: ANÁLISES  
CROMATOGRÁFICAS E ESPECTROSCÓPICAS**

Araguaína/TO  
2025

**DEBOHA VIEGAS ALVES DE ARAÚJO DOS SANTOS**

**EXTRAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA CURCUMINA E  
CURCUMINOIDES DE *CURCUMA LONGA L.*: ANÁLISES  
CROMATOGRÁFICAS E ESPECTROSCÓPICAS**

Monografia foi avaliada e apresentada à UFNT – Universidade Federal do Norte Tocantins – Câmpus Universitário de Cimba, Curso de Química para obtenção do título de Licenciatura em Química e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador: Prof. Dr. Ednilson dos Santos Niculau.

Araguaína/TO  
2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema de Geração de Ficha Catalográfica SGFC-UFNT  
**Gerado automaticamente mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

D722e dos Santos, Deboha Viegas Alves de Araújo.  
EXTRAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA CURCUMINA E  
CURCUMINOIDES DE CURCUMA LONGA L.: ANÁLISES  
CROMATOGRÁFICAS E ESPECTROSCÓPICAS / Deboha Viegas  
Alves de Araújo dos Santos. - Centro de Ciências Integradas - CCI,  
TO, 2025.  
71 f.  
Monografia Graduação (Graduação - em Química) -- Universidade  
Federal do Norte do Tocantins, 2025.  
Orientador: Ednilson dos Santos Niculau.  
1. Trabalho de conclusão de curso. 2. Química orgânica. 3.  
Química dos produtos naturais.  
**CDD 540**

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.


DEBOHA VIEGAS ALVES DE ARAÚJO DOS SANTOS

## EXTRAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA CURCUMINA E CURCUMINOIDES DE *CURCUMA LONGA L.*: ANÁLISES CROMATOGRÁFICAS E ESPETROSCÓPICAS

Monografia foi avaliada e apresentada à UFNT – Universidade Federal do Norte Tocantins – Câmpus Universitário de Araguaína, Curso de Licenciatura em Química para obtenção do título de Licenciada em Química e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.


Data de aprovação: 11 / 02 / 2025

Banca Examinadora

Documento assinado digitalmente  
 EDENILSON DOS SANTOS NICULAU  
Data: 28/02/2025 13:36:49-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


---

Prof. Dr. Ednilson dos Santos Niculau (Orientador), UFNT

Documento assinado digitalmente  
 FLAMYS LENA DO NASCIMENTO SILVA  
Data: 28/02/2025 10:53:53-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dra. Flamys Lena do Nascimento (Banca Orientadora), UFNT

Documento assinado digitalmente  
 DANIEL AUGUSTO BARRA DE OLIVEIRA  
Data: 28/02/2025 10:38:01-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. Daniel Augusto Barra de Oliveira (Banca Orientadora), UFNT

Araguaína, 2025

*Dedico esse trabalho a minha mãe, uma mulher do campo que não teve oportunidade de concluir os estudos, mas que fez de tudo para que eu e meu irmão tivéssemos a possibilidade de vencer através da educação.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida e por ter escrito essa parte tão linda da minha história, estando sempre ao meu lado me guiando e protegendo. Não foi fácil, mas a fé e a esperança de um futuro melhor foram fatores fundamentais para concluir essa jornada. Agradeço também aos meus pais, em especial minha mãe Maria Delma que é meu pilar em tudo, minha melhor amiga, minha inspiração e maior incentivadora, obrigada por me ensinar que sem Deus, sem amar ao próximo e sem os estudos as chances de ser alguém de valor na vida são quase nulas. A senhora é a pessoa mais linda que eu conheço tanto por dentro como por fora, e eu espero um dia poder recompensa-la do jeito que merece, pois, es merecedora de tudo o que há de melhor. Te amo.

Agradeço também ao meu maninho Renato Russo a pessoa com quem mais brigo e também a que mais amo neste mundo, obrigada por atravessar a cidade todas as manhãs me levando para a universidade (mesmo não gostando de levantar cedo e cansado depois de uma noite de trabalho). Sou grata a minha tia Nely e ao meu tio Gilberto, que são meus segundos pais, obrigada por cada conselho, cada palavra de motivação, cada puxão de orelha, cada oração. Hoje eu formo por vocês que sempre me amaram como uma filha, cuidaram da minha mãe para que assim eu não precisasse trancar a faculdade e nunca me deixaram desistir. A minha amada vó dona Dirce e a Suzana uma amiga muito querida.

Ao meu orientador Prof. Dr. Edenilson dos Santos Niculau, obrigada pela paciência e dedicação, aprender com o senhor nos últimos dois anos foi um privilégio, sua dedicação a ciência é para mim uma fonte de inspiração, levarei seus conselhos comigo para sempre. A minha parceira de pesquisa e amiga Karen, sou muito agradecida por nossa parceria e por compartilhar momentos incríveis nessa jornada, apesar de tão jovem es um exemplo para mim de dedicação e maturidade e sei que ainda nos ajudaremos muito durante a nossa evolução científica que está só começando.

A UFNT não só pelo espaço onde vivi e amadureci muito, mas também pelas experiências vividas que transcendem os muros da universidade. Aos programas de ensino, pesquisa e extensão em que tive a oportunidade de participar PIBID, PIBIC e Alvorecer, me sinto privilegiada de participar como bolsista e como voluntária em todos os programas que o

curso de química oferece, neles aprendi e desenvolvi várias habilidades que foram de grande impacto para a minha formação.

A Prof. Dr. Verenna Barbosa Gomes a quem tenho o prazer de chamar de amiga, sua dedicação e carinho pelo o que faz enche meu coração de inspiração e amor pela docência, obrigada por sua paciência, preocupações de sempre e broncas de sempre. Obrigada por me permitir fazer parte da sua vida pessoal, mas principalmente por me permitir ser a tia “Deba” da Liz e do Theo. Estendo meus agradecimentos aos demais professores do colegiado Prof. Daniel Alcântara, Prof. Daniel Augusto, Prof. Josilanã, Prof. Luciane e Prof. Jane.

Agradeço também aos Professores que aceitaram fazer parte da banca Prof. Dr. Flamys e Prof. Dr. Daniel a quem tenho grande admiração. Ambos têm uma participação especial na minha formação, durante esse trajeto conseguimos criar laços de respeito e amizade, tenho guardado comigo cada incentivo, conselho e conversas inspiradoras. Aos técnicos de laboratório Gildete e Gilberto e ao meu amigo Mateus por tanto apoio.

As minhas amigas Ana Rita e Martha Cristina. Aninha desde a voltas as aulas pós pandemia sendo minha parceirinha, ela chegou caladinha e hoje se tornou uma aluna de oralidade incrível e ver você crescer foi encantador, voe alto e cada vez mais alto pois potencial é o que não lhe falta. Martha chegou depois com seu jeito extrovertido, toda falante e nos demos bem logo de cara, vi você crescer e se tornar uma pessoa mais responsável com a vida e com os estudos e tenho certeza que será uma ótima profissional. De tudo o que vivi na faculdade a nossa amizade foi uma das coisas mais lindas e espero que assim se perpetue, pois, “Um amigo fiel é uma poderosa proteção: quem achou, descobriu um tesouro” Eclesiástico 6.14

*Não foi eu quem lhe ordenei? Seja forte e corajoso! Não fique desanimado nem tenha medo, porque eu, o Senhor, seu Deus, estarei com você em qualquer lugar onde for*

*Josué 1:19*

## RESUMO

A *Curcuma longa* L., conhecida como açafrão-da-terra, destaca-se por suas propriedades químicas e diversas aplicações medicinais, industriais e alimentícias. Este trabalho teve como objetivo realizar a extração e caracterização da curcumina e outros curcuminoides presentes no rizoma da planta, utilizando técnicas cromatográficas e espectroscópicas de analíticas avançadas, como GC-MS, HPLC-DAD e FTIR. Os métodos empregados incluíram a extração sólido-líquido a fim de obter com extrato de curcuminoides de alta pureza. A análise cromatográfica permitiu identificar a curcumina, composto mais abundante da *Curcuma longa* L., os espectros de massa possibilitaram a caracterização do feruloilmetano um composto importante que permitem discutir o comportamento termolábil da curcumina, e a espectroscopia de infravermelho revelou a presença de grupos funcionais característicos. Os resultados demonstraram a eficiência dos métodos utilizados e reforçam o potencial da planta como fonte de compostos bioativos. Além disso, pesquisas recentes comprovam que a curcumina auxilia no combate a diversas doenças, entre elas no tratamento contra o câncer, sendo um excelente antioxidante. Contudo, esse trabalho contribui para o avanço no entendimento químico e aplicabilidade dos curcuminoides, com implicações para a indústria farmacêutica.

**Palavras-chave:** Produtos Naturais; Química; Orgânica; Soxhlet.

## ABSTRACT

*Curcuma longa* L., known as turmeric, stands out for its chemical properties and diverse medicinal, industrial, and food applications. This study aimed to extract and characterize curcumin and other curcuminoids present in the plant's rhizome using advanced analytical chromatographic and spectroscopic techniques such as GC-MS, HPLC-DAD, and FTIR. The methods employed included solid-liquid extraction to obtain a highly pure curcuminoid extract. Chromatographic analysis enabled the identification of curcumin, the most abundant compound in *Curcuma longa* L., while mass spectra allowed the characterization of feruloylmethane, an important compound that provides insights into the thermolabile behavior of curcumin. Infrared spectroscopy revealed the presence of characteristic functional groups. The results demonstrated the efficiency of the applied methods and reinforced the plant's potential as a source of bioactive compounds. Additionally, recent studies confirm that curcumin aids in combating various diseases, including cancer treatment, acting as an excellent antioxidant. Therefore, this study contributes to advancing the chemical understanding and applicability of curcuminoids, with implications for the pharmaceutical industry.

**Key-words:** Natural Products; Chemistry; Organic; Soxhlet.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: <i>Curcuma longa</i> l. (a). <i>Crocus sativus</i> l. (b).....	19
Figura 2: Pó e imagem do açafrão-da-terra com o rizoma em destaque (a). Flor e estigmas do açafrão verdadeiro (b).....	20
Figura 3: Síntese da curcumina proposta por lampe.....	26
Figura 4: Forma cetônica da curcumina (a). Forma enólica da curcumina (b). .....	27
Figura 5: Principais agentes de defesa antioxidante segundo bianchi (1999). .....	28
Figura 7: Representação molecular da piperina. ....	31
Figura 8: Produtos de degradação da curcumina. ....	32
Figura 9: Curcuminoides encontrados por análise de hplc-dad.....	34
Figura 10: Açafrão-da-terra adquirido no mercado municipal de araguaína.....	37
Figura 11: Amostra descartada(a); Amostra cortada em lâmina no desidratador de alimentos (b); Amostra desidratada (c); Extração dos curcuminoides no soxhlet (d). ....	37
Figura 12: Esquema de extração com o rizoma do açafrão desidratado. ....	38
Figura 13: Preparo da amostra para serem analisadas por gc-ms e hplc-dad. ....	39
Figura 14: Preparo da amostra para serem analisadas por ftir.....	40
Figura 15: Cromatograma de íons totais dos voláteis do extrato de curcuminoides em modo split. ....	43

Figura 16: Principais curcuminoides encontrados através da análise do extrato pela técnica gc-ms em modo split.....	<b>44</b>
Figura 18: Proposta de fragmentação para a ar-turmerona.....	<b>45</b>
Figura 19: Espectro de massa da turmerona ei 70ev por gc-ms obtido experimentalmente. ...	<b>46</b>
Figura 20: Proposta de fragmentação para da turmerona. ....	<b>47</b>
Figura 21: Espectro de massas da $\beta$ -turmerona ei 70ev por gc-ms obtido experimentalmente. ....	<b>47</b>
Figura 22: Proposta de fragmentação para a $\beta$ -turmerona.....	<b>48</b>
Figura 23: Cromatograma da curcumina mais piperina da adquirida comercialmente ei 70ev por gc-ms em modo split. ....	<b>49</b>
Figura 24: Cromatograma de íons totais da curcumina mais piperina da ei 70ev por gc-ms em modo splitless. ....	<b>49</b>
Figura 25: Espectro de massa do feruloilmetano ei 70ev por gc-ms.....	<b>51</b>
Figura 26: Cromatograma de íons extraídos m/z 192 do extrato da curcumina.....	<b>52</b>
Figura 27: Cromatograma de hplc do extrato de curcuminoides em metanol a 1mg/ml (a). Espectro de varredura total (b). Cromatogramas hplc em 3d do extrato de curcuminoides (c) e (d). ....	<b>53</b>
Figura 28: Cromatograma de hplc do medicamento curcumina + piperina em metanol a 0,1 mg/l (a). Cromatograma hplc em 3d do extrato de curcuminoides (b). ....	<b>54</b>
Figura 29: Pico de absorção máxima da banda de absorção curcumina do extrato em 425 nm (a). Pico de absorção máxima da banda de absorção curcumina do medicamento em 426 nm. ....	<b>55</b>

Figura 30: Espectro de infravermelho do extrato de curcuminoides (a). Espectro infravermelho do medicamento que contém a curcumina isolada (b). .....56

Figura 31: Espectro de infravermelho da curcumina.....57

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Rendimento de alguns extratos de curcuminoides.	35
Tabela 2 – Solventes utilizados no preparo das amostras.	40
Tabela 3 - Composição química dos voláteis da amostra de curcuminoides extraído experimentalmente.	43
Tabela 4 - Composição química dos voláteis da amostra de curcuminoides.	50

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

UFNT	Universidade Federal do Norte do Tocantins
GC-MS	Cromatografia a gás acoplada à espectrometria de massas
HPLC	Cromatografia líquida de alta eficiência
HPLC-DAD	Cromatografia líquida de alta eficiência com detector de arranjo de diodos
FTIR	Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier
C.L	<i>Curcuma longa L.</i>
DNA	Ácido desoxirribonucleico
KBr	Brometo de potássio
CC	Curcumina
DMC	Desmetoxicurcumina
BDMC	Bisdesmetoxicurcumina
SUS	Sistema Único de Saúde
L	Comprimento
DI	Diâmetro interno
D&W	Deutério e tungstênio

## LISTA DE SÍMBOLOS

<i>mL</i>	Mililitro
$\mu L$	Microlitro
<i>L</i>	Litro
<i>mg/mL</i>	Miligramo por mililitro

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	19
1.1 Problema de pesquisa.....	20
1.1.1 Hipótese.....	21
1.1.2 Delimitação de Escopo.....	21
1.1.3 Justificativa.....	21
2. OBJETIVOS.....	23
2.1 Objetivo Geral.....	23
2.2 Objetivos Específicos.....	23
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	24
3.1 Característica Físico-Química da Curcumina.....	25
3.2 Radicais livres.....	27
3.3 Funções terapêuticas .....	29
3.4 Biodisponibilidade.....	31
3.5 Degradação da Curcumina .....	32
3.6 Curcuminoides.....	33
3.7 Rendimento .....	34
4. METODOLOGIA.....	36
4.1 Procedimentos Metodológicos.....	36
4.2 Obtenção das amostras .....	36
4.3 Extração.....	37
4.4 Curcumina comercial .....	39
4.5 Preparo das amostras para análise química .....	39
4.6 Cromatografia a gás acoplada à espectrometria de massas .....	40
4.7 Cromatografia líquida de alta eficiência com detector de arranjo de diodos .....	41
4.8 Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier.....	41

5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	42
5.1	Cromatografia a gás acoplada à espectrometria de massas .....	42
5.1.1	Análise do extrato de curcuminoides.....	42
5.1.2	Análise na amostra do medicamento.....	49
5.2	Análise por Cromatografia líquida de alta eficiência com detector de arranjo de diodos (HPLC-DAD) .....	52
5.3	Análise por (FTIR).....	56
5.4	Cálculo de rendimento.....	58
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	59
6.1	Trabalhos futuros .....	59
7.	REFERÊNCIAS .....	60
8.	APÊNDICE A – CURCUMINA: A JORNADA DOURADA – DA HISTÓRIA ÀS RECEITAS .....	65

## 1. INTRODUÇÃO

A *cúrcuma* pertence ao gênero *Curcuma longa* L. (Figura 1) destaca-se por suas propriedades químicas e amplas aplicações. Conhecida popularmente em países de língua inglesa como *turmeric*, nos países orientais como *jiang huang*, no Paquistão como *haldi*. No Brasil é chamada de açafrão-da-terra, falso açafrão ou gengibre dourado. Amplamente utilizada tanto na culinária quanto na medicina tradicional, a planta também possui importância cultural e econômica em várias regiões (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2020). Embora o nome sugestivo faça com que este seja frequentemente confundido com o açafrão-verdadeiro (*Crocus sativus* L.) (Figura 1), ambas são plantas de classificação taxonômica distinta (TOLEDO, 2013).

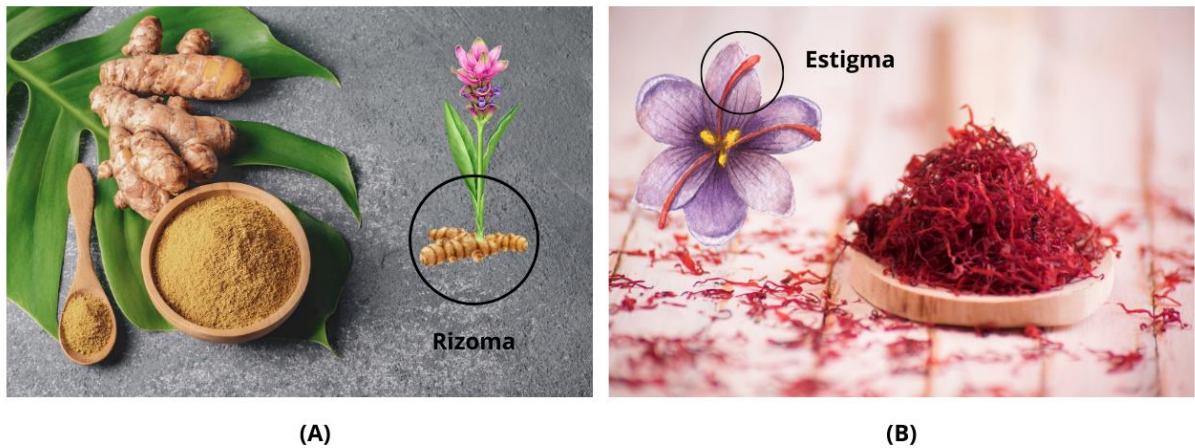
**Figura 1:** *Curcuma longa* L. (a). *Crocus sativus* L. (b)



Fonte: Autoral. Usando o software Canva (2024).

O açafrão-da-terra é um pó amarelo-alaranjado, é obtido a partir da secagem e moagem do rizoma da *cúrcuma*. Já o açafrão-verdadeiro (Figura 2), conhecido por sua cor avermelhada intensa, é produzido manualmente a partir dos estigmas secos de suas flores, um processo que contribui para que seja considerada a especiaria mais cara do mundo, com um preço por quilograma equipado ao ouro (TOLEDO, 2013).

**Figura 2:** Pó e imagem do açafrão-da-terra com o rizoma em destaque (a). Flor e estigmas do açafrão verdadeiro (b).



Fonte: Autoral. Usando o software Canva (2024).

Sua versatilidade está relacionada aos compostos químicos presentes, que são extraídos e utilizados para fins terapêuticos, cosméticos e industriais. Essa valorização faz da *Curcuma longa* L. uma espécie com significativa demanda e potencial de exploração comercial. Estudos continuam a explorar seu cultivo e métodos de extração, buscando maximizar sua produção e aplicação (SUETH-SANTIAGO et. al 2015).

### 1.1 Problema de pesquisa

A *Curcuma longa* L., é uma planta de fácil acesso na região Norte do Brasil, apesar de não nativa do país, se adequou muito bem as condições geográficas da região, sendo o maior produtor nacional da planta o município de Mara Rosa, localizado no estado de Goiás. (SENAR, 2017). Assim, faz-se necessário contribuir com estudos que aprofundem o conhecimento sobre uma planta tão presente e de fácil acesso na nossa região, visando não apenas agregar valor econômico, mas também promover o uso sustentável e a aplicação de métodos inovadores para a extração e caracterização de seus compostos ativos. Essa contribuição ajuda a explorar novas abordagens que podem beneficiar tanto o setor científico quanto a indústria e ambiental, incentivando o uso de técnicas mais ecológicas e eficientes.

### 1.1.1 Hipótese

A *Curcuma longa* L. é amplamente popular e acessível, de baixo custo e fácil cultivo. Além disso, suas propriedades terapêuticas reconhecidas, incluindo efeitos antioxidantes, anti-inflamatórios e anticancerígenos, despertaram um crescente interesse científico e industrial. Diante disso, estudar sobre a planta e aprofundar o conhecimento sobre suas características e propriedades terapêuticas abre um vasto leque de possibilidades nos campos científico e industrial.

### 1.1.2 Delimitação de Escopo

Este trabalho se concentra na extração e caracterização da curcumina e outros curcuminoides presentes no rizoma da *Curcuma longa* L. utilizando métodos cromatográficos e espectroscópicos, como GC-MS, HPLC-DAD e FTIR, visando a obtenção de extratos de alta pureza com o uso de solventes menos tóxicos. O estudo abordará a eficiência dos métodos empregados, a análise estrutural dos compostos.

Contudo, esta pesquisa não incluirá a otimização do método de separação completa dos curcuminoides, nem abrangerá estudos detalhados de bioatividade dos compostos isolados. Também não causará uma comparação direta com outros solventes ou técnicas alternativas. Assim, o foco será a caracterização química e o potencial de obtenção de alta pureza dos extratos, limitando-se a avaliar os resultados por meio das técnicas analíticas já mencionadas.

### 1.1.3 Justificativa

A justificativa para este trabalho se baseia na importância da curcumina e outros curcuminoides presentes no rizoma de *Curcuma longa* L., reconhecidos por suas propriedades terapêuticas e potencial para aplicação em áreas farmacêuticas e nutracêuticas. A relevância da proposta se destaca pela necessidade de métodos de extração e análise que garantam alta pureza e eficiência, fundamentais para o desenvolvimento de produtos de qualidade superior que possam ser aplicados em terapias alternativas e no desenvolvimento de fármacos (VIEGAS JR et al., 2006; RODRIGUES, 2024).

Além disso, a aplicação de técnicas como Cromatografia Gasosa acoplada à Espectrometria de Massas (GC-MS) e Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (HPLC) permite uma identificação detalhada dos curcuminoides, e a utilização de Espectroscopia no

Infravermelho (FTIR) e Espectrometria de Massas permite uma análise detalhada dos grupos funcionais dos compostos, o uso de tais técnicas aumenta a viabilidade do trabalho, garantida pelo avanço tecnológico e disponibilidade de equipamentos analíticos de ponta em centros de pesquisa e universidades.

O trabalho também visa desenvolver abordagens mais seguras e sustentáveis para a obtenção de compostos bioativos da planta, considerando que os métodos convencionais frequentemente empregam solventes de elevada toxicidade, como diclometano, acetato de etila e clorofórmio, além de etapas de partição com solventes orgânicos e técnicas de cristalização (SALAM et al., 2019). Assim, a busca por alternativas que utilizem solventes atóxicos ou menos tóxicos, como acetona e água, torna-se essencial para minimizar os impactos adversos, mantendo a eficiência na extração e purificação de compostos

Com tudo, a motivação para este estudo surge da crescente demanda por produtos naturais e compostos bioativos em tratamentos de doenças diversas (RODRIGUES, 2024), reforçando a importância de explorar métodos eficazes para obtenção e caracterização dos curcuminoides. Este projeto se destaca pela abordagem integrada de técnicas modernas de análise química, que não apenas aprimora a precisão na identificação dos compostos, mas também promove um avanço significativo na pesquisa de produtos naturais, com implicações diretas na saúde e na inovação farmacêutica.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo Geral

Realizar a extração sólido-líquido e identificar a curcumina e outros curcuminoides relevantes a partir do rizoma de *Curcuma longa* L., utilizando técnicas cromatográficas e espectroscópicas, como HPLC-DAD, GC-MS e FTIR

### 2.2 Objetivos Específicos

- Isolar a curcumina e outros curcuminoides importantes a partir do rizoma de *Curcuma longa* L. utilizando métodos que garantam alta eficiência e alta pureza.
- Identificar os curcuminoides através de técnicas analíticas clássicas e modernas como a Cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GC-MS) e Cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC).
- Analisar as estruturas moleculares dos curcuminoides através do Espectro de massa (GC) e os grupos funcionais das moléculas por Espectroscopia no Infravermelho (FTIR) para a caracterização detalhada.
- Propor mecanismos de fragmentação possíveis para as moléculas majoritárias identificadas pela técnica de GC-MS.

### 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Desde os tempos pré-históricos, o ser humano utiliza plantas, seja como alimento, seja como remédio. As civilizações antigas desenvolveram suas próprias referências históricas sobre o uso de plantas medicinais, transmitindo conhecimentos de forma oral antes de registrá-los em textos literários. Essa tradição oral foi essencial para a perpetuação desses saberes ao longo das gerações. Durante as práticas experimentais com plantas, observou-se que algumas possuíam propriedades curativas, sendo consideradas "plantas milagrosas", enquanto outras provocavam efeitos colaterais graves, podendo até levar à morte daqueles que as consumiam (LE COUTEUR & BURRESON, 2006).

Entre as diversas plantas reconhecidas por suas propriedades terapêuticas, insere-se a *Curcuma longa* L. (C.L), utilizada há séculos na medicina tradicional para o tratamento de uma variedade de condições, como inflamações, artrite, distúrbios digestivos e infecções (DANDUNGA et al., 2020; SUETH-SANTIAGO, 2015; SHOBA et al., 1998). A cúrcuma, da família Zingiberaceae, é uma planta herbácea e perene que pode crescer de 120 a 150 centímetros em condições ideais de clima e solo. Suas folhas são grandes, oblongas-lanceoladas e oblíquo-nervadas, e liberam um aroma agradável quando amassadas (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2020).

A C.L é original da Ásia com destaque popular na região sul, mais especificamente na Índia. Inicialmente, seu uso está associado aos rituais e cultos à Shakti, ela simbolizava a pureza e era elemento essencial em cerimônias religiosas e sociais, sendo aplicado em altares e imagens como expressão de devoção. É comum nesta região práticas como a aplicação de pasta de cúrcuma em recém-nascidos e mulheres antes e durante o casamento destaca seu papel de proteção e purificação. Os festivais, como o Raja em Orissa, ainda preservam tradições em que a cúrcuma é utilizada para rituais de fertilidade e purificação, refletindo sua importância na vida social e religiosa (VELAYUDHAN et. al 2012).

E com o passar do tempo, o uso da cúrcuma foi para além dos rituais religiosos, ganhando relevância como condimento, cosmético e ingrediente medicinal. Referências a essas práticas aparecem em canções folclóricas medievais, como o *Vadakkan paattukal*, de Kerala, cantadas por trabalhadores rurais. Nessas canções, a cúrcuma é retratada como símbolo de beleza e borboletas, destacando seu valor na vida cotidiana. A comparação da cor das mulheres à cúrcuma fresca da região de Wynad reflete a apreciação estética por sua tonalidade vibrante. Assim, o uso multifacetado da cúrcuma, desde rituais de purificação até o comércio e

embelezamento, evidencia sua relevância contínua na cultura indiana (VELAYUDHAN et. al 2012).

Da Índia, a cúrcuma se popularizou durante o século XVI por meio das rotas comerciais realizadas pelos mercadores árabes e das expedições marítimas dos portugueses (FILHO et al., 2000). A planta logo foi valorizada por suas propriedades, tanto corantes quanto medicinais, a cúrcuma tornou-se uma mercadoria importante no comércio global, viajando por rotas que uniam o Oriente e o Ocidente (SUETH-SANTIAGO et.al 2015).

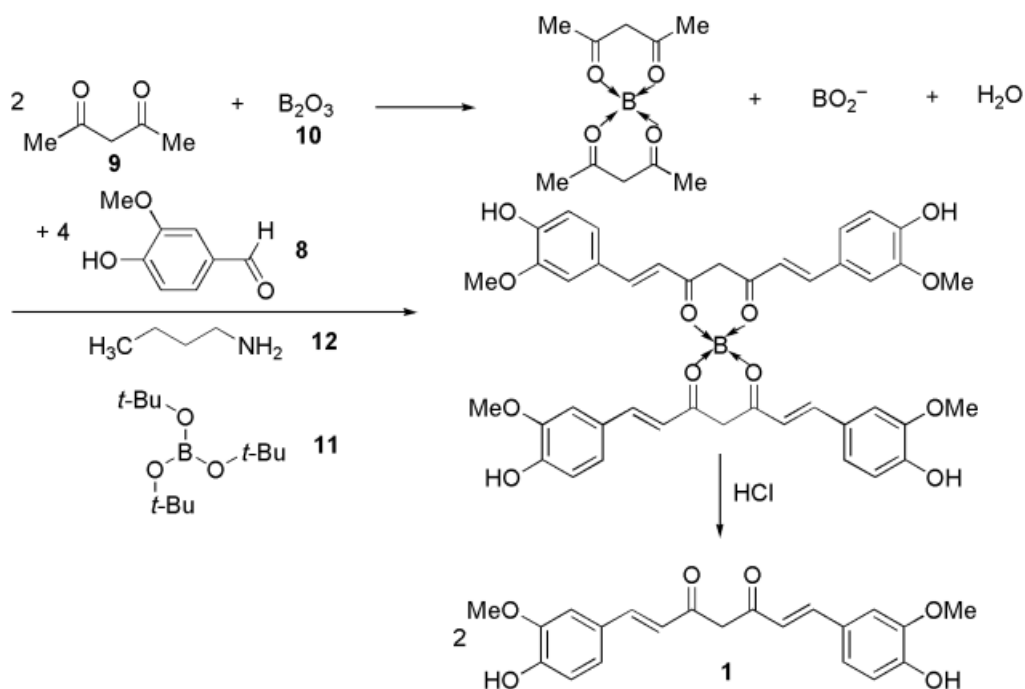
No Brasil, o cultivo da cúrcuma foi introduzido durante o período colonial pelos bandeirantes, que a utilizavam tanto para marcar as áreas de extração de ouro quanto como tempero, realçando o sabor e a cor dos alimentos (SIGRIST, 2009). E após a proibição do uso de corantes artificiais a cultivo da cúrcuma no país cresceu, principalmente no estado do Mato Grosso, São Paulo e Goiás, com destaque o município de Mara Rosa GO o maior produtor brasileiro da planta (BARTHOLO et al., 2005).

### 3.1 Característica Físico-Química da Curcumina

A curcumina, principal composto ativo da *Curcuma longa*, foi primeiramente isolada em 1815 por Vogel e Pelletier, apresentando uma cor laranja e pouco solúvel em água (SUETH-SANTIAGO et. al 2015). Lampe publicou o primeiro artigo sobre a síntese da curcumina, descrevendo um método em cinco etapas que utilizava cloreto de carbometoxiferuloilo e acetoacetato de etilo. Décadas depois, em 1964, Pabon apresentou uma abordagem mais simples e eficiente (Figura 3), com rendimento elevado ( $\eta = 80\%$ ). Este método utiliza acetilacetona (1 equivalente) e vanilina (2 equivalentes) como reagentes principais, na presença de trióxido de boro ( $B_2O_3$ ), borato de tributilo e n-butilamina, sob condições de alta temperatura. Inicialmente, o trióxido de boro é combinado com a acetilacetona para evitar uma reação indesejada de condensação de Knoevenagel (ALBADALEJO et al, 2015).

Essa combinação permite que os grupos metilo laterais da acetilacetona, ativados pela n-butilamina (que atua como base para extrair prótons), reajam seletivamente com o aldeído da vanilina. Durante a reação, o acetato de etilo é usado como solvente, e o borato de tributilo absorve a água gerada, favorecendo o progresso da reação. Por fim, a adição de ácido clorídrico (HCl) decompõe o complexo intermediário, resultando na formação da curcumina. Além disso, derivados curcuminoides podem ser sintetizados usando temperaturas mais baixas, mantendo o acetato de etilo como solvente (LOPES, 2018; ALBADALEJO et al, 2015).

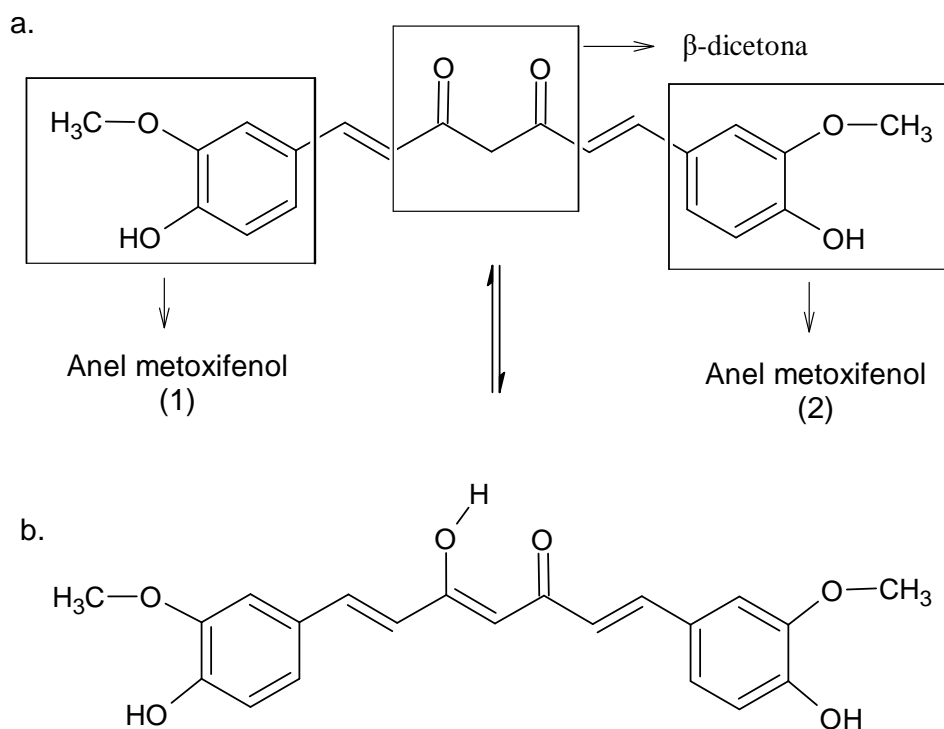
**Figura 3:** Síntese da curcumina proposta por Lampe.



Fonte: ALBADALEJO et al, 2015.

A estrutura química da curcumina foi imposta por Lampe e Milobedzka em 1910, que a identificaram como [1,7-bis-(3-metoxi-4-hidroxifenil)-1,6-heptadieno-3,5-diona], também conhecida como diferuloilmetano, com a fórmula molecular  $C_{21}H_{20}O_6$  e uma massa molar de 368,38 g/mol. A molécula possui dois anéis de metoxifenol conectados de forma simétrica por uma cadeia  $\beta$ -dicetona, essa porção  $\beta$ -dicetona permite a transferência intramolecular de um átomo de hidrogênio, levando ao tautomerismo ceto-enol (Figura 4) (TOLEDO, 2013).

**Figura 4:** Forma cetônica da curcumina (a). Forma enólica da curcumina (b).



Fonte: Autoral, (2024).

Em soluções aquosas com potencial hidrogeniônico ácido e neutro, a curcumina predomina na forma cetônica, onde é um eficiente doador de hidrogênio. Em condições básicas, a forma enólica é mais presente, desempenhando um papel de doador de elétrons, um comportamento característico de antioxidantes fenólicos na captura de radicais livres (TOLEDO, 2013). A tautomeria ceto-enólica é um tipo de isomeria especial que ocorre entre compostos que podem existir em duas formas interconversíveis em meio ácido ou base: uma forma cetônica e uma forma enólica. Essas duas formas são isômeros estruturais que mudam na posição de um átomo de hidrogênio e de uma dupla ligação (SOLOMOS, 2009).

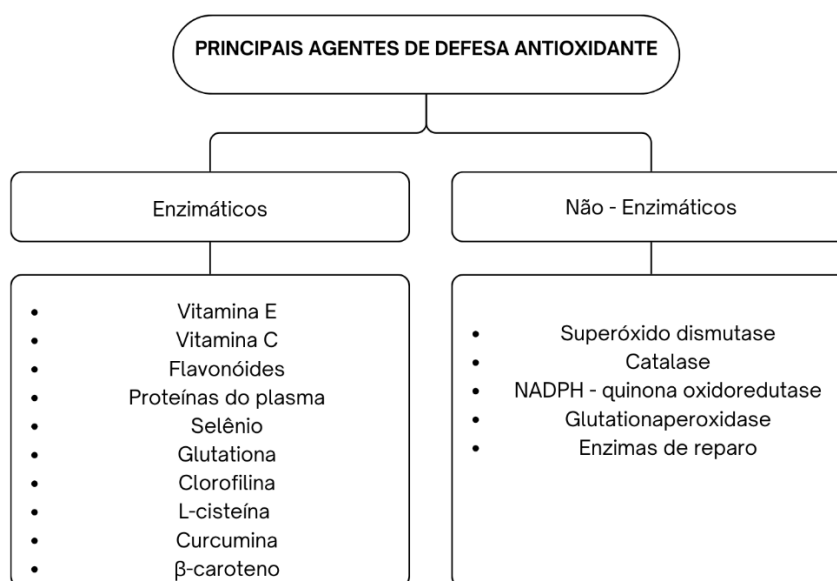
### 3.2 Radicais livres

Os radicais livres são moléculas altamente reativas gerados por fontes endógenas e exógenas. Entre as fontes endógenas, estão os processos metabólicos naturais, como a respiração celular, a atividade enzimática de oxidases, peroxidases e a fagocitose no sistema imunológico. Já as fontes exógenas incluem radiação ultravioleta, poluição ambiental, fumo,

álcool, medicamentos e toxinas químicas. Essas moléculas possuem elétrons desemparelhados, tornando-os instáveis e capazes de reagir com outras estruturas celulares, como lipídios, proteínas e DNA (BUSTINZA et. al.,2023; BIANCHI, 1999).

Apesar de desenvolver funções importantes, como no sistema imunológico e na homeostase celular, o excesso de radicais livres pode levar ao estresse oxidativo, comumente relacionado ao envelhecimento, inflamações e doenças como câncer e distúrbios cardiovasculares. Quando o estresse oxidativo é moderado, o organismo aumenta suas defesas antioxidantes enzimáticas, no entanto, a produção excessiva de radicais livres pode causar danos graves e até morte celular (VIERA, 2019; BIANCHI, 1999). Antioxidantes atuam como agentes essenciais, reduzindo e inibindo os danos causados pelos radicais livres (BUSTINZA et. al.,2023), esses agentes podem ser classificados como enzimáticos ou não-enzimáticos (Figura 5) (BIANCHI, 1999).

**Figura 5:** Principais agentes de defesa antioxidante segundo Bianchi (1999).



Fonte: Autoral, (2024), adaptada de Bianchi (1999).

Nesse viés, a capacidade antioxidante dos polifenóis está relacionada à sua habilidade de neutralizar radicais livres, estabilizando-os por meio da doação de íons H<sup>+</sup> ou elétrons (ANGELIM et. al., 2021). No caso da curcumina, os três sítios ativos em sua estrutura permitem essas oportunidades: o grupo fenólico, o grupo metoxi e o grupo da cetona. Entretanto, estudos indicam que o hidrogênio do grupo fenólico é o mais facilmente removido na curcumina. Esse

processo resulta na formação do radical fenoxil, que, devido à estabilização pela ressonância em sua estrutura molecular, se torna significativamente mais estável e menos reativo. Essa estabilidade reduz a probabilidade de o radical causar reações indesejadas em outros compostos, destacando o potencial da curcumina (ARAÚJO et. al., 2019).

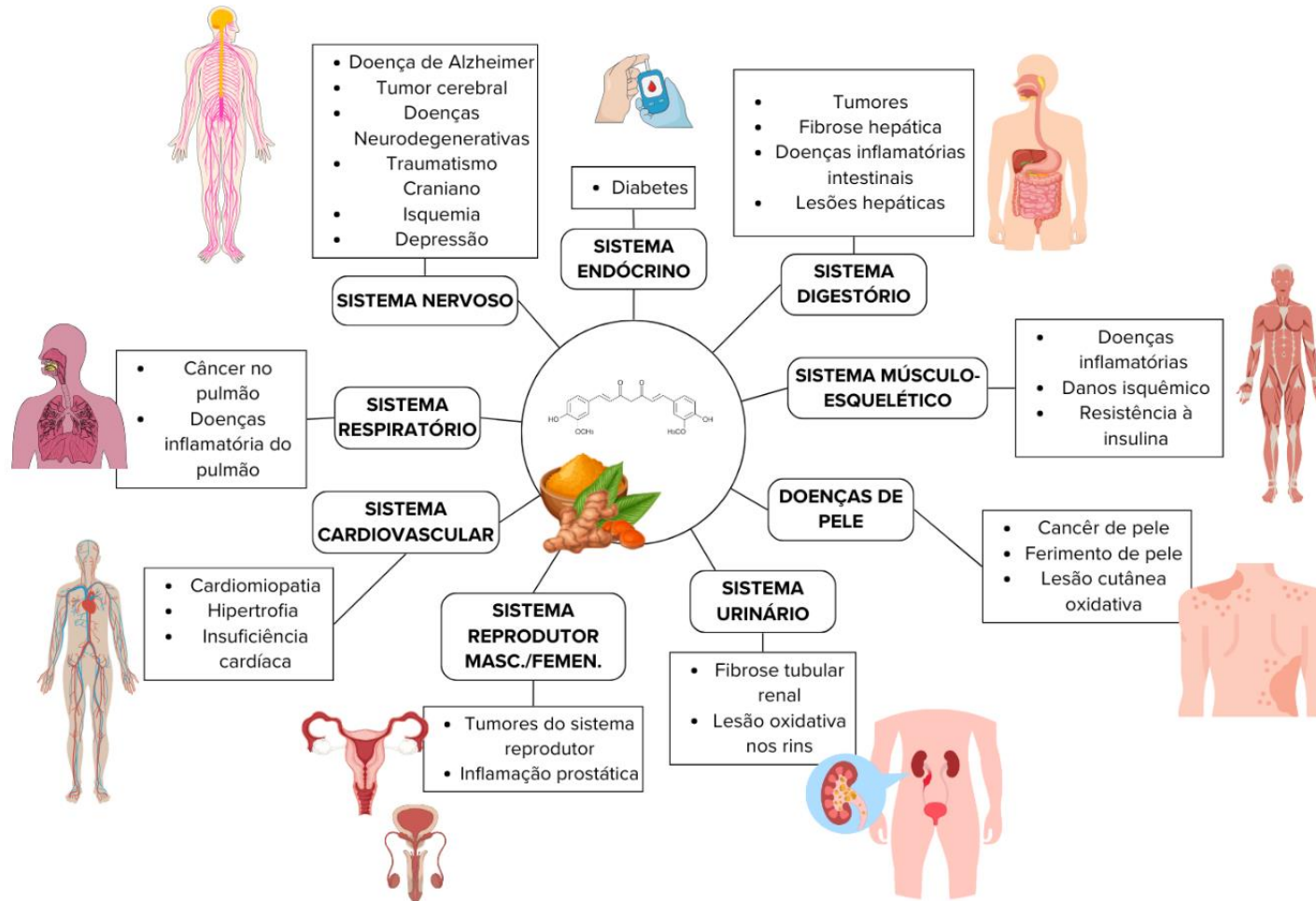
### **3.3 Funções terapêuticas**

A curcumina tem sido extensivamente pesquisada devido às suas propriedades medicinais únicas, que abrangem diversas áreas terapêuticas. Nos últimos anos, ela tem se destacado como um agente terapêutico versátil, demonstrando uma variedade de atividades biológicas (Figura 4), incluindo efeitos anticancerígenos, antioxidantes, antimaláricos, antimutagênicos, antibacterianos, antiangiogênicos, imunomoduladores, quimiopreventivos, antileishmanioses e anti-inflamatórios (ALI et. al., 2017; CAMATARI, 2017).

Entre os diversos efeitos atribuídos aos polifenóis, destaca-se a capacidade de inibir a biossíntese de leucotrienos, moléculas envolvidas em processos inflamatórios, além de sua interação com a microflora intestinal e a estimulação do sistema nervoso central (SNC). A prevenção da carcinogênese é amplificada pela presença de antioxidantes que protegem as células contra danos oxidativos e alterações que podem levar a lesões responsáveis por tumores malignos (ANGELIN, 2021).

Esses compostos também regulam a controle celular e induzem a apoptose de células cancerígenas, interferindo em processos essenciais da descrição de DNA e divisão celular (GATTO et al., 2019). As propriedades bioativas da curcumina também abrange diversas doenças crônicas (Figura 6) em que a inflamação exerce um papel crucial, como doenças neurodegenerativas (Alzheimer e Parkinson), doenças cardiovasculares, diabetes, alergias, asma, bronquite, doenças inflamatórias intestinais, artrite, reumatóides, isquemia renal, psoríase, esclerodermia e diferentes tipos de câncer, incluindo gastrointestinal, geniturinário, cerebral, ginecológico, de cabeça e pescoço, melanoma, hematológico e ósseo (TOLEDO, 2013; ANAND et al., 2008; AGGARWAL, 2009).

**Figura 6:** Doenças que podem ser combatidas com o consumo da curcumina.



Fonte: Autoral (2024), adaptado de CAMATARI (2017).

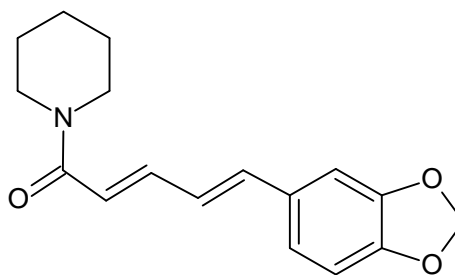
### 3.4 Biodisponibilidade

Também conhecido como diferuloilmetano, a curcumina apresenta uma série de limitações relacionadas à sua biodisponibilidade, o que afeta seu potencial terapêutico. Isso ocorre porque ela é pouco solúvel em água, dificultando sua dissolução no trato gastrointestinal. Além disso, sua absorção pelas células intestinais é limitada, restringindo a quantidade que chega à circulação sistêmica. Outrossim, a curcumina é rapidamente metabolizada e eliminada pelo organismo, reduzindo o tempo em que permanece ativa no corpo. Esses fatores motivam pesquisas para melhorar sua formulação e eficácia clínica (PAIVA, 2023).

Com isso, comumente estratégias são desenvolvidas para aumentar a biodisponibilidade da curcumina. Entre elas está a associação da mesma com piperina e/ou óleo, o que ajuda a aumentar sua absorção pelo corpo (SHOBA et al., 1998), outras táticas são o uso de tecnologias avançadas como a complexação ou incorporação em nanopartículas, lipossomas, micelas, microemulsões e moléculas lipídicas. Essas abordagens visam superar as limitações de solubilidade e estabilidade do composto, pois permitem a circulação do composto por mais tempo por oferecer maior resistência aos processos durante a metabolização (PAIVA, 2023).

A piperina (Figura 7) é um alcaloide bioativo encontrado em alta concentração no *Piper nigrum*, conhecido como pimenta-preta ou pimenta-do-reino. Suas propriedades biológicas incluem ação antioxidante e pró-oxidante, que ajudam a equilibrar os níveis de radicais livres no organismo. Além disso, apresenta atividades antiproliferativas, inibindo o crescimento de células anormais, e potencial anti-metastático, o que sugere seu papel na prevenção da disseminação de células tumorais. (QUARTI et. al., 2024).

**Figura 7:** Representação molecular da piperina.



Fonte: Autoral, (2024).

A piperina também se comporta como um agente biopotenciador, ou seja, uma substância que melhora a eficácia de outros compostos no organismo. Ela faz isso ao reduzir o metabolismo intestinal e hepático, diminuindo a velocidade com que certas enzimas quebram e eliminam essas substâncias. Dessa forma, mais do composto ativo permanece disponível no corpo por mais tempo. Estudos mostram que a piperina pode aumentar a eficácia e a absorção de algumas substâncias, dentre elas a curcumina (OLIVEIRA, 2014).

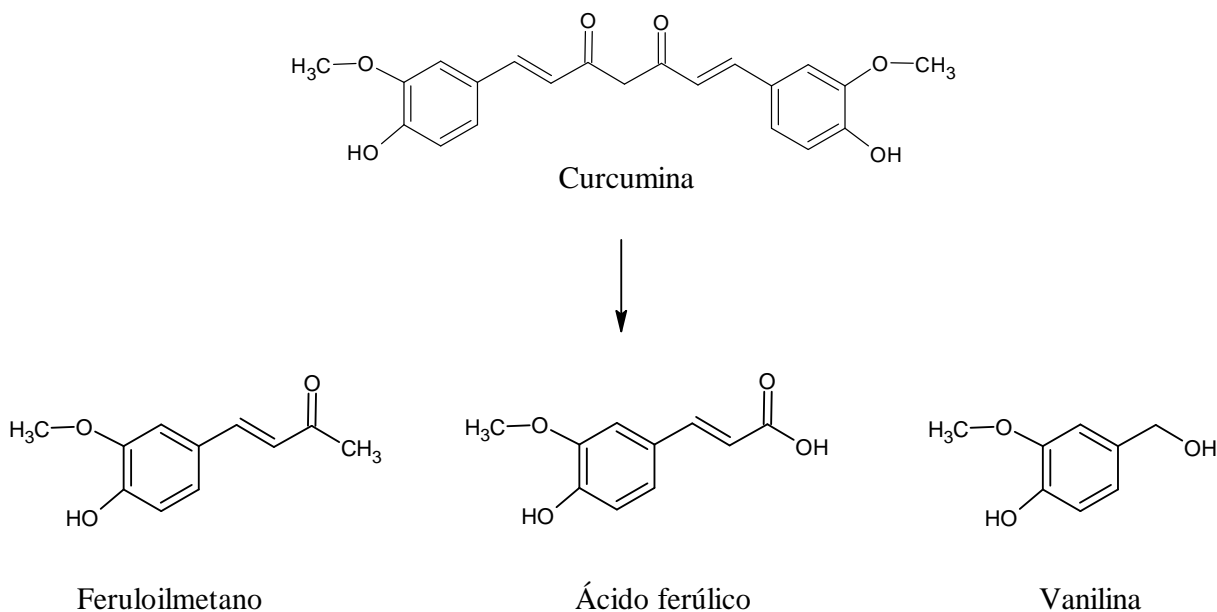
Outras formas de melhorar o desempenho da curcumina, têm sido utilizadas tecnologias avançadas que incorporam o composto em sistemas de entrega especializados, como nanopartículas, lipossomas, micelas, microemulsões e moléculas lipídicas. Alternativas empregadas para melhorar a solubilidade e estabilidade da molécula. Esses sistemas de nanopartículas, são estratégias promissoras para melhorar as propriedades da curcumina (CODEVILLA, 2015).

As nanopartículas são definidas como dispersões de partículas ou partículas sólidas com tamanho na faixa de 10 a 1000 nm, a redução do tamanho das partículas aumenta sua solubilidade e taxa de dissolução, resultando em maior biodisponibilidade. Além disso, elas protegem o composto contra oxidação e degradação no trato gastrointestinal, podendo direcioná-lo às células epiteliais do intestino delgado, o que potencializa sua absorção e eficácia terapêutica (CODEVILLA, 2015).

### **3.5 Degradação da Curcumina**

A curcumina é uma molécula conhecida por sua instabilidade química e sensibilidade a fatores externos, como luz e temperatura. As altas temperaturas aceleram esse processo, contribuindo para a instabilidade da composição em condições adversas, levando a formação de produtos como feruloilmetano, ácido ferúlico e vanilina (Figura 8) que também apresentam atividade bioativa (ALBADALEJO et al, 2015).

**Figura 8:** Produtos de degradação da curcumina.



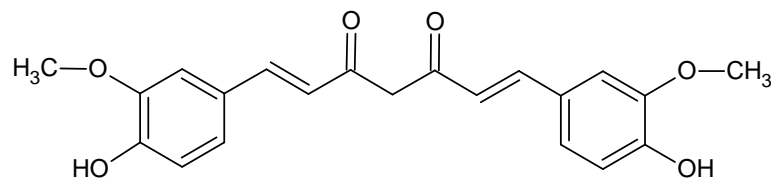
Fonte: Autoral, (2024).

### 3.6 Curcuminoides

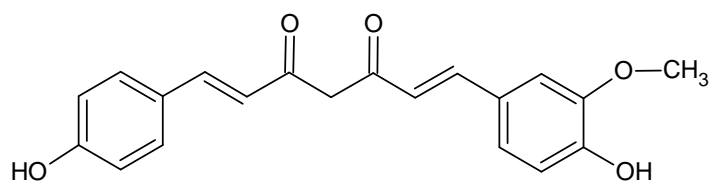
A curcumina (CC), juntamente com outros curcuminoides como a desmetoxicurcumina (DMC) e a bisdesmetoxicurcumina (BDMC), constitui os principais componentes da *Curcuma longa* L. Esses três compostos são análogos quanto a sua estrutura química, com dessemelhança apenas na quantidade de metoxila presente em cada uma (Figura 9). A curcumina possui dois grupos metoxila, um em cada anel aromático da molécula. A desmetoxicurcumina possui um grupo metoxila em um dos anéis aromáticos. E a bisdesmetoxicurcumina, nenhuma.

As três moléculas em questão, são as principais associadas a cor amarela alaranjada do açafrão-da-terra e são os curcuminoides de maioritários da planta, sua composição é de aproximadamente 70% de curcumina, 17% de desmetoxicurcumina e 3% de bisdesmetoxicurcumina, podendo variar a depender das condições geográficas. Essas características fazem com a curcumina se destaque entre os demais curcuminoides, pois além da sua abundância, os anéis metoxifenóis atribuem a ela um papel essencial nas atividades biológicas (SUETH-SANTIAGO et. al. 2015; CAMATARI, 2017).

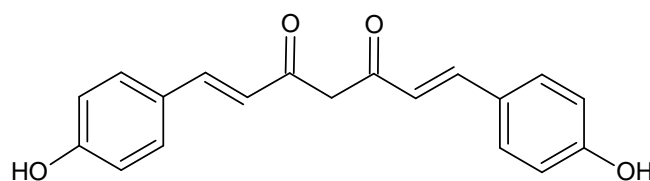
**Figura 9:** Curcuminoides encontrados por análise de HPLC-DAD.



Curcumina



Desmetoxicurcumina



Bisdesmetoxicurcumina

Fonte: Autoral, (2024).

### 3.7 Rendimento

O rendimento de um extrato de vegetais é calculado através da equação 1.

$$\text{Equação 1 - Porcentagem (\%)} = \frac{\text{massa do extrato (g)}}{\text{Massa vegetal seco e moído (g)}} * 100$$

O rendimento de um extrato refere-se à quantidade de produto ativo ou desejado que é obtido a partir de uma determinada quantidade de material extraído durante um processo de remoção. Um dos fatores que podem impactar de forma significativa os rendimentos dos

extratos obtidos são os solventes empregados, como: água, metanol, etanol, acetona, soluções aquosas e acetato de etila (FRAZEN et al, 2018). A tabela 1 mostra os rendimentos em de alguns extratos de curcuminoides extraídos por diferentes solventes e por variadas técnicas de extração (GOMES et al, 2023).

Tabela 1: Rendimento de alguns extratos de curcuminoides.

<b>Extratos analisados</b>	<b>Rendimento em %</b>
Extrato de metanol	15,95
Extrato hexânicos	6,00
Extrato metanólico	9,95
Extrato etanólico	15,65

Fonte: Adaptado de Gomes et al, (2023).

## **4. METODOLOGIA**

A presente pesquisa é de modalidade aplicada, onde por meio de práticas experimentais buscou-se justificar os objetivos propostos (RODRIGUES, 2024). Para isso, adotou-se o método hipotético-dedutivo que com base em conhecimentos prévios adquiridos através da literatura levantou-se os objetivos e a experimentações delas ocorreu mediante a experimentações (MARCONI E LAKATOS, 2019). O trabalho busca resultados práticos que possam ser usados futuramente em aplicações nas áreas científicas, contribuindo de forma direta ou indireta para o avanço da ciência.

O estudo é classificado como uma pesquisa qualitativa, uma vez que o foco é a caracterização dos compostos encontrado, sem a completa separação e quantificação dos curcuminoides. Assim, essa abordagem qualitativa está relacionada a natureza de uma pesquisa descritiva, sob o ponto de vista do objetivo, pois descreve de forma detalhada os procedimentos utilizados durante os processos de isolamento e caracterização das amostras estudadas através de técnicas precisas de determinação.

### **4.1 Procedimentos Metodológicos**

As práticas experimentais do trabalho foram realizadas nos laboratórios de Química do curso de Licenciatura em Química da Universidade Federal do Norte do Tocantins (UFNT), campus CCI de Araguaína-TO, especificamente Laboratório Central de Análises (LabCrom) e no Laboratório Geral de Química, nos blocos B e F, respectivamente.

### **4.2 Obtenção das amostras**

Os rizomas da *Curcuma longa* L. (açafreão-da-terra) (Figura 10) utilizados neste estudo foram adquiridos no Mercado Municipal, localizado na Rua Vinte e Um de Abril, s/n - Centro, 77804-100, na cidade de Araguaína - TO. A metodologia utilizada para a extração do extrato de curcuminoides foi adaptada de Zetterström (2012).

**Figura 10:** Açafraão-da-terra adquirido no mercado municipal de Araguaína.

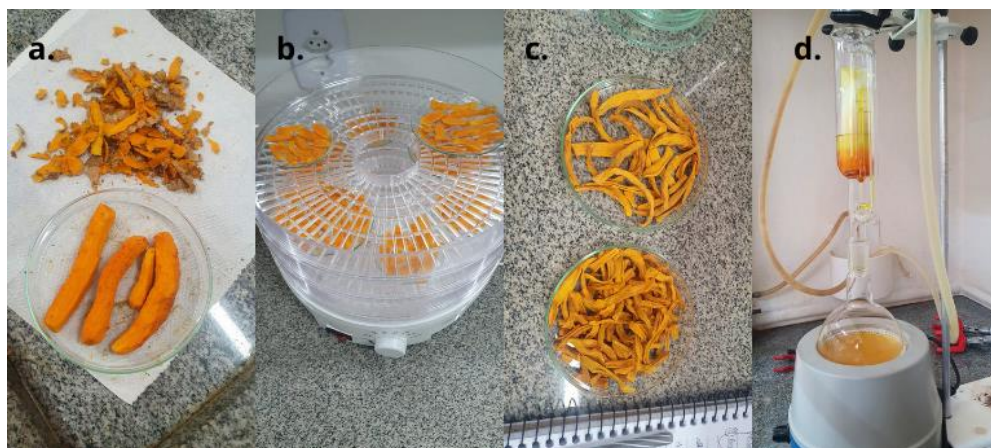


Fonte: Autoral, 2024.

### 4.3 Extração

Para o preparo da amostra (Figura 11), inicialmente, o açafraão foi descascado e cortado em lâminas, em seguida foi exposta ao desidratador de alimentos por 48 horas. Logo, as lâminas já desidratadas foram maceradas e transformadas em pó. Após isso, foram pesados 30g do pó da curcumina e preparada para a extração sólido-líquido no aparelho Soxhlet. Para o processo, foram utilizados 250 ml de acetona como solvente, que entrou em ebulição após 15 minutos de aquecimento, dando início aos ciclos da extração que tiveram 5 horas de duração, resultando em um extrato rico em curcuminoides.

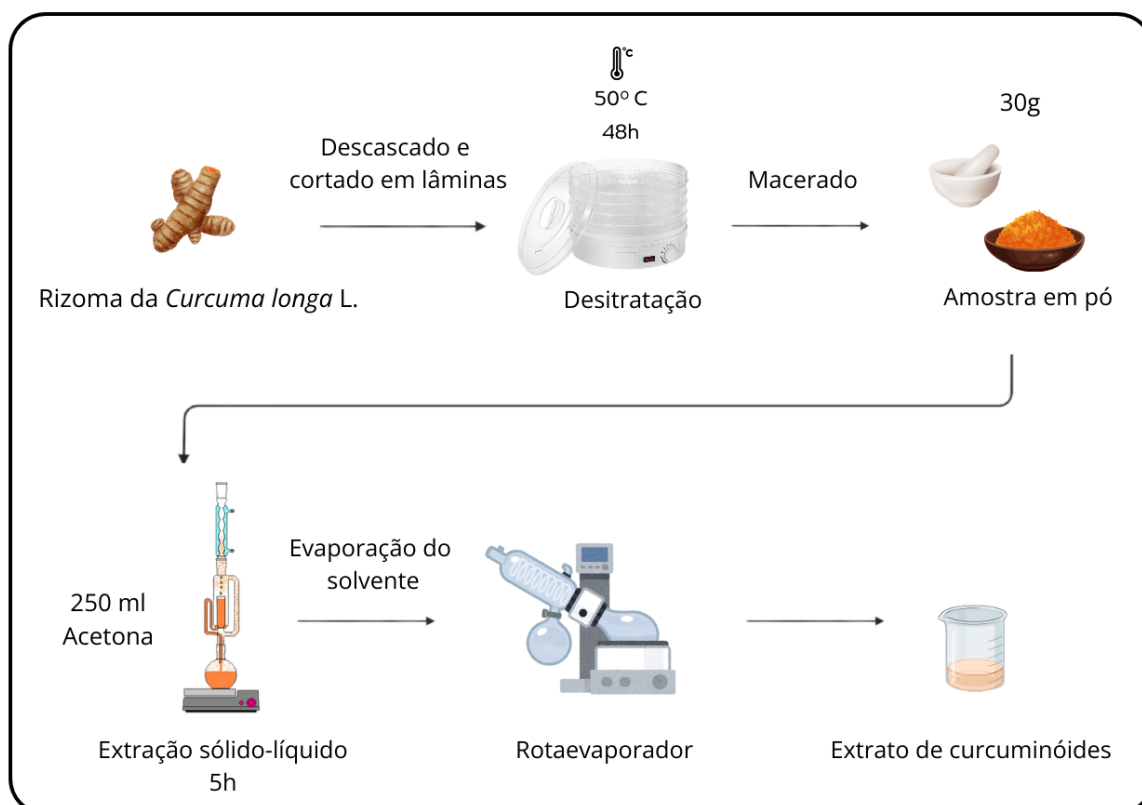
**Figura 11:** Amostra descartada(a); Amostra cortada em lâmina no desidratador de alimentos (b); Amostra desidratada (c); Extração dos curcuminoides no soxhlet (d).



Fonte: Autoral, 2024.

Em seguida, esse extrato foi levado para o evaporador rotativo a vácuo, com a finalidade de separar o solvente volátil do composto. Por fim, o analito foi exposto a um desidratador de alimentos por 24 horas antes de ser submetido ao preparo para análise química (Figura 12).

**Figura 12:** Esquema de extração com o rizoma do açafrão desidratado.



Fonte: Autoral. Usando o software Canva (2024).

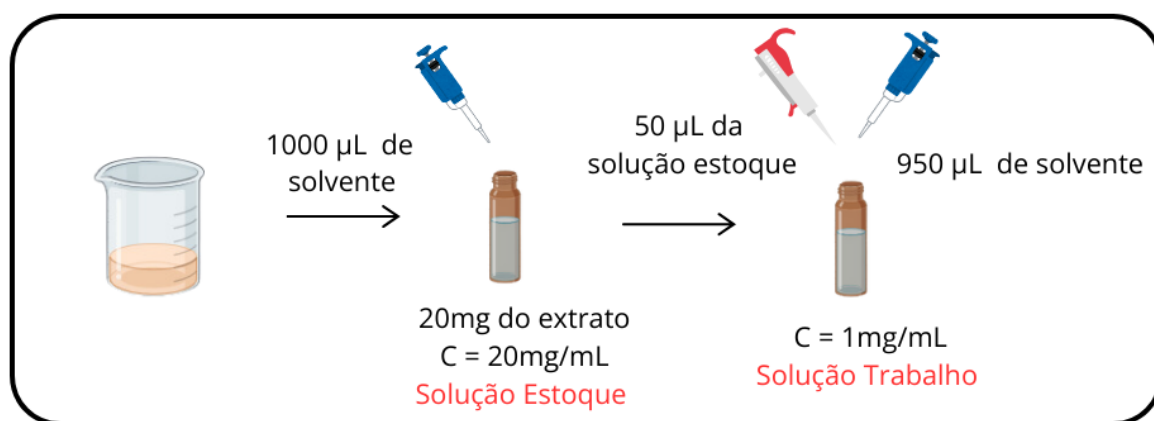
#### 4.4 Curcumina comercial

Foi adquirido um medicamento composto por curcumina isolada com piperina, para análise. Essa amostra foi incluída no estudo para ser comparada com o extrato de curcuminoides obtidos, possibilitando uma análise detalhada dos compostos.

#### 4.5 Preparo das amostras para análise química

Com o extrato de curcuminoides foi devidamente preparado, e o passo seguinte foi a preparação das amostras para análises químicas subsequentes, incluindo GC-MS, HPLC-DAD e FT-IR. Os analitos que foram preparados para serem analisados pela Cromatografia Gasosa acoplada à Espectrometria de Massas e pela Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (Figura 13) passaram pelo mesmo processo, mudando somente o solvente para método (Tabela 1). Para o material de teste a ser analisado pelo Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier apenas misturou-se um pouco de extrato de curcumina com brometo de potássio.

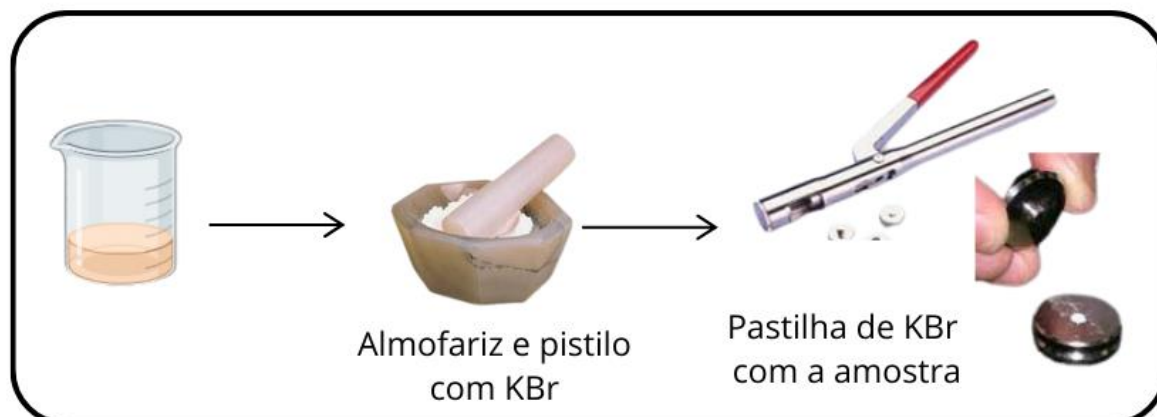
**Figura 13:** Preparo da amostra para serem analisadas por GC-MS e HPLC-DAD.



Fonte: Autoral. Usando o software Canva (2024).

Para o analito a ser analisado pelo FTIR, foi misturado em almofariz com ajuda de um pistilo uma proporção de 1 para 10 da amostra de curcuminoides com KBr (Figura 14).

**Figura 14:** Preparo da amostra para serem analisadas por FTIR.



Fonte: Autoral. Usando o software Canva (2024).

Tabela 2 – Solventes utilizados no preparo das amostras.

<b>Técnica Analítica</b>	<b>Solvente</b>
<b>GC-MS</b>	Acetato de etila
<b>HPLC-DAD</b>	Metanol

Fonte: Autoral, (2024).

Todos os processos de preparação de analitos se repetiram em uma amostra de Curcumina isolada adquirida comercialmente.

#### **4.6 Cromatografia a gás acoplada à espectrometria de massas**

Na Cromatografia a gás acoplada à espectrometria de massas (GC-MS), o cromatógrafo operou com coluna capilar HP-5MS 5% Pheny Methyl Slox, L = 30m, DI = 250  $\mu$ m e Espessura = 0,25  $\mu$ m, modo de aquisição: Scan, o gás de arraste utilizado foi o Hélio (99.999%) com fluxo de 1 mL/min. O CG-MS foi empregado com temperatura do injetor em 250°C. O modo de análise foi o Split e Splitless. O programa de temperatura do forno do GC foi definido inicialmente em 50°C por 1 min e aumentou em 5°C por minuto até 280°C. No total as corridas duraram 28 min.

#### **4.7 Cromatografia líquida de alta eficiência com detector de arranjo de diodos**

Utilizou-se o cromatógrafo líquido da Shimadzu 20AT, contendo uma bomba SPDM20A, degaseificador da fase móvel DGU-20A5R, coluna Shim-pack VP-ODS C18 nas dimensões de 150 L x 4,6 e um detector de arranjo de diodos (DAD). Para a presente análise a fase móvel constituiu-se em dois solventes, a água deionizada sendo o solvente A e o metanol como solvente B (grau de pureza HPLC,  $\geq 99,9\%$ ). O detector no modo varredura de 220 a 780 nm, composto por uma lâmpada de deutério e de tungstênio (D&W). Com tempo de corrida de 30 min, com vazão de fase móvel de 1mL/min e sistema de gradiente exploratório com 40% em B, mantendo 100% em 20 min, permanecendo em condição isocrática até 30 min, foram utilizados 30  $\mu$ L de cada amostra.

#### **4.8 Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier**

Os espectros de FT-IR em modo de transmissão, as amostras foram obtidas utilizando o equipamento AGILENT CARY 630, abrangendo a faixa de  $650\text{ cm}^{-1}$  a  $4000\text{ cm}^{-1}$ , com uma resolução de  $2\text{ cm}^{-1}$ , por inserção de pastilha de KBr no aparelho.

## 5. RESULTADOS E DISCUÇÕES

### 5.1 Cromatografia a gás acoplada à espectrometria de massas

Os espectros de massa dos compostos voláteis apresentados nos extratos de curcuminoides e no medicamento de curcumina isolado mais piperina da adquirida comercialmente foram analisados por meio do software MSD ChemStation F.01.03.2357, da Agilent. Esses espectros foram comparados com as bibliotecas de referência: NIST 2014, NIST WEBBOOK e Adams (2017), utilizando o índice de similaridade para auxiliar na identificação dos compostos. Os índices de retenção (IR) foram determinados com o uso de uma série homóloga de n-alcenos, variando de C9 a C30, que foram injetados nas mesmas condições cromatográficas das amostras.

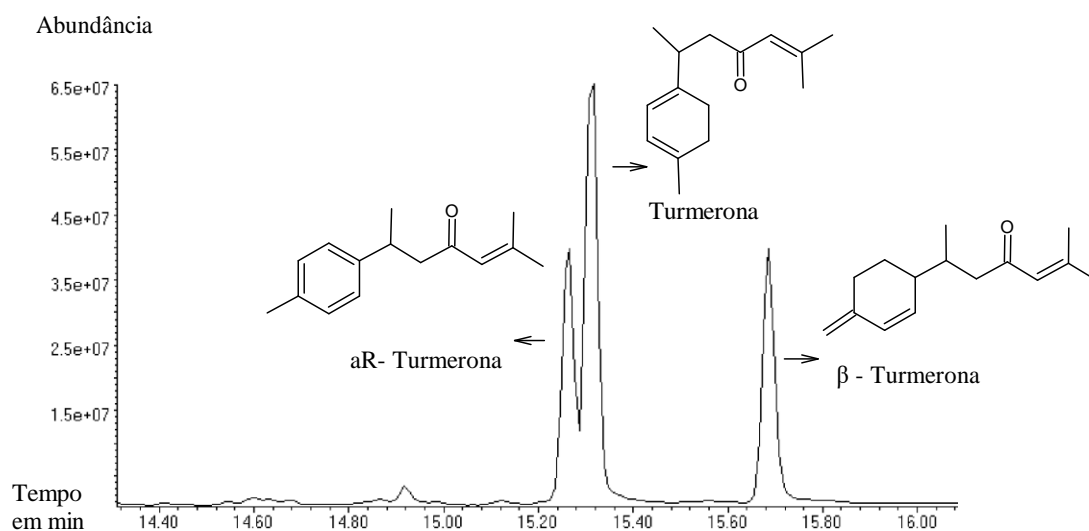
Com os resultados da análise dos n-alcenos foi possível calcular o Índice de Retenção dos compostos, utilizando a equação Van den Dool e Kratz (1963) (Equação 2). Onde é exigido informações como o tempo de retenção do composto (TRx), o tempo de retenção do alcano imediatamente anterior (TRha) e posterior (TRhd), a diferença não é o número de carbonos entre os alcenos (i), e o número de carbonos do alcano anterior (N).

$$\text{Equação 2 - IR} = 100i \left( \frac{TRx - TRha}{TRhd - TRha} \right) + 100N$$

#### 5.1.1 Análise do extrato de curcuminoides.

A metodologia aplicada na análise dos extratos de curcuminoides mostrou resultados promissores na identificação de compostos (Tabela 3) (Figura 15), refletindo a eficiência da abordagem na caracterização química. Entretanto, observou-se a ausência da curcumina por meio dessa técnica, isso está associado ao fato do uso de altas temperaturas referentes ao sistema que possibilita a volatilização dos compostos na cromatografia gasosa (Figura 16). Nesta condição a curcumina tende a degradar devido à instabilidade térmica (ALBADALEJO et al, 2015), essa limitação evidencia a complexidade de trabalhar com compostos termolábeis.

**Figura 15:** Cromatograma de íons totais dos voláteis do extrato de curcuminoides em modo Split.



Fonte: Autorial, (2024).

Tabela 3 - Composição química dos voláteis da amostra de curcuminoides extraído experimentalmente.

Nº	TR (min)	Composto	I.R	I.R lit	SI	Fonte	Área% Do pico
1	13,097	Curcumeno	1488	1479	94,2	Adams (2007)	1,02
2	13,245	Zingibereno	1500	1493	89,5	Adams (2007)	1,28
3	13,610	β-sesquifelandreno	1531	1721	88,0	Adams (2007)	1,51
4	14,279	aR-turmenol	1586	1582	76,2	Adams (2007)	1,53
5	14,605	β-atlantol	1616	1608	80,0	Adams (2007)	0,54
6	14,872	α-Acorenol	1636	-	84,6	Saroglou, et al., (2006)	0,60
7	15,267	aR-turmerona	1673	1669	95,2	Adams (2007)	22,86
8	15,317	Turmerona	1678	-	90,5	Andriamaharavo, (2014)	41,50
9	15,690	β-Turmerona	1711	1717	93,4	Adams (2007)	24,48
10	16,189	Bisabolona	1758	1748	77,5	Adams (2007)	1,04

TR = Tempo de retenção em minutos do composto;

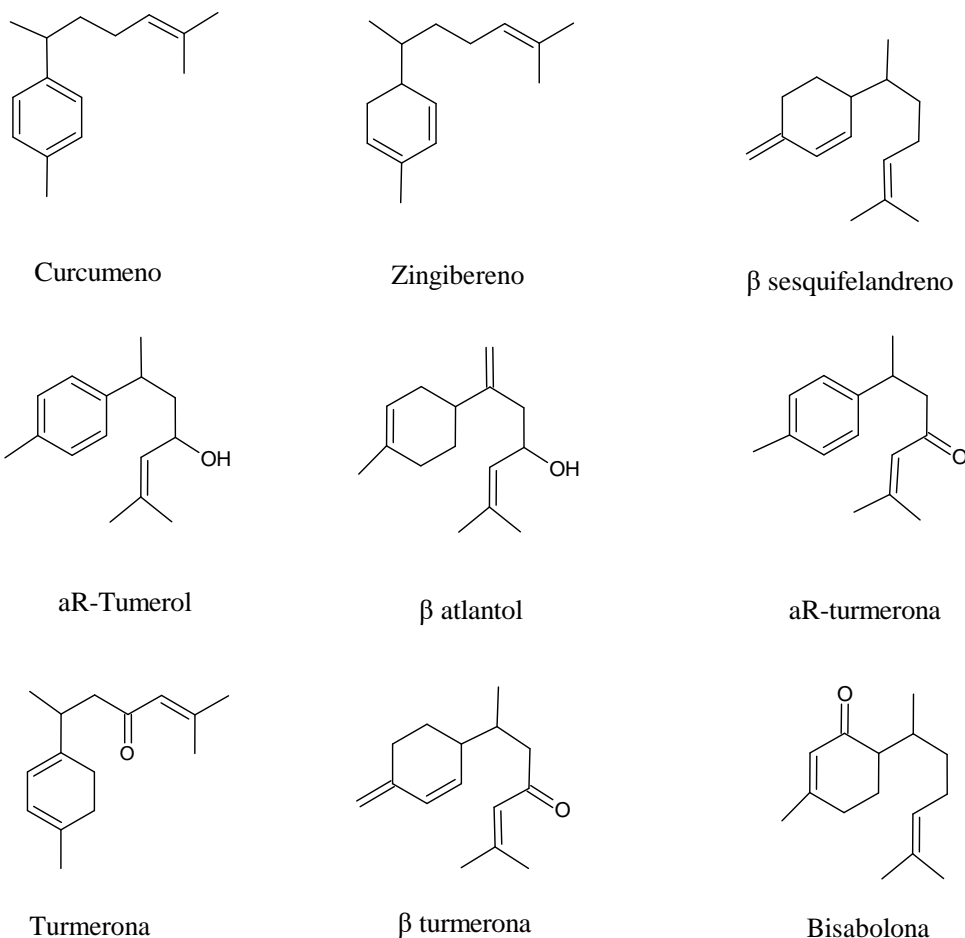
SI = Índice de similaridade com base no R.Match;

**LR = Índice de retenção calculado usando a equação de Van den Dool e Kratz;**

**LRlit = Índice de retenção da literatura (Adams, R.P, 2007) baseada na equação de Van den Dool e Kratz.**

Fonte: Autoral, (2024).

**Figura 16:** Principais curcuminoides encontrados através da análise do extrato pela técnica GC-MS em modo Split.



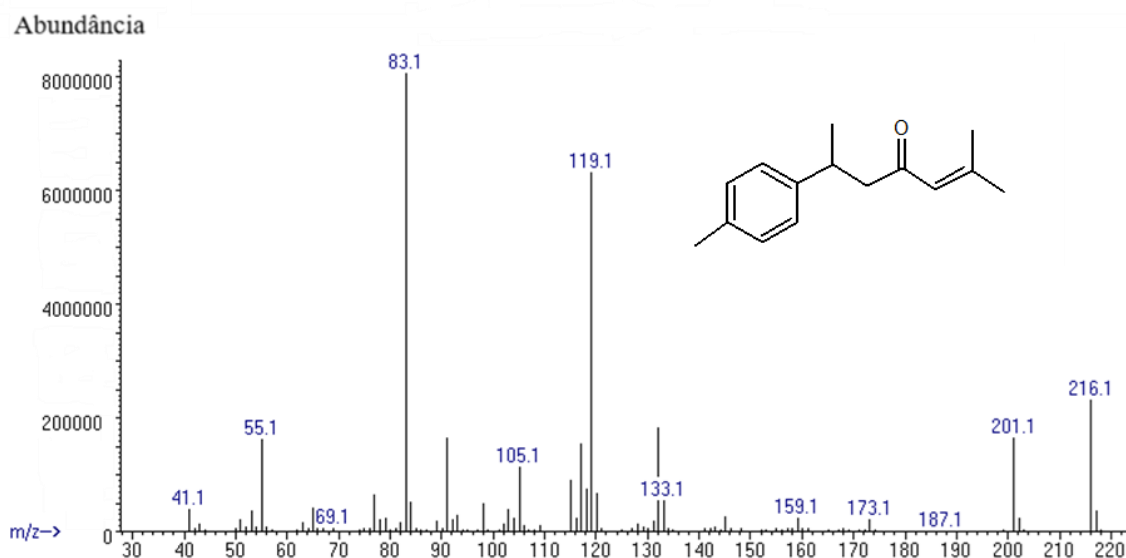
Fonte: Autoral. Usando o software ChemSketch (2024).

Os resultados da análise de GC-MS demonstraram que os compostos encontrados em maior abundância foram o  $\alpha$ R-turmerona, turmerona e  $\beta$ -turmerona. Esses compostos, pertencentes à classe dos sesquiterpenos, destacaram-se significativamente na composição volátil da amostra. Assim, através do espectro de massas referente a cada composto, foi possível propor uma proposta de fragmentação para essas moléculas de picos de intensidade mais intensos.

Os três compostos apresentam uma similaridade molecular. Ambos, por serem sesquiterpenos, possuem um esqueleto de hidrocarbonetos típico dos terpenos e uma carbonila referente ao grupo funcional cetona. De início, houve uma proposta de ionização e fragmentação que ocorre dentro do equipamento. Inicialmente, a molécula é ionizada pela perda de um elétron ligado ao oxigênio da carbonila, um processo que é induzido pela fonte de ionização através do impacto de elétrons.

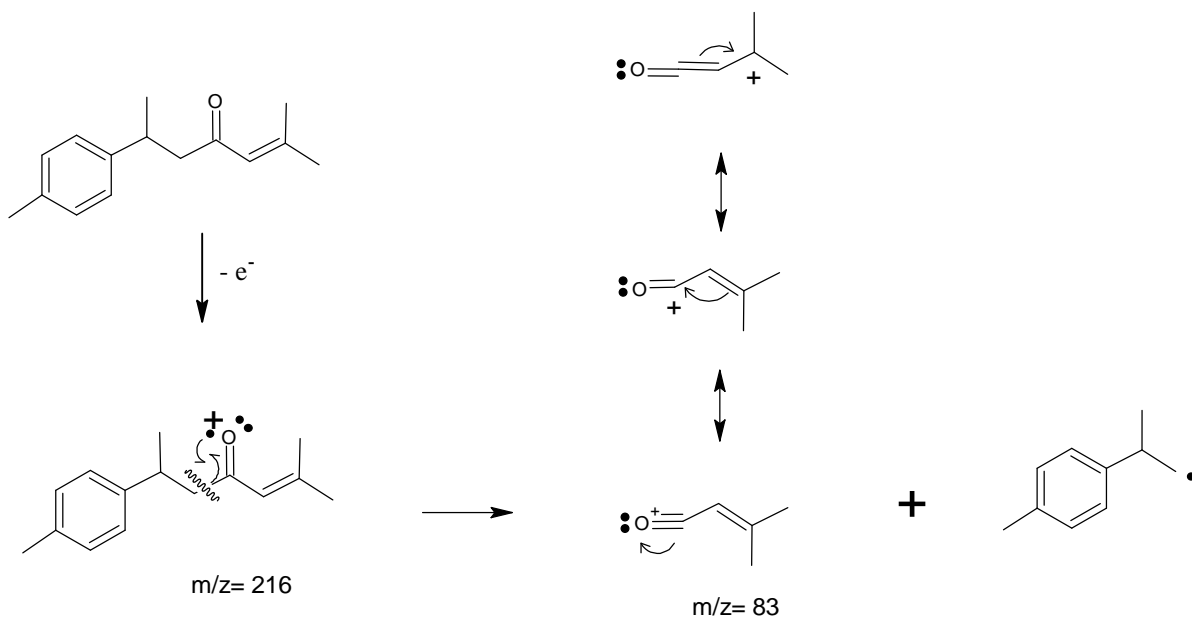
O espectro de massas de aR-turmerona (Figura 17) apresenta um pico molecular de 216 m/z, após a ionização (Figura 18), por se tratar de uma cetona, estará mais propícia a perder o grupo alquila que está anexo ao grupo carbonila por segmentação  $\alpha$ , formando o íon acílio, como descreve Pavia *et al* (2015), o íon liberado gera uma ressonância que justifica a intensidade observada no pico m/z = 83.

**Figura 17:** Espectro de massa da aR-turmerona EI 70eV por GC-MS obtido experimentalmente.



Fonte: Autoral. Usando o software ChemSketch (2024).

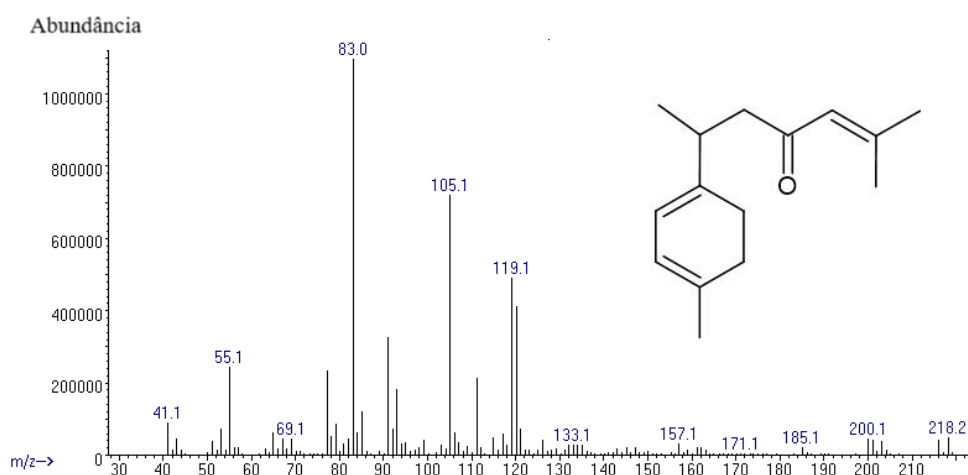
**Figura 18:** Proposta de fragmentação para a aR-turmerona.



Fonte: Autoral. Usando o software ChemSketch (2024).

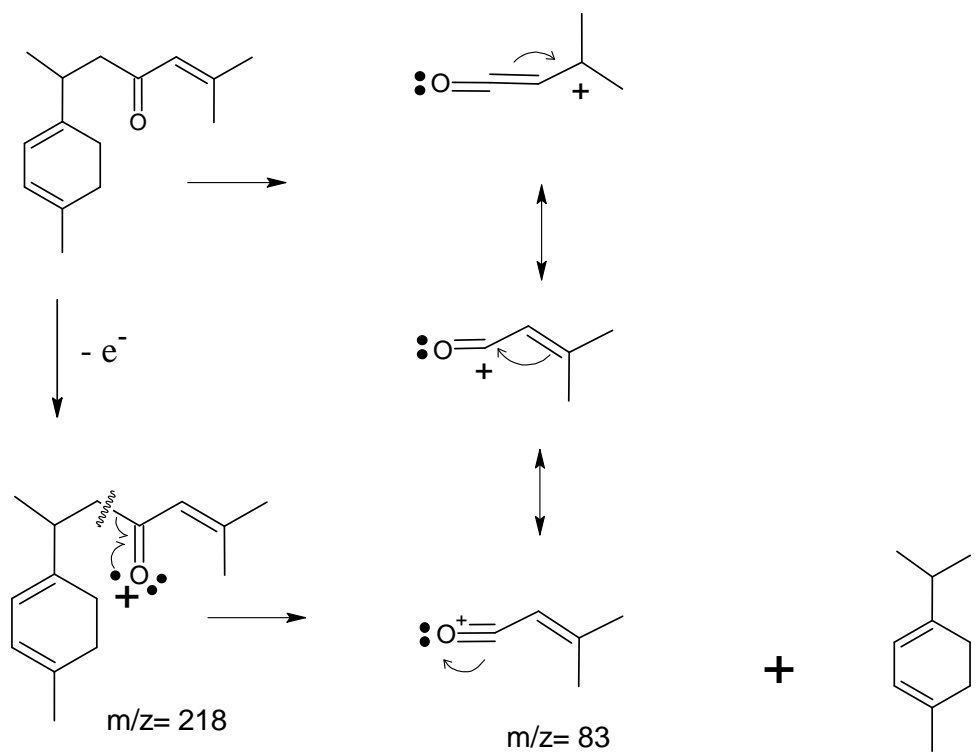
Para o turmerona, a proposta de fragmentação (Figura 20) foi a mesma da aR-turmerona, elas apresentam o mesmo pico base de  $m/z = 83$  como mostra o espectro de massa (Figura 19), e como a estrutura moléculas de ambas são bem semelhantes, a proposta também se deu por segmentação  $\alpha$  onde houve a formação de um íon acílio e a perda do grupo alquila, de cordo com Pavia *et al* (2015).

**Figura 19:** Espectro de massa da turmerona EI 70eV por GC-MS obtido experimentalmente.



Fonte: Autoral, (2024).

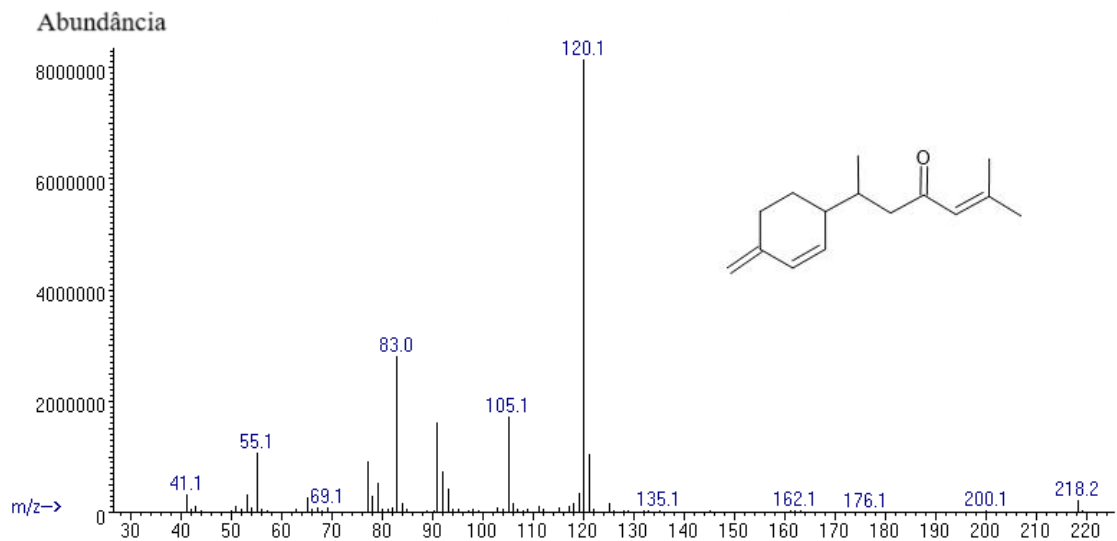
**Figura 20:** Proposta de fragmentação para da turmerona.



Fonte: Autoral. Usando o software ChemSketch (2024).

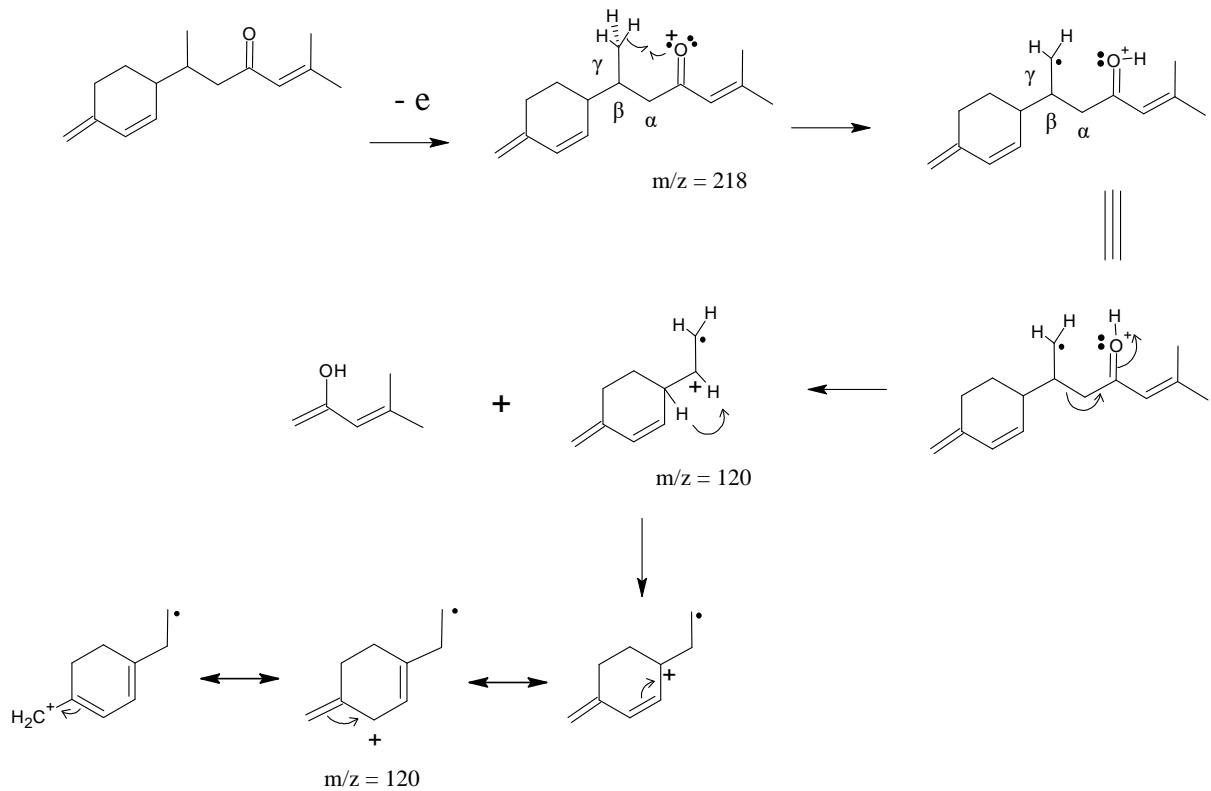
Já para a  $\beta$ -turmerona, o espectro de massas (Figura 21) apresentou o pico base de  $m/z = 218$  e pico molecular de  $m/z = 120$ , para a proposta de fragmentação (Figura 22) demonstra um rearranjo de McLafferty, onde inicialmente há uma clivagem de rearranjo de Hidrogênio  $\gamma$  ( $rH$ ), seguido por uma segmentação indutiva (PAVIA, 2015), e por fim um rearranjo de carbocátion com deslocamento 1,2 de hidreto com formação de carbocátion terciário para melhor estabilidade da molécula (WHITMORE, 1938).

**Figura 21:** Espectro de massas da  $\beta$ -turmerona EI 70eV por GC-MS obtido experimentalmente.



Fonte: Autoral. Usando o software ChemSketch (2024).

**Figura 22:** Proposta de fragmentação para a  $\beta$ -turmerona.

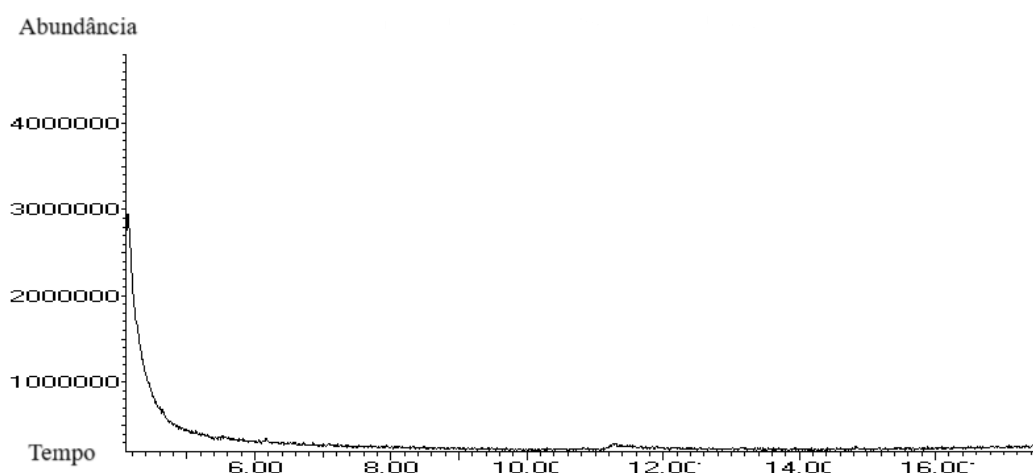


Fonte: Autoral. Usando o software ChemSketch (2024).

### 5.1.2 Análise na amostra do medicamento.

Os resultados das análises do comprimido de curcumina com piperina adquiridos comercialmente foram um pouco mais complexas, necessitando de ajustes na metodologia para melhor interpretação do cromatograma e dos espectros de massa. O primeiro cromatograma (Figura 23) foi obtido nas mesmas condições de análise do extrato do curcuminoides, porém, como no medicamento a curcumina é isolada o cromatograma não apresentou picos significativos. Nesta corrida, a piperina também não foi encontrada.

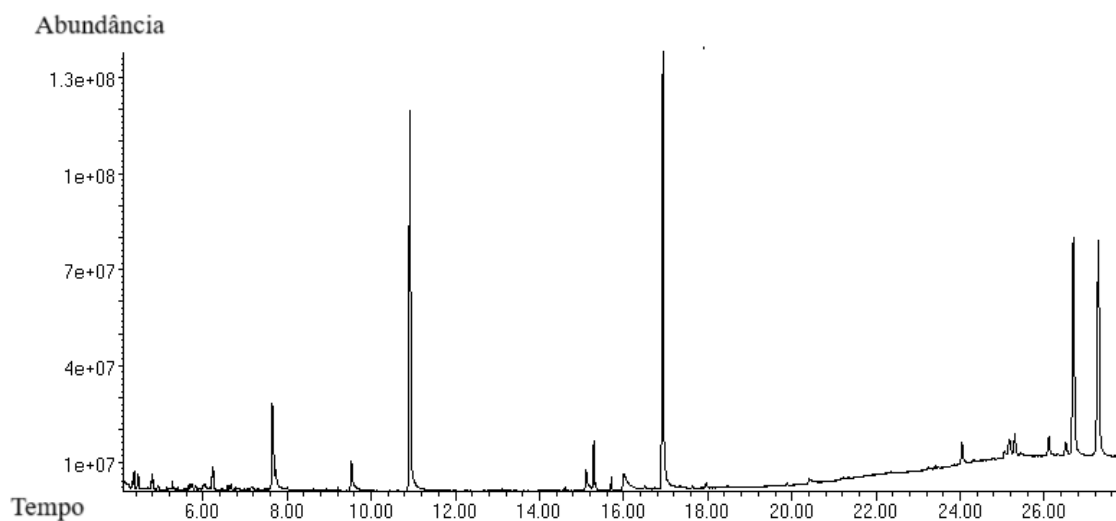
**Figura 23:** Cromatograma da Curcumina mais piperina da adquirida comercialmente EI 70eV por GC-MS em modo Split.



Fonte: Autoral. Usando o software ChemSketch (2024).

Dessa forma, procedeu-se a uma adaptação na metodologia referente ao modo de análise, que inicialmente empregava o modo Split e foi posteriormente alterado para o modo Splitless (Figura 24). O modo Splitless permite uma maximização da sensibilidade analítica, favorecendo a detecção de compostos em concentrações significativamente mais baixas. Essa modificação metodológica proporcionou a identificação de novos compostos que não foram detectados no modo Split, conforme detalhado na Tabela 3.

**Figura 24:** Cromatograma de íons totais da curcumina mais piperina da EI 70eV por GC-MS em modo Splitless.



Fonte: Autoral. Usando o software ChemSketch (2024).

Tabela 4 - Composição química dos voláteis da amostra do medicamento de curcumina e piperina isolados.

Nº	TR (min)	Composto	I.R	I.R lit	SI%	Fonte	Área% do pico
1	7,656	Guaiacol	1094		94,8	Adams (2007)	3,59
2	9,529	Benzofuran	1220		84,0	Adams (2007)	2,38
3	10,921	Guaiacol, 4-vinil	1332	-	90,9	Pino, et al., (2004)	21,37
4	15,289	aR-Turmerona	1675	1669	95,0	Adams (2007)	2,25
5	16,938	Feruloilmetano	1834	-	91,2	Andriamaharavo, (2014)	25,31
6	26,694	Piperina	2922	-	86,7	Andriamaharavo, (2014)	16,42

TR = Tempo de retenção em minutos do composto;

SI = Índice de similaridade com base no R.Match;

I.R = Índice de retenção calculado usando a equação de Van den Dool e Kratz.;

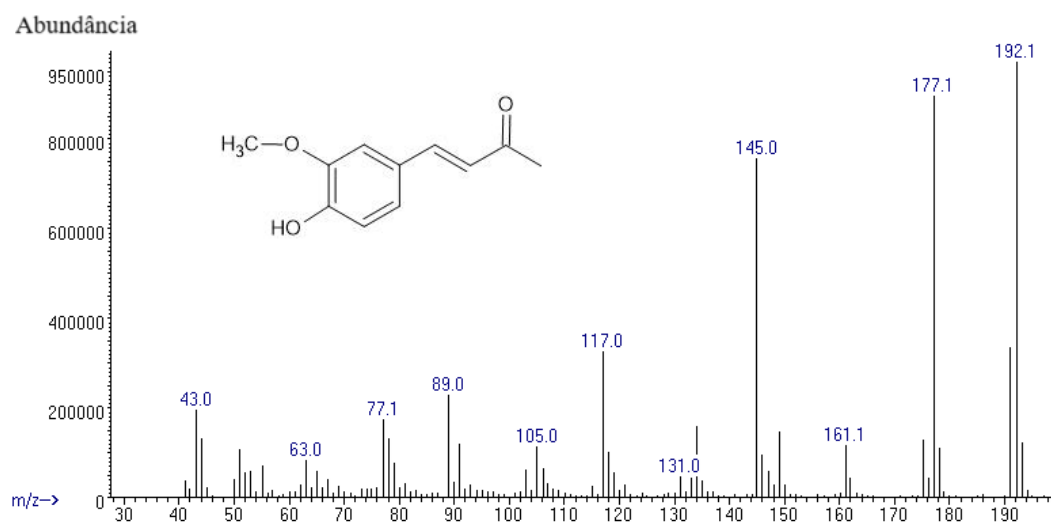
I.Rlit = Índice de retenção da literatura (Adams, R.P, 2007) baseada na equação de Van den Dool e Kratz.

Fonte: Autoral, (2024).

A instabilidade térmica da curcumina limita a análise direta pela técnica GC-MS, uma vez que a mesma degrada em produtos menores quando exposta a altas temperaturas, entre esses produtos está o feruloilmetano. Durante a análise da curcumina isolada, o feruloilmetano foi identificado como o composto mais abundante na amostra, detectado pelo íon m/z 192

(Figura 25), esse íon observado no espectro de massa foi usado como referência para explorar a presença de traços da curcumina na amostra do extrato.

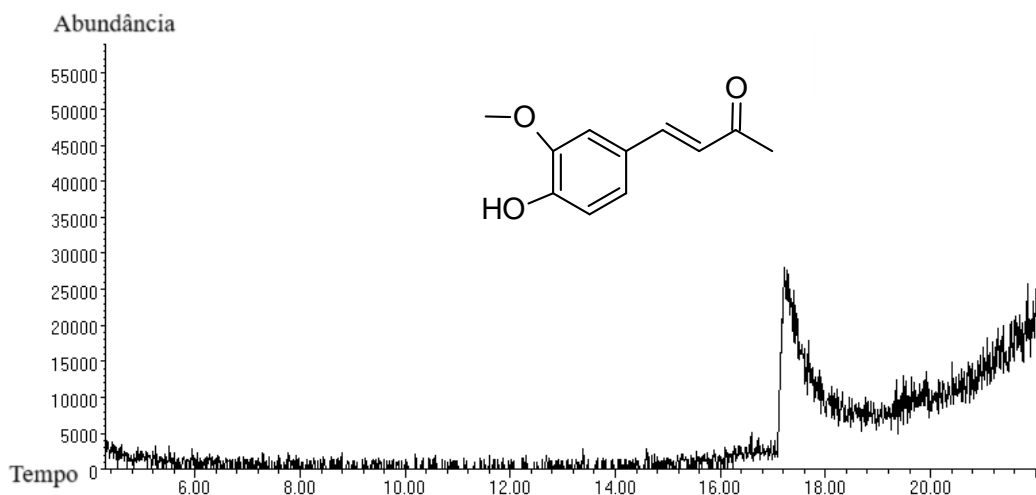
**Figura 25:** Espectro de massa do feruloilmetano EI 70eV por GC-MS.



Fonte: Autoral. Usando o software ChemSketch (2024).

A análise cromatográfica da amostra de curcuminoides revelou sinais do íon m/z 192 (Figura 26), indicando a presença de traços de curcumina, mesmo em sua forma degradada. Essa estratégia demonstra que, apesar da degradação térmica, é possível detectar produtos que atuam como marcadores indiretos da presença do composto original. Assim, mesmo em condições adversas, o método GC-MS mostrou-se eficaz para inferir a presença de curcumina em amostras complexas.

**Figura 26:** Cromatograma de íons extraídos m/z 192 do extrato da curcumina.



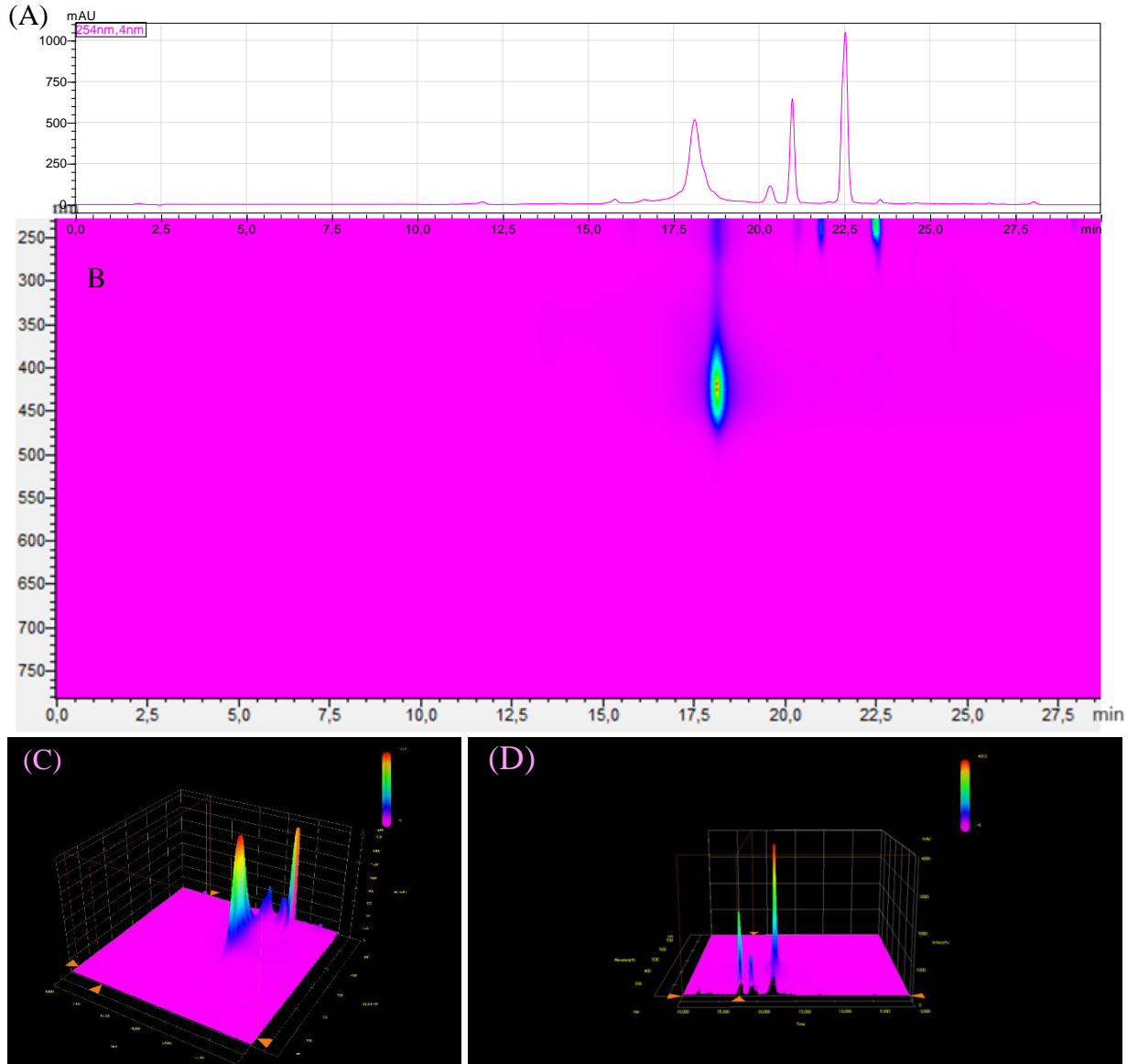
Fonte: Autoral. Usando o software ChemSketch (2024).

## 5.2 Análise por Cromatografia líquida de alta eficiência com detector de arranjo de diodos (HPLC-DAD)

Os cromatogramas apresentaram resultados satisfatórios em caracterizar a presença da curcumina. A técnica de HPLC é especialmente útil para a análise de compostos não voláteis, uma vez que essa técnica não tem interferência da temperatura.

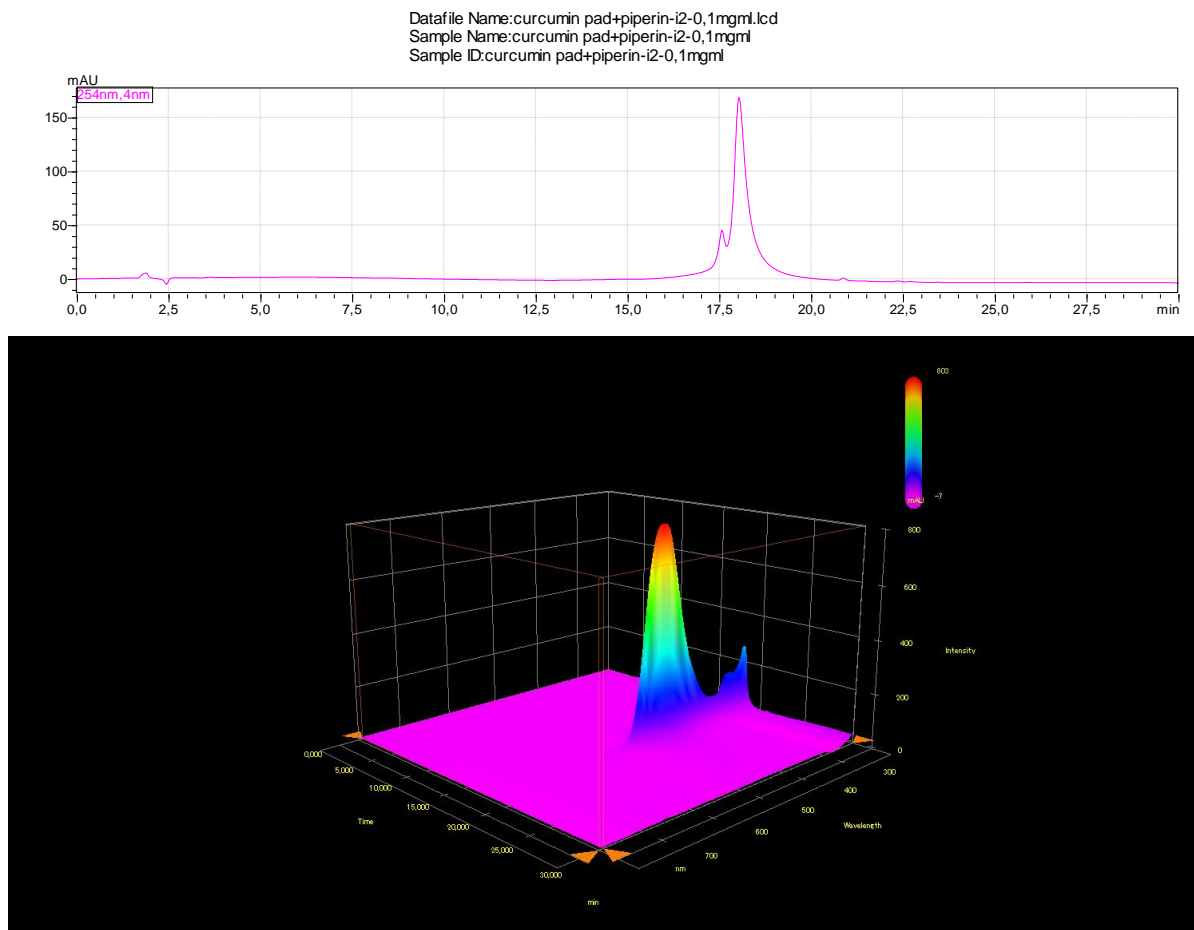
Ao comparar os cromatogramas do extrato de curcuminoides (Figura 27) e do medicamento (Figura 28) percebe que ambos apresentam picos de absorção importantes em aproximadamente 18 minutos e 10 segundos, sugerindo a presença da curcumina no extrato. Além de possuírem picos máxima da banda de absorção em faixas aproximadas, sendo a do extrato em 425 nm (Figura 29) e da curcumina isolada em 426 nm. Adicionalmente, o espectro de varredura total do extrato indica que o primeiro pico é o composto mais abundante na amostra característico da curcumina.

**Figura 27:** Cromatograma de HPLC do extrato de curcuminoides em metanol a 1mg/mL (a). Espectro de varredura total (b). Cromatogramas HPLC em 3d do extrato de curcuminoides (c) e (d).



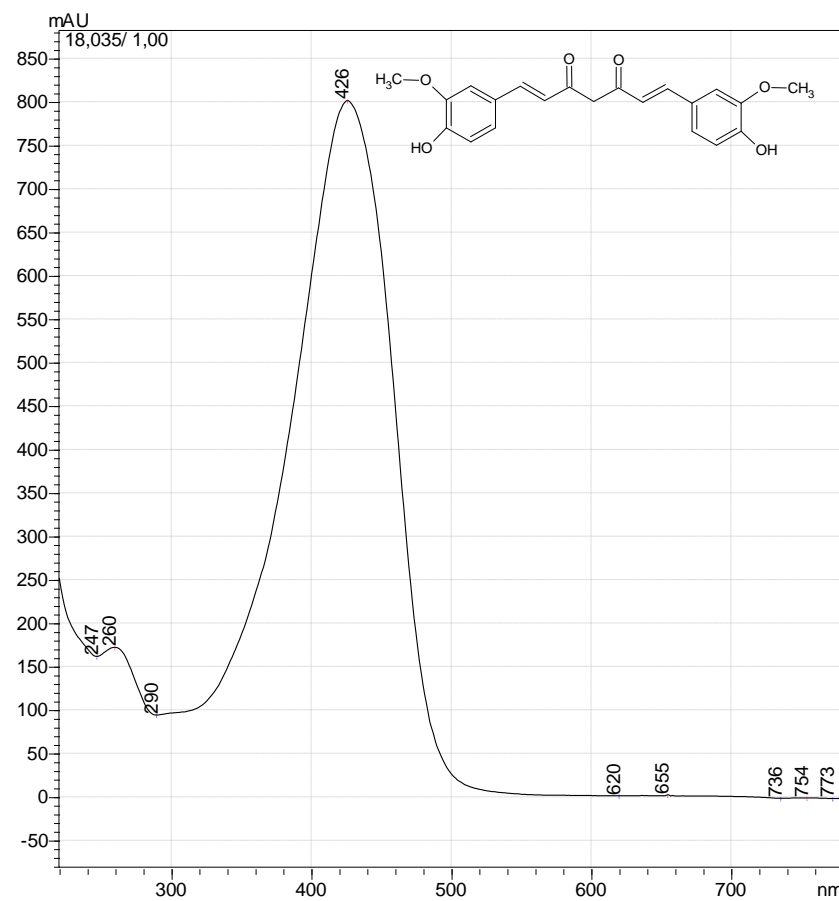
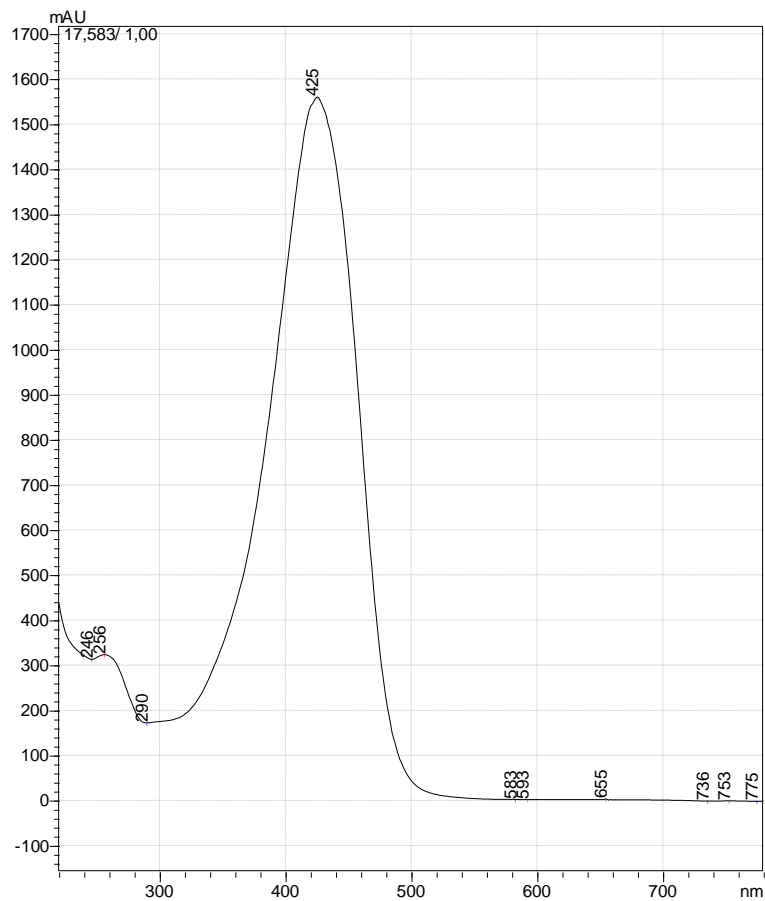
Fonte: Autoral. (2024).

**Figura 28:** Cromatograma de HPLC do medicamento curcumina + piperina em metanol a 0,1 mg/L (a). Cromatograma HPLC em 3d do extrato de curcuminoides (b).



Fonte: Autorial, (2024).

**Figura 29:** Pico de absorção máxima da banda de absorção curcumina do extrato em 425 nm (a). Pico de absorção máxima da banda de absorção curcumina do medicamento em 426 nm.

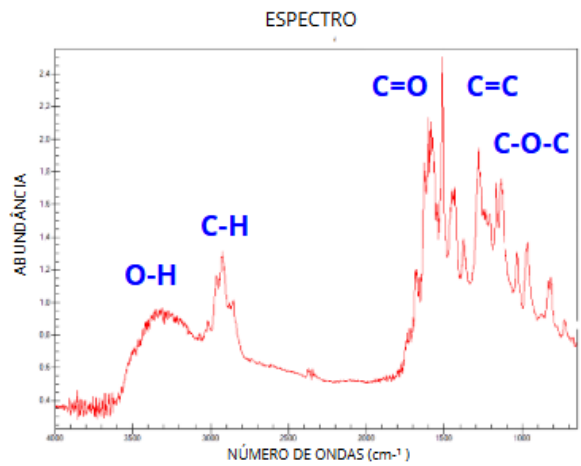


Fonte: Autoral, (2024).

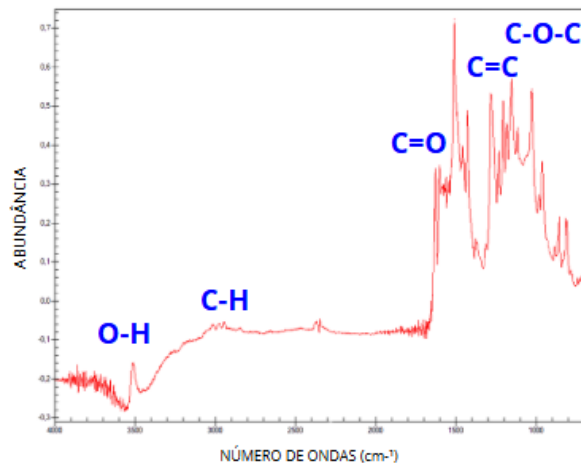
### 5.3 Análise por (FTIR)

A caracterização do extrato de curcuminoides e do medicamento (Figura 30) que contém a curcumina isolada, apresentam características semelhantes, o que já era esperado, visto a estrutura química dos curcuminoides analisados ao decorrer das análises anteriores. Os espectros apresentam um pico largo na região de  $3500\text{ cm}^{-1}$  indicando a presença de estiramento de O-H. Uma absorção na faixa um pouco abaixo de  $300\text{ cm}^{-1}$  propõe a presença de ligação C-H. Um pico definido na região de  $1850 - 1630\text{ cm}^{-1}$  sugere a presença de ligações de C=O. E na região de  $1675 - 1680\text{ cm}^{-1}$  pode ser associado a vibração de anéis aromáticos C=C. E vibração no estiramento na faixa de  $1260 - 1000\text{ cm}^{-1}$  pode ser referente a presença de C-O das metoxilas presente na curcumina e em outros curcuminoides.

**Figura 30:** Espectro de infravermelho do extrato de curcuminoides (a). Espectro infravermelho do medicamento que contém a curcumina isolada (b).



(A)

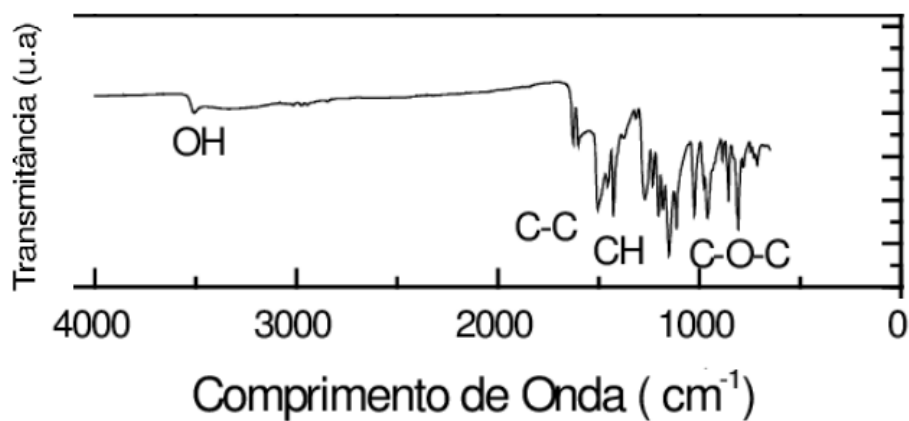


(B)

Fonte: Autoral, (2024).

Os resultados da caracterização por FTIR do extrato de curcuminoides e do medicamento contendo curcumina isolada tiveram grande semelhança com os dados disponíveis na literatura (SILVA et al, 2016) (Figura 31). Isso evidencia a consistência entre os compostos, reforçando a presença de curcumina nas amostras. A similaridade dos espectros demonstra que a curcumina foi identificada, validando a eficácia do método utilizado e a relevância dos compostos extraídos em relação aos padrões encontrados na literatura.

**Figura 31:** Espectro de infravermelho da curcumina.



Fonte: Silva et al, (2016).

#### 5.4 Cálculo de rendimento

O extrato de curcuminoides apresenta um rendimento de 8%, foi utilizado acetona como solvente. Comparando os rendimentos dos extratos da tabela 1, embora esteja abaixo de alguns rendimentos obtidos com solventes como metanol e etanol, ele supera o rendimento com hexano (6,00%), que também é um solvente frequentemente utilizado para extrair compostos.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho buscou realizar a extração e caracterização de curcuminoides presentes no rizoma da *Curcuma longa L.*, utilizando métodos cromatográficos e espectroscópicos, como GC-MS, HPLC-DAD e FTIR. A pesquisa proporcionou resultados significativos ao cumprir os objetivos propostos de forma satisfatória. Foi possível identificar compostos relevantes, validar as metodologias empregadas e avançar no entendimento das propriedades químicas dos curcuminoides.

A análise dos extratos revelou a presença da curcumina confirmando a qualidade do processo de extração e caracterização. Porém, alguns aspectos, como o rendimento do extrato de curcuminoides, merecem maior atenção em estudos futuros, uma vez que a metodologia utilizada apresentou valores inferiores aos de outros solventes descritos na literatura. A instabilidade térmica da curcumina também destacou a necessidade de adequações nas técnicas analíticas, especialmente em análises por GC-MS.

Contudo, os resultados comprovam a viabilidade da metodologia aplicada e reforçam a relevância da cúrcuma como um recurso natural valioso, a curcumina apresenta características que a torna uma opção promissora para o tratamento e para o avanço de pesquisas voltadas ao combate ao câncer e outras doenças crônicas. Assim, esta pesquisa desenvolveu uma metodologia de obtenção de curcuminoides simples e segura contribuindo para o avanço da ciência no campo dos produtos naturais, fornecendo informações precisas para o desenvolvimento de novos estudos e aplicações que possam explorar o seu potencial terapêutico e industrial.

### 6.1 Trabalhos futuros

Dada a natureza qualitativa da pesquisa, algumas oportunidades de continuidade incluem:

- A otimização dos métodos de extração para maximizar o rendimento dos curcuminoides, explorando diferentes solventes e condições experimentais;
- Estudos detalhados de bioatividade dos compostos isolados, com foco em suas propriedades terapêuticas;
- Investigação de estratégias que combinem curcumina com piperina, visando melhorar sua biodisponibilidade e potencial terapêutico;

## 7. REFERÊNCIAS

ADAMS, R. P. Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectroscopy. *Allured: Carol Stream*, p. 804, 2007

AGGARWAL, B. B. Potential therapeutic effects of curcumin, the anti-inflammatory agent, against neurodegenerative, cardiovascular, pulmonary, metabolic, autoimmune and neoplastic diseases. **The International Journal of Biochemistry & Cell Biology**, v. 41, n. 1, p. 40-59, Jan 2009.

ALBADALEJO, J. G.; SANZ, D. CLARAMUNT, R. M.; LAVANDERA, J. L.; ALKORTA, I.; ELGUEIRO, J. Curcumin and curcuminoids: chemistry, structural studies and biological Properties. **ANALES DE LA REAL ACADEMIA NACIONAL DE FARMACIA**. ISSN 1697-4298. Vol. 81, Nº 4 (2015), pp. 278-310, December 2015

ALBUQUERQUE, U.; DE LUCENA, R.; CRUZ DA CUNHA, L.; ALVES, R. Methods and Techniques in Ethnobiology and Ethnoecology. SpringerProtocols Handbooks. **Humana Press, New York, NY**. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-8919-5\\_17](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-8919-5_17)

ANAND, P.; SUNDARAM, C.; JHURANI, S.; KUNNUMAKKARA, A. B.; AGGARWAL, B. B. Curcumin and cancer: an "old-age" disease with an "age-old" solution. **Cancer Lett**, v. 267, n. 1, p. 133-64, 2008.

ANDRIAMAHARAVO N.R., **Retention Data. NIST Mass Spectrometry Data Center.**, NIST Mass Spectrometry Data Center, 2014.

BARTHOLO, F. A. F.; MOURA, C. J. D.; ALMEIDA, R. D. A. Processamento da cadeia produtiva do açafrão: um projeto de mudança de realidade e inclusão sócio-econômica dos produtores familiares de Mara Rosa-GO. **Revista da UFG**. 7 2005.

BUSTINZA, L. A. S.; SUMARRIVA, N. L. C.; PAYI, N. O. Z; ARAPA, H. C. T.; CONDORI, N. C. Cellular oxidation and its relationship to antioxidant food intake in college students. **Revista VIVE - Investigación en Salud**, Volumen 6 No. 17, ISSN: 2664-3243 ISSN-L: 2664-3243 pp. 524 – 535. DOI: <https://doi.org/10.33996/revistavive.v6i17.243>

CAMATARI, D. O. S. **Determinação de Curcuminoides e Avaliação da Capacidade Antioxidante Contra Espécies Reativas de Oxigênio e Nitrogênio de Extrato de Curcuma Longa e Constituintes Isolados**. 2017. 147 f. Tese (Doutorado em Química e Biotecnologia) - Instituto de Química e Biotecnologia, Programa de Pós Graduação em Química e Biotecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2017.

DANDUGA, R. C. S. R.; KOLA, P. K.; MATLI, B. Anticancer activity of curcumin alone and in combination with piperine in Dalton lymphoma ascites bearing mice. **Indian Journal of Experimental Biology**, v. 58, p. 181-189, 2020.

FILHO, A. B. C. et al. Cúrcuma: planta medicinal, condimentar e de outros usos potenciais. **Ciência Rural**, v. 30, p. 171-175. ISSN: 0103-8478, 2000.

FRAZEN, F. L.; FRIES, L. L. M.; OLIVEIRA, M. S. R.; LIDÓRIO, H. F.; MENEGAES, J. F.; LOPES, S. J. Teor e rendimento de extratos de flores obtidos por diferentes métodos e períodos de extração. Departamento de Tecnologia e Ciência dos Alimentos. Universidade Federal de Santa Maria. V. 7 N. 1 (2018). DOI: <https://doi.org/10.48075/actaiguaz.v7i1.16765>

GATTO, M. A., MEDEIROS, J. V. NETO, F. P. S. Analisando os benefícios do consumo de café para a saúde humana. Disponível em: [https://www.inesul.edu.br/revista/arquivos/arq-idvol\\_64\\_1568731056.pdf](https://www.inesul.edu.br/revista/arquivos/arq-idvol_64_1568731056.pdf). AC

GOMES, M. M.; OLIVEIRA, S. L.; BERTAN, L. C.; TORMEN L. Obtenção e caracterização de extratos de *Curcuma longa* e aplicação na estabilidade oxidativa da manteiga. Anais do VII WCTI. ISSN 2594-4541, 2023

HEWLINGS, S. J.; KARLAM, D. S. Curcumin: **A Review of Its Effects on Human Health Foods**, v. 6, n. 10, p. 92, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods610>

LE COUTEUR, P.; BURRESON, J. Os botões de napoleão: as 17 moléculas que mudaram a história. Jorge Zahar: Rio de Janeiro, 2006. 343 p.

LOPES, A. P. S. SÍNTESE DE NOVOS ANÁLOGOS DE CURCUMINA COM POTENCIAIS ATIVIDADES BIOLÓGICAS. Trabalho Final de Mestrado para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Química e Biológica. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.

MACONI, M.A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 8. Ed. São Paulo: Atlas, 2019.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Informações Sistematizadas da Relação Nacional de Plantas Medicinais de Interesse ao SUS, Curcuma longa L., Zingiberaceae – Açafrão-da-terra. Secretaria de Ciência, Tecnologia, Inovação e Insumos Estratégicos em Saúde Departamento de Assistência Farmacêutica e Insumos Estratégicos, 2020.

PAIVA, M. J. A.; COSTA, N. A.; OLIVEIRA, V. C.; MAIA, N. M. A.; GONÇALVES, D. J. R.; VIEIRA, E. N. R.; PICOLI, E. A. T. Estratégias para aumentar a biodisponibilidade e métodos de extração. **In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA DOS PRODUTOS NATURAIS** , 2023. *Agron Science* . Agron Science, 25 maio 2023. DOI : <https://doi.org/10.53934/9786599965814> . ISBN 978-65-9996581-4.

PINO, J.A.; MARBOT, R.; VAZQUEZ, C., Volatile components of tamarind (*Tamarindus indica* L.) grown in Cuba, J. **Essent. Oil Res.**, 2004, 16, 4, 318-320, <https://doi.org/10.1080/10412905.2004.9698731>

QUARTI, J.; SILVA, J. L.; VIEIRA, T. C. R. G. Ação antitumoral do extrato de *Piper nigrum* e piperina: o envolvimento da proteína p53. (2025). **Arquivos Brasileiros De Medicina Naval**, 85(1). <https://doi.org/10.70293/2764-2860.2024.6588>

RODRIGUES, G. S. VISÃO GERAL SOBRE OS PRODUTOS NATURAIS E SUAS APLICAÇÕES: UMA REVISÃO. *Revista CPAQV - Centro De Pesquisas Avançadas Em Qualidade De Vida* , 2024. DOI <https://doi.org/10.36692/V16N1-152R>

SALAM, A.M.; LYLES, J.T.; QUAVE, C.L. *Methods in the Extraction and Chemical Analysis of Medicinal Plants*, 2019.

SAROGLOU, V.; DORIZAS, N.; KYPRIOTAKIS, Z.; SKALTSA, H .D., *Analysis of the essential oil composition of eight Anthemis species from Greece*, **J. Chromatogr. A**, 2006, 1104, 1-2, 313-322, <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2005.11.087> .

SENAR, Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. *Piscicultura: reprodução, larvicultura e alevinagem de tilápias.* / Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. – Brasília: SENAR, 2017. 85 p.; il. – (Coleção SENAR) ISBN: 978-85-7664-171-1

SHOBA, G.; JOY, D.; JOSEPH, T.; MAJEED, M.; RAJENDRAN, R.; SRINIVAS, P. S. Influence of piperine on the pharmacokinetics of curcumin in animals and human volunteers. **Planta Med.** V. 64, n. 4, p. 353-356, 1998. doi: <https://doi.org/10.1055/s-2006-957450>.

SIGRIST, M. S. *Divergência genética em Curcuma longa L. utilizando marcadores microsatélites e agromorfológicos.* 2009. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrônomicas) – Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, 2009.

SILVA, M. C.; NASCIMENTO, I.; RIBEIRO, V. S.; FOOK, M. L. Avaliação do método de obtenção de scaffolds de quitosana/curcumina quanto à estrutura, morfologia e propriedades térmicas. **Revista Matéria.** ISSN 1517 - 7076 artigo 11725 , pp.560 - 568 , 2016

SOLOMONS, T. W. G. FRUHLE, C. B. , *Química Orgânica*, 9ª edição, LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S. A., Rio de Janeiro, 2001,p. 76-77.

STANIC, Z. Curcumin, a Compound from Natural Sources, a True Scientific Challenge – A Review. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 72, n. 1, p. 1-12, 2017

SUETH-SANTIAGO, V.; MENDES-SILVA, G. P.; DECOTÉ-RICARDO, D., & LIMA, M. E. F. DE. Curcumina, o pó dourado do açafraão-da-terra: introspecções sobre química e atividades biológicas. **Química Nova**, v. 38, n. 4, p. 538-552, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5935/01004042.20150035>.

TOLEDO, E. M.; **Estudo das propriedades estruturais da curcumina no vácuo usando dinâmica molecular de Car-Parrinello**. 2013. Dissertação (Mestrado em Ciências Moleculares) – Universidade Estadual de Goiás, Unidade Universitária de Ciências Exatas e Tecnológicas, Anápolis, 2013.

TRUNG, N. D.; NHUAN, N. T.; VAN, L. T. C.; NGUYEN V. MINH, NGUYEN P. TRI, N. Biofabrication of silver nanoparticles using *Curcuma longa* extract: Effects of extraction and synthesis conditions, characteristics, and its antibacterial activit. **Journal of Biochemical Technology**. ISSN: 0974-2328. Published online: 28 February 2020

VIEIRA, R. F. F. A.; OLIVEIRA, F. L.; SCHIESSEL, D. L.; MAZUR, C. E.; VIEIRA, D. G.; CAVAGNARI, M. A.V. Analysis of consumption of antioxidant in patients with cancer of gastrointestinal tract. **Artigo Original**. BRASPEN J 2019; 34 (1): 32-8.

VELAYUDHAN, K. C.; DIKSHIT, N.; NIZAR, M. A. Ethnobotany of turmeric (*Curcuma longa* L.). **Indian Journal of Traditional Knowledge**. Vol. 11 (4), October 2012, pp. 607-614.

VIEGAS JR, C.; BOLZANI, V. S. OS PRODUTOS NATURAIS E A QUÍMICA MEDICINAL MODERNA. **Quim. Nova**, Vol. 29, No. 2, 326-337, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422006000200025>

WHITMORE, F. C. The Common Basis of Intramolecular Arrangements. IV. A Correction: The Benzilic Acid Rearrangement. **Amer. Chem. Soc.**, 1938, 60, 2002.

## **8. APÊNDICE A – CURCUMINA: A JORNADA DOURADA – DA HISTÓRIA ÀS RECEITAS**

Durante o período de pesquisa, foi elaborado um texto de divulgação científica voltado para estudantes do ensino médio, abordando a história da curcumina, as funções orgânicas presentes em sua molécula e os desafios relacionados à sua baixa biodisponibilidade. Esse material, apresentado na Semana Acadêmica de Química da Universidade Federal do Norte do Tocantins (UFNT), campus de Araguaína, teve como objetivo simplificar conceitos científicos e despertar o interesse dos alunos para a química.



Fonte: Autoral, (2024).

## Curcumina: A Jornada Dourada – Da História às Receitas



O açafrão é um item quase que indispensável nas casas brasileiras, mas você já parou para pensar de onde vem o açafrão da cozinha da sua casa? Ou o porque sua avó obriga você a tomar com mel e limão quando está com gripe?



A história dessa especiaria até chegar na sua casa é muito longa. Mas primeiro eu tenho que te dizer que o que conhecemos como açafrão, ou melhor, como falso açafrão (e mais pra frente você vai entender o porque, e que partir de agora vamos chama-lo de curcumina) é a raiz de uma planta chamada de Curcuma Longa, originária na região da Ásia, mais especificamente da Índia, onde é muito significativa para a cultura, para eles a curcuma é símbolo de proteção, força e é comumente utilizada em cerimônias de casamento para abençoar os noivos, em batizados para proteger o bebe e outros rituais religiosos e de crença popular. E de lá o uso da curcuma foi se ampliando como condimento alimentar e como um fitofármaco.



Fonte: Autoral, (2024).

As grandes navegações desempenharam um papel crucial na disseminação e valorização das especiarias, funcionando como uma verdadeira

"propaganda" para esses produtos exóticos, entre os quais se destacava a cúrcuma. Durante esse período, o comércio de especiarias se tornou uma das principais motivações para as expedições marítimas.



Entre essas especiarias, a cúrcuma, não era utilizada apenas como tempero na alimentação, mas também desempenhava um papel significativo na tinturaria de tecidos. A cor amarela vibrante proporcionada pela cúrcuma era amplamente apreciada e utilizada para tingir vestimentas, conferindo-lhe grande importância no comércio de mercadorias têxteis. A introdução dessas especiarias e pigmentos expandiu os horizontes culturais e econômicos, conectando continentes e transformando as práticas comerciais.



Assim, da Ásia a cúrcuma se popularizou tanto que hoje duvido que ela não esteja presente na sua cozinha. Temperando uma galinha caipira com pequi, um arrozinho temperado, uma

galinhada com cheiro verde hummm, vamos parar por aqui porque já estou ficando com água na boca.

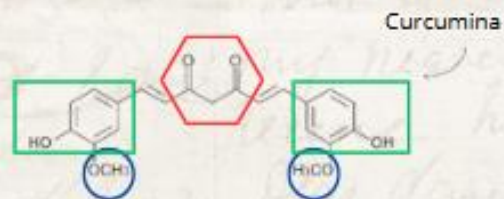
Mas voltando ao foco, você lembra que eu falei que o que chamamos de açafrão na verdade é o falso açafrão, ou o açafrão da terra? O que acontece na verdade é que

Fonte: Autoral, (2024).

o açafrão vem da planta *Crocus Sativus*, onde se é retirado o estigma da flor, porém, cada flor possui apenas três estigmas e para se obter uma boa quantidade de açafrão é preciso de uma grande quantidade de flores, tornando o açafrão a especiaria mais cara do mundo. Já o açafrão da terra é a raiz da *Curcuma Longa*.



E é justamente da curcuma que se extrai da curcumina, o principal princípio ativo da planta. A curcumina tem propriedades antioxidantes, antiinflamatórias e até mesmo anticancerígenas. Sua fórmula química é  $C_{21}H_{20}O_6$ , o que significa que a molécula é composta por 21 átomos de carbono, 20 de hidrogênio e 6 de oxigênio. Dentro dessa molécula, encontramos algumas partes importantes, sendo estes os grupos funcionais presentes nela, sendo os fenóis, as cetonas e os éteres.



Fonte: Autoral, (2024).

## Os fenóis

Um fenol é uma molécula que tem um anel benzênico (chamado anel aromático) com um grupo de átomos chamado hidroxila (-OH) ligado a ele. Um anel aromático é uma estrutura circular formada por seis átomos de carbono com ligações alternadas entre simples e duplas. Isso cria uma ligação estável e forte entre os átomos, que compartilham elétrons.

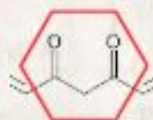


+ OH =



## As cetonas

Os grupos cetona têm a fórmula geral C=O, onde um átomo de carbono está duplamente ligado a um átomo de oxigênio. A molécula de curcumina possui dois grupos cetona, que estão localizados na porção central da estrutura, ligando os dois anéis aromáticos. Essa parte é importante para a reatividade da curcumina, permitindo que ela interaja com outras moléculas e metais.



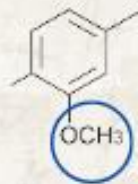
cetonas

## Os éteres

O éter é um tipo de composto químico onde um átomo de oxigênio se liga a dois átomos de carbono (C-O-C). Os éteres são conhecidos por serem bastante estáveis e por terem baixa reatividade em comparação a outros grupos funcionais, como álcoois ou ácidos. Na

Fonte: Autoral, (2024).

curcumina, os éteres aparecem quando um grupo metoxila (-OCH<sub>3</sub>) está ligado a um anel aromático, ou seja, o oxigênio se liga a um carbono de um anel de benzeno. Isso dá à molécula algumas características importantes, como uma maior solubilidade em certas substâncias e estabilidade química.



Éter

Essas funções conferem à curcumina sua identidade única, e, juntamente com outras moléculas presentes na raiz da planta *Curcuma longa*, proporcionam características especiais, como sua cor vibrante, sabor distinto e propriedades medicinais. Esses atributos fazem da cúrcuma uma planta amplamente utilizada e apreciada em diversas culturas.

A partir da curcumina, que é cuidadosamente extraída da *Curcuma longa*, diversos produtos são comercializados, abrangendo uma ampla gama de aplicações. O pó da cúrcuma, por exemplo, é usado como tempero na culinária, dando sabor e cor a pratos ao redor do mundo. Além disso, a curcumina é transformada em suplementos e remédios devido às suas propriedades anti-inflamatórias e antioxidantes, ajudando no tratamento de doenças e no fortalecimento da saúde.

Fonte: Autoral, (2024).

A versatilidade da curcumina também é aproveitada na indústria de cosméticos, onde ela é incorporada em sabonetes, cremes e loções, valorizada por seus benefícios para a pele. Assim, essa molécula, extraída de uma planta tradicional, dá origem a uma variedade de produtos que vão da cozinha ao cuidado pessoal, sempre preservando suas propriedades naturais e terapêuticas.



E chegamos ao fim dessa jornada sobre a fascinante curcumina! Espero que você tenha curtido conhecer um pouco mais sobre esta história. E agora você sabe que a cúrcuma não é apenas um ingrediente na sua cozinha, mas uma companheira cheia de histórias e benefícios, fique à vontade para explorar novas receitas e compartilhar essas curiosidades com os amigos e, quem sabe, continuar essa aventura científica por conta própria. Até a próxima, e que a cúrcuma continue colorindo suas refeições e sua curiosidade! Tchau!



Fonte: Autorial, (2024).