



YASMIN SILVA LOPES DAMASCENO

**O POTENCIAL ANTIFÚNGICO DE COMPOSTOS
BIOATIVOS PRESENTES NOS ALIMENTOS**

**LAVRAS-MG
2022**

YASMIN SILVA LOPES DAMASCENO

**O POTENCIAL ANTIFÚNGICO DE COMPOSTOS BIOATIVOS PRESENTES NOS
ALIMENTOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como parte
das exigências do Curso de Engenharia de
Alimentos, para a obtenção do título de
Bacharel.

Profa. Dra. Jaqueline de Paula Rezende
Orientadora

Dra Eliara Acipreste Hudson
Coorientadora

**LAVRAS-MG
2022**

YASMIN SILVA LOPES DAMASCENO

O POTENCIAL ANTIFÚNGICO DE COMPOSTOS BIOATIVOS PRESENTES NOS ALIMENTOS

THE ANTIFUNGAL POTENTIAL OF BIOACTIVE COMPOUNDS PRESENT IN FOOD

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia de Alimentos, para a obtenção do título de Bacharel.

Aprovada em 19 de setembro de 2022.
Dra. Eliara Acipreste Hudson UFV
Dra. Ana Clarissa dos Santos Pires UFV
Dr. Luis Henrique Mendes da Silva UFV

Profa. Dra. Jaqueline de Paula Rezende
Orientadora

LAVRAS-MG
2022

Aos meus pais Ademir e Dircéia e ao meu irmão Kaike, por formarem quem sou hoje com tanto carinho e dedicação, sem medirem esforços para tornarem meus sonhos realidade.

À Alícia, minha filha e luz da minha vida, fonte de amor e alegria inesgotáveis.

Ao Antonio in memoriam, pelos anos de companheirismo, amor e apoio.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela vida, pelas oportunidades, por constantemente renovar a minha fé e pelas pessoas incríveis que colocou no meu caminho.

Aos meus pais e irmão, por acreditarem em mim e em minha capacidade, por não medirem esforços para me proporcionarem o melhor, por todo apoio e suporte durante toda minha vida.

Agradeço também à minha filha, fonte de enorme aprendizado e alegria. Sem você nada faria sentido.

Ao Antonio, grande amor, amigo, companheiro e um dos maiores apoiadores dos meus sonhos. Agradeço pelos anos compartilhados, momentos vividos e também pelo nosso maior presente, nossa filha! Guardarei com carinho eternamente nossas lembranças. Hoje você está longe dos meus olhos, mas nunca estará do meu coração.

Agradeço também à Elizea, Toninho e Alex, minha segunda família, que me acolheram e apoiaram durante esses anos de graduação. Em especial à Elizea, mais que sogra ou amiga, que me acolheu e por tantas vezes aconselhou-me como uma mãe.

Aos amigos da vida, Jaqueline, Geovana Fernandes e Geovanna Hellen. Também aos da graduação, Ana Carolina, Suzana e Roberta, por todo carinho, apoio e amizade, por compartilharem risadas e, acima de tudo, por me apoiarem no momento mais difícil da minha vida, pois sem vocês essa trajetória seria mais difícil.

À minha orientadora Jaqueline, pela disposição, paciência e compreensão.

À Universidade Federal de Lavras e todos os docentes do curso de engenharia de alimentos, por todo conhecimento compartilhado.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG).

Também a todos não nomeados que me apoiaram ou de alguma forma me ajudaram durante essa trajetória. Meus sinceros agradecimentos.

“Porque sou eu que conheço os planos que tenho para vocês, diz o Senhor, planos de fazê-los prosperar e não de causar dano, planos de dar a vocês esperança e um futuro.” (Jeremias 29:11)

“Se eu vi mais longe, foi por estar sobre ombros de gigantes.” (Isaac Newton)

RESUMO

Os compostos bioativos são de extrema importância para a manutenção da saúde por promoverem diversos benefícios ao organismo de quem os consome. Entre esses compostos estão aqueles com propriedades antifúngicas, capazes de inibir fungos patogênicos e deteriorantes e também seus metabólitos, devido ao potencial biológico desses compostos, torna-se extremamente relevante a realização de estudos que viabilizem sua aplicação na indústria. Desta forma, este trabalho através de uma revisão bibliográfica, apresenta a propriedade antifúngica de alguns compostos bioativos e sua potencialidade em substituir agentes conservantes sintéticos, ressaltando os efeitos benéficos desses compostos e a importância de pesquisas que viabilizem sua aplicação em alimentos como substitutos dos conservantes químicos.

Palavras-chave: Fungos. Conservação. Inibição.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	CONSERVAÇÃO DE ALIMENTOS.....	10
3	USO DE AGENTES ANTIFÚNGICOS EM ALIMENTOS.....	12
4	COMPOSTOS BIOATIVOS.....	16
4.1	Quercetina.....	16
4.2	Ácido tânico.....	19
4.3	Ácido cinâmico.....	21
4.4	Curcumina	23
4.5	Eugenol.....	24
4.6	Timol.....	26
5	CONCLUSÃO	28

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, o método mais utilizado para conservar alimentos e evitar desperdícios é a adição de defensivos agrícolas e aditivos alimentares. Essas substâncias são em sua maioria sintéticas capazes de aumentar a vida de prateleira dos alimentos, além de torná-los mais atrativos. Embora causem um impacto positivo, em relação a preservação de alimentos e diminuição de seu desperdício, a longa exposição e consumo desses compostos demonstraram trazer malefícios à saúde humana.

Um dos maiores problemas no mundo é a contaminação de alimentos por fungos, sendo uma grande ameaça à saúde humana e animal, além de gerar perdas econômicas significativas (DAVIES *et al.*, 2021). No entanto, o uso excessivo, e muitas vezes indiscriminado de substâncias químicas muitas vezes de alta toxicidade, para combater esses patógenos, está afetando negativamente os seres humanos e o meio ambiente, devido ao acúmulo desses resíduos e a aquisição de resistência pelos patógenos (KETZER *et al.*, 2020; OLIVEIRA *et al.*, 2020).

Recentemente, consumidores em todo o mundo tem se preocupado em consumir uma alimentação saudável, reconhecendo a importância de manter uma alimentação equilibrada e o efeito que ela possui na manutenção da saúde e também na prevenção de doenças (CAÑAS; BRAIBANTE, 2019).

Desse modo, torna-se usual a escolha por alimentos que além dos nutrientes, possuam compostos que possam exercer benefícios adicionais à saúde, tornando o consumo de alimentos funcionais um meio de obter essa melhoria na qualidade de vida. Os alimentos funcionais são alimentos ricos em compostos bioativos, esses compostos fornecem diversos benefícios à saúde além de apresentar benefícios na redução do risco de doenças (CAÑAS; BRAIBANTE, 2019).

Os compostos bioativos são substâncias encontradas na natureza, são metabólitos secundários produzidos na fase de crescimento e reprodução das plantas com diversas finalidades. Apesar de não possuírem funções bioquímicas estabelecidas, são reconhecidas por suas propriedades funcionais e também por seus efeitos benéficos à saúde humana possuindo papel ativo e/ou protetor (OLIVEIRA *et al.*, 2018b). Esses compostos são divididos em diversas classes, com diferentes funções, entre elas estão as propriedades antifúngicas, propriedade pouco explorada dos compostos bioativos.

Neste contexto, a busca por agrotóxicos naturais constitui uma fonte alternativa sustentável de moléculas com baixa toxicidade que não causem danos à saúde humana e ao meio ambiente. Além de que os metabólitos secundários das plantas dificultam a aquisição de

resistência pelos patógenos devido a sua diversidade estrutural, também possuem menor persistência no ambiente devido aos microrganismos capazes de metabolizar esses compostos (KETZER *et al.*, 2020; OLIVEIRA *et al.*, 2020).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho é elucidar, através de uma revisão bibliográfica, o potencial antifúngico de alguns compostos bioativos como a quercetina, ácido tânico, ácido cinâmico, curcumina, eugenol e timol, na inibição de fungos deteriorantes de alimentos além de sua potencial aplicação como agente antifúngico na indústria alimentícia.

2 CONSERVAÇÃO DE ALIMENTOS

O processo de conservação de alimentos se faz necessário devido ao fato das matérias-primas, tanto de origem animal quanto de origem vegetal, serem fontes susceptíveis a diversos tipos de alterações. Tais alterações podem ser causadas por agentes físicos, químicos ou biológicos. Nesse sentido, os métodos utilizados para conservar os alimentos possuem o objetivo de prolongar a vida útil dos mesmos, mediante a aplicação de técnicas que reduzam e/ou evitem alterações físicas, químicas, enzimáticas e microbianas, mantendo seus nutrientes e características organolépticas (VASCONCELOS; MELO FILHO, 2010). Tradicionalmente, muitos alimentos são conservados através da aplicação de métodos de tratamento térmico, como a pasteurização, e/ou uso de conservantes químicos.

Além de prolongar a vida útil, a conservação dos alimentos possui o objetivo de evitar perdas e desperdícios inerentes à deterioração dos alimentos. Infelizmente, cerca de 30% dos alimentos são desperdiçados durante o processo de colheita, transporte e armazenamento (CHEN *et al.*, 2022). Segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO, do inglês *Food and Agriculture Organization of the United Nations*), aproximadamente um terço dos alimentos produzidos para o consumo humano são inutilizados mundialmente.

Considerando o desperdício demasiado, as indústrias recorrem a aditivos, em sua maioria químicos sintéticos, para prolongar a vida útil dos alimentos, protegendo-os das alterações indesejáveis causadas pelo desenvolvimento de bactérias, fungos, leveduras e quaisquer outros fatores que levem à deterioração. De acordo com o Comitê de Especialistas da FAO/OMS em Aditivos Alimentares (JECFA, do inglês *Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives*), os aditivos alimentares são substâncias não consumidas usualmente como alimentos, não são considerados ingredientes e podem ou não ter valor nutricional. Essas substâncias são adicionadas intencionalmente aos alimentos com propósito tecnológico, podendo resultar direta ou indiretamente, na preservação da composição e integridade do alimento (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS/WORLD HEALTH ORGANIZATION - FAO/WHO, 1957).

Alguns exemplos de aditivos químicos utilizados para conservar os alimentos são: o benzoato de sódio, que é muito utilizado em refrigerantes, molhos e sucos, butil-hidroxianisol (BHA), butil-hidroxitolueno (BHT) e terc-butil hidroquinona (TBHQ) que são geralmente adicionados em alimentos com alto teor de lipídeos, como margarina, óleo e molhos. Nitrito e nitrato são largamente utilizados em produtos cárneos processados como salsicha, bacon,

presunto entre outros, com o intuito de conservar a cor e o sabor. O metabissulfito de sódio é adicionado a batatas fritas congeladas, frutas secas, picles, sucos e vinhos, exceto os orgânicos.

Muitas vezes, o uso de aditivos conservantes é essencial para que alimentos processados possam ser armazenados por um extenso período, contudo, o consumo dessas substâncias pode desencadear diversos problemas de saúde. Alguns estudos demonstraram efeitos prejudiciais imediatos e a longo prazo causados pelo consumo de aditivos (GOKOGLU, 2019; MAMUR *et al.*, 2012; RITZ *et al.*, 2012). Os efeitos imediatos podem ser dores de cabeça, redução na capacidade de concentração e processamento de informações, influências no comportamento e na resposta imune. A longo prazo, os efeitos se tornam ainda mais preocupantes, incluindo acréscimo no risco de câncer, doenças cardiovasculares e doenças degenerativas (DA COSTA SILVA *et al.*, 2013).

Dos principais riscos relacionados ao consumo excessivo destes compostos, os danos toxicológicos e mutagênicos são os mais preocupantes. Os conservantes sintéticos são responsáveis pela forma parcialmente reduzida do oxigênio, que pode causar doenças oxidativas que danificam estruturas biológicas importantes, como proteínas, lipídios e DNA (HONORATO *et al.*, 2013; PRAKASH *et al.*, 2010).

Considerando a segurança alimentar, os fungos micotoxigênicos são mundialmente considerados uma ameaça. Além de deteriorar o alimento causando perdas e desperdícios, esses fungos podem produzir substâncias tóxicas, conhecidas como micotoxinas, que representam risco à saúde humana. Por exemplo, as aflatoxinas produzidas por *Aspergillus flavus*, uma das espécies de fungos mais prejudiciais, são profundamente preocupantes por sua hepatotoxicidade e carcinogenicidade (LIU *et al.*, 2021). A ingestão da aflatoxina também pode acarretar intoxicação aguda, disfunção do sistema imunológico, teratogenicidade e doenças sistêmicas (PRAKASH *et al.*, 2018).

3 USO DE AGENTES ANTIFÚNGICOS EM ALIMENTOS

Os aditivos alimentares são classificados de acordo com sua produção e origem em: i) naturais, quando obtidos a partir de animais ou plantas; ii) semelhantes aos naturais, quando são produzidas, sinteticamente, estruturas análogas aos aditivos naturais); iii) artificiais, compostos sintéticos

Essas substâncias são avaliadas e regularizadas como aditivos alimentares por órgãos responsáveis, como a Autoridade Europeia para a Segurança dos Alimentos (EFSA) e a *Food and Drug Administration* (FDA) dos Estados Unidos. O FDA apresenta a classificação de mais de 3000 aditivos alimentícios em seis grupos principais: conservantes, aditivos nutricionais, agentes corantes, agentes aromatizantes, agentes de textura e agentes diversos. Existem ainda três classes que compõem o grupo de conservantes: preservadores, conservantes e antioxidantes. Esses aditivos são adicionados ao alimento com intuito de conservar, retardando ou inibindo as alterações indesejadas (CAROCHO; MORALES; FERREIRA, 2015).

Os antifúngicos são conservantes empregados na produção de alimentos com a função de inibir ou reduzir o crescimento fúngico indesejável, evitando a produção de micotoxinas e a perda do valor nutricional, além de garantir maior vida útil ao alimento.

Industrialmente os antifúngicos mais utilizados em alimentos, são: benzoatos, sorbatos, propionatos e parabenos. Apesar do impacto positivo dessas substâncias, estudos relatam reações adversas e tóxicas ao consumidor causadas pelo consumo desses aditivos alimentares causando desde inflamações a aumento do fator de risco de doenças crônicas, como o câncer (LENNERZ *et al.*, 2015; RAPOSA *et al.*, 2016).

O ácido benzóico e seus sais possuem vasta aplicação na indústria de alimentos, sendo os conservantes alimentícios mais utilizados no mundo (ARIAS, 2019). Por se tratar de um conservante orgânico, sua eficiência está vinculada ao potencial Hidrogeniônico (pH) do meio ao qual será adicionado, recomenda-se sua adição em produtos com pH abaixo de 4,2. No entanto, evita-se adicioná-lo em produtos fermentados pois esse ácido e seus derivados atuam na inibição de leveduras e fungos podendo influenciar no processo fermentativo. Esse conservante é largamente utilizado em refrigerantes, conservas, queijos, margarinas e molhos (ARIAS, 2019; CAROCHO; MORALES; FERREIRA, 2015). Estudos relacionaram o consumo desses conservantes em relação às reações adversas a saúde, foram observadas reações alérgicas em consumidores com sensibilidade, além de, hiperatividade, broncoespasmo, angioedema, urticária, e também a possível inibição na agressão plaquetária (ARIAS, 2019).

O ácido sórbico é um aditivo GRAS (Generally Recognized As Safe), assim como seus derivados (sais de sódio, cálcio e potássio). São de extrema relevância, um dos principais conservantes na indústria alimentícia. Possui reconhecida eficiência na inibição do crescimento de fungos e leveduras (LIU; WANG; YOUNG, 2014). No entanto, apesar de ser considerado um aditivo seguro e menos tóxico quando comparado aos seus similares, já foram observados alguns casos de alergia, urticária e asma em decorrência do seu consumo (ARIAS, 2019; KAMANKESH *et al.*, 2013).

O ácido propiônico possui ação fungicida e bactericida que prolonga a vida de prateleira e melhora a segurança dos alimentos. Possui aplicação também na produção de aromas, plásticos e polímeros e pesticidas. Apesar de considerado não tóxico, foi observado mutagenicidade, com efeito cancerígeno em consumidores que ingeriram esse aditivo (HAQUE *et al.*, 1970).

Os ésteres do ácido p-hidroxibenzóico ou parabenos são compostos naturais encontrados em plantas, frutas, cereais, leveduras, própolis especiarias entre outros. Possuem propriedades antifúngicas e bactericidas, muito usado como conservante em alimentos e bebidas (AUBERT; AMELLER; LEGRAND, 2012). Esse conservante possui baixa toxicidade, irritação e sensibilização além de ampla estabilidade na faixa de pH e hidro ou lipofilicidade que variam de acordo com o tamanho da cadeia. Apesar da baixa toxicidade e de ser considerado seguro, os parabenos podem promover alteração cromossômica e alergias (CASTELAIN; CASTELAIN, 2012).

Na produção de alimentos que passam por processamentos mais simples, como muitos grãos, o uso de antifúngicos também é muito frequente. O cultivo do arroz por exemplo, proporciona condições favoráveis ao crescimento de fungos, desse modo é necessário aplicar defensivos agrícolas sintéticos ao longo de todo ciclo de produção dessa cultura. Entretanto, diversos estudos demonstraram a associação do uso desses produtos químicos com a contaminação da água, solo, e também ao fato de ser tóxico ao organismo dos seres humanos e animais, além do fato de poder gerar resistência dos fungos a esses defensivos levando ao aumento da utilização desses produtos e a doenças resistentes (BOTELHO *et al.*, 2020; OLIVEIRA *et al.*, 2018a).

As contaminações fúngicas são as doenças de maior incidência e responsáveis pelo maior percentual de perdas no armazenamento pós-colheita de alimentos que serão consumidos frescos, como muitos vegetais e frutas. Estima-se que as perdas possam chegar a 80% nos países em desenvolvimento (CHEN *et al.*, 2022; OGOSHI *et al.*, 2019). Por exemplo, em frutas cítricas, os fungos são responsáveis por doenças como o mofo verde, mofo azul, mofo cinza e

podridão ácida. A incidência de fungos também acomete outras frutas e classes de alimentos frescos causando podridão e diminuindo a sua vida de prateleira (CHENG *et al.*, 2022; HUA *et al.*, 2019; KAI *et al.*, 2020; LI *et al.*, 2019; MA *et al.*, 2021; YANG *et al.*, 2019).

A crescente urbanização e o aumento acelerado da população mundial trouxeram um enorme desafio em relação a produção e disponibilidade de alimentos. Diante disso, se fez necessário o uso de agentes químicos para atender as demandas por alimentos, que precisam ser colhidos cada vez mais rápidos e, em contrapartida, que tenham a vida de prateleira cada vez mais extensa (SAATH; FACHINELLO, 2018).

A toxicidade relacionada à ingestão desses compostos em grandes quantidades é um fator de risco à saúde mundial, considerando o aumento da incidência de doenças que anteriormente eram raras ou até mesmo inexistentes. Além disso, existem também os impactos ambientais inerentes à utilização de defensivos agrícolas e aditivos químicos, pois a utilização dessas substâncias pode causar a degradação da fauna e da flora encontradas no entorno das lavouras, por exemplo (DUTRA *et al.*, 2021; HASS *et al.*, 2017; LIU *et al.*, 2022; ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU, 2017).

Considerando os hábitos alimentares de uma geração que consome muitos alimentos processados tornou-se alarmante a quantidade de químicos ingeridos diariamente, inclusive na primeira infância, momento onde estão sendo formadas as funções cognitivas e comportamentais, onde o corpo humano está mais suscetível a doenças e disfunções devido a imaturidade de todos os sistemas, além de ser o momento onde está sendo desenvolvido os hábitos alimentares havendo a necessidade de produtos que sejam mais naturais (KRAEMER *et al.*, 2022; SOUZA, 2020).

Tantos impactos negativos relacionados ao uso dessas substâncias trouxeram ao consumidor maior conscientização repercutindo em seus hábitos de consumo e conseqüentemente no processo de escolha dos produtos a serem adquiridos que atualmente tendem a ser produtos mais naturais livres da adição de químicos. Essa mudança está causando grandes impactos na agroindústria, que necessita buscar alternativas para atender às novas demandas dos consumidores (ANGUS; WESTBROOK, 2019; EMBRAPA, 2018; SAGAR; PAREEK, 2021).

Muito se tem discutido sobre a troca dessas substâncias sintéticas por compostos naturais. Os compostos bioativos presentes na natureza são uma alternativa promissora para a concretização dessa substituição, pois, além de ocorrerem de forma natural atendendo a expectativa dos consumidores, possuem as propriedades necessárias para substituir diversas substâncias químicas utilizadas atualmente (CHAMORRO *et al.*, 2022; DESETA *et al.*, 2021).

O atual cenário de consumo de alimentos processados somado a alta conscientização da sociedade em adotar medidas preventivas de saúde, salientam ainda mais a necessidade e demanda por esses novos aditivos naturais com capacidades bioativas, que mantenham uma prolongada vida de prateleira evitando o aumento de desperdícios (EMBRAPA, 2018).

4 COMPOSTOS BIOATIVOS

Compostos bioativos são compostos encontrados na natureza, em vegetais (carotenóides, fitoesteróis, terpenos, compostos fenólicos), animais (ácido graxo da família ômega 3, ácidos graxos conjugados) e também em microorganismos, terrestres ou aquáticos. Esses compostos são naturalmente consumidos diariamente, pois fazem parte da composição dos alimentos presentes nas dietas cotidianas. Tais compostos são chamados de bioativos em razão dos benefícios à saúde que eles podem promover.

Apesar dos compostos bioativos não possuírem funções bioquímicas estabelecidas como vitaminas e nutrientes, existem evidências de diversas funções biológicas benéficas a saúde e diminuição da incidência de Doenças Crônicas Não Transmissíveis (DCNT), associadas ao consumo desses compostos (DE OLIVEIRA; BASTOS, 2011).

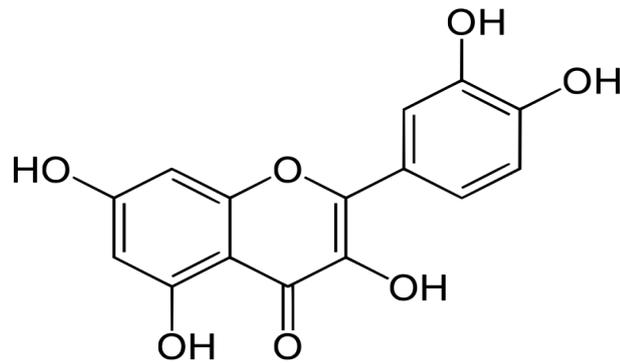
Conhecidos por suas propriedades funcionais, as quais estão relacionadas especialmente ao desempenho antioxidante, antifúngico e antiinflamatório, essas substâncias são divididas em diversas classes, como glicosinolatos, polifenóis e carotenóides (SINAGA *et al.*, 2016). São diversos os efeitos positivos que essas substâncias promovem à saúde, por exemplo, os fenóis e os flavonoides são caracterizados por sua ação antitumoral e antioxidante, já os polifenóis são também eficientes anti-inflamatórios (HE *et al.*, 2019).

Para a indústria alimentícia, as propriedades dos compostos bioativos são de extrema importância para a conservação de alimentos, possibilitando a substituição de aditivos químicos conservantes por compostos naturais. Os carotenóides e compostos fenólicos, por exemplo, possuem eficiência comprovada no combate aos fungos além da capacidade antioxidante (KOROŠEC *et al.*, 2014; LEE; JIN, 2008; WANKENNE, 2019; YANG *et al.*, 2021). A seguir, serão apresentados alguns compostos bioativos que apresentam propriedades funcionais benéficas à saúde humana e que demonstraram efeito antifúngico com potencial de aplicação em alimentos.

4.1 Quercetina

A quercetina é um flavonóide, com nomenclatura segundo a IUPAC: 2-(3,4-dihydroxyphenyl)-3,5,7-trihydroxy-chromen-4-one; fórmula molecular $C_{15}H_{10}O_7$ e massa molecular de 302,24 g/mol (FIGURA 1).

Figura 1 - Estrutura química da quercetina.



Fonte: Da autora (2022).

Estruturalmente a quercetina é uma aglicona não conjugada e seu glicosídeo é obtido através da substituição de um dos seus grupos OH, por um grupo glicosil principalmente glicose, ramnose ou rutinose (MIRSAFAEI *et al.*, 2020). Embora ambas moléculas sejam biodisponíveis, a forma glicosilada é melhor absorvida comparada à quercetina em sua forma aglicona, pois a quercetina glicosilada (Q3G) se liga a transportadores de glicose (SGLT-1), que facilitam sua absorção pelas células epiteliais do segmento superior do intestino delgado, onde a quercetina e seus derivados são absorvidos (BECHO; MACHADO; GUERRA, 2009; MIRSAFAEI *et al.*, 2020).

A quercetina é o flavonóide de maior abundância na dieta humana correspondendo a aproximadamente 95% do total de flavonóides ingeridos (TANG *et al.*, 2020). Esse fato decorre das altas concentrações de quercetina em alimentos ingeridos cotidianamente. Estudos avaliaram a concentração desse composto em diversos alimentos comuns da dieta humana, como cebola (284-486 mg/kg), couve (100 mg/kg), vagem (32-45 mg/kg) e brócolis (30 mg/kg). Bebidas como a cerveja, café, achocolatado e vinho branco também apresentam quercetina em sua composição (cerca de 1 mg/l). Em vinho tinto a concentração do bioativo é ainda maior, 4-16 mg/L. O chá preto é uma excelente fonte de quercetina, com concentração de 10-25 mg/L (HERTOG *et al.*, 1992).

No geral, os flavonóides são antioxidantes potentes devido a suas propriedades sequestrantes de radicais livres e também por quelar íons metálicos. A quercetina em particular, é capaz de sequestrar radicais de oxigênio, inibir a xantina oxidase e a peroxidação lipídica, podendo impedir a formação de radicais livres em três diferentes etapas. Esse bioativo também é reconhecido por suas propriedades quelantes e estabilizadoras de ferro. Possui muitas propriedades comprovadas, como antiviral, cardioprotetora, anti-inflamatória (inibindo a expressão de citocinas inflamatórias) e antiproliferativa (BEHLING *et al.*, 2004). Além da

atividade antioxidante e aumento da atividade enzimática da microbiota intestinal, a quercetina apresenta também propriedades anti-hipertensivas, anti-ateroscleróticas, e demonstrou atividade como vasodilatador, além da proteção hepatorenal. Houve também potencialização *in vitro* de funções probióticas de bifidobactérias, carcino protetoras. A mais atual e promissora descoberta acerca das propriedades da quercetina está no fato dela prevenir danos musculares na prática de atividade física pelo aumento da força (BHASKAR *et al.*, 2012; GHOLAMPOUR; SADIDI, 2018; GRZELAK-BŁASZCZYK *et al.*, 2018; KAWABATA *et al.*, 2015; KAWABATA; MUKAI; ISHISAKA, 2015).

Além dessas propriedades, a quercetina também apresenta potencial uso como conservante alimentício (GALO *et al.*, 2018; ROCHA; SOUZA, 2019). No entanto, a quercetina apresenta baixa solubilidade em água e baixa estabilidade físico-química. Esses fatores dificultam a aplicação direta da quercetina em formulações alimentícias. Nesse sentido, Valencia (2020), desenvolveu nanopartículas de lecitina-quitosana carregadas com quercetina em seus núcleos. O estudo mostrou que as nanopartículas permaneceram estáveis ao longo de 28 dias de armazenamento a 4°C e 30°C. A formação das nanopartículas não influenciou na atividade antioxidante e antimicrobiana da quercetina. Além disso, as nanoestruturas promoveram aumento da solubilidade da quercetina em meio aquoso, sem apresentar toxicidade celular. Portanto, as nanopartículas desenvolvidas apresentam potencial para serem utilizadas como estruturas carreadoras de quercetina em matrizes alimentícias com o objetivo de aumentar a conservação dos alimentos (VALENCIA, 2020).

A combinação de compostos obtidos do reaproveitamento da citricultura descrita em Pok *et al.* (2020), apresentou eficácia na diminuição de aflatoxinas presentes no milho. O mix avaliado nesse estudo capaz de reduzir a incidência do patógeno continha 0,39 mM de naringina, 0,24 mM de neohesperidina e 0,40 mM de quercetina. Esse mix em um sistema com atividade de água (a_w) igual a 0,98 foi capaz de reduzir a produção de aflatoxinas em mais de 93%, demonstrando ser uma opção ecológica a ser explorada pela indústria alimentícia substituindo as substâncias químicas utilizadas usualmente (POK *et al.*, 2020).

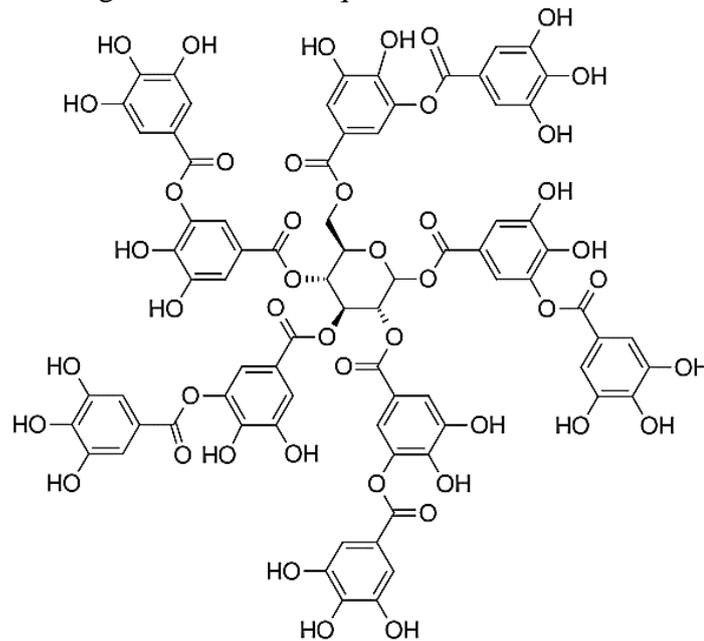
No estudo realizado por Sagar e Pareek (2021), os autores adicionaram pó de casca de cebola como conservante natural na produção de pães. Observou-se que a adição do pó da casca da cebola ao pão, aumentou o teor de fenóis e flavonóides totais. Pode-se concluir que esse aumento está diretamente relacionado à concentração do pó de cebola, pois a amostra onde foi adicionada a maior concentração (4%) foi a que apresentou maior nível de fenóis e flavonóides totais. Além disso a vida de prateleira dos pães enriquecidos com 4% de casca de cebola aumentou para 11 dias quando armazenado em temperatura ambiente e quando armazenados

sob refrigeração aumentou para 13 dias, apresentando um aumento da vida de prateleira significativo quando comparado ao controle que apresentou infecção fúngica no 3º dia para ambas as condições de armazenamento. A contribuição para o aumento da vida de prateleira dos pães enriquecidos com o pó de casca de cebola, pode ser atribuída a quercetina, pois este é o polifenol mais abundante na casca de cebola (SAGAR; PAREEK, 2021).

4.2 Ácido tânico

O ácido tânico (1,2,3,4,6-pentadigaloilglucose, $C_{76}H_{52}O_{46}$, 1700 g/mol^{-1}), é um tanino polifenólico hidrolisável e de origem natural, com várias propriedades biológicas (PRIYA *et al.*, 2020; WEBBER, 2018) (FIGURA 2). Encontrado em frutas como açaí e romã, em algumas especiarias e também no chocolate amargo.

Figura 2 - Estrutura química do ácido tânico.



Fonte: Da autora (2022).

O ácido tânico apresenta diversas propriedades funcionais, como antimicrobiana, antioxidante, anti-inflamatória, antimutagênicas, atividades adstringentes e diuréticas (LI *et al.*, 2020; ORLOWSKI *et al.*, 2016; YAN *et al.*, 2019). Devido a essas propriedades, esse bioativo é muito aplicado na indústria alimentícia como aditivo, sendo usado como clarificador na produção de vinhos e cervejas (LI *et al.*, 2020; PIOVESAN; SANTANA; SPINELLI, 2020; PRIYA *et al.*, 2020).

Além de todas as propriedades anteriormente citadas, o ácido tânico vem sendo reconhecido também por inibir o crescimento de microrganismos de diversos gêneros, como bactérias, fungos e leveduras (EKAMBARAM; PERUMAL; BALAKRISHNAN, 2016; MA *et al.*, 2021; ZHU *et al.*, 2019).

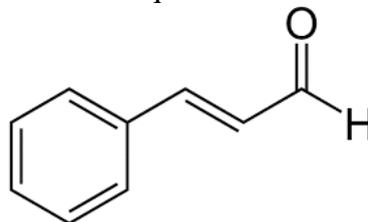
No estudo de Zhu *et al.* (2019), foram testadas as capacidades antifúngicas do ácido tânico contra *Penicillium digitatum* e o mofo verde, precursor da degradação de frutas cítricas causado por esse microrganismo. Foram realizados testes *in vitro*, onde cinco microlitros de esporos foram incubados em placas de ágar batata dextrose (PDA) adicionados de 200 $\mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$ de ácido tânico e também em placas controle sem o bioativo. Constatou-se que além de inibir o crescimento dos micélios de *P. digitatum* o efeito inibitório está diretamente relacionado à concentração de ácido tânico pois quando exposto a uma concentração de 400 $\mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$, a germinação foi de 61,4% mas quando exposto a uma concentração maior, de 600 $\mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$, apenas 12,4% dos esporos germinaram, causando uma redução de 84% no crescimento de *P. digitatum*. Notou-se também que a doença se desenvolveu mais lentamente quando comparado ao controle. Após dois dias foram observadas lesões nos frutos controle, contudo os frutos tratados com ácido tânico não apresentaram manifestação da doença, mostrando a eficiência do ácido tânico no tratamento da doença do mofo verde em frutos inoculados sinteticamente. Em relação ao mofo verde foram conduzidos dois experimentos diferentes, onde no primeiro o patógeno foi inoculado sinteticamente direto na casca dos frutos, no caso tangerina ponkan, feridas com agulhas estéreis e previamente inoculadas com uma suspensão de 10 μl de conídios, e após 2 horas foram adicionados nas feridas 10 μl de ácido tânico em uma concentração de 500 $\mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$ e um volume equivalente de água pura foi adicionado aos controles, os frutos inoculados foram incubados em câmara úmida, com 100% de umidade a 25°C, e após 6 dias foram medidos diâmetro das lesões. O segundo experimento foi realizado com frutos inoculados naturalmente, foram obtidos frutos de um pomar colhidos a no máximo dois dias. Esses frutos foram mergulhados em ácido tânico numa concentração de 500 $\mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$ por 2 minutos e secos ao ar livre por 3 horas, o mesmo foi realizado com água para o controle. Os frutos foram acondicionados em caixas de papelão e armazenados a 27°C, após 7 dias foram calculadas a incidência de mofo verde. Os frutos sem tratamento obtiveram lesões com 82 mm de diâmetro, já os frutos tratados com ácido tânico, obtiveram lesões 33% menores, com 55 mm de diâmetro. Novamente foi comprovada a eficiência do ácido tânico, responsável por inibir em quase 70% a doença do mofo verde diminuindo sua incidência para 2,3% (ZHU *et al.*, 2019).

No estudo de Ma *et al.* (2021), foram realizados vários experimentos a fim de elucidar a eficácia de um novo revestimento comestível à base de goma laca e ácido tânico com intuito de prolongar a vida útil de mangas na pós-colheita. Um dos testes realizados, foi a capacidade antifúngica, o teste consistiu em colher tecido de manga e após devido tratamento emplacá-los em ágar durante 4 dias a fim de crescerem micélios e posteriormente identificar os fungos presentes na manga. Após a identificação, foi testada a atividade antifúngica do revestimento contra os fungos identificados, *Colle totrichum gloeosporioides* e *Phomopsis mangiferae*. Os testes foram realizados aplicando 2 ml de revestimento de goma-laca e ácido tânico estéril em placas de PDA para formar um filme após a secagem. O mesmo foi feito com água estéril para controle. Em seguida os fungos anteriormente identificados foram inoculados nas placas com o revestimento e controle, então as placas foram incubadas a uma temperatura de 28°C e posteriormente foram medidas as colônias de fungos existentes nas placas pelo método de seção transversal os testes foram realizados após 48, 72, 96 e 120 h. Após 48 h a razão fungistática (FR) do revestimento de goma-laca e ácido tânico contra *Colletotrichum gloeosporioides* e *Phomopsis mangiferae* foi de 52,60% e 47,40%, respectivamente, apresentando boa atividade fungicida (MA *et al.*, 2021).

4.3 Ácido cinâmico

O ácido cinâmico, denominado 3-fenil-2-propenóico pela IUPAC (C₉H₈O₂, 148,16 g/mol), e seus derivados são classificados como ácidos carboxílicos (FIGURA 3).

Figura 3 - Estrutura química do ácido cinâmico.



Fonte: Da autora (2022).

Os ácidos cinâmicos geralmente são encontrados em organismos do Reino *Plantae*, ocorrendo em plantas superiores e é encontrado em óleos essenciais, resinas, bálsamos e óleo de canela. Esses ácidos também podem ser encontrados em alimentos como: grãos de café, chá mate, cacau, maçãs, peras, frutas cítricas, uva, espinafre, beterraba, alcachofra, batata, tomate, feijão, fava, e cereais, mas são especialmente encontrados em *Cinnamomum zeylanicum*,

popularmente conhecida como caneleira-verdadeira. O ácido cinâmico pertence ao grupo auxina, hormônio vegetal responsável pela regulação do crescimento, formação de lignina e diferenciação das células. Também é um dos precursores dos flavonóides. É um composto bioativo que possui atividades antifúngica, antimicrobiana, anticarcinogénica e antioxidante (GUZMAN, 2014).

A atividade antifúngica do ácido cinâmico e seus derivados está relacionada à inibição enzimática. Um estudo desenvolvido com *Cochliobolus lunatus*, responsável por causar o retardo no crescimento e até a morte de diversas culturas como o arroz, e *Aspergillus niger*, causadora da doença do mofo-preto, demonstrou a inibição da enzima 4-hidroxilase-benzoato (CYP 53), (intermediário importante no metabolismo de compostos aromáticos pelos fungos), pelo ácido cinâmico e seus derivados. Como essa enzima está presente exclusivamente em fungos, torna-se um alvo estratégico no combate aos fungos (KOROŠEC *et al.*, 2014).

O estudo de Li *et al.* (2019) demonstrou a eficácia do ácido cinâmico contra *Penicillium italicum*, um dos microrganismos causadores da doença do mofo azul em frutas cítricas. A inibição do crescimento dos fungos foi diretamente correlacionada com a concentração de ácido cinâmico utilizada, onde a concentração de 3 mM foi a que apresentou melhor controle da doença. Foi observado que as germinações micelial e dos esporos de *P. italicum* foram efetivamente inibidas pelo ácido cinâmico em meio à cultura. O mecanismo de inibição causado pelo ácido cinâmico ocorreu por meio da desintegração da membrana de *P. italicum* e do vazamento dos constituintes celulares do patógeno (LI *et al.*, 2019). Portanto, essa sensibilidade do *P. italicum* ao ácido cinâmico pode ser utilizada como estratégia para o desenvolvimento de agentes antifúngicos naturais para frutas cítricas.

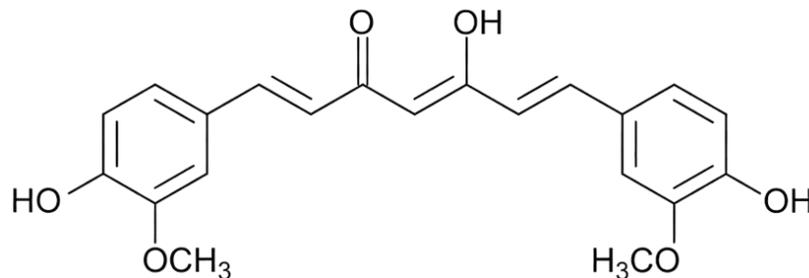
O mesmo efeito antifúngico do ácido cinâmico foi observado no estudo de Cheng *et al.* (2022), contra *Geotrichum citri-aurantii*, microrganismo precursor da doença pós-colheita de citros conhecida como podridão azeda ou podridão ácida. Nesse estudo, o poder inibitório do ácido cinâmico também foi diretamente relacionado à sua concentração. Quando aplicado 200 mg/L⁻¹ de bioativo, o percentual inibitório foi de 67,95%, mas quando aplicada o dobro dessa concentração (400 mg/L⁻¹), houve total inibição do crescimento micelial. Em relação a germinação dos esporos de *G. citri-aurantii*, mesmo quando aplicada baixas concentrações de ácido cinâmico (100 mg/L⁻¹), foi possível observar a diminuição do percentual de germinação (2,67% após 4 horas e 36,33% após 6 horas), uma inibição significativa quando comparada ao controle o qual apresentou um percentual de germinação de 72,67% após 4 horas e após 6 horas 99%. A germinação foi completamente inibida quando aplicada a concentração de 200 mg/L⁻¹ de ácido cinâmico. O ácido cinâmico também foi capaz de danificar a membrana celular de *G.*

citri-aurantii, causando vazamento do conteúdo intracelular e finalmente a morte do patógeno. Também pode-se concluir nos testes in vivo a efetividade do ácido cinâmico no controle da doença podridão ácida, se tornando um composto potencial a ser aplicado no combate a esse tipo de doença (CHENG *et al.*, 2022). O ácido cinâmico se mostrou eficaz no combate aos fungos mesmo quando aplicado em pequenas concentrações, tornando-o um ótimo substituto para seus similares químicos.

4.4 Curcumina

A curcumina 1,7-bis(4-hidroxi-3-metoxifenil)-1,6-heptadieno-3,5-diona), pertencente ao subgrupo das flavonas, isolado da *Curcuma Longa*, mais conhecida como açafrão. Esse composto bioativo é muito utilizado na Índia como tempero e agente medicinal, devido a suas atividades antioxidantes, cicatrizantes e anti-inflamatórias. Além disso, a curcumina também é reconhecida por apresentar propriedades antimicrobianas de amplo espectro (KUMAR *et al.*, 2014). Possui aplicação em diversas áreas como culinária, cosmética, terapêutica além de possuir atividade no combate às células cancerígenas (HEWLINGS; KALMAN, 2017; KOTHA; LUTHRIA, 2019; SUETH-SANTIAGO *et al.*, 2015). A curcumina (C₂₁H₂₀O₆) possui massa molecular de 368.38 g/mol e sua estrutura molecular é mostrada na Figura 4.

Figura 4 - Estrutura química da curcumina.



Fonte: Da autora (2022).

Estudos vêm comprovando a eficácia da curcumina como agente antifúngico contra microrganismos deterioradores de frutas (HUA *et al.*, 2019; KAI *et al.*, 2020; SATHIYABAMA; INDHUMATHI; AMUTHA, 2020).

No estudo realizado por Kai *et al.* (2020) foi avaliada a capacidade antifúngica da curcumina em relação ao *Diaporthe phaseolorum*, microrganismo patogênico responsável pelo apodrecimento em kiwis. Foi descoberto que, além de uma significativa inibição do crescimento micelial, do alongamento do tubo germinativo e da germinação de esporos, a curcumina induziu

a apoptose e acelerou a taxa de morte celular. Também foi comprovado que a exposição à curcumina causou maior sensibilidade dos micélios ao estresse osmótico e oxidativo, levando a perda da capacidade do microrganismo de penetrar a parede de células vegetais. Esses resultados demonstraram que a curcumina é eficaz na inibição do apodrecimento pós-colheita causado por *D. phaseolorum* em kiwi diminuindo sua deterioração e patogenicidade.

No estudo realizado por Hua *et al.* (2019), também foi avaliada a capacidade antifúngica da curcumina contra um microrganismo deteriorante de kiwi. Mas neste estudo o microrganismo alvo foi o *Botrytis cinerea*, responsável por causar mofo cinza no fruto. A curcumina causou apoptose nas hifas de *Botrytis cinerea* mesmo efeito causado no estudo de Kai *et al.* (2020), sugerindo que a curcumina é responsável por induzir estresse oxidativo nesse tipo de microrganismo. A curcumina também foi responsável por aumentar a atividade da enzima antioxidante. Tais resultados demonstram que além da curcumina ser efetiva no controle da doença do mofo cinza, ela também favorece o aumento da atividade antioxidante de kiwis. Novamente essa descoberta demonstra a vantagem da substituição de fungicidas sintéticos pela curcumina, uma vez que, além da proteção contra processos de deterioração, as propriedades funcionais deste bioativo podem melhorar as propriedades físico-químicas dos alimentos também.

O efeito da fotossensibilização mediada pela curcumina seguida de irradiação por luz azul, foi testado em relação à vida de prateleira de tâmaras no estudo de Al-Asmari, Mereddy e Sultanbawa (2018). Ao final de 98 dias foi constatada a efetividade do tratamento pois os frutos fotossensibilizados por curcumina a 1400 µM por 10 min, seguida de irradiação por luz azul e posteriormente armazenados a 4°C não apresentaram qualquer manifestação fúngica enquanto o controle armazenado sob as mesmas condições apresentou fungos após 28 dias (AL-ASMARI; MEREDDY; SULTANBAWA, 2018).

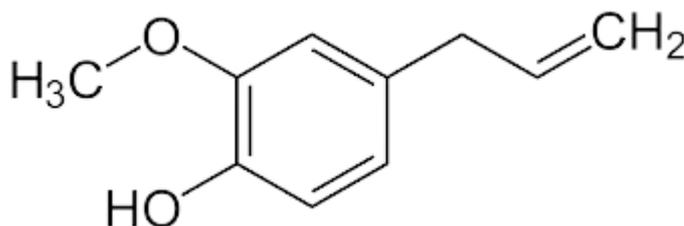
Dessa forma ficou evidente a efetividade do tratamento no prolongamento da vida útil de tâmaras, tornando a curcumina um composto a ser considerado como substituto de seus similares sintéticos.

4.5 Eugenol

O eugenol (4-Alil-2-Metoxifenol, C₁₀H₁₂O₂, 164,2 g/mol) é um óleo amarelado ou incolor que apresenta um aroma forte característico (FIGURA 5) (DE OLIVEIRA *et al.*, 2009). Esse composto é extraído do cravo-da-índia (*Syzygium aromaticum*), sendo o responsável pelo seu aroma e também o principal constituinte do óleo essencial de cravo. O eugenol também é o

principal constituinte dos compostos voláteis das folhas, caules e botões florais da *Syzygium aromaticum*, perfazendo de 70 a 90% de sua composição química.

Figura 5 - Estrutura molecular do eugenol.



Fonte: Da autora (2022).

Esse composto apresenta diversas propriedades funcionais como: antibacteriana, anti-inflamatória, antioxidante, antifúngica, anticarcinogênica, cardiovascular, antinociceptivo (Reduz ou anula a percepção e transmissão de estímulos que causam dor). Destacam-se também suas atividades antissépticas, espasmolíticas, relaxante muscular e antipirética (combate a febre, diminuindo a temperatura do corpo) (PIERI; MUSSI; MOREIRA, 2009; SANTANA *et al.*, 2021; SANTOS *et al.*, 2009).

O mecanismo de ação antifúngica do eugenol se dá pela alteração da parede celular do microrganismo, assim como, o enfraquecimento do sistema de defesa via lipooxigenase mediada por radicais livres, resultando em lesões na membrana. Alguns estudos demonstram também o auxílio a atividade fungicida do eugenol por permeases de aminoácidos (KARUMATHIL; SURENDRAN-NAIR; VENKITANARAYANAN, 2016; LEE; JIN, 2008; RASTOGI *et al.*, 2008). Alguns pesquisadores observaram também o efeito sinérgico entre o eugenol e outros compostos, como timol e carvacrol, resultando na síntese ou destruição da parede celular dos microrganismos (CHARAN RAJA, 2015; MAK *et al.*, 2019).

O eugenol é amplamente utilizado em frutas devido suas propriedades antifúngicas (MAK *et al.*, 2019). No estudo de Schorr (2019) foram avaliadas as atividades biológicas dos diferentes compostos presentes em óleos essenciais contra fungos *Colletotrichum spp*, visando encontrar alternativas naturais para combater a doença Mancha Foliar de *Glomerella* (MFG) que afeta frutas como a maçã. O eugenol se destacou no combate da MFG causado pelo fungo *Colletotrichum nymphaeae* (SCHORR, 2019).

O estudo de Vieira *et al.* (2018) também buscou elucidar o efeito do eugenol no controle de fungos em maçãs. O estudo demonstrou a eficácia do eugenol na redução do crescimento, número e viabilidade dos esporos de *Penicillium expansum*, 24 horas após estimular sua

germinação, além da redução do diâmetro de lesões causadas pela doença do mofo-azul (VIEIRA *et al.*, 2018).

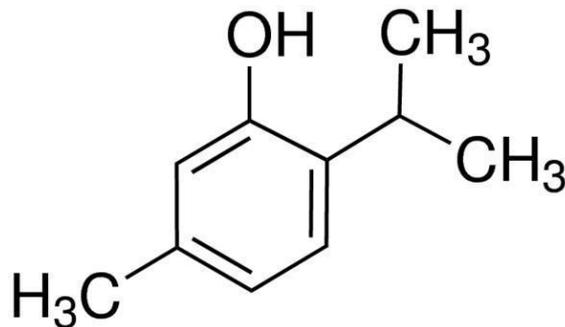
Em grãos, o eugenol além de diminuir o crescimento e produção de contaminantes comuns em seu armazenamento, como a ocratoxina A. Além disso, o eugenol foi o responsável pela redução da *Salmonella* no solo, diminuindo o risco da contaminação de grãos orgânicos consumidos frescos (MAK *et al.*, 2019).

Yang *et al.* (2021) comprovaram a eficiência da combinação de compostos bioativos na preservação pós-colheita de frutas cítricas. A nanoemulsão de cinamaldeído, eugenol e carvacrol, causou inibição na germinação de esporos de *Penicillium digitatum*. Além da inibição desse patógeno, a nanoemulsão promoveu redução das taxas de decomposição, de perda de peso e respiratória. Também foi capaz de retardar a degradação dos sólidos solúveis, vitamina C e ácidos tituláveis, além de aumentar e manter a atividade das enzimas antioxidantes mesmo durante o armazenamento pós-colheita (YANG *et al.*, 2019). Portanto, a aplicação de eugenol aumenta a vida de prateleira de frutas cítricas frescas e melhora suas propriedades antioxidantes.

4.6 Timol

O timol (2-isopropil-5-metilfenol) é um monoterpene aromático fenólico com massa molecular de 150,22 g/mol (C₁₀H₁₄O, FIGURA 6).

Figura 6 - Estrutura do timol.



Fonte: Da autora (2022).

O timol é uma substância bioativa reconhecida naturalmente encontrada em espécies da família *Lamiaceae* e *Verbenaceae*, apresenta atividade inibitória contra diversos microrganismos (fungos, leveduras, bactérias Gram positivas e Gram negativas) e também pode ser transportado por polímeros (MARKOVIC *et al.*, 2015; MILOVANOVIC *et al.*, 2015;

PILATI *et al.*, 2013; SHAHIDI *et al.*, 2014). O timol é um aditivo alimentar de baixa toxicidade aprovado pela FDA que apresenta diversas propriedades funcionais como antioxidante, antimicrobiana, antibacteriana, antiespasmódico e expectorante (AGARWAL; TRIPATHI; MISHRA, 2020; AMIRI, 2012; HÖFERL *et al.*, 2009; NICKAVAR; MOJAB; DOLATABADI, 2005; SHARIFI-RAD *et al.*, 2017).

O potencial antifúngico do timol foi testado contra os microrganismos deterioradores da romã no estudo de Ranjbar *et al.* (2022). Neste estudo foram utilizados os fungos *Aspergillus Nigger* e *Penicillium Commune*, isolados de frutos contaminados. Após realização do experimento foi possível observar o poder inibitório do timol após incubação a 28°C por 72 horas. A concentração inibitória mínima do timol contra *A. niger* e *P. commune* foi de 250 µg mL⁻¹ e a concentração fungicida mínima foi de 500 µg mL⁻¹. Foi observado degradação celular de *A. niger* quando tratada com 250 µg mL⁻¹ de bioativo. Houve destruição da membrana celular além da inibição da produção de esporos e também produção de hifas com irregularidades. O *P. commune* exposto a mesma concentração de timol, sofreu inibição completa da produção de esporos, além de causar bifurcação do ápice da hifa e também rugas e pontas salientes nas hifas fúngicas. Os resultados deste estudo demonstraram a viabilidade do uso do timol no controle biológico, sendo o timol uma alternativa aos antifúngicos sintéticos (RANJBAR *et al.*, 2022).

O estudo de Liu *et al.* (2022) demonstrou o mecanismo inibitório do timol contra *Fusarium oxysporum*, fungo causador de uma das principais doenças da batata durante seu armazenamento. A atividade inibitória contra o patógeno causador da podridão seca da batata foi testada *in vitro* e *in vivo*. Tanto a viabilidade quanto a patogenicidade dos esporos de *F. oxysporum* quando expostos ao timol foram inibidos. O timol também foi capaz de aumentar a sensibilidade do patógeno a estresses ambientais como a exposição a diferentes temperaturas e raios UV. Induzindo os pedaços de batatas do estudo a resistir ao *F. oxysporum*. Esse estudo demonstrou que o efeito do timol sobre *F. oxysporum*, teve efeito antifúngico semelhante aos seus similares sintéticos (LIU *et al.*, 2022).

5 CONCLUSÃO

Na indústria de alimentos, uma propriedade pouco explorada da curcumina é sua ação antifúngica, visto que apesar de diversos estudos apresentarem o potencial antifúngico desse composto ainda não houve aplicação com essa finalidade pela indústria.

Outros compostos também pouco explorados apresentaram, além da atividade antifúngica, propriedades muito interessantes e de extrema relevância para a indústria, como o eugenol, composto responsável pela diminuição da produção do metabólito mais tóxico à saúde humana (a ocratoxina A), além de melhorar a atividade antioxidante de frutas cítricas.

O timol também demonstrou extrema relevância, pois foi capaz de inibir um dos principais fungos toxigênicos, o *Aspergillus Nigger*, e demonstrou ação inibitória similar ao composto sintético utilizado na inibição do fungo *Fusarium oxysporum*. Assim como o ácido cinâmico, que demonstrou atividade inibitória contra uma enzima existente apenas em fungos, uma propriedade de extrema importância para a indústria, principalmente considerando que esse composto possui atividade inibitória mesmo quando em baixas concentrações.

A quercetina, além da propriedade antifúngica, demonstrou possuir diversas propriedades benéficas à saúde. Apesar de ser insolúvel em água, quando encapsulada a quercetina demonstrou aumento da sua solubilidade sem comprometer suas propriedades. Também demonstrou efeito sinérgico muito eficiente quando utilizada com outros compostos.

E também o ácido tânico que, além de possuir propriedade inibitória de amplo espectro, possui ótima atividade contra fungos deteriorantes de frutas cítricas. Demonstrou também ser uma ótima opção quando utilizado como revestimento na pós-colheita de frutas.

De modo geral, os compostos quercetina, ácido tânico, ácido cinâmico, curcumina, eugenol e timol mostraram-se eficientes contra fungos deteriorantes de alimentos, sendo promissores na busca de compostos naturais com potencial antifúngico. Além disso, os compostos deste estudo demonstraram possuir muitas propriedades relevantes não só para a conservação de alimentos e desenvolvimento de novas tecnologias pela indústria de alimentos e até mesmo agrícola, mas também para a saúde e preservação da natureza. Desse modo, a pesquisa por compostos naturais, a fim de combater o crescimento de microrganismos patogênicos deterioradores de alimentos, é de extrema relevância.

REFERÊNCIAS

- AGARWAL, S.; TRIPATHI, S.; MISHRA, N. Pharmacological potential of thymol. *In*: MISHRA, P.; MISHRA, R. R.; ADETUNJI, C. O. (orgs.). **Innovations in Food Technology**. Singapore: Springer Singapore, 2020. p. 489–500.
- AL-ASMARI, F.; MEREDDY, R.; SULTANBAWA, Y. The effect of photosensitization mediated by curcumin on storage life of fresh date (*Phoenix dactylifera* L.) fruit. **Food Control**, [Oxford], v. 93, p. 305–309, Nov. 2018. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0956713518302883>. Acesso em: 02 set. 2022.
- AMIRI, H. Essential oils composition and antioxidant properties of three thymus species. **Evidence-based Complementary and Alternative Medicine: eCAM**, [Oxford], v. 2012, Aug. 2012. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21876714/>. Acesso em: 04 set. 2022.
- ANGUS, A.; WESTBROOK, E. G. **10 Tendências Globais de Consumo 2019**. Euromonitor International, 2019. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4586762/mod_resource/content/1/Artigo%2001%20-%202010%20Tende%CC%82ncias%20Globais%20de%20Consumo%202019.pdf. Acesso em: 15 maio 2022.
- ARIAS, J. L. de O. **Determinação de conservantes em alimentos processados empregando QuEChERS, SILLME e HPLC-UV**: estudo de métodos e estimativa da ingestão diária. 2019. 166 p. Tese (Doutorado em Química) - Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2019.
- AUBERT, N.; AMELLER, T.; LEGRAND, J. J. Systemic exposure to parabens: pharmacokinetics, tissue distribution, excretion balance and plasma metabolites of [14C]-methyl-, propyl- and butylparaben in rats after oral, topical or subcutaneous administration. **Food and Chemical Toxicology**: an International Journal Published for the British Industrial Biological Research Association, [Oxford], v. 50, n. 3–4, p. 445–454, Mar. 2012. Disponível em: <https://europepmc.org/article/med/22265941>. Acesso em: 21 ago. 2022.
- BECHO, J. R. M.; MACHADO, H.; GUERRA, M. de O. Rutina – estrutura, metabolismo e potencial. **Revista Interdisciplinar de Estudos Experimentais**, [Juiz de Fora], v. 1, n. 1, p. 21–25, mar. 2009. Disponível em: <https://periodicos.ufjf.br/index.php/riee/article/view/23874>. Acesso em: 15 maio 2022.
- BEHLING, E. B. *et al.* Flavonóide quercetina: aspectos gerais e ações biológicas. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 15, n. 3, p. 285–292, 2004. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/49599688>. Acesso em: 26 ago. 2022.
- BHASKAR, S. *et al.* Quercetin alleviates hypercholesterolemic diet induced inflammation during progression and regression of atherosclerosis in rabbits. **Nutrition**, [Burbank], v. 29, n. 1, p. 219–229, May 2012. Disponível em: <https://europepmc.org/article/med/22595451>. Acesso em: 27 ago. 2022.

- BOTELHO, M. G. L. *et al.* Pesticides in agriculture: agents of environmental damage and the search for sustainable agriculture. **Research, Society and Development**, [Vargem Grande Paulista], v. 9, n. 8, p. e396985806–e396985806, July 2020. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/5806>. Acesso em: 07 set. 2022.
- CAÑAS, G. J. S.; BRAIBANTE, M. E. F. A química dos alimentos funcionais. **Química Nova na Escola**, [São Paulo], v. 41, n. 3, p. 216-223, ago. 2019. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc41_3/03-QS-87-18.pdf. Acesso em: 07 set. 2022.
- CAROCHO, M.; MORALES, P.; FERREIRA, I. C. F. R. **Natural food additives: Quo vadis? Trends in Food Science and Technology**, [London], v. 45, n. 2, p. 284-295, Oct. 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224415001508>. Acesso em: 15 maio 2022.
- CASTELAIN, F.; CASTELAIN, M. Parabens: a real hazard or a scare story? **European Journal of Dermatology**, [Montrouge], v. 22, n. 6, p. 723–727, Nov./Dec. 2012. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23131320/>. Acesso em: 03 set. 2022.
- CHAMORRO, F. *et al.* Valorization of kiwi agricultural waste and industry by-products by recovering bioactive compounds and applications as food additives: A circular economy model. **Food Chemistry**, [Oxford], v. 370, Feb. 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814621023219>. Acesso em: 03 set. 2022.
- CHARAN RAJA, M. R. Versatile and synergistic potential of eugenol: A review. **Pharmaceutica Analytica Acta**, [London], v. 6, n. 5, p. 1-6, Jan. 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/279251522_Versatile_and_Synergistic_Potential_of_Eugenol_A_Review. Acesso em: 03 set. 2022.
- CHEN, Y. *et al.* Antimicrobial, UV blocking, water-resistant and degradable coatings and packaging films based on wheat gluten and lignocellulose for food preservation. **Composites Part B: Engineering**, [Oxford], v. 238, p. 109868, June 2022. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1359836822002487>. Acesso em: 15 maio 2022.
- CHENG, X. *et al.* Inhibitory mechanisms of cinnamic acid on the growth of *Geotrichum citri-aurantii*. **Food Control**, [Oxford], v. 131, p. 108459, Jan. 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956713521005971>. Acesso em: 27 ago. 2022.
- DA COSTA SILVA, J. R. *et al.* **Aditivos alimentares, conceitos, aplicações e toxicidade**. 1. ed. Monte Carmelo: Editora FUCAMP, 2013.
- DAVIES, C. R. *et al.* Evolving challenges and strategies for fungal control in the food supply chain. **Fungal Biology Reviews**, [United States], v. 36, p. 15–26, June 2021. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1749461321000038>. Acesso em: 01 set. 2022.

DE OLIVEIRA, D. M.; BASTOS, D. H. M. Biodisponibilidade de ácidos fenólicos. **Química Nova**, [São Paulo], v. 34, n. 6, p. 1051–1056, mar. 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/YXMrPRJQT6kYdkv7NQThdDb/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 22 ago. 2022.

DE OLIVEIRA, R. A. *et al.* Constituintes químicos voláteis de especiarias ricas em eugenol. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, [Curitiba], v. 19, n. 3, p. 771–775, set. 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/j/rbfar/a/zg96LXsr5P945LDcP6gXqBJ/?lang=pt>. Acesso em: 03 set. 2022.

DESETA, M. L. *et al.* Nanocomplexes based on egg white protein nanoparticles and bioactive compounds as antifungal edible coatings to extend bread shelf life. **Food Research International**, [Amsterdam], v. 148, Oct. 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996921004968>. Acesso em: 15 maio 2022.

DUTRA, L. S. *et al.* Uso de agrotóxicos e mortalidade por câncer em regiões de monoculturas. **Saúde em Debate**, [Rio de Janeiro], v. 44, n. 127, p. 1018–1035, out./dez. 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sdeb/a/FfpPSnKCkxrdqPd8ptnfWsJ/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 07 set. 2022.

EKAMBARAM, S. P.; PERUMAL, S. S.; BALAKRISHNAN, A. Scope of hydrolysable tannins as possible antimicrobial agent. **Phytotherapy Research**, [Chichester], v. 30, n. 7, p. 1035–1045, July 2016. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27062587/>. Acesso em: 30 ago. 2022.

EMBRAPA. **Visão 2030 - o futuro da agricultura brasileira**. Embrapa, 2018. Disponível em: <http://www.embrapa.br/futuro>. Acesso em: 07 set. 2022.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS/WORLD HEALTH ORGANIZATION. **General principles governing the use of food additives**. FAO/WHO, 1957. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/40387?locale=ar&null>. Acesso em: 25 jun. 2022.

GALO, G. T. *et al.* Estudo da extração da quercetina a partir da cebola roxa (*Allium cepa* L.) e seu uso como conservante alimentar natural. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, [Viçosa], v. 4, n. 1, p. 0153–0162, mar. 2018. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/jcec/article/view/2501>. Acesso em: 26 ago. 2022.

GHOLAMPOUR, F.; SADIDI, Z. Hepatorenal protection during renal ischemia by quercetin and remote ischemic preconditioning. **Journal of Surgical Research**, [San Diego], v. 231, p. 224–233, Nov. 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/328076713_Hepatorenal_protection_during_renal_ischemia_by_quercetin_and_remote_ischemic_preconditioning. Acesso em: 27 ago. 2022.

GOKOGLU, N. Novel natural food preservatives and applications in seafood preservation: a review. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, [Chichester], v. 99, n. 5, p. 2068–2077, Mar. 2019. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/jsfa.9416>. Acesso em: 26 ago. 2022.

GRZELAK-BŁASZCZYK, K. *et al.* Onion quercetin monoglycosides alter microbial activity and increase antioxidant capacity. **Journal of Nutritional Biochemistry**, [New York], v. 56, p. 81–88, Feb. 2018. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/323083581_Onion_quercetin_monoglycosides_alter_microbial_activity_and_increase_antioxidant_capacity. Acesso em: 27 ago. 2022.

GUZMAN, J. D. Natural cinnamic acids, synthetic derivatives and hybrids with antimicrobial activity. **Molecules**, [Basel], v. 19, n. 12, p. 19292–19349, Nov. 2014. Disponível em:

<https://www.mdpi.com/1420-3049/19/12/19292/htm>. Acesso em: 29 ago. 2022.

HAQUE, M. N. *et al.* Propionic acid is an alternative to antibiotics in poultry diet.

Bangladesh Journal of Animal Science, [Bangladesh], v. 38, n. 1–2, p. 115–122, Aug. 1970. Disponível em: <https://www.banglajol.info/index.php/BJAS/article/view/9920>. Acesso em: 21 ago. 2022.

HASS, U. *et al.* Combined exposure to low doses of pesticides causes decreased birth weights in rats. **Reproductive Toxicology**, [Oxford], v. 72, p. 97–105, Sept. 2017. Disponível em:

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28526456/>. Acesso em: 07 set. 2022.

HE, X. *et al.* Actinidia chinensis Planch: A review of chemistry and pharmacology. **Frontiers in Pharmacology**, [Lausanne], v. 10, p. 1236, Oct. 2019. Disponível em:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6833939/>. Acesso em: 25 ago. 2022.

HERTOG, M. G. L. *et al.* Content of potentially anticarcinogenic flavonoids of 28 vegetables and 9 fruits commonly consumed in the Netherlands. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [Washington], v. 40, n. 12, p. 2379–2383, Dec. 1992. Disponível em:

<https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jf00024a011>. Acesso em: 27 ago. 2022.

HEWLINGS, S. J.; KALMAN, D. S. Curcumin: A review of its' effects on human health. **Foods**, [Basel], v. 6, n. 10, Oct. 2017. Disponível em:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5664031/>. Acesso em: 02 set. 2022.

HÖFERL, M. *et al.* Correlation of antimicrobial activities of various essential oils and their main aromatic volatile constituents. **Journal of Essential Oil Research**, [Carol Stream], v. 21, n. 5, p. 459–463, Dec. 2009. Disponível em:

<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10412905.2009.9700218>. Acesso em: 04 set. 2022.

HONORATO, T. C. *et al.* Aditivos alimentares: aplicações e toxicologia. **Revista Verde**, Mossoró, v. 8, n. 5, p. 1–11, dez. 2013. Disponível em:

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7404578>. Acesso em: 29 maio 2022.

HUA, C. *et al.* Curcumin induces oxidative stress in botrytis cinerea, resulting in a reduction in gray mold decay in kiwifruit. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [Washington], v. 67, n. 28, p. 7968–7976, May 2019. Disponível em:

<https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acs.jafc.9b00539>. Acesso em: 02 set. 2022.

KAI, K. *et al.* Curcumin inhibits *Diaporthe phaseolorum* and reduces postharvest decay in kiwifruit. **Scientia Horticulturae**, [Amsterdam], v. 259, p. 108860, Jan. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304423819307460>. Acesso em: 02 set. 2022.

KAMANKESH, M. *et al.* Dispersive liquid–liquid microextraction followed by high-performance liquid chromatography for determination of benzoate and sorbate in yogurt drinks and method optimization by central composite design. **Talanta**, [Amsterdam], v. 109, p. 46–51, May 2013. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23618139/>. Acesso em: 21 ago. 2022.

KARUMATHIL, D. P.; SURENDRAN-NAIR, M.; VENKITANARAYANAN, K. Efficacy of trans-cinnamaldehyde and eugenol in reducing acinetobacter baumannii adhesion to and invasion of human keratinocytes and controlling wound infection in vitro. **Phytotherapy Research**, [Chichester], v. 30, n. 12, p. 2053–2059, Dec. 2016. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27619325/>. Acesso em: 03 set. 2022.

KAWABATA, K. *et al.* Effects of phytochemicals on in vitro anti-inflammatory activity of *Bifidobacterium adolescentis*. **Bioscience, Biotechnology and Biochemistry**, [Tokyo], v. 79, n. 5, p. 799–807, Feb. 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/272836039_Effects_of_phytochemicals_on_in_vitro_anti-inflammatory_activity_of_Bifidobacterium_adolescentis. Acesso em: 27 ago. 2022.

KAWABATA, K.; MUKAI, R.; ISHISAKA, A. Quercetin and related polyphenols: new insights and implications for their bioactivity and bioavailability. **Food & Function**, [Cambridge], v. 6, n. 5, p. 1399–1417, May 2015. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25761771/>. Acesso em: 27 ago. 2022.

KETZER, F. *et al.* Uso do extrato de *Tabernaemontana catharinensis* como fungicida alternativo para agricultura natural. **Brazilian Journal of Development**, [Curitiba], v. 6, n. 7, p. 45050–45059, jan. 2020. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/12935/10861>. Acesso em: 08 set. 2022.

KOROŠEC, B. *et al.* Antifungal activity of cinnamic acid derivatives involves inhibition of benzoate 4-hydroxylase (CYP53). **Journal of Applied Microbiology**, [Malden], v. 116, n. 4, p. 955–966, Apr. 2014. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/jam.12417>. Acesso em: 03 set. 2022.

KOTHA, R. R.; LUTHRIA, D. L. Curcumin: biological, pharmaceutical, nutraceutical, and analytical aspects. **Molecules**, [Basel], v. 24, n. 16, Aug. 2019. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31412624/>. Acesso em: 02 set. 2022.

KRAEMER, M. V. dos S. *et al.* Aditivos alimentares na infância: uma revisão sobre consumo e consequências à saúde. **Revista de Saúde Pública**, [São Paulo], v. 56, p. 32, abr. 2022. Disponível em: <https://rsp.fsp.usp.br/artigo/aditivos-alimentares-na-infancia-uma-revisao-sobre-consumo-e-consequencias-a-saude/>. Acesso em: 07 set. 2022.

KUMAR, A. *et al.* Curcumin targets cell wall integrity via calcineurin-mediated signaling in candida albicans. **Antimicrobial Agents and Chemotherapy**, [Washington], v. 58, n. 1, p. 167–175, Oct. 2014. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24145527/>. Acesso em: 02 set. 2022.

LEE, S. Y.; JIN, H. H. Inhibitory activity of natural antimicrobial compounds alone or in combination with nisin against *Enterobacter sakazakii*. **Letters in Applied Microbiology**, [Malden], v. 47, n. 4, p. 315–321, Oct. 2008. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19241526/>. Acesso em: 03 set. 2022.

LENNERZ, B. S. *et al.* Effects of sodium benzoate, a widely used food preservative, on glucose homeostasis and metabolic profiles in humans. **Molecular Genetics and Metabolism**, [San Diego], v. 114, n. 1, p. 73–79, Jan. 2015. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25497115/>. Acesso em: 18 ago. 2022.

LI, J. *et al.* Enhancement of biocontrol efficacy of *Cryptococcus laurentii* by cinnamic acid against *Penicillium italicum* in citrus fruit. **Postharvest Biology and Technology**, [Amsterdam], v. 149, p. 42–49, Mar. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925521418308238>. Acesso em: 04 set. 2022.

LI, Y. *et al.* Detection of tannic acid exploiting carbon dots enhanced hydrogen peroxide/potassium ferricyanide chemiluminescence. **Microchemical Journal**, [Amsterdam], v. 157, p. 105113, Sept. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0026265X20312844>. Acesso em: 28 ago. 2022.

LIU, K.; WANG, X.; YOUNG, M. Effect of bentonite/potassium sorbate coatings on the quality of mangos in storage at ambient temperature. **Journal of Food Engineering**, [Oxford], v. 137, p. 16–22, Sept. 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S026087741400137X>. Acesso em: 21 ago. 2022.

LIU, Y. *et al.* Antifungal activity and mechanism of thymol against *Fusarium oxysporum*, a pathogen of potato dry rot, and its potential application. **Postharvest Biology and Technology**, [Amsterdam], v. 192, p. 112025, Oct. 2022. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0925521422001934>. Acesso em: 04 set. 2022.

LIU, Y. *et al.* Green extraction of polyphenols from citrus peel by-products and their antifungal activity against *Aspergillus flavus*. **Food Chemistry**, [Oxford], v. 12, Dec. 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590157521000328>. Acesso em: 15 maio 2022.

MA, J. *et al.* Novel edible coating based on shellac and tannic acid for prolonging postharvest shelf life and improving overall quality of mango. **Food Chemistry**, [Oxford], v. 354, p. 129510, Aug. 2021. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33752113/>. Acesso em: 31 ago. 2022.

MAK, K.-K. *et al.* A comprehensive review on eugenol's antimicrobial properties and industry applications: A transformation from ethnomedicine to industry. **Pharmacognosy Reviews**, [Bangalore], v. 13, n. 25, p. 1-9, Jan. 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/332225537_A_comprehensive_review_on_eugenol's_antimicrobial_properties_and_industry_applications_A_transformation_from_ethnomedicin_e_to_industry. Acesso em: 03 set. 2022.

MAMUR, S. *et al.* Genotoxicity of food preservative sodium sorbate in human lymphocytes in vitro. **Cytotechnology**, [Dordrecht], v. 64, n. 5, p. 553–562, Feb. 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/221869812_Genotoxicity_of_food_preservative_sodium_sorbate_in_lymphocytes_in_vitro. Acesso em: 26 ago. 2022.

MARKOVIC, D. *et al.* Impregnation of corona modified polypropylene non-woven material with thymol in supercritical carbon dioxide for antimicrobial application. **Journal of Supercritical Fluids**, [Amsterdam], v. 101, p. 215–221, June 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0896844615001357>. Acesso em: 04 set. 2022.

MILOVANOVIC, S. *et al.* Effect of starch xero-and aerogels preparation on the supercritical CO₂ impregnation of thymol. **Starch/Staerke**, [Weinheim], v. 67, n. 1–2, p. 174–182, Jan. 2015. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/star.201400134>. Acesso em: 04 set. 2022.

MIRSAFAEI, L. *et al.* Molecular and biological functions of quercetin as a natural solution for cardiovascular disease prevention and treatment. **Plant Foods for Human Nutrition**, [Dordrecht], v. 75, n. 3, p. 307–315, Sept. 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11130-020-00832-0>. Acesso em: 23 ago. 2022.

NICKAVAR, B.; MOJAB, F.; DOLAT-ABADI, R. Analysis of the essential oils of two *Thymus* species from Iran. **Food Chemistry**, [Oxford], v. 90, n. 4, p. 609–611, May 2005. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814604003711>. Acesso em: 04 set. 2022.

OGOSHI, C. *et al.* Podridões pós-colheita em maçã: perdas econômicas e alternativas de manejo. **Brazilian Journal of Development**, [Curitiba], v. 5, n. 9, p. 17093–17101, jan. 2019. Disponível em: <http://www.brjd.com.br/index.php/BRJD/article/view/3505/3326>. Acesso em: 07 set. 2022.

OLIVEIRA, J. *et al.* Usos, efeitos e potencial tóxico dos agrotóxicos na qualidade do solo. **Agrarian Academy**, [Goiânia], v. 5, n. 9, p. 454-467, jul. 2018a. Disponível em: <http://www.conhecer.org.br/Agrarian%20Academy/2018a/usuarios%20efeitos.pdf>. Acesso em: 07 set. 2022.

OLIVEIRA, K. G. de *et al.* Desenvolvimento de um fungicida natural à partir de piperina. **Brazilian Journal of Development**, [Curitiba], v. 6, n. 7, p. 46433–46447, jan. 2020. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/13140/11049>. Acesso em: 08 set. 2022.

OLIVEIRA, R. da S. *et al.* Natural bioactive compounds: promoting agents in the reduction of oxidative stress and inflammatory processes **South American Journal of Basic Education, Technical and Technological**, Rondônia, v. 5, n. 2, p. 258-273, June 2018. Disponível em: <https://periodicos.ufac.br/index.php/SAJEETT/article/view/1643>. Acesso em: 08 set. 2022b.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Human rights council. *In: A Concise Encyclopedia of the United Nations*. ONU, 2017. p. 329–336. Disponível em: www.fao.org/faostat/en/#home. Acesso em: 07 set. 2022.

ORLOWSKI, P. *et al.* Toxicity of tannic acid-modified silver nanoparticles in keratinocytes: potential for immunomodulatory applications. **Toxicology in Vitro**, [Kidlington], v. 35, p. 43–54, Sept. 2016. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27216470/>. Acesso em: 28 ago. 2022.

PIERI, F. A.; MUSSI, M. C.; MOREIRA, M. A. S. Copaiba oil (*Copaifera* sp.): History, extraction, industrial applications and medicinal properties. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v. 11, n. 4, p. 465-472, Apr. 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/j/rbpm/a/54wyKL9fqFpDcfSpshDVv5G/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 07 set. 2022.

PILATI, F. *et al.* Designing of antibacterial plastics: Thymol release from photocured thymol-doped acrylic resins. **Journal of Materials Science**, [New York], v. 48, n. 12, p. 4378–4386, Mar. 2013. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10853-013-7253-5>. Acesso em: 04 set. 2022.

PIOVESAN, J. V.; SANTANA, E. R.; SPINELLI, A. A carbon paste electrode improved with poly (ethylene glycol) for tannic acid surveillance in beer samples. **Food Chemistry**, [Oxford], v. 326, p. 127055, Oct. 2020. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32438225/>. Acesso em: 28 ago.2022.

POK, P. S. *et al.* Evaluation of citrus flavonoids against *Aspergillus parasiticus* in maize: Aflatoxins reduction and ultrastructure alterations. **Food Chemistry**, [Oxford], v. 318, p. 126414, July 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814620302740>. Acesso em: 27 ago. 2022.

PRAKASH, B. *et al.* Efficacy of chemically characterized Piper betle L. essential oil against fungal and aflatoxin contamination of some edible commodities and its antioxidant activity. **International Journal of Food Microbiology**, [Amsterdam], v. 142, n. 1–2, p. 114–119, Aug. 2010. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20621374/>. Acesso em: 29 maio 2022.

PRAKASH, B. *et al.* Nanoencapsulation: An efficient technology to boost the antimicrobial potential of plant essential oils in food system. **Food Control**, [Oxford], v. 89, p. 1–11, July 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956713518300240>. Acesso em: 22 ago. 2022.

PRIYA, A. K. S. *et al.* Bifunctional gelatin/dextrin hybrid backbone based fluorescent chemo-sensor for the detection of tannic acid and removal of eosin yellow dye. **Materials Chemistry and Physics**, [Lausanne], v. 254, p. 123304, Nov. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S025405842030674X>. Acesso em: 28 ago. 2022.

RANJBAR, A. *et al.* Antifungal activity of thymol against the main fungi causing pomegranate fruit rot by suppressing the activity of cell wall degrading enzymes. **LWT-Food Science and Technology**, [Amsterdam], v. 161, p. 113303, May 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643822002389>. Acesso em: 04 set. 2022.

RAPOSA, B. *et al.* Food additives: Sodium benzoate, potassium sorbate, azorubine, and tartrazine modify the expression of NF κ B, GADD45 α , and MAPK8 genes. **Physiology International**, [Budapest], v. 103, n. 3, p. 334-343, Sept. 2016. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28229641/>. Acesso em: 18 ago. 2022.

RASTOGI, N. *et al.* Screening of natural phenolic compounds for potential to inhibit bacterial cell division protein FtsZ. **Indian Journal of Experimental Biology**, [New Delhi], v. 46, n. 11, p. 783–787, Nov. 2008. Disponível em: <https://europemc.org/article/med/19090350>. Acesso em: 03 set. 2022.

RITZ, E. *et al.* Phosphate additives in food—a health risk. **Deutsches Ärzteblatt International**, [Cologne], v. 109, n. 4, p. 49, Jan. 2012. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3278747/>. Acesso em: 26 ago. 2022.

ROCHA, J. S.; DE SOUZA, R. V. Síntese, caracterização e estudo das propriedades antioxidantes de complexos contendo quercetina e íons cobre. **Revista Brasileira de Iniciação Científica**, Itapetininga, v. 6, n. 3, p. 143–156, jul./set. 2019. Disponível em: <https://periodicos.itp.ifsp.edu.br/index.php/IC/article/view/1157>. Acesso em: 26 ago. 2022.

SAATH, K. C. de O.; FACHINELLO, A. L. Crescimento da demanda mundial de alimentos e restrições do fator terra no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, [Brasília], v. 56, n. 2, p. 195–212, abr/jun. 2018. Disponível em: <http://www.scielo.br/j/resr/a/DdPXZbMzxby89xBDg3XCTgr/?lang=pt>. Acesso em: 07 set. 2022.

SAGAR, N. A.; PAREEK, S. Fortification of multigrain flour with onion skin powder as a natural preservative: Effect on quality and shelf life of the bread. **Food Bioscience**, [Amsterdam], v. 41, p. 100992, June 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212429221001176>. Acesso em: 07 set. 2022.

SANTANA, M. S. de *et al.* Propriedades funcionais do eugenol e sua aplicação em alimentos. *In: Avanços em Ciência e Tecnologia de Alimentos*. 2021. 4 v. p. 59–73. Disponível em: <https://downloads.editoracientifica.org/articles/210303527.pdf>. Acesso em: 07 set. 2022.

SANTOS, A. L. *et al.* Characterization of the raw essential oil eugenol extracted from *Syzygium aromaticum* L. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, [Dordrecht], v. 96, n. 3, p. 821–825, June 2009. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10973-009-0030-7>. Acesso em: 03 set. 2022.

SATHIYABAMA, M.; INDHUMATHI, M.; AMUTHA, T. Preparation and characterization of curcumin functionalized copper nanoparticles and their application enhances disease resistance in chickpea against wilt pathogen. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, [Netherlands], v. 29, p. 101823, Oct. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1878818120311920>. Acesso em: 02 set. 2022.

SCHORR, R. R. **Estudos visando o desenvolvimento de novo fungicida como alternativa de controle de fitopatógenos da maçã baseada em substâncias de baixa toxicidade**. 2019. 93 p. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

SHAHIDI, S. *et al.* Effect of thymol on the antibacterial efficiency of plasma-treated cotton fabric. **Cellulose**, [Dordrecht], v. 21, n. 3, p. 1933–1943, Apr. 2014. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10570-014-0250-2>. Acesso em: 04 set. 2022.

SHARIFI-RAD, J. *et al.* Plants of the melaleuca genus as antimicrobial agents: from farm to pharmacy. **Phytotherapy Research**, [Chichester], v. 31, n. 10, p. 1475–1494, Oct. 2017. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28782167/>. Acesso em: 04 set. 2022.

SINAGA, M. *et al.* Preliminary phytochemical analysis and in vitro antibacterial activity of bark and seeds of Ethiopian Neem (*Azadirachta indica* A. Juss). **World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences**, [S.l.], v. 5, n. 4, p. 1714–1723, Mar. 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/329208876_Preliminary_Phytochemical_Analysis_And_In_Vitro_Antibacterial_Activity_Of_Bark_And_Seeds_Of_Ethiopian_Neem_Azadirachta_Indica_A_Juss. Acesso em: 25 ago. 2022.

SOUZA, L. **Consumo de alimentos ultraprocessados cresce na pandemia**. São Paulo, 17 nov. 2020. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/saude/noticia/2020-11/consumo-de-alimentos-ultraprocessados-cresce-na-pandemia>. Acesso em: 07 set. 2022.

SUETH-SANTIAGO, V. *et al.* Curcumina, o pó dourado do açafreão-da-terra: introspecções sobre química e atividades biológicas. **Química Nova**, [São Paulo], v. 38, n. 4, p. 538–552, maio 2015. Disponível em: <https://doaj.org/article/076ce0e10a0c4d5ea2f324f98e5ebd62>. Acesso em: 02 set. 2022.

TANG, S.-M. *et al.* Pharmacological basis and new insights of quercetin action in respect to its anti-cancer effects. **Biomedicine and Pharmacotherapy**, [Paris], v. 121, Jan. 2020. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31733570/>. Acesso em: 23 ago. 2022.

VALENCIA, M. S. **Obtenção e caracterização de nanopartículas contendo polifenóis com potencial aplicação na indústria de alimentos**. 2020. 118 p. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2020.

VASCONCELOS, M. A. da S.; MELO FILHO, A. B. de. **Conservação de alimentos**. Recife: EDUFPRPE, 2010. 130 p. Disponível em: http://redeetec.mec.gov.br/images/stories/pdf/eixo_prod_alim/tec_alim/181012_con_alim.pdf. Acesso em: 15 maio 2022.

VIEIRA, A. M. F. D. *et al.* Essential oils for the postharvest control of blue mold and quality of “Fuji” apples. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [Brasília], v. 53, n. 5, p. 547–556, May 2018. Disponível em: <http://www.scielo.br/j/pab/a/dBHbj6Zz7FmccCLfGRX6bYy/?lang=en>. Acesso em: 03 set. 2022.

WANKENNE, M. A. Compostos bioativos em alimentos. **Aditivos ingredientes**, 2019. p. 76. Disponível em: <https://aditivosingredientes.com.br/revistas/marco2019/mobile/index.html#p=4>. Acesso em: 07 set. 2022.

WEBBER, J. **Processamento de coloidal de α -Al₂O₃ e a seletividade superficial na adsorção específica de taninos**. 2018. 166 p. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais) - Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2018.

YAN, P. *et al.* BiPO₄ nanocrystal/BiOCl nanosheet heterojunction as the basis for a photoelectrochemical 4-chlorophenol sensor. **Sensors and Actuators B: Chemical**, [Lausanne], v. 279, p. 466–475, Jan. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S092540051831788X>. Acesso em: 28 ago. 2022.

YANG, P. *et al.* Microwave-assisted synthesis of polyamine-functionalized carbon dots from xylan and their use for the detection of tannic acid. **Spectrochimica Acta Part A, Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, [Kidlington], v. 213, p. 301–308, Apr. 2019. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30708287/>. Acesso em: 28 ago. 2022.

YANG, R. *et al.* Antifungal effect of cinnamaldehyde, eugenol and carvacrol nanoemulsion against *Penicillium digitatum* and application in postharvest preservation of citrus fruit. **LWT-Food Science and Technology**, [Amsterdam], v. 141, p. 110924, Apr. 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643821000773>. Acesso em: 03 set. 2022.

ZHU, C. *et al.* Antifungal activity and mechanism of action of tannic acid against *Penicillium digitatum*. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, [London], v. 107, p. 46–50, Aug. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0885576519300190>. Acesso em: 30 ago. 2022.