

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA  
*CAMPUS LAGOA DO SINO*

José Eduardo Coelho Rodrigues

LÚPULO EM NOVA PERSPECTIVA: DA BEBIDA MILENAR AO CONSERVANTE  
NATURAL DE ALIMENTOS

Buri  
2025

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA  
*CAMPUS LAGOA DO SINO*

José Eduardo Coelho Rodrigues

LÚPULO EM NOVA PERSPECTIVA: DA BEBIDA MILENAR AO CONSERVANTE  
NATURAL DE ALIMENTOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Alimentos na Universidade Federal de São Carlos.

Orientação: Prof. Dr<sup>a</sup>. Thaís Jordânia Silva

Buri  
2025

Rodrigues, José Eduardo Coelho

Lúpulo em nova perspectiva: da bebida milenar ao conservante natural de alimentos / José Eduardo Coelho Rodrigues -- 2025.

41f.

TCC (Graduação) - Universidade Federal de São Carlos, campus Lagoa do Sino, Buri

Orientador (a): Thaís Jordânia Silva

Banca Examinadora: Thaís Jordânia Silva, Juliane

Viganó, Larissa Consoli

Bibliografia

1. Lúpulo. 2. Compostos antimicrobianos. 3. Conservante natural. I. Rodrigues, José Eduardo Coelho. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Lissandra Pinhatelli de Britto - CRB/8 7539


# FOLHA DE APROVAÇÃO

JOSÉ EDUARDO COELHO RODRIGUES

## LÚPULO EM NOVA PERSPECTIVA: DA BEBIDA MILENAR AO CONSERVANTE NATURAL DE ALIMENTOS

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado para a obtenção do grau de  
Bacharel em Engenharia de Alimentos na  
Universidade Federal de São Carlos.


Aprovado em 09/12/2025

Documento assinado digitalmente  
 **THAIS JORDANIA SILVA**  
Data: 12/12/2025 09:05:13-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Thaís Jordânia Silva


Universidade Federal de São Carlos – Campus Lagoa do Sino

Documento assinado digitalmente  
 **JULIANE VIGANO**  
Data: 11/12/2025 11:15:58-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Juliane Viganó

Universidade Estadual de São Paulo – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos

Documento assinado digitalmente  
 **LARISSA CONSOLI**  
Data: 11/12/2025 15:01:02-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Larissa Consoli

Universidade Federal de São Carlos – Campus Lagoa do Sino

## **AGRADECIMENTO**

Agradeço à minha mãe Marli, ao meu pai Antônio e à minha irmã Ana, que são meus exemplos e sempre me ofereceram apoio, incentivo e confiança, além de toda a paciência, ajuda e atenção, ensinando-me a acreditar e a me dedicar.

Aos colegas e amigos que fizeram parte da minha graduação, em especial ao Eduardo Souza e ao Guilherme Rodrigues, pela amizade, apoio e incentivo, pelos momentos compartilhados e por contribuírem para tornar essa jornada mais leve e repleta de aprendizado.

E aos meus professores, em especial às professoras Thaís Jordânia Silva e Juliane Viganó, pela orientação, pelo compartilhamento de conhecimento e pelas oportunidades que foram essenciais para o meu desenvolvimento acadêmico e pessoal.

## RESUMO

RODRIGUES, José Eduardo Coelho. **Lúpulo em nova perspectiva: da bebida milenar ao conservante natural de alimentos**. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de São Carlos, Campus Lagoa do Sino, Buri, 2025.

A crescente valorização por alimentos naturais e seguros, aliada ao esforço global para reduzir perdas e desperdício, tem estimulado a busca por alternativas aos conservantes sintéticos. Nesse contexto, o lúpulo (*Humulus lupulus*), conhecido por seu uso na produção de cervejas, tem despertado interesse como fonte de compostos bioativos com reconhecido potencial antimicrobiano e antioxidante. Esta revisão, com ênfase em publicações entre 2019 e 2025, investigou o uso do lúpulo na conservação de alimentos. Entre os principais compostos identificados destacam-se os ácidos  $\alpha$  e  $\beta$ , os polifenóis e os óleos essenciais, cuja ação antimicrobiana envolve processos como desestruturação da membrana celular, acidificação do citosol, desequilíbrio iônico e extravasamento de componentes intracelulares. Esses compostos apresentaram maior efeito contra bactérias Gram positivas, como *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Enterococcus faecalis* e *Leuconostoc gelidum*, e contra leveduras como *Candida albicans*. Já microrganismos Gram negativos, como *Escherichia coli* e espécies da família Enterobacteriaceae, mostraram-se mais resistentes. A eficiência antimicrobiana do lúpulo depende de fatores como pH, composição da matriz alimentar, teor de lipídios e método de extração, sendo favorecida em meios ácidos e reduzida em alimentos gordurosos. Os estudos apontam resultados relevantes em matrizes como queijos, carnes, sucos e produtos fermentados, onde o lúpulo contribuiu para reduzir a carga microbiana e retardar a oxidação, mantendo o perfil sensorial e apresentando ação combinada antioxidante e antimicrobiana. Sua incorporação em alimentos se alinha ao conceito *clean label*, permitindo substituir conservantes artificiais por ingredientes naturais com reconhecimento do consumidor. Apesar dos avanços, persistem há desafios relacionados à seletividade frente a microrganismos, à variabilidade química dos extratos e à falta de padronização nos métodos de aplicação. Assim, o lúpulo representa uma alternativa natural, eficiente e sustentável aos conservantes sintéticos, com potencial para prolongar a vida útil dos alimentos e favorecer o desenvolvimento de produtos mais seguros e alinhados às expectativas do consumidor moderno.

Palavras-chave: compostos antimicrobianos; antioxidante;  $\alpha$ -ácidos;  $\beta$ -ácidos.

## ABSTRACT

RODRIGUES, José Eduardo Coelho. **Hops in a new perspective: from the ancient beverage to a natural food preservative.** 2025. Undergraduate Thesis – Federal University of São Carlos, Lagoa do Sino Campus, Buri, 2025.

The growing appreciation for natural and safe foods, together with the global effort to reduce losses and waste, has encouraged the search for alternatives to synthetic preservatives. In this context, hops (*Humulus lupulus*), known for their use in beer production, have attracted interest as a source of bioactive compounds with recognized antimicrobial and antioxidant potential. This review, with an emphasis on publications from 2019 to 2025, investigated the use of hops in food preservation. Among the main identified compounds are  $\alpha$ - and  $\beta$ -acids, polyphenols, and essential oils, whose antimicrobial action involves processes such as cell membrane disruption, cytosol acidification, ionic imbalance, and leakage of intracellular components. These compounds showed greater effects against Gram-positive bacteria, such as *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Enterococcus faecalis*, and *Leuconostoc gelidum*, as well as yeasts like *Candida albicans*. In contrast, Gram-negative microorganisms such as *Escherichia coli* and species from the Enterobacteriaceae family proved more resistant. The antimicrobial efficiency of hops depends on factors such as pH, food matrix composition, lipid content, and extraction method, being enhanced in acidic environments and reduced in high-fat foods. Studies report relevant results in matrices such as cheeses, meats, juices, and fermented products, where hops contributed to reducing microbial load and delaying oxidation while maintaining sensory quality and exhibiting combined antioxidant and antimicrobial activity. Their incorporation into foods aligns with the clean label concept, enabling the replacement of artificial preservatives with natural ingredients recognized by consumers. Despite the advances, challenges remain related to selectivity against microorganisms, chemical variability of extracts, and the lack of standardization in application methods. Therefore, hops represent a natural, efficient, and sustainable alternative to synthetic preservatives, with the potential to extend food shelf life and promote the development of safer products aligned with modern consumer expectations.

Keywords: antimicrobial compounds; antioxidant;  $\alpha$ -acids;  $\beta$ -acids.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>9</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>10</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	10
2.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS.....	10
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>10</b>
<b>4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>11</b>
4.1 PERDAS E DESPERDÍCIO DE ALIMENTOS.....	11
4.2 CONSERVANTES ALIMENTARES .....	12
4.3 LÚPULO ( <i>HUMULUS LUPULUS</i> ) .....	13
4.4 COMPOSTOS ANTIMICROBIANOS DO LÚPULO.....	16
4.5 APLICAÇÕES DO LÚPULO EM ALIMENTOS.....	20
<b>4.5.1 Produtos lácteos</b> .....	<b>26</b>
<b>4.5.2 Produtos cárneos</b> .....	<b>26</b>
<b>4.5.2.1 Mortadela</b> .....	<b>27</b>
<b>4.5.2.2 Hambúrguer</b> .....	<b>27</b>
<b>4.5.2.3 Frango</b> .....	<b>28</b>
<b>4.5.2.4 Salsicha</b> .....	<b>28</b>
<b>4.5.2.5 Linguiça</b> .....	<b>29</b>
<b>4.5.3 Sucos</b> .....	<b>30</b>
<b>4.5.4 Produtos fermentados</b> .....	<b>31</b>
4.6 MICRORGANISMOS IMPACTADOS .....	31
4.7 APLICABILIDADE TECNOLÓGICA: VANTAGENS E LIMITAÇÕES.....	34
<b>4.7.1 Vantagens</b> .....	<b>34</b>
<b>4.7.2. Desvantagens</b> .....	<b>35</b>
4.8 PERSPECTIVAS FUTURAS .....	36
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	<b>37</b>
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>38</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A Organização das Nações Unidas (ONU) instituiu, em 2015, a Agenda 2030, composta por 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que orientam a adoção de padrões de produção e consumo sustentáveis. No contexto da ciência e tecnologia de alimentos, o ODS 12 destaca a necessidade de reduzir o desperdício de alimentos e de minimizar os impactos adversos de produtos químicos sobre a saúde humana e o meio ambiente, enquanto o ODS 3 reforça a promoção da saúde e do bem-estar ao incentivar a prevenção de doenças associadas à exposição a substâncias potencialmente nocivas (Silva, 2020).

A valorização de alimentos mais naturais e seguros tem impulsionado a busca por substitutos aos conservantes sintéticos utilizados pela indústria (Cao; Miao, 2022; Lee; Paik, 2016). Ao mesmo tempo, o desperdício e as perdas de alimentos continuam sendo um problema global de grande impacto econômico, social e ambiental (Ishangulyyev *et al.*, 2019; Ramaprasad; Kashyap 2024). Nesse cenário, cresce o interesse por conservantes naturais capazes de aumentar a vida útil dos alimentos, preservando suas propriedades sensoriais e nutricionais (Oladeji *et al.*, 2024).

O lúpulo (*Humulus lupulus*) é amplamente conhecido por seu uso tradicional na indústria cervejeira, em razão de suas propriedades sensoriais marcantes e de seu efeito conservante. Além dessa aplicação, a planta contém compostos bioativos, como compostos fenólicos, resinas e óleos essenciais, com reconhecidas ações antioxidante, anti-inflamatória e antimicrobiana. Essas propriedades têm despertado crescente interesse nas indústrias alimentícia e farmacêutica. Nos últimos anos, pesquisas têm explorado seu potencial como ingrediente funcional em alimentos, visando aproveitar seus efeitos benéficos na prevenção do estresse oxidativo e contaminação microbiana. Além disso, a diversidade química presente no lúpulo tem motivado estudos voltados ao desenvolvimento de novos produtos, ampliando significativamente seu valor comercial e científico (Betancur *et al.*, 2025).

O lúpulo destaca-se como conservante natural por suas propriedades antioxidantes e antimicrobianas, capazes de inibir microrganismos deteriorantes e patogênicos e retardar a oxidação, contribuindo para a manutenção da cor, do sabor e da qualidade de alimentos como laticínios, panificados, carnes, pescados e vegetais (Nedelcheva *et al.*, 2025). Ainda assim, sua aplicação tecnológica apresenta desafios, uma vez que fatores como pH, composição da matriz alimentar e teor de gordura podem afetar sua ação antimicrobiana (Kramer *et al.*, 2015; Papadochristopoulos *et al.*, 2025).

Diante desse cenário, a presente revisão teve como objetivo analisar as evidências científicas mais recentes sobre o uso do lúpulo e de seus compostos ativos como agentes antimicrobianos em alimentos, abordando seus mecanismos de ação, vantagens, limitações e perspectivas de aplicação industrial. A compreensão dessas propriedades contribui para o avanço de estratégias voltadas à substituição de conservantes sintéticos por alternativas naturais, alinhadas às tendências de produtos de rótulo limpo (*clean label*) e à demanda crescente por alimentos mais seguros e sustentáveis.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Revisar e analisar os estudos recentes sobre o potencial antimicrobiano do lúpulo em alimentos, enfatizando seus compostos ativos, mecanismos de ação e aplicações tecnológicas na conservação de diferentes matrizes alimentares.

### **2.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS**

- Identificar os principais compostos bioativos do lúpulo responsáveis pela atividade antimicrobiana em alimentos.
- Descrever os mecanismos de ação antimicrobiana atribuídos aos extratos e compostos do lúpulo.
- Analisar as diferentes aplicações do lúpulo como conservante natural em produtos alimentícios.
- Avaliar as vantagens e limitações do uso do lúpulo como agente antimicrobiano.
- Apontar tendências e perspectivas futuras para o uso tecnológico do lúpulo na indústria alimentícia.

## **3 METODOLOGIA**

Para a elaboração desta revisão, foi realizada uma busca bibliográfica em bases de dados como a *Web of Science*, *Scopus* e *ScienceDirect*, utilizando os termos “antimicrobial”, “food” e “hop”,  $\beta$ -acids,  $\alpha$ -acids, com o objetivo de identificar estudos relacionados ao potencial antimicrobiano do lúpulo em alimentos. Foram aplicados filtros para incluir preferencialmente artigos publicados entre 2019 e 2025, de modo a contemplar os avanços mais recentes sobre o tema. A seleção dos estudos considerou trabalhos originais, revisões e artigos de relevância

científica que abordassem os compostos bioativos do lúpulo, seus mecanismos de ação antimicrobiana e suas possíveis aplicações tecnológicas na indústria de alimentos.

Após uma análise detalhada da literatura recente, foram identificadas as principais vantagens e desvantagens associadas ao lúpulo, contemplando aspectos agronômicos, industriais e bioativos, bem como suas perspectivas futuras. A revisão permitiu reunir informações sobre os benefícios, além de evidenciar limitações e futuros estudos baseado na revisão realizada.

## **4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **4.1 PERDAS E DESPERDÍCIO DE ALIMENTOS**

Segundo Ishangulyyev *et al.* (2019), a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) define a perda de alimentos como a redução do peso (matéria seca) ou da qualidade nutricional de produtos destinados ao consumo humano. O Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) considera o desperdício de alimentos como parte dessa perda, ocorrendo quando produtos ainda próprios para consumo não são aproveitados. Os autores do estudo, por sua vez, entendem a perda de alimentos como a diminuição do peso de alimentos comestíveis nas três primeiras etapas da cadeia de suprimento alimentar, abrangendo Produção, Manuseio e Armazenamento, além do Processamento (Ishangulyyev *et al.*, 2019).

A perda e o desperdício de alimentos variam conforme o país, a região, a cultura e as características geográficas, diferenciando-se pelo estágio da cadeia em que ocorrem. Enquanto a perda acontece nas etapas iniciais, ligada a falhas na produção, colheita, armazenamento ou transporte, o desperdício se manifesta na fase final, quando alimentos ainda comestíveis são descartados pelos consumidores. Em países de menor renda, as perdas predominam nas fases produtiva e de processamento, devido às limitações técnicas, infraestrutura insuficiente e falta de investimento em tecnologias de produção e pós-colheita. Já em países de média e alta renda, o desperdício concentra-se no consumo, no nível doméstico, influenciado por compras excessivas, armazenamento inadequado e descarte de produtos próximos à validade (Kör; Krawczyk; Wakkee, 2021; Ramaprasad; Kashyap, 2024).

O avanço da demanda por alimentos, associado ao aumento das perdas e do desperdício, tem refletido negativamente nos aspectos sociais, econômicos, ambientais e de saúde pública (Ramaprasad; Kashyap, 2024). Todos os anos, estima-se que 1,3 bilhões de toneladas de alimentos deixem de ser aproveitadas, resultando em perdas financeiras próximas de 1 trilhão

de dólares. Os efeitos sociais e ambientais são notáveis, favorecendo o aumento das emissões de gases de efeito estufa e o agravamento da insegurança alimentar. Embora a produção agrícola mundial possa alimentar até 10 bilhões de pessoas, quase 10% da população continua passando fome. Dados apontam que as perdas no campo podem estar subestimadas, e o volume de desperdício no mundo chega a aproximadamente 40% da produção, equivalendo a 2,5 bilhões de toneladas por ano. O desperdício diário de alimentos por pessoa corresponde a 124 g de dióxido de carbono, 58 L de água doce, 2,9 g de nitrogênio e 0,48 g de fósforo (Economou *et al.*, 2024).

Garantir alimentos seguros e de qualidade para os consumidores é prioridade para indústria, mas os métodos atuais de conservação ainda não evitam completamente doenças alimentares e conseqüentemente perdas e desperdício (Hu; Gänzle, 2018). O elevado teor de água presente na maioria dos alimentos favorece o crescimento de microrganismos, provocando perdas econômicas, redução da vida útil e riscos à saúde. A deterioração causada por fungos, protozoários e bactérias acarretam impactos econômicos significativos, especialmente nas indústrias de processamento e fabricação de alimentos, contribuindo para o desperdício anual de mais de 1 bilhão de toneladas de produtos alimentícios (Oladeji *et al.*, 2024).

A conservação de alimentos tornou-se essencial para reduzir a contaminação e retardar a deterioração. O aumento da demanda por alimentos, aliado à constante ameaça microbiana, tem impulsionado a pesquisa por conservantes seguros e acessíveis. Nos últimos anos, a atenção tem se voltado para conservantes naturais, com o objetivo de inibir ou prevenir o crescimento de patógenos em alimentos (Oladeji *et al.*, 2024).

## 4.2 CONSERVANTES ALIMENTARES

Conservantes alimentares são substâncias adicionadas aos alimentos para retardar a ação de microrganismos, aumentando sua vida útil e preservando atributos sensoriais como sabor, aroma e aparência. Seu uso, registrado desde a antiguidade, pode ser aliado a outros métodos de conservação, auxiliando também na manutenção sensorial e do valor nutricional dos alimentos. Exemplos incluem o ácido sórbico, o ácido benzoico e os nitritos, utilizados para assegurar a segurança e a estabilidade dos produtos (Wedzicha, 2003).

Os conservantes convencionais são substâncias químicas sintéticas, como nitratos, nitritos, benzoato de sódio e sorbato de potássio, cujo uso vem sendo reavaliado devido a possíveis efeitos adversos à saúde, incluindo dores de cabeça, alergias e risco aumentado de certos tipos de câncer. Nitritos e nitratos têm sido associados a leucemia e cânceres de cólon,

bexiga e estômago, enquanto benzoatos podem provocar alergias e asma, e sorbato e ácido sórbico, embora raramente, estão ligados à urticária e dermatite de contato. Além disso, esses conservantes químicos podem contribuir para o surgimento de cepas resistentes a medicamentos e à toxicidade crônica. Em contraponto, a busca por alimentos mais naturais e saudáveis tem impulsionado o uso de conservantes naturais, ou biopreservativos, que podem ter origem vegetal, animal ou microbiana, como polifenóis, lisozimas e nisina (Lee; Paik, 2016).

Embora sejam amplamente utilizados por serem econômicos e de fácil acesso, os conservantes sintéticos podem representar riscos à saúde e causar efeitos colaterais. Os conservantes naturais são considerados mais seguros, não tóxicos, e representam uma alternativa confiável para o consumo. No entanto, sua capacidade de retardar a deterioração e de prolongar a vida útil dos produtos geralmente é inferior à dos conservantes sintéticos, o que pode afetar a estabilidade dos alimentos. Além disso, a qualidade e a eficácia desses conservantes podem apresentar variações de acordo com sua origem, o método de extração e as condições de armazenamento (Venkatesan; Muniyan, 2024).

A utilização de conservantes naturais pode resultar em custos de produção mais elevados, influenciando o preço final, e alguns podem alterar o sabor ou aroma dos alimentos de maneira indesejada. Além disso, alterações regulatórias podem interferir na implementação desses conservantes no setor alimentício. Embora enfrentem desafios, os conservantes de origem vegetal oferecem menor toxicidade, efeitos colaterais limitados e maior segurança em comparação aos sintéticos, ressaltando seu valor como alternativa na conservação de alimentos (Venkatesan; Muniyan, 2024).

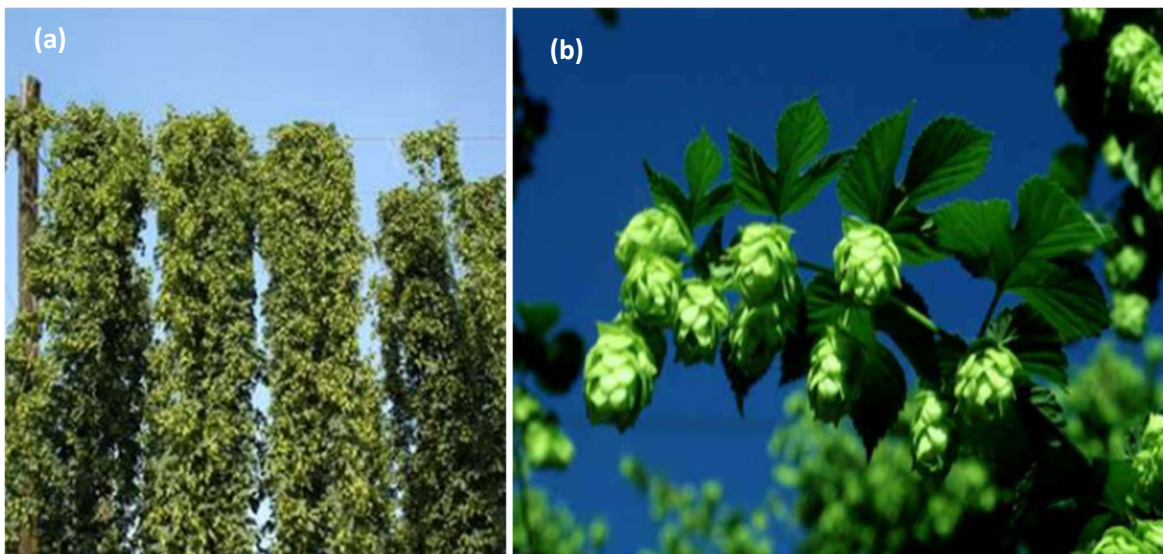
Tradicionalmente, o lúpulo é utilizado como conservante natural na cerveja, devido aos seus  $\alpha$  e  $\beta$  ácidos que inibem o crescimento de bactérias Gram-positivas mesmo em concentrações baixas. Além de suas conhecidas propriedades sedativas e antimicrobianas, os resíduos da extração de lúpulo, subprodutos da indústria cervejeira, podem servir como uma fonte econômica de compostos naturais com dupla função, exercendo ação antioxidante e antimicrobiana, o que expande suas possíveis aplicações na indústria de alimentos (Hrnčič *et al.*, 2019).

### 4.3 LÚPULO (*HUMULUS LUPULUS*)

O lúpulo é uma planta trepadeira, ou seja, cresce apoiando-se em outras estruturas para se desenvolver na vertical (Figura 1a). Trata-se de uma espécie dióica, com exemplares masculinos e femininos em indivíduos distintos, ambos necessários para a reprodução. Sua

parte aérea é herbácea e anual, enquanto o rizoma, que fica abaixo do solo, é perene, permanecendo ativo entre os ciclos, gerando novos brotos e raízes adventícias que auxiliam na fixação da planta e na absorção de nutrientes. Pertence ao gênero *Humulus*, da família *Cannabaceae*, cujo provável centro de origem é a China. É encontrada principalmente em florestas decíduas e matas densas da Europa e da Ásia Ocidental, além de outras regiões de clima temperado. Seu cultivo possui longa história, com registros que remontam a 200 d.C. na Babilônia (Astray *et al.*, 2020).

**Figura 1.** Lúpulo (*Humulus lupulus*) (a) e suas inflorescências femininas (b).



**Fonte:** Hrnčič, *et al.* (2019).

De acordo com o perfil genético, o lúpulo é dividido em três grupos distintos: norte-americano, asiático e europeu. Cada um deles reúne cultivares com características próprias, resultado da seleção voltada para aprimorar o aroma na fabricação da cerveja (Hrnčič *et al.*, 2019). A produção anual é de cerca de 100.000 toneladas métricas, com a maior parte utilizada pela indústria cervejeira (Zhang *et al.*, 2021). Na União Europeia, a Alemanha figura como um dos principais produtores entre os países membros (Astray *et al.*, 2020).

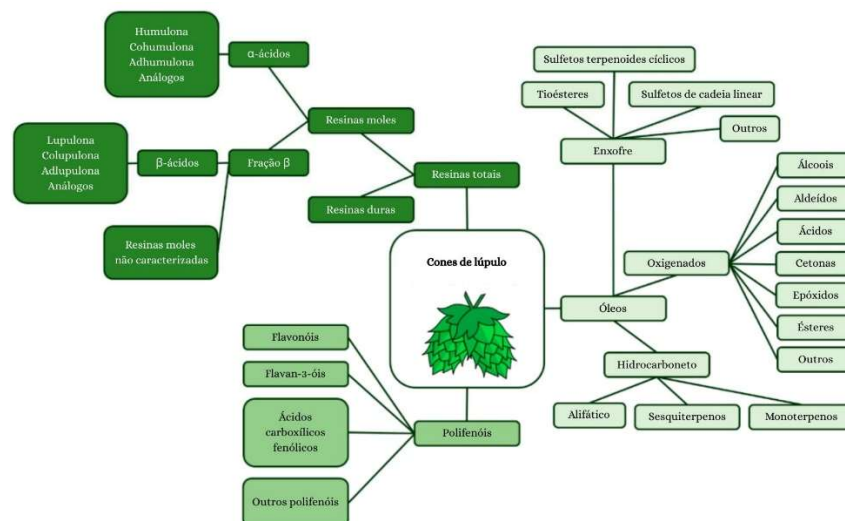
O lúpulo é amplamente reconhecido por conferir amargor, aroma e sabor característicos à cerveja (Duarte *et al.*, 2022). Os cones (inflorescências femininas) do lúpulo são a parte mais utilizada da planta, embora outras estruturas, como os brotos jovens, conhecidos como "aspargos do lúpulo", também sejam consumidas em vários países da região do Mediterrâneo (Figura 1b) (Astray *et al.*, 2020).

Durante muito tempo, o lúpulo foi reconhecido sobretudo por seu efeito antimicrobiano na conservação da cerveja e por suas propriedades sedativas. Estudos mais recentes indicam

que seus metabólitos secundários apresentam ampla bioatividade, incluindo ação antioxidante. Essas características têm despertado crescente interesse das indústrias farmacêutica, nutracêutica e alimentícia, que identificam no lúpulo uma fonte promissora para a obtenção de moléculas bioativas. Embora historicamente apenas os cones sejam explorados, pesquisas recentes indicam que folhas e sementes também contêm compostos ativos de interesse, ampliando as possibilidades de aplicação dessa planta frente à demanda crescente por alternativas naturais com potencial terapêutico e tecnológico (Arruda, *et al.*, 2021; Hrnčič *et al.*, 2019).

A bioatividade do lúpulo está principalmente associada aos metabólitos secundários presentes em suas inflorescências, que compreendem resinas, óleos essenciais e polifenóis. As resinas do lúpulo podem ser classificadas em moles e duras, sendo que as resinas moles incluem os  $\alpha$ -ácidos (humulona, cohumulona, adhumulona e seus análogos) e os  $\beta$ -ácidos (lupulona, colupulona, adlupulona e derivados). Os óleos essenciais são formados por hidrocarbonetos (alifáticos, monoterpenos e sesquiterpenos), compostos oxigenados (álcoois, aldeídos, ácidos, cetonas, epóxidos, ésteres, entre outros) e compostos sulfurados (sulfetos terpenoides cíclicos, sulfetos de cadeia reta e tiósteres). Entre os polifenóis, estão flavonóis, flavan-3-óis e ácidos fenólicos carboxílicos. Esses compostos contribuem significativamente para as propriedades funcionais do lúpulo, cuja composição e concentração variam conforme a cultivar, o local e as condições de cultivo, além do estágio de colheita, sendo muitos deles reconhecidos por suas atividades antioxidante e antimicrobiana, o que favorece seu uso como conservante alimentar (Figura 2) (Arruda *et al.*, 2021; Astray *et al.*, 2020; Hrnčič *et al.*, 2019).

**Figura 2.** Classificação dos principais compostos do cone de lúpulo.



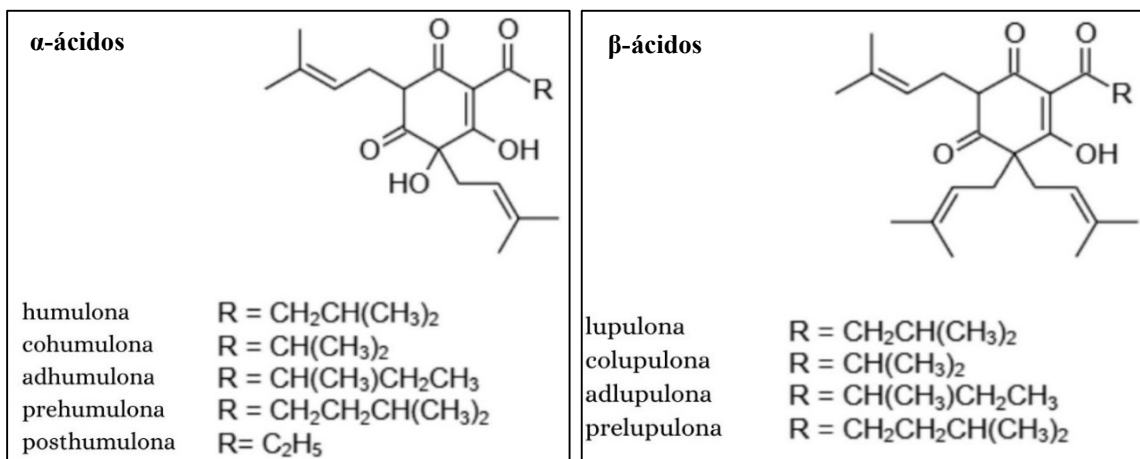
Adaptado de Astray *et al.* (2020).

#### 4.4 COMPOSTOS ANTIMICROBIANOS DO LÚPULO

Os ácidos do lúpulo, produzidos nas glândulas de lupulina dos cones, dividem-se em  $\alpha$ -ácidos (humulonas) e  $\beta$ -ácidos (lupulonas) (Figura 3). Esses compostos fazem parte das resinas moles, que correspondem a cerca de 10 a 25% do peso total do lúpulo e são caracterizadas pela solubilidade em hexano (Rosa; Lannes, 2024).

Entre os  $\alpha$ -ácidos encontram-se principalmente a humulona (35–70%), cohumulona (20–65%) e adhumulona (10–15%), além de menores quantidades de posthumulona e prehumulona. Embora sejam os principais precursores do amargor característico do lúpulo, não o conferem de forma direta. O amargor surge após a isomerização térmica que ocorre quando os  $\alpha$ -ácidos são aquecidos entre 100 e 130 °C em meio alcalino com pH entre 8 e 10, originando os iso- $\alpha$ -ácidos. Esses compostos são responsáveis pelo sabor amargo e apresentam também ação antimicrobiana, especialmente contra bactérias Gram-positivas (Hrnčič *et al.*, 2019; Jurášek *et al.*, 2022). De acordo com Arruda *et al.* (2021), extratos aquosos de cones de lúpulo ricos em iso- $\alpha$ -ácidos também demonstraram efeito antifúngico, reforçando sua atuação frente a diferentes microrganismos.

**Figura 3.** Estrutura química  $\alpha$ -ácidos e  $\beta$ -ácidos.



Adaptado de Jurášek *et al.* (2022).

Os  $\beta$ -ácidos do lúpulo, entre os quais se destacam a lupulona (30–55%), a colupulona e a adlupulona, possuem atividade antimicrobiana relacionada ao seu caráter hidrofóbico, que favorece interações diretas com as membranas celulares (Hrnčič *et al.*, 2019; Jurášek *et al.*, 2022). Segundo Krofta *et al.* (2013), diferentemente dos  $\alpha$ -ácidos, os  $\beta$ -ácidos não passam pelo mesmo processo de isomerização, pois não possuem o grupo álcool terciário no anel aromático. Em razão disso, são mais suscetíveis à oxidação induzida pela exposição ao ar.

A ação antimicrobiana dos  $\alpha$  e  $\beta$  ácidos do lúpulo ocorre por mecanismos distintos. Em sua forma não dissociada, os ácidos fracos atravessam membranas celulares sob alta concentração de prótons, inibindo o crescimento microbiano (Arruda *et al.*, 2021). A hidrofobicidade dos  $\beta$ -ácidos facilita a interação com a membrana lipídica dos microrganismos, alcançando o interior da célula, onde acidificam o citosol e comprometem a função mitocondrial, afetando a cadeia de transporte de elétrons e a produção de energia (Hrnčič *et al.*, 2019). Já os iso- $\alpha$ -ácidos, originados pelo aquecimento dos  $\alpha$ -ácidos, atuam como ionóforos ao transportar cátions através da membrana, o que altera o equilíbrio iônico da célula. A ação desses compostos é potencializada por cátions monovalentes (como  $K^+$  e  $Na^+$ ) e dificultada por cátions divalentes (como  $Ca^{2+}$ ), demonstrando a complexidade de sua interação com a fisiologia bacteriana (Arruda *et al.*, 2021).

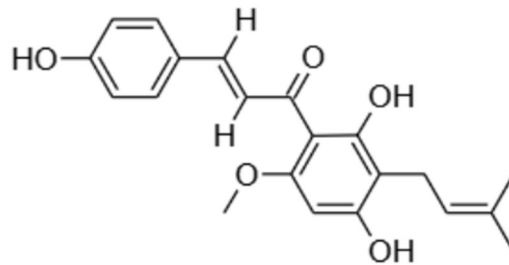
A ação dos  $\alpha$  e  $\beta$  ácidos na célula microbiana provoca um desequilíbrio metabólico significativo, que interrompe o crescimento celular ou resulta em morte celular (Violet *et al.*, 2023). Em bactérias Gram-positivas, a região lipofílica da membrana é o principal alvo desses efeitos (Zhang *et al.*, 2021). As bactérias Gram-negativas, por sua vez, mostram resistência aos ácidos do lúpulo, possivelmente em função dos fosfatídeos séricos presentes na membrana externa, que contribuem para a inativação da lupulona e da humulona (Fahle; Bereswill; Heimesaat, 2022).

Zhang *et al.*, (2021) destacou que a redução do pH favorece a forma não dissociada dos  $\alpha$  e  $\beta$  ácidos do lúpulo, intensificando seu efeito antimicrobiano, como também observado por Kramer *et al.* (2015) ao combinar o extrato de lúpulo com ácidos orgânicos, como o láctico e o cítrico. Em contrapartida, em alimentos com alto teor de lipídios, a ação do lúpulo pode ser limitada, pois seus compostos ativos hidrofóbicos se incorporam à gordura do alimento, reduzindo o contato com os microrganismos presentes na fase aquosa (Papadochristopoulos *et al.*, 2025).

Os polifenóis do lúpulo representam aproximadamente 4 a 14% da matéria seca, concentrando-se principalmente nas brácteas dos cones. Entre eles destacam-se flavonóis, como quercetina e kaempferol; flavan-3-óis, incluindo catequina, epicatequina, galocatequina e seus polímeros; ácidos fenólicos carboxílicos, como o ácido ferúlico; além de glicosídeos multifidólicos e prenilflavonoides, como xanthohumol, isoxanthohumol, desmetilxanthohumol e 6- e 8-prenilnaringenina. Esses compostos apresentam atividade antioxidante e antimicrobiana, conferindo potencial como conservantes, embora possam alterar o sabor de alimentos (Astray *et al.*, 2020).

No estudo de Bogdanova *et al.* (2018), o xantohumol, um prenilflavonoide com grupos prenil em sua estrutura, apresentou a maior atividade antimicrobiana entre as frações avaliadas, incluindo os ácidos  $\alpha$  e  $\beta$ . Demonstrou efeito antibacteriano contra bactérias Gram-positivas, incluindo cepas multirresistentes como *MRSA* (*Staphylococcus aureus* resistente à meticilina) e *VRE* (*Enterococcus faecium* resistente à vancomicina), além de atividade antifúngica significativa contra leveduras do gênero *Candida*. Sua potência foi superior à dos  $\alpha$ -ácidos e comparável à dos  $\beta$ -ácidos (Figura 4).

**Figura 4.** Estrutura química xanthohumol.



**Fonte:** Jurášek *et al.* (2022).

Segundo Arruda *et al.* (2021) e Astray *et al.* (2020), o xantohumol é um prenilflavonoide capaz de atuar de forma ampla contra bactérias, fungos e vírus. De acordo com Arruda *et al.* (2021), seu caráter hidrofóbico promove uma interação direta com a parede celular, de forma comparável àquela observada nos  $\alpha$  e  $\beta$  ácidos. Em contraste, Hrnčič *et al.* (2019) indicam que flavonoides como flavona, quercetina e naringenina atuam sobre componentes intracelulares essenciais, incluindo proteínas e DNA, interferindo em processos fundamentais à viabilidade dos microrganismos.

Os óleos essenciais do lúpulo correspondem a 0,5% a 3% da matéria seca dos cones e reúnem mais de 400 compostos, principalmente monoterpenos e sesquiterpenos. Eles se dividem em três grupos: hidrocarbonetos (50–80%), como mirceno,  $\alpha$ -humuleno,  $\beta$ -cariofileno e  $\alpha$ - e  $\beta$ -pineno; compostos oxigenados (cerca de 30%), que incluem álcoois, aldeídos, cetonas, ácidos e ésteres, como linalol e geraniol; e compostos sulfurados (até 1%), entre eles tioésteres e sulfetos terpenoides cíclicos. Mesmo em pequenas concentrações, exercem grande influência sensorial devido ao aroma intenso e baixo limiar de detecção. Além disso, eles podem ser utilizados em conjunto com fungicidas sintéticos, oferecendo uma alternativa para reduzir as doses convencionais (Astray *et al.*, 2020).

Conforme descrito na Tabela 1, os compostos do lúpulo exercem ação antimicrobiana por diferentes mecanismos. Essa atividade pode ainda ser modulada pela presença de cátions. Estudos mostraram que íons monovalentes ( $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Cs^+$ ,  $NH_4^+$ ,  $Li^+$  e  $Rb^+$ ) intensificam a atividade da trans-isohumulona contra *Lactobacillus brevis*, possivelmente por influenciarem a fisiologia bacteriana e sua interação com a membrana celular. Já os cátions divalentes apresentam respostas distintas: o  $Ca^{2+}$  reduz em cerca de 33% a atividade da trans-isohumulona, enquanto o  $Mg^{2+}$  demonstra efeito antimicrobiano próprio e, em combinação com o composto, promove reversão parcial da inibição do crescimento (Arruda *et al.*, 2021).

Tabela 1. Mecanismo de ação dos compostos do lúpulo.

Mecanismo antimicrobiano	Compostos associados	Descrição	Referência
Atividade ionofórica	iso- $\alpha$ -ácidos	Funcionam como ionóforos, promovendo o transporte de cátions pela membrana e alterando o equilíbrio iônico celular.	Arruda <i>et al.</i> , 2021; Hrnčič <i>et al.</i> , 2019
Efeito asséptico de grupo funcional	$\alpha$ e $\beta$ ácidos	Os efeitos assépticos estão associados à estrutura $\beta$ -triketona. E o grupo prenila, presente nas cadeias dos ácidos do lúpulo, exerce papel fundamental na alteração da integridade da membrana plasmática.	Duarte <i>et al.</i> , 2022; Zhang <i>et al.</i> , 2021
Interação com ácidos nucleicos ou proteínas	Compostos fenólicos (flavona, quercetina, naringenina)	Inibem o crescimento microbiano ao interagir com proteínas ou com o material genético.	Hrnčič <i>et al.</i> , 2019
Mecanismo protonofórico	$\alpha$ e $\beta$ ácidos	Na forma não dissociada, os ácidos fracos conseguem atravessar as membranas celulares em ambientes com alta concentração de prótons, o que resulta na inibição do crescimento microbiano.	Arruda <i>et al.</i> , 2021
Vazamento da membrana bacteriana	$\alpha$ e $\beta$ ácidos	A natureza hidrofóbica dos $\beta$ -ácidos favorece a interação com a membrana celular, levando ao vazamento do conteúdo intracelular.	Arruda, <i>et al.</i> , 2021; Hrnčič <i>et al.</i> , 2019; Zhang <i>et al.</i> , 2021

Fonte: Autoria própria, 2025.

Segundo Kober *et al.* (2024), embora avanços significativos já tenham sido alcançados, os mecanismos de ação dos compostos do lúpulo ainda não estão completamente elucidados, o que torna necessárias investigações adicionais para viabilizar sua aplicação mais efetiva como agentes antimicrobianos. Zhang *et al.* (2024) avaliaram a hexahidro-colupulona (HHCL),

derivado do lúpulo, e mostrou que o composto atua sobre a membrana, o metabolismo, a síntese proteica e o DNA de *Listeria monocytogenes*. Os resultados indicam que a bioatividade não se restringe a um único mecanismo, mas se manifesta através de uma sequência de eventos que levam à morte ou inibição celular.

Portanto, os efeitos do lúpulo estão principalmente associados aos seus ácidos ( $\alpha$ -ácidos e, especialmente,  $\beta$ -ácidos) e a compostos fenólicos, como o xantohumol. Estudos mais recentes têm enfatizado os  $\beta$ -ácidos. Arruda *et al.* (2021) e Hrnčič *et al.* (2019) destacam que o caráter hidrofóbico desses compostos permite sua interação com a membrana celular de microrganismos, causando sua ruptura e afetando funções essenciais, como o transporte de nutrientes e o equilíbrio metabólico. Pesquisas experimentais, como as conduzidas por Kramer *et al.* (2021) em mortadela e por Kyrykbaeva *et al.* (2025) em queijo frescal, reforçam a ocorrência desses efeitos.

#### 4.5 APLICAÇÕES DO LÚPULO EM ALIMENTOS

Estudos realizados entre 1996 e 2025 aplicaram extratos de lúpulo em diversas matrizes alimentares, evidenciando resultados relevantes para a conservação e a segurança dos produtos. Em laticínios, observou-se inibição do crescimento de *Listeria monocytogenes* em produtos com baixo teor de gordura, efeito não identificado em queijos mais gordurosos, como o Camembert (Arruda *et al.*, 2021). Nos produtos cárneos, a adição de extratos ou pó de cones de lúpulo promoveu atividade antioxidante, maior estabilidade contra a oxidação de gorduras, preservação da cor, ação antimicrobiana contra *Listeria monocytogenes* e desacelerando o crescimento microbiano geral (Arruda *et al.*, 2021; Astray *et al.*, 2020; Hrnčič *et al.*, 2019). A imersão de carnes frescas em soluções com extratos também levou à redução imediata da carga microbiana, embora sem ação contra bactérias Gram-negativas (Arruda *et al.*, 2021; Zhang *et al.* 2021). Na panificação, a incorporação do extrato à massa aumentou significativamente o teor de polifenóis e a atividade antioxidante do pão, além de apresentar atividade antifúngica que prolongou sua vida útil (Arruda *et al.*, 2021; Astray *et al.*, 2020). Em saladas frescas, a aplicação do extrato resultou em redução imediata da carga microbiana, incluindo *Listeria monocytogenes*, com maior eficácia em condições de pH mais baixo (Arruda *et al.*, 2021). A Tabela 2 apresenta as principais aplicações do lúpulo como antimicrobiano em alimentos.

**Tabela 2.** Aplicações do lúpulo em alimentos, estudos entre os anos de 2015 e 2025.

Alimentos	Composição do alimento	Composição do antimicrobiano	Aplicação	Efeito antimicrobiano	Outros efeitos	Referência
Queijo Frescal	Umidade 53,45%; gordura 22,81%; proteína 15,32%; sal 0,25%; cinzas 1,45%; pH 6,08	Rico em ácidos beta, polifenóis e flavonoides	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Adição direta de extratos de lúpulo ao leite.</li> <li>▪ Concentração de 20 µg/mL</li> </ul>	Após 90 dias: reduções de 1,2 log em <i>S. aureus</i> , 1,5 log em <i>L. monocytogenes</i> e 1,0 log em <i>E. coli</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aumento de fenólico total e da atividade antioxidante.</li> <li>▪ Coloração mais amarelada (b*), valores reduzidos de L* e a*.</li> <li>▪ Maior dureza.</li> <li>▪ Não alterou a cor das mortadelas.</li> </ul>	Kyrykbaeva <i>et al.</i> (2025)
Mortadela	23% de gordura; atividade de água de 0,968 e pH 6,0	Extrato de lúpulo com 40% de sais de potássio de β-ácidos, 27% de propilenoglicol, 1,5% de óleos de lúpulo e 0,5% de α-ácidos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Adicionado no início do processo, misturado à carne magra antes dos demais ingredientes e à combinação de carne magra e gorda, no início e ao final da moagem.</li> <li>▪ Concentração de 0,4 e 0,8 g/kg.</li> </ul>	0,4 g/kg reduziu <i>L. monocytogenes</i> em até 3 log, enquanto 0,8 g/kg resultou em redução superior a 4 log.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ A associação com nitrito de sódio não potencializou o efeito antimicrobiano.</li> <li>▪ Concentrações elevadas de nitrito (≥100 µg/mL) diminuíram levemente a atividade do extrato.</li> </ul>	Kramer <i>et al.</i> (2021)
Hambúrguer de carne bovina	Teor de gordura 20%	40% de β-ácidos em solução de propilenoglicol	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ A solução de extrato de lúpulo foi adicionada à mistura de carne moída magra e gordura bovina.</li> <li>▪ Concentração de 0,1%, 0,2% e 0,4%.</li> </ul>	O extrato de lúpulo não demonstrou atividade antimicrobiana contra <i>L. monocytogenes</i> .	-	Papadochristopoulos <i>et al.</i> (2025)
Peito de frango	pH de 5,75	5,05% de α-ácidos, 14% de β-ácidos e 25% de co-humulona	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ O extrato de lúpulo, em solução aquosa foi aplicado ao frango por meio de imersão.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Reduziu o crescimento de bactérias láticas nas primeiras semanas e de</li> </ul>	Sensorialmente não apresentou alteração significativa no sabor em relação ao controle.	Nieto <i>et al.</i> (2020)

Alimentos	Composição do alimento	Composição do antimicrobiano	Aplicação	Efeito antimicrobiano	Outros efeitos	Referência
Salsicha	Carne suína; barriga de porco; pele de porco; sal; dextrose; - sacarose; aromas e especiarias		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Concentração de 2 g/L.</li> <li>▪ O extrato de lúpulo foi incorporado ao produto após cozimento e pasteurização.</li> <li>▪ Concentração de 0, 2, 3, 4 e 5 mg CAE (equivalentes de ácido clorogênico)/kg</li> </ul>	<p><i>B. thermosphacta</i> entre os dias 21 e 35.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sem efeito sobre <i>Enterobacteriaceae</i></li> <li>▪ Inibiu o crescimento de <i>Leuconostoc gelidum</i>.</li> <li>▪ A concentração inibitória mínima foi de cerca de 4 mg CAE/kg, capaz de impedir o crescimento da bactéria por até 30 dias.</li> </ul>	Não houve distinção entre salsichas com extrato de lúpulo e sem adição do extrato pelo teste triangular com 20 avaliadores.	Comi <i>et al.</i> (2024)
Linguiça fresca de cordeiro estilo Balcãs	Atividade de água de 0,987; pH 6,01	Extrato de lúpulo com 5,1% de $\alpha$ -ácidos, 14% de $\beta$ -ácidos e 25% de co-humulona.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Incorporação direta de 30 mL/kg de massa de linguiça.</li> <li>▪ Tratamento com lúpulo associado ao óleo essencial de <i>Zataria multiflora</i> Boiss.</li> <li>▪ 15 mL/kg de massa.</li> </ul>	<p>O uso de extrato de lúpulo, óleo essencial de <i>Zataria multiflora</i> ou da combinação entre ambos não resultou em efeitos significativos sobre o crescimento de bactérias ácido-láticas (<i>Brochothrix thermosphacta</i>, <i>Enterobacteriaceae</i>, <i>Micrococcaceae</i>)</p>		Carballo <i>et al.</i> (2019)

Alimentos	Composição do alimento	Composição do antimicrobiano	Aplicação	Efeito antimicrobiano	Outros efeitos	Referência
Linguiça fresca de cordeiro estilo Balcãs	pH 6,2	Extrato de lúpulo com 5,1% de $\alpha$ -ácidos, 14% de $\beta$ -ácidos e 25% de co-humulona	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ O extrato de lúpulo foi incorporado diretamente à massa da linguiça durante o preparo.</li> <li>▪ Concentração de 30 m/kg de massa.</li> </ul>	Baixa interferência no metabolismo das bactérias gram-positivas e não evitou o aparecimento do odor característico da deterioração.	O lúpulo limitou a degradação das gorduras e trouxe características aromáticas ao alimento, principalmente através de terpenos como mirceno e humuleno.	Carballo <i>et al.</i> (2020)
Marinada para lombo de porco	-	Três extratos de lúpulo. <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Beta Bio 40: 40% de ácidos-<math>\beta</math> e propilenoglicol como base.</li> <li>▪ Alpha Bio: 20% de ácidos-<math>\alpha</math>, em base de propilenoglicol.</li> <li>▪ Xantho-Flav: 65-85% de xantohumulol.</li> <li>▪ Extratos de lúpulo ricos em <math>\alpha</math>- e <math>\beta</math>-ácidos.</li> </ul>	Diretamente sobre lombos de porco marinados.	Necessária uma concentração elevada (5000 ppm) para limitar o crescimento de <i>L. monocytogenes</i> , reduzir a contagem aeróbica total após duas semanas e inibir o desenvolvimento de <i>Lactobacilli</i> .	O painel sensorial indicou que o sabor amargo não foi perceptível e não apresentou diferença significativa em relação à carne marinada sem extrato de lúpulo.	Kramer <i>et al.</i> , 2015
Peru estilo "deli"	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Extrato de ácido <math>\alpha</math> (humulona) composto por 67,2% de <math>\alpha</math>-ácidos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Incorporado diretamente na formulação do produto</li> <li>▪ Concentração de 5 ppm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Os ácidos do lúpulo, aplicados isoladamente, não foram eficazes para inibir <i>Listeria monocytogenes</i>.</li> <li>▪ A combinação dos ácidos-<math>\beta</math> do lúpulo com acetato e diacetato de potássio</li> </ul>	-	Sansawat <i>et al.</i> , 2019

Alimentos	Composição do alimento	Composição do antimicrobiano	Aplicação	Efeito antimicrobiano	Outros efeitos	Referência
Pão	Umidade entre 28 e 30%, com atividade de água de 0,971 a 0,980.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Extrato de ácido <math>\beta</math> (lupulona) com 96,0% de <math>\beta</math>-ácidos.</li> <li>▪ Polifenóis e taninos: 4,7%;</li> <li>▪ <math>\alpha</math>-ácidos: 11,1%;</li> <li>▪ <math>\beta</math>-ácidos: 6,5%.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aplicado tanto na preparação da massa quanto na adição direta como ingrediente na formulação dos pães.</li> <li>▪ A concentração do extrato de lúpulo (hE) foi de 25%.</li> </ul>	<p>apresentou a inibição mais eficaz e estável.</p> <p>Atividade antifúngica contra os gêneros <i>Aspergillus</i>, <i>Penicillium</i>, <i>Eurotium</i> e <i>Wallemia</i>, além de reduzir a germinação dos esporos de <i>Penicillium</i>.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Melhorou as propriedades químicas e estruturais do pão.</li> <li>▪ Aumento de compostos fenólicos, atividade antioxidante e os aminoácidos livres.</li> <li>▪ O pão tornou-se mais volumoso, macio e com crosta mais escura, apresentando notas amargas e herbáceas que, apesar de perceptíveis, não comprometeram sua aceitação sensorial.</li> </ul>	Nionelli <i>et al.</i> , 2018

Alimentos	Composição do alimento	Composição do antimicrobiano	Aplicação	Efeito antimicrobiano	Outros efeitos	Referência
Pão	Umidade em torno de 34%	Extrato aquoso de lúpulo	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ O extrato de lúpulo foi incorporado à farinha de trigo.</li> <li>▪ Concentrações de extrato de lúpulo: 42,5%, 50%, 57,5% e 65%.</li> </ul>	-	Pães mais volumosos e saborosos, com miolo mais macio após três dias, além de maior concentração de compostos fenólicos, atividade antioxidante e bioacessibilidade de ácidos fenólicos.	Irakli <i>et al.</i> , 2019
Suco de maçã	-	Hexahidro-colupulona (HHCL)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Adição direta ao suco de maçã.</li> <li>▪ Concentrações de 0,4, 25 e 50 µg/mL</li> </ul>	Efeito sobre a <i>L. monocytogenes</i> , comprometendo membrana celular, metabolismo e DNA	Não alterou a cor, odor, sabor, turbidez nem a aceitabilidade do suco de maçã em sensorial com provadores treinados	Zhang <i>et al.</i> (2024)
Tarhana	Iogurte coado; tomate; cebola; farinha de trigo; sal	Cones de lúpulo	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Incorporados diretamente à mistura de tarhana, tanto na forma fresca quanto seca.</li> <li>▪ Quantidades de 5, 6, 7 e 10 unidades cada</li> </ul>	Atividade antimicrobiana contra <i>S. aureus</i> , <i>E. faecalis</i> , <i>E. coli</i> e a levedura <i>C. albicans</i> , com maior eficácia nas amostras contendo maiores quantidades de lúpulo seco, não apresentando efeito sobre <i>C. parapsilosis</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ O lúpulo elevou o pH, reduziu a acidez e aumentou o teor de minerais (N, P, K, Mg, Ca e Fe).</li> <li>▪ A análise sensorial demonstrou que o lúpulo, úmido, contribuiu para maior aceitação da tarhana, intensificando seu sabor e aroma</li> </ul>	Gulbandilar (2021)

Fonte: (Autoria própria, 2025).

#### 4.5.1 Produtos lácteos

Kyrykbaeva *et al.* (2025) investigaram a aplicação do extrato rico em ácidos beta, polifenóis e flavonoides como conservante em queijo frescal em salmoura, avaliando suas influências sobre o desenvolvimento microbiano e as características físico-químicas durante 90 dias de maturação. Os resultados mostraram queda significativa nas contagens de patógenos, com 1,2 log para *Staphylococcus aureus*, 1,5 log para *Listeria monocytogenes* e 1,0 log para *Escherichia coli*. O principal mecanismo antimicrobiano envolve a ruptura da membrana celular bacteriana, causada pelos  $\beta$ -ácidos e outros compostos bioativos do lúpulo. Por serem hidrofóbicos, esses compostos atravessam a membrana, comprometendo funções vitais como o transporte de açúcares e aminoácidos, e provocando desequilíbrios metabólicos. No entanto, os autores destacam que esse processo é complexo e demanda estudos adicionais. Além da atividade antimicrobiana, o extrato aumentou o teor de compostos fenólicos totais, de 3,45 mg GAE (equivalente de ácido gálico)/100 g no início da maturação para 8,83 mg GAE (equivalente de ácido gálico)/100 g ao final, e elevou a atividade antioxidante do queijo. Alterações nas propriedades físico-químicas também foram observadas, incluindo maior dureza, melhor retenção de umidade, coloração mais amarelada ( $b^*$  maior), menor luminosidade ( $L^*$  menor), redução da intensidade de vermelho ( $a^*$  menor) e diminuição mais rápida do pH, favorecendo a inibição da degradação microbiana. Os autores sugerem que o extrato de lúpulo representa uma alternativa promissora aos conservantes sintéticos, em consonância com a tendência de produtos de rótulo limpo (“*clean label*”), destacando, porém, a importância de testes sensoriais e validações em escala industrial para assegurar sua viabilidade comercial (Kyrykbaeva *et al.*, 2025).

#### 4.5.2 Produtos cárneos

Cones, folhas e sementes de lúpulo apresentam forte atividade antioxidante e antibacteriana, mas seu potencial para conservação de alimentos ainda é pouco explorado. Devido à sua relevância, esses metabólitos secundários já possuem aplicações regulamentadas. Nos Estados Unidos, os  $\beta$ -ácidos do lúpulo foram considerados seguros pelo USDA (Departamento de Agricultura dos Estados Unidos) sob o status GRAS (Geralmente Reconhecidos como Seguros), o que permite seu uso como agentes antimicrobianos em carnes cozidas, na concentração máxima de 2,0 mg/kg, e em envoltórios para produtos cárneos, com limite de 2,5 mg/kg (Arruda, *et al.*, 2021). A seguir são apresentadas as principais aplicações do lúpulo em produtos cárneos.

#### 4.5.2.1 Mortadela

Kramer *et al.* (2021) avaliaram a ação de um extrato de lúpulo rico em  $\beta$ -ácidos (BRHE) sobre *Listeria monocytogenes* em mortadela suína. A concentração mínima inibitória foi determinada *in vitro* sob variadas condições de pH, atividade de água e atmosfera, e, no ensaio prático, o extrato foi incorporado à massa nas concentrações de 0,4 e 0,8 g/kg. Fatias inoculadas e armazenadas a 7 °C por 28 dias em atmosfera modificada demonstraram que 0,4 g/kg do extrato reduziu a bactéria em até 3 log, enquanto 0,8 g/kg impediu seu crescimento ou reduziu a população final em pelo menos 4 log. O efeito antimicrobiano foi mais pronunciado em pH ácido, com baixa atividade de água e sob condições anaeróbicas, sendo menor na presença de gordura. Segundo os autores, devido à sua característica hidrofóbica e lipofílica, os  $\beta$ -ácidos interagem com as membranas microbianas, apresentando maior eficácia quando a absorção das moléculas não dissociadas é favorecida em pH baixo.

Sob os aspectos tecnológico e sensorial, o BRHE preservou os valores de cor ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) e não comprometeu a aceitação da mortadela. Nos testes triangulares, não foram observadas diferenças significativas entre as amostras, embora alguns provadores tenham identificado corretamente a mortadela com lúpulo, possivelmente devido à variação individual na sensibilidade ao amargor. Ao contrário de outros extratos vegetais, como o *cranberry* em pó, que podem modificar cor, textura e características sensoriais, e de conservantes como lactato ou diacetato de sódio, que alteram sabor e aroma, o BRHE não apresentou efeitos indesejáveis nas concentrações avaliadas. Dessa forma, o extrato de lúpulo se apresenta como uma barreira antimicrobiana promissora para produtos cárneos fatiados e prontos para consumo, unindo eficácia contra *Listeria monocytogenes* à manutenção da qualidade sensorial (Kramer *et al.*, 2021). Em produtos com maior teor de gordura, como a mortadela, a eficácia do extrato pode ser atribuída à sua homogeneização na emulsão cárnea durante o processamento, permitindo que os compostos atuem antes de serem completamente sequestrados pela gordura.

#### 4.5.2.2 Hambúrguer

Papadochristopoulos *et al.* (2025) analisaram a eficácia de antimicrobianos naturais, incluindo o extrato de lúpulo  $\beta$  Bio 40 (40% de  $\beta$ -ácidos), no controle de *Listeria monocytogenes* em hambúrgueres de carne bovina com 20% de gordura embalados a vácuo e armazenados a 3 °C por 16 dias. O estudo foi realizado em duas etapas, sendo que na primeira os testes *in vitro* permitiram determinar a Concentração Inibitória Mínima (MIC) e a Concentração Bactericida Mínima (MBC), com o lúpulo mostrando a MIC mais baixa entre os

agentes testados (0,001 a 0,003%). Depois, o extrato foi incorporado à carne moída e à gordura nas concentrações de 0,1%, 0,2% e 0,4%, seguido de mistura e moagem antes da preparação dos hambúrgueres.

Nos ensaios com os hambúrgueres, a presença de *Listeria monocytogenes* manteve-se semelhante à observada no grupo controle durante os 16 dias, sem efeito do extrato. A ausência de atividade antimicrobiana foi atribuída ao elevado teor de gordura, que pode ter retido os  $\beta$ -ácidos na fase lipídica; à complexidade da matriz da carne moída; e ao aumento da atividade de água provocado pela solução aplicada, fatores que limitaram o contato dos compostos com as bactérias. O estudo indica que os  $\beta$ -ácidos atuam como antimicrobianos ao interferir no transporte de nutrientes, na respiração celular, na replicação e na síntese de proteínas, embora destaque que a aplicação em hambúrgueres depende de estratégias que considerem as particularidades da matriz alimentar (Papadochristopoulos *et al.*, 2025).

#### 4.5.2.3 Frango

Nieto *et al.* (2020) estudaram o efeito do contendo ácidos  $\alpha$  (4,8–5,3%) e ácidos  $\beta$  (12–16%) na conservação de peitos de frango sob refrigeração. Durante 18 h a 2 °C, as amostras permaneceram em solução de lúpulo a 2 g/L, e o controle em água destilada. As amostras foram então embaladas a vácuo e armazenadas por 35 dias, período durante o qual se monitorou o crescimento de bactérias ácido-lácticas, *Brochothrix thermosphacta* e *Enterobacteriaceae*, além de avaliar possíveis alterações sensoriais no sabor.

O uso de lúpulo prolongou em seis dias a vida útil em relação à multiplicação de bactérias ácido-lácticas e reduziu significativamente as contagens de *Brochothrix thermosphacta* entre os dias 21 e 35 de armazenamento. O lúpulo não apresentou efeito sobre as *Enterobacteriaceae*, refletindo sua maior atividade contra bactérias Gram-positivas, incluindo ácido-lácticas e *Brochothrix thermosphacta*. A análise sensorial por meio de teste triangular com 54 participantes não indicou diferenças de sabor entre o frango imerso em lúpulo e o controle. Dessa forma, a imersão em extrato mostrou-se promissora como uma alternativa natural para estender a vida útil do frango refrigerado a vácuo, mantendo sua aceitação sensorial (Nieto *et al.*, 2020).

#### 4.5.2.4 Salsicha

O estudo de Comi *et al.* (2024) avaliou o potencial antimicrobiano do extrato de lúpulo contra *Leuconostoc gelidum*, bactéria associada à deterioração de salsichas cozidas fatiadas e

embaladas. Primeiramente, o extrato foi testado *in vitro* em caldo MRS inoculado, apresentando uma MIC de 0,008 mg CAE/mL. Posteriormente, foi aplicado *in vivo* em salsichas contaminadas, armazenadas sob refrigeração, incluindo situações de abuso térmico. A MIC determinada no produto foi de 4 mg CAE/kg, suficiente para impedir totalmente o crescimento bacteriano durante 30 dias de estocagem, enquanto concentrações menores, como 3 mg/kg, apenas retardaram a proliferação do microrganismo.

Conservantes convencionais, como lactato de sódio, acetato de sódio e suas combinações, foram avaliados, mas apenas retardaram a deterioração, sem impedir o desenvolvimento microbiano. Já o extrato de lúpulo apresentou maior atividade antimicrobiana, mantendo as características sensoriais do alimento, conforme teste triangular com 20 consumidores que não perceberam diferenças entre as amostras tratadas e o controle. Dessa forma, o estudo evidenciou que o extrato de lúpulo é uma alternativa natural promissora, com desempenho superior aos conservantes testados, sendo pioneiro ao comprovar sua eficácia contra *Leuconostoc gelidum* em ensaios *in vitro* e em salsichas cozidas (Comi *et al.*, 2024).

#### 4.5.2.5 Linguiça

O estudo de Carballo *et al.* (2019) avaliou o efeito de conservantes naturais em linguças frescas do tipo balcânico, produzidas com carne de cordeiro e armazenadas sob refrigeração em atmosfera modificada anaeróbica (20% CO<sub>2</sub> e 80% N<sub>2</sub>) por 35 dias. Avaliaram-se o crescimento de micro-organismos deteriorantes (bactérias ácido-láticas, *Brochothrix thermosphacta*, *Enterobacteriaceae* e *Micrococcaceae*), as variações de pH, a formação de aminas biogênicas e a identificação das espécies de bactérias ácido-láticas presentes. O extrato aquoso de lúpulo da variedade Nugget (50 g/L, fervido por 30 minutos), contendo 5,1% de  $\alpha$ -ácidos, 14% de  $\beta$ -ácidos e 25% de co-humulona, foi preparado e incorporado à massa da linguça em diferentes proporções: 30 mL/kg no tratamento somente com lúpulo e 15 mL/kg quando associado ao óleo essencial de *Zataria multiflora*. Quatro grupos foram comparados: controle (sem adição de antimicrobianos), extrato de lúpulo, óleo essencial e combinação de extrato de lúpulo e óleo essencial.

Os resultados indicaram que o extrato de lúpulo, isoladamente ou combinado com o óleo essencial, não apresentou efeito antimicrobiano relevante. O desenvolvimento das bactérias deteriorantes, a redução do pH durante o armazenamento e a formação de aminas biogênicas ocorreram de forma semelhante ao grupo controle. A concentração de tiramina superou 250 mg/kg em todos os grupos, enquanto a espermina aumentou apenas nos

tratamentos que incluíram lúpulo. Os autores sugerem que a ação limitada do lúpulo decorre de interações entre seus compostos antimicrobianos e a matriz da linguiça. Conclui-se que concentrações mais elevadas, extratos mais ricos em compostos ativos ou estratégias como o encapsulamento podem ser necessárias para que o lúpulo apresente efeito de conservação nesse tipo de produto (Carballo *et al.*, 2019).

Por sua vez, Carballo *et al.* (2020) realizaram outro estudo para investigar o efeito em linguiças frescas de cordeiro estilo balcânico durante 35 dias de armazenamento refrigerado (2 °C) em embalagens anaeróbicas com 20% de CO<sub>2</sub> e 80% de N<sub>2</sub>. O extrato de lúpulo foi incorporado apenas na proporção de 30 mL/Kg da massa de linguiça. Avaliaram-se alterações no pH, nos teores de ácido láctico e acético, nos compostos voláteis relacionados a aroma e sabor, e na intensidade do odor de deterioração.

No estudo mais recente, o extrato de lúpulo reduziu compostos da oxidação lipídica por meio do sequestro de oxigênio, sem alterar significativamente o crescimento microbiano, nem retardar o aparecimento do odor de deterioração. Sua adição elevou a concentração de terpenos, como mirceno, copaeno,  $\beta$ -cariofileno e humuleno, modificando o perfil aromático das linguiças. O aumento de compostos do metabolismo microbiano, como ácido acético e ésteres etílicos, foi semelhante ao do grupo controle, sugerindo também que a eficácia antimicrobiana pode ter sido limitada por interações com a matriz do produto. Assim, o lúpulo mostrou ação antioxidante e contribuiu para o aroma, mas não prolongou a vida útil das linguiças, cuja deterioração é principalmente determinada pela atividade microbiana (Carballo *et al.*, 2020).

#### 4.5.3 Sucos

Zhang *et al.* (2024) estudaram a HHCL, derivada do lúpulo, por seu potencial antibacteriano contra *Listeria monocytogenes*. A ação do HHCL foi avaliada tanto em meio de cultura quanto em suco de maçã fresco, considerando a MIC e MBC, além da sobrevivência da bactéria ao longo do tempo. As análises fenotípicas e transcriptômicas mostraram que o composto danifica a parede e a membrana celular, provoca vazamento de componentes intracelulares, restringe o metabolismo energético, inibe a síntese proteica e interfere nos sistemas de replicação e reparo do DNA. Quando adicionado diretamente ao suco de maçã em diferentes concentrações, o HHCL provocou uma redução significativa na contagem bacteriana em apenas 30 minutos e manteve os microrganismos viáveis abaixo do limite aceitável durante 10 dias de armazenamento a 4 °C.

Além da ação antibacteriana, a adição de HHCL não comprometeu a qualidade sensorial do suco, mantendo cor, odor, sabor, turbidez e aceitabilidade geral comparáveis ao controle. Um benefício adicional do HHCL foi o retardamento do escurecimento do suco, provavelmente associado às suas propriedades antioxidantes, garantindo conservação antimicrobiana e frescor. Os resultados indicam que o HHCL apresenta grande potencial como conservante natural, preservando a qualidade sensorial e prolongando a vida útil dos alimentos, mesmo em baixas concentrações, abrindo caminho para futuras aplicações de compostos de lúpulo na segurança do alimento (Zhang *et al.*, 2024).

#### 4.5.4 Produtos fermentados

O estudo de Gulbandilar (2021) avaliou a incorporação de cones de lúpulo na tarhana, alimento fermentado tradicional da Turquia, considerando efeitos físico-químicos, sensoriais e antimicrobianos. Adicionados nas formas úmida e seca, em diferentes quantidades, os cones reduziram a acidez durante a fermentação e destacaram o sabor e o aroma, mantendo parâmetros físico-químicos próximos aos do controle. A avaliação sensorial com 11 painelistas indicou que a adição de lúpulo aprimorou as propriedades do produto, sendo a amostra com maior quantidade de lúpulo úmido (10 cones) a mais apreciada.

As tarhanas com lúpulo apresentaram notável atividade antimicrobiana, eficaz contra *Staphylococcus aureus*, *Enterococcus faecalis*, *Escherichia coli* e *Candida albicans*, sem efeito sobre *Candida parapsilosis*. Amostras com maior concentração de lúpulo seco foram mais eficazes contra *Staphylococcus aureus*, enquanto o lúpulo úmido destacou-se frente a *Enterococcus faecalis* e *Candida albicans*, superando em alguns casos a ação de antibióticos e antifúngicos convencionais, reforçando o potencial do lúpulo como ingrediente funcional e antimicrobiano na tarhana (Gulbandilar, 2021).

#### 4.6 MICRORGANISMOS IMPACTADOS

Nos estudos analisados nesta revisão, observou-se que a maior parte dos microrganismos sensíveis aos compostos bioativos do lúpulo são bactérias Gram-positivas, reconhecidas como seus principais alvos, além de algumas leveduras e, de maneira inesperada, uma bactéria Gram-negativa relatada em um estudo específico (Tabela 3).

**Tabela 3.** Associação entre microrganismos impactados pelo lúpulo e alimentos.

<b>Microrganismo</b>	<b>Alimento(s)</b>
<i>Staphylococcus aureus</i>	Queijo Frescal, Tarhana
<i>Listeria monocytogenes</i>	Queijo Frescal, Mortadela, Suco de Maçã
<i>Escherichia coli</i>	Queijo Frescal, Tarhana
Bactérias ácido-láticas	Peito de frango
<i>Brochothrix thermosphacta</i>	Peito de frango
<i>Leuconostoc gelidum</i>	Salsicha
<i>Enterococcus faecalis</i>	Tarhana
<i>Candida albicans</i>	Tarhana

**Fonte:** (Autoria própria, 2025).

*Listeria monocytogenes* é uma bactéria Gram-positiva, anaeróbia facultativa, sensível aos compostos do lúpulo, que permitiram reduzir seu crescimento em alimentos como queijo frescal, mortadela suína e suco de maçã. Amplamente distribuída no ambiente, pode contaminar produtos prontos para consumo, inclusive de baixa umidade. Entre os patógenos alimentares, destaca-se pela alta taxa de mortalidade, superior a 20% (Taylor; Zhu, 2021).

*Staphylococcus aureus* é uma bactéria Gram-positiva anaeróbia, cujo crescimento foi reduzido em queijo frescal e tarhana. Está ligada a intoxicações alimentares por carnes, ovos, leite e produtos de panificação, podendo causar náusea, vômito, diarreia e desconforto abdominal poucas horas após a ingestão de alimentos contaminados (Huang *et al.*, 2021).

Bactérias ácido-láticas são microrganismos Gram-positivos e anaeróbios facultativos que fermentam carboidratos em ácido lático. Apesar de contribuírem para a produção de alimentos fermentados, como iogurte, algumas espécies estão associadas à deterioração de produtos alimentícios, causando sabor azedo, odores desagradáveis, alterações de textura e formação de gases em produtos como carnes embaladas, laticínios, cerveja e vinho. A adição de extrato de lúpulo mostrou-se eficaz na redução de sua presença em peito de frango (Xu, *et al.* 2020).

*Brochothrix thermosphacta*, bactéria Gram-positiva e anaeróbia facultativa, contribui para a deterioração de carnes e frutos do mar pela geração de compostos voláteis com odores desagradáveis. Em peitos de frango, seu crescimento apresentou redução significativa (Illikoud *et al.*, 2019).

Comi *et al.* (2024) foram os primeiros a demonstrar que o extrato de lúpulo pode inibir completamente o crescimento de *Leuconostoc gelidum* por até 30 dias, tanto em testes *in vitro* quanto em salsichas cozidas. Essa bactéria Gram-positiva, psicotrófica e anaeróbia facultativa, foi inicialmente identificada em carne bovina embalada a vácuo sob refrigeração e está associada à deterioração de alimentos refrigerados, caracterizada pela formação de limo (Johansson *et al.*, 2022).

*Enterococcus faecalis* é uma bactéria Gram-positiva anaeróbica facultativa, sensível aos compostos do lúpulo, como observado na produção de tarhana. Presente naturalmente na microbiota intestinal de humanos e animais, ela pode contaminar alimentos de origem animal, como carnes, leite e derivados, além de produtos fermentados. A presença dessa bactéria nesses alimentos pode indicar contaminação fecal e representar um risco à saúde, pois ela é capaz de causar infecções graves e apresenta alta resistência a antibióticos (Barel *et al.*, 2023).

O extrato de lúpulo reduziu em 1,0 log o crescimento de *Escherichia coli* em queijo fresco, resultado incomum para uma bactéria Gram-negativa. *Escherichia coli* é uma bactéria anaeróbia facultativa comumente encontrada no trato intestinal de humanos e animais, onde geralmente é inofensiva. Desse modo, sua presença também pode indicar contaminação fecal, e algumas cepas são capazes de contaminar alimentos e bebidas, ocasionando infecções intestinais e doenças como gastroenterite, diarreia e disenteria (Herawati *et al.*, 2023).

*Candida albicans*, uma levedura naturalmente presente no corpo humano, pode causar candidíase quando há desequilíbrios na imunidade ou na microbiota. Em amostras de tarhana, seu crescimento foi inibido devido à sensibilidade aos compostos do lúpulo (Kunyeit *et al.*, 2021).

As bactérias Gram-negativas da família *Enterobacteriaceae* não foram afetadas pelo extrato de lúpulo em peito de frango e linguiça fresca de cordeiro, evidenciando a resistência desse grupo. Por outro lado, *Listeria monocytogenes*, comumente sensível à ação do lúpulo, não apresentou crescimento inibido em hambúrgueres de carne bovina com 20% de gordura, indicando que a matriz alimentar pode reduzir a eficácia do conservante. Entre as leveduras, *Candida parapsilosis* mostrou resistência ao extrato de lúpulo em amostras de tarhana, enquanto *Candida albicans* foi inibida, demonstrando que a ação antimicrobiana do lúpulo é seletiva, dependendo da espécie e do alimento testado (Carballo *et al.*, 2019; Gulbandilar, 2021; Nieto *et al.*, 2020; Papadochristopoulos *et al.*, 2025).

## 4.7 APLICABILIDADE TECNOLÓGICA: VANTAGENS E LIMITAÇÕES

### 4.7.1 Vantagens

O lúpulo se encaixa na tendência "*clean label*", que valoriza ingredientes naturais, reconhecíveis e rastreáveis pelo consumidor, presentes em produtos sem aditivos artificiais e com listas de ingredientes mais simples. Seu uso como conservante permite às indústrias substituírem aditivos sintéticos por um ingrediente natural, aumentando a confiança e a aceitação do consumidor (Cao; Miao, 2022).

A aplicação do lúpulo como conservante natural está alinhada aos princípios da Agenda 2030 da ONU, ao contribuir para a redução de perdas e desperdício de alimentos, para a diminuição do uso de aditivos sintéticos e para a promoção de sistemas alimentares mais seguros e sustentáveis. Seu uso integra inovação tecnológica e segurança dos alimentos, fortalecendo padrões de produção e consumo compatíveis com o desenvolvimento sustentável (Silvia, 2020).

Um dos desafios na substituição de conservantes é preservar as características sensoriais dos alimentos. Em concentrações efetivas, o lúpulo não causou alterações perceptíveis no sabor ou aroma de mortadela, frango, salsicha e suco de maçã. Testes triangulares e de escala hedônica não identificaram diferenças significativas entre produtos tratados com lúpulo e controles. Além disso, em alguns casos, o lúpulo pode valorizar o perfil aromático, como observado em linguiças, onde aumentou a presença de terpenos como mirceno e humuleno, conferindo complexidade ao aroma (Carballo *et al.*, 2020; Comi *et al.*, 2024; Kramer *et al.*, 2021; Nieto *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2024).

O lúpulo apresenta dupla funcionalidade, combinando ação antimicrobiana e forte atividade antioxidante. Essa combinação contribui para a estabilidade de cor, limita a oxidação lipídica e retarda o escurecimento de produtos, permitindo que um único ingrediente desempenhe múltiplos papéis na conservação. Em produtos cárneos, por exemplo, a oxidação de gorduras e a degradação de pigmentos são fatores importantes na perda de qualidade, e os compostos do lúpulo, especialmente os polifenóis, demonstraram aumentar a resistência à oxidação e auxiliar na manutenção da cor em hambúrgueres e mortadelas, além de reduzir a degradação de gorduras em linguiças por meio do sequestro de oxigênio (Arruda *et al.*, 2021, Astray *et al.*, 2020; Carballo *et al.*, 2020; Hrnčič *et al.*, 2019; Kramer *et al.*, 2021; Zhang *et al.*, 2024).

Além de seus efeitos conservantes, a adição de lúpulo pode enriquecer os alimentos com compostos bioativos benéficos. Em pães, a incorporação do extrato elevou o teor de polifenóis

e a atividade antioxidante, enquanto em queijo frescal aumentou o conteúdo fenólico e a atividade antioxidante, proporcionando também uma coloração mais amarelada e estável. Em suco de maçã, o HHCL retardou o escurecimento, efeito atribuído às suas propriedades antioxidantes. Dessa forma, o lúpulo se mostra uma alternativa promissora para melhorar a conservação, a estabilidade e o valor funcional dos alimentos (Irakli *et al.*, 2019; Kyrykbaeva *et al.*, 2025; Nionelli *et al.*, 2018; Zhang *et al.*, 2024).

#### 4.7.2. Desvantagens

A presença de gordura na matriz alimentar limita a eficácia dos compostos ativos do lúpulo, como os  $\beta$ -ácidos, que são hidrofóbicos e lipofílicos e tendem a se ligar à fase lipídica. Esse efeito reduz a biodisponibilidade dos compostos e restringe sua ação antimicrobiana em produtos com alto teor de gordura como hambúrgueres de carne bovina, linguiças frescas de cordeiro e em queijos mais gordurosos, como o Camembert, enquanto produtos com baixo teor lipídico apresentaram maior sensibilidade à ação do lúpulo (Arruda *et al.*, 2021; Carballo *et al.*, 2019; Papadochristopoulos *et al.*, 2025).

O espectro de ação do lúpulo é específico, apresentando maior eficácia contra bactérias Gram-positivas, o que representa um desafio em casos de deterioração causada por microrganismos Gram-negativos. A membrana externa dessas bactérias, composta por lipopolissacarídeos, atua como uma barreira, dificultando a penetração dos  $\alpha$  e  $\beta$  ácidos do lúpulo. Entre os fungos, a ação também se mostra seletiva (Carballo *et al.*, 2019; Fahle, Bereswill; Heimesaat, 2022; Gulbandilar, 2021).

A concentração de compostos bioativos no lúpulo varia conforme a cultivar, a safra e o método de extração, tornando necessária a padronização dos extratos e a definição de dosagens adequadas para cada tipo de alimento. A eficácia antimicrobiana depende da concentração e pode exigir níveis mais elevados em matrizes complexas, podendo comprometer a viabilidade econômica ou gerar alterações sensoriais indesejáveis. Além disso, a atividade antimicrobiana é influenciada por fatores como pH e temperatura, sendo mais eficaz em ambientes ácidos e podendo apresentar menor efeito em alimentos neutros ou alcalinos. A aplicação de extratos em solução aquosa também pode aumentar a atividade de água do produto, favorecendo a proliferação microbiana (Arruda *et al.*, 2021; Astray *et al.*, 2020; Carballo *et al.*, 2019; Hrnčič *et al.*, 2019; Kramer *et al.*, 2015; Kramer *et al.*, 2021; Papadochristopoulos *et al.*, 2025; Violet *et al.* (2023); Zhang *et al.*, 2021).

#### 4.8 PERSPECTIVAS FUTURAS

Para superar os desafios observados, as pesquisas futuras devem concentrar esforços no desenvolvimento de estratégias de aplicação mais avançadas. Tecnologias como a microencapsulação, apontada por Carballo *et al.* (2019), podem proteger os compostos bioativos e controlar sua liberação na matriz alimentar, reduzindo a interferência da gordura e ampliando sua estabilidade.

A investigação de derivados do lúpulo, como o HHCL, que apresentou elevada eficácia mesmo em baixas concentrações, também se mostra um caminho promissor. Paralelamente, a validação em escala industrial e análises sensoriais abrangentes serão fundamentais para confirmar a viabilidade do lúpulo como conservante natural em alimentos. Embora os resultados sensoriais disponíveis sejam positivos, a consolidação comercial exigirá testes com painéis de consumidores diversificados, a fim de avaliar a aceitação do produto em diferentes perfis de público.

Apesar de os principais mecanismos de ação já terem sido identificados, ainda existem lacunas de compreensão. Estudos adicionais que utilizem ferramentas como a transcriptômica, conforme proposto por Zhang *et al.* (2024), podem esclarecer de forma mais detalhada os efeitos dos compostos sobre a fisiologia microbiana. Esse entendimento poderá revelar novas sinergias e contribuir para o aprimoramento das formulações.

Com base na análise dos estudos revisados, destaca-se a importância de que futuras investigações descrevam de maneira detalhada a composição dos alimentos avaliados. Essa etapa não constitui apenas uma exigência metodológica, mas um fator essencial para garantir a validade, a reprodutibilidade e, sobretudo, a aplicabilidade tecnológica dos resultados obtidos.

Por fim, o uso de solventes alternativos, preferencialmente apolares, capazes de gerar extratos lipídicos sem elevar a atividade de água dos alimentos, pode representar uma abordagem eficiente para melhorar a estabilidade e o desempenho dos extratos de lúpulo.

## 5 CONCLUSÃO

É notável o potencial do lúpulo como agente conservante de origem natural na indústria de alimentos, alinhado à crescente demanda por produtos *clean label*. Apesar do seu potencial tecnológico, a aplicação do lúpulo apresenta elevada complexidade, uma vez que sua eficácia depende diretamente das características da matriz alimentar, como por exemplo o teor de lipídios. A atividade antimicrobiana do lúpulo é principalmente atribuída aos  $\alpha$  e  $\beta$  ácidos, em especial aos  $\beta$ -ácidos, e a compostos fenólicos como o xantohumulol, principalmente contra bactérias Gram-positivas, como *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus* e diferentes espécies de bactérias ácido-láticas, importantes por seu papel na deterioração e na contaminação de alimentos.

Além de atuar como conservante, o lúpulo apresenta vantagens tecnológicas relevantes, destacando-se por sua ação simultânea antimicrobiana e antioxidante. Essa combinação favorece a manutenção da cor, reduz a oxidação lipídica e retarda o escurecimento, resultando em maior valor agregado e extensão da vida útil dos alimentos. Além disso, sua capacidade de incorporar compostos bioativos sem comprometer as características sensoriais reforça seu potencial de aplicação industrial, alinhadas com tecnologias como a microencapsulação. Adicionalmente, a exploração de derivados do lúpulo, como a HHCL, e a padronização dos extratos são fundamentais para garantir a reprodutibilidade e a eficácia da aplicação.

Portanto, o lúpulo se destaca como uma alternativa eficaz aos conservantes sintéticos. Embora não represente uma solução universal, sua aplicação direcionada, combinada com avanços tecnológicos e compreensão aprofundada das interações com a matriz alimentar, fortalece seu papel como ingrediente estratégico no desenvolvimento de alimentos mais seguros, estáveis e compatíveis com as expectativas do consumidor atual.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARRUDA, T. R. *et al.* Exclusive Raw Material for Beer Production? Addressing Greener Extraction Techniques, the Relevance, and Prospects of Hops (*Humulus lupulus* L.) for the Food Industry. **Food and Bioprocess Technology**, v. 15, n. 2, p. 275–305, 9 out. 2021.
- ASTRAY, G. *et al.* *Humulus lupulus* L. as a Natural Source of Functional Biomolecules. **Applied Sciences**, v. 10, n. 15, p. 5074, 23 jul. 2020.
- BAREL, M. *et al.* Meta-Analysis of the Global Prevalence of *Enterococcus* spp. in Foods: Antibiotic Resistance Profile of *Enterococcus faecalis* and *Enterococcus faecium*. **Annals of Animal Science**, v. 23, n. 1, p. 107–120, 1 jan. 2023.
- BETANCUR, M. C. *et al.* Comprehensive Characterization of Bioactive Properties in Extracts from Different Chilean Hop Ecotypes (*Humulus lupulus* L.): Antioxidant, Antimicrobial and Antitumor Activities. **Antioxidants**, v. 14, n. 10, p. 1224, 11 out. 2025.
- BOGDANOVA K. *et al.* Inhibitory effect of hop fractions against Gram-positive multi-resistant bacteria. A pilot study. v. 162, n. 4, p. 276–283, 14 nov. 2018.
- CAO, Y.; MIAO, L. Consumer perception of clean food labels. **British Food Journal**, 8 abr. 2022.
- CARBALLO, D. E. *et al.* Microbial Growth and Biogenic Amine Production in a Balkan-Style Fresh Sausage during Refrigerated Storage under a CO<sub>2</sub>-Containing Anaerobic Atmosphere: Effect of the Addition of *Zataria multiflora* Essential Oil and Hops Extract. **Antibiotics**, v. 8, n. 4, p. 227, 15 nov. 2019.
- CARBALLO, D. E. *et al.* The effects of storage and hop extract on aroma and flavour compounds in Balkan-style sausages packed under a CO<sub>2</sub>-containing anaerobic atmosphere. **Heliyon**, v. 6, n. 10, p. e05251–e05251, 1 out. 2020.
- COMI, G. *et al.* *Leuconostoc gelidum* Is the Major Species Responsible for the Spoilage of Cooked Sausage Packaged in a Modified Atmosphere, and Hop Extract Is the Best Inhibitor Tested. **Microorganisms**, v. 12, n. 6, p. 1175–1175, 10 jun. 2024.
- DUARTE, L. M. *et al.* Determination of  $\alpha$ - and  $\beta$ -acids in hops by liquid chromatography or electromigration techniques: A critical review. **Food Chemistry**, v. 397, p. 133671, dez. 2022.
- ECONOMOU, F. *et al.* The concept of food waste and food loss prevention and measuring tools. **Waste management & research**, v. 42, n. 8, 21 mar. 2024.

- FAHLE, A.; BERESWILL, S.; HEIMESAAT, M. M. Antibacterial effects of biologically active ingredients in hop provide promising options to fight infections by pathogens including multi-drug resistant bacteria. **European Journal of Microbiology and Immunology**, v. 12, n. 1, p. 22–30, 20 abr. 2022.
- GULBANDILAR, A. Hops (*Humulus lupulus* L.): A novel ingredient in tarhana. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 45, n. 10, 2 set. 2021.
- HERAWATI, C. *et al.* Sanitary Hygiene and Behavior of Food Handlers in the Presence of *Escherichia coli* Bacteria. **Journal of Pure and Applied Microbiology**, v. 17, n. 4, p. 2098–2103, 13 out. 2023.
- HRNČIČ, M. K. *et al.* Hop Compounds: Extraction Techniques, Chemical Analyses, Antioxidative, Antimicrobial, and Anticarcinogenic Effects. **Nutrients**, v. 11, n. 2, p. 257, 24 jan. 2019.
- HU, Z.; GÄNZLE, M. G. Challenges and opportunities related to the use of chitosan as a food preservative. **Journal of Applied Microbiology**, v. 126, n. 5, p. 1318–1331, 20 nov. 2018.
- HUANG, Z. *et al.* Aptasensors for *Staphylococcus aureus* Risk Assessment in Food. **Frontiers in Microbiology**, v. 12, 16 set. 2021.
- ILLIKOUD, N. *et al.* Transcriptome and Volatilome Analysis During Growth of *Brochothrix thermosphacta* in Food: Role of Food Substrate and Strain Specificity for the Expression of Spoilage Functions. **Frontiers in Microbiology**, v. 10, 8 nov. 2019.
- IRAKLI, M. *et al.* Impact of the combination of sourdough fermentation and hop extract addition on baking properties, antioxidant capacity and phenolics bioaccessibility of rice bran-enhanced bread. **Food Chemistry**, v. 285, p. 231–239, jul. 2019.
- ISHANGULYYEV, R. *et al.* Understanding Food Loss and Waste—why Are We Losing and Wasting food? **Foods**, v. 8, n. 8, p. 297, 29 jul. 2019.
- JOHANSSON, P. *et al.* Pangenome and genomic taxonomy analyses of *Leuconostoc gelidum* and *Leuconostoc gasicomitatum*. **BMC Genomics**, v. 23, n. 1, 9 dez. 2022.
- JURÁŠEK, M. *et al.* About Hop Cones for a Golden Brew. **Chemické Listy**, v. 116, n. 11, p. 668–671, 15 nov. 2022.
- KOBER, L. *et al.* Hop as a phytogetic alternative to antibiotic growth promoters in poultry production. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 3 out. 2024.

- KÖR, B.; KRAWCZYK, A.; WAKKEE, I. Addressing food loss and waste prevention. **British Food Journal**, v. ahead-of-print, n. ahead-of-print, 29 out. 2021.
- KRAMER, B. *et al.* Antimicrobial activity of hop extracts against foodborne pathogens for meat applications. **Journal of Applied Microbiology**, v. 118, n. 3, p. 648–657, 9 jan. 2015.
- KRAMER, B. *et al.* Inhibition of *Listeria monocytogenes* on bologna by a beta acid rich hop extract. **Food Control**, v. 126, p. 108040, 2 mar. 2021.
- KROFTA, K. *et al.* The effect of hop beta acids oxidation products on beer bitterness. **Kvasny Prumysl**, v. 59, n. 10, p. 306–312, 1 out. 2013.
- KYRYKBAEVA S. *et al.* Evaluation of antimicrobial efficacy and shelf life of natural hop extract in cheese production. **CyTA - Journal of Food**, v. 23, n. 1, 2 jan. 2025.
- KUNYEIT L. *et al.* Secondary Metabolites from Food-Derived Yeasts Inhibit Virulence of *Candida albicans*. **mBio**, v. 12, n. 4, 17 ago. 2021.
- LEE, N.-K.; PAIK, H.-D. Status, Antimicrobial Mechanism, and Regulation of Natural Preservatives in Livestock Food Systems. **Korean Journal for Food Science of Animal Resources**, v. 36, n. 4, p. 547–557, 2016.
- NEDELICHEVA A. *et al.* Wild Hops in Breadmaking Among Bulgarians: From History to Modern Perspectives and Future Potentials. **Foods**, v. 14, n. 10, p. 1767–1767, 16 maio 2025.
- NIETO, C. *et al.* Immersing fresh chicken into an aqueous hop (*Humulus lupulus*) extract to delay spoilage during vacuum refrigerated storage. **CyTA - Journal of Food**, v. 18, n. 1, p. 132–136, 1 jan. 2020.
- NIONELLI, L. *et al.* Use of hop extract as antifungal ingredient for bread making and selection of autochthonous resistant starters for sourdough fermentation. **International Journal of Food Microbiology**, v. 266, p. 173–182, fev. 2018.
- OLADEJI O. S. *et al.* Unveiling plants with food preservative properties. **Nutrire**, v. 49, n. 2, 9 jul. 2024.
- PAPADOCHRISTOPOULOS A. *et al.* Potential Use of Selected Natural Anti-Microbials to Control *Listeria monocytogenes* in Vacuum Packed Beef Burgers and Their Impact on Quality Attributes. **Microorganisms**, v. 13, n. 4, p. 910–910, 16 abr. 2025.
- RAMAPRASAD A.; KASHYAP, S. Definition of Food Consumption, Loss, and Waste. **Sustainability**, v. 16, n. 11, p. 4846–4846, 6 jun. 2024.

- ROSA, R. S.; LANNES, S. C. da S. Hop extracts and their utilizations: perspectives based on the last 10 years of research. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, v. 60, 1 jan. 2024.
- SANSAWAT, T. *et al.* Inhibition of *Listeria monocytogenes* in deli-style Turkey using hop acids, organic acids, and their combinations. *Poultry Science*, v. 98, n. 3, p. 1539–1544, mar. 2019.
- SILVA, M. S. **ABC dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Lisboa: Instituto Marquês de Valle Flôr (IMVF), 2020. 51 p.
- TAYLOR, M. H.; ZHU, M.-J. Control of *Listeria monocytogenes* in low-moisture foods. *Trends in Food Science & Technology*, v. 116, p. 802–814, out. 2021.
- VENKATESAN, U.; MUNIYAN R. Review on the extension of shelf life for fruits and vegetables using natural preservatives. *Food Science and Biotechnology*, 18 jun. 2024.
- VIOLET, J. *et al.* The Influence of Heteroresistance on Minimum Inhibitory Concentration, Investigated Using Weak-Acid Stress in Food Spoilage Yeasts. *Applied and Environmental Microbiology*, v. 89, n. 6, 28 jun. 2023.
- WEDZICHA B. L. PRESERVATIVES | Classifications and Properties. *Elsevier eBooks*, p. 4773–4776, 1 jan. 2003.
- XU, Z. *et al.* Spoilage Lactic Acid Bacteria in the Brewing Industry. *JMB*, v. 30, n. 7, p. 955–961, 28 jul. 2020.
- ZHANG, G. *et al.* Hop bitter acids: resources, biosynthesis, and applications. *Applied Microbiology and Biotechnology*, v. 105, n. 11, p. 4343–4356, 22 maio 2021.
- ZHANG, Y. *et al.* Phenotypic and transcriptomic investigation of the antibacterial mechanism of hexahydro-colupulone against *Listeria monocytogenes* and its application in apple juice. *LWT*, v. 194, p. 115770–115770, 28 jan. 2024.