

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE QUÍMICA

THAIS PEDROSA GUERRA

Determinação espectrofotométrica do teor de polifenóis de diferentes cultivares de
***Humulus lupulus* adaptadas ao Cerrado**

UBERLÂNDIA/MG

2026

THAIS PEDROSA GUERRA

**Determinação espectrofotométrica do teor de polifenóis de diferentes cultivares de
Humulus lupulus adaptadas ao Cerrado**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de
Licenciatura em Química da Universidade Federal de
Uberlândia como requisito para a obtenção do título de
Licenciado em Química.

Orientadora: Profa. Dra. Raquel Maria Ferreira Sousa

UBERLÂNDIA/MG

2026

AGRADECIMENTOS

Agradeço:

Ao meu filho, Yan, que me deu forças para continuar com meus objetivos.

À minha mãe e meu pai, Virgínia e Cristiano, pelo apoio e carinho constantes, que me possibilitaram estar aqui.

A minha avó, Maria Abadia, por ficar com meu filho para que eu pudesse estudar e por me apoiar nos momentos difíceis, sem ela nada disso seria possível.

Aos meus amigos da faculdade, pela amizade, apoio e parceria em todo esse período.

À minha orientadora, Prof.^a Dra. Raquel, por me direcionar e me aceitar como sua orientanda, sempre me ajudando.

À mestrande Karinne, e a aluna de iniciação científica Isabella por toda colaboração em laboratório e seus conhecimentos e apoio.

Ao meu namorado, Victor Hugo, por me dar segurança, amor, estabilidade emocional e me ajudar em todos os momentos.

À FAPEMIG, CAPES, RELAM e CNPq pelo apoio financeiro ao projeto.

Aos meus professores da graduação que me fizeram amar ainda mais a química.

RESUMO

O lúpulo (*Humulus lupulus L.*) é uma matéria-prima essencial para a indústria cervejeira, sendo responsável por conferir amargor, aroma e estabilidade microbiológica à bebida por meio de seus metabólitos secundários, além de contribuir para sua estabilidade química e sensorial. Apesar de o Brasil figurar entre os maiores produtores mundiais de cerveja, o país apresenta elevada dependência da importação desse insumo. O presente trabalho teve como objetivo analisar o teor de polifenóis totais em diferentes cultivares de lúpulo sob condições ambientais do Cerrado brasileiro. A metodologia fundamentou-se em protocolos analíticos internacionalmente reconhecidos, empregando o método colorimétrico padronizado pela European Brewery Convention (EBC 7.14) para a determinação de polifenóis. Do ponto de vista químico, a quantificação desses compostos baseia-se na formação de complexos coloridos entre grupos hidroxila fenólicos e íons férricos (Fe^{3+}), em meio alcalino, cuja absorbância é mensurada a 600 nm por espectrofotometria UV-Vis. Os resultados obtidos evidenciaram diferenças nos teores de polifenóis totais entre os três cultivares de lúpulo analisados, mesmo quando cultivados sob as mesmas condições ambientais do Cerrado brasileiro. O cultivar Triple Pearl apresentou o maior teor de polifenóis totais, com valor médio de $5,08 \pm 0,38\%$, seguido pelo cultivar Zeus, com $3,00 \pm 0,08\%$, enquanto o cultivar Comet apresentou o menor teor, correspondente a $2,48 \pm 0,22\%$. Essa variação indica a influência do material genético na biossíntese de compostos fenólicos, mesmo em um mesmo ambiente de cultivo. Os valores obtidos situam-se na mesma ordem de grandeza daqueles reportados na literatura para lúpulos cultivados em regiões tradicionais e em outras regiões do país, sugerindo que as condições tropicais do Cerrado não impedem a formação desses metabólitos secundários. Dessa forma, a caracterização química do teor de polifenóis totais indica a viabilidade técnica do cultivo de lúpulo em clima tropical e reforça o potencial dessa matéria-prima para aplicação na indústria cervejeira, contribuindo para o fortalecimento da produção nacional e para a redução da dependência do mercado externo.

PALAVRAS-CHAVE: *Lúpulo; Humulus lupulus L.; Polifenóis totais; Análise espectrofotométrica; Cultivo tropical.*

ABSTRACT

Hops (*Humulus lupulus L.*) are an essential raw material for the brewing industry, responsible for imparting bitterness, aroma, and microbiological stability to beer through their secondary metabolites, as well as contributing to its chemical and sensory stability. Despite being one of the largest beer producers in the world, Brazil remains highly dependent on imported hops. This study aimed to analyze the total polyphenol content in different hop cultivars grown under environmental conditions of the Brazilian Cerrado. The methodology was based on internationally recognized analytical protocols, using the colorimetric method standardized by the European Brewery Convention (EBC 7.14) for polyphenol determination. From a chemical standpoint, the quantification of these compounds is based on the formation of colored complexes between phenolic hydroxyl groups and ferric ions (Fe^{3+}) in an alkaline medium, with absorbance measured at 600 nm using UV-Vis spectrophotometry. The results showed differences in total polyphenol content among the three hop cultivars analyzed, even when cultivated under the same environmental conditions. The Triple Pearl cultivar presented the highest total polyphenol content ($5.08 \pm 0.38\%$), followed by Zeus ($3.00 \pm 0.08\%$), while Comet showed the lowest value ($2.48 \pm 0.22\%$). This variation indicates the influence of genetic factors on the biosynthesis of phenolic compounds, even under the same cultivation conditions. The values obtained are within the same order of magnitude as those reported in the literature for hops grown in traditional regions and other areas, suggesting that tropical conditions in the Cerrado do not prevent the formation of these secondary metabolites. Thus, the chemical characterization of total polyphenols indicates the technical feasibility of hop cultivation under tropical climate conditions and reinforces the potential of this raw material for application in the brewing industry, contributing to the strengthening of national production and the reduction of dependence on imported hops.

KEYWORDS: *Hops; Humulus lupulus L.; Total polyphenols; Spectrophotometric analysis; Tropical cultivation.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Flor de lúpulo seccionado com destaque para lupulina	12
Figura 2: Mecanismo antioxidante genérico de compostos fenólicos por reação com radicais livres..	13
Figura 3: Estrutura química de alguns dos principais compostos presentes no lúpulo	14
Figura 4: Esquema de reação genérica entre íon Fe^{3+} e as substâncias fenólicas.....	15
Figura 5: a) Imagem da planta conhecida como lúpulo, cultivada na região do Cerrado e b) Imagem dos cones de lúpulo	19
Figura 6: Fluxograma do procedimento experimental para a extração e determinação do teor de polifenóis totais em amostras de lúpulo (<i>Humulus lupulus L.</i>)	20
Figura 7: Comparação entre os cones de lúpulo, Comet, Triple Pearl e Zeus.	22

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Teor de polifenóis totais em três tipos de cultivares cultivados na região do cerrado	21
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS

EBC	European Brewery Convention
USDA	U.S. Department of Agriculture

Sumário

1. INTRODUÇÃO	10
2. REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1 Descrição Botânica	11
2.2 Análise Química	12
2.2.1 Polifenóis	12
2.3 Atividade Biológica	15
3. OBJETIVOS	17
3.1. Objetivos Específicos	17
4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	17
4.1 Material Vegetal	17
4.2 Equipamentos	19
4.3. Reagentes.....	19
4.4 Metodologia	20
4.4.1 Determinação de polifenóis totais.....	20
4.4.2 Tratamento de dados.....	21
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
6. CONCLUSÕES.....	23
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25

1. INTRODUÇÃO

O lúpulo (*Humulus lupulus L.*) é um insumo estratégico para a indústria cervejeira, sendo responsável por conferir amargor, aroma e estabilidade microbiológica à bebida, além de contribuir para sua estabilidade química e sensorial. Historicamente, o Brasil, apesar de figurar entre os maiores produtores mundiais de cerveja, depende quase integralmente da importação dessa matéria-prima, o que expõe o setor a variações cambiais e limitações logísticas. No entanto, esse cenário vem sendo gradualmente modificado com a expansão do cultivo do lúpulo para regiões de clima tropical, desafiando a concepção tradicional de que essa cultura estaria restrita a latitudes temperadas (Durello; Silva; Bogusz Jr., 2019; Souza et al., 2024).

A viabilidade econômica e tecnológica do lúpulo nacional está diretamente relacionada à sua composição química. Conforme destacado por Durello, Silva e Bogusz Jr. (2019, p. 900), “o lúpulo como ingrediente na produção de cerveja confere aroma, amargor e estabilidade coloidal à espuma, além de atuar como antioxidante”. Nesse contexto, os compostos fenólicos, especialmente os polifenóis, assumem papel central, uma vez que estão associados à atividade antioxidante da bebida, à proteção contra processos oxidativos e à manutenção de suas características sensoriais. Em regiões como o Cerrado, fatores ambientais como alta incidência solar e características específicas do solo podem influenciar a biossíntese desses metabólitos secundários, tornando necessária a avaliação química de cultivares adaptadas a essas condições.

Dessa forma, a caracterização do teor de polifenóis totais em lúpulos cultivados sob condições tropicais constitui um passo relevante para a avaliação de aspectos relacionados ao seu potencial tecnológico. A aplicação de métodos analíticos padronizados permite a obtenção de resultados reprodutíveis e confiáveis, além de possibilitar a comparação com dados reportados na literatura, considerando as limitações associadas às diferentes condições experimentais. Ademais, a quantificação desses compostos fornece subsídios para a discussão do potencial funcional e industrial do lúpulo produzido no país, contribuindo para o fortalecimento da cadeia produtiva nacional e para a redução da dependência externa do setor cervejeiro.

No cultivo de lúpulo, o termo cultivar refere-se a variedades selecionadas de *Humulus lupulus L.* que apresentam características agronômicas, químicas e sensoriais específicas, resultantes de processos de melhoramento genético e adaptação a determinadas condições ambientais. Cada cultivar apresenta perfis distintos de compostos bioativos, como ácidos amargos, óleos essenciais e polifenóis, os quais influenciam diretamente seu potencial tecnológico na produção cervejeira (Durello; Silva; Bogusz Jr., 2019). Entre os cultivares amplamente utilizados destacam-se Comet, Triple Pearl e Zeus, conhecidos por apresentarem

características químicas e sensoriais distintas. O cultivar Comet é tradicionalmente associado a perfis aromáticos cítricos e resinosos, enquanto o Triple Pearl se destaca por seu equilíbrio entre características aromáticas e conteúdo de compostos amargos. Já o cultivar Zeus, pertencente ao grupo conhecido como “CTZ” (Columbus, Tomahawk e Zeus), é reconhecido por apresentar elevado teor de ácidos amargos, sendo frequentemente empregado para conferir amargor e complexidade à cerveja (Freshops, 2024; Hops Brasil, 2024; Brighenti, 2025).

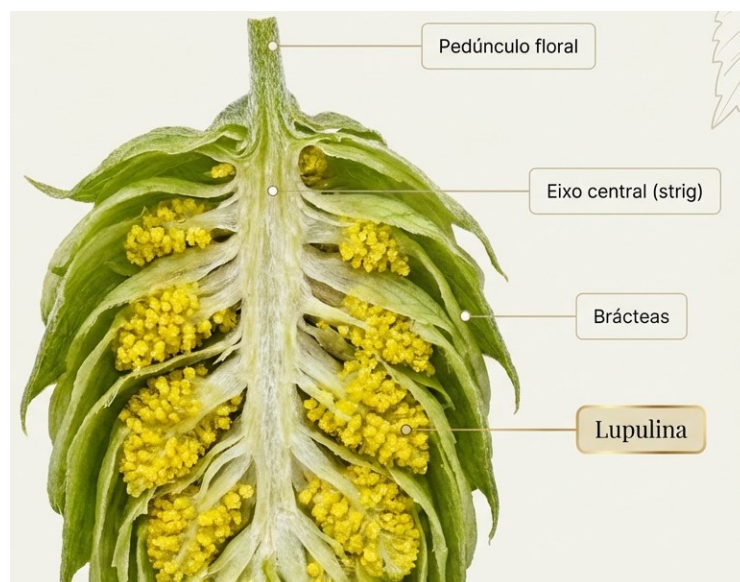
Diante desse contexto, o presente trabalho tem como objetivo determinar o teor de polifenóis totais em três cultivares de lúpulo produzido no Cerrado, utilizando metodologia analítica padronizada, a fim de avaliar o potencial tecnológico e a viabilidade da produção nacional dessa matéria-prima.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Descrição Botânica

O lúpulo é uma planta trepadeira perene e dioica, pertencente à Ordem Rosales e à família Cannabaceae. Botanicamente, destaca-se que apenas as plantas femininas são utilizadas no processo de fabricação da cerveja, devido à presença das glândulas de lupulina em suas inflorescências (Souza et al., 2024). Essas glândulas constituem o local de armazenamento de resinas e óleos essenciais. A planta apresenta sistema radicular do tipo rizoma, o que possibilita sua sobrevivência e rebrota anual, podendo atingir até 9 metros de altura em condições ideais de fotoperíodo. A Figura 1 ilustra um cone de lúpulo seccionado, evidenciando a presença da lupulina.

Figura 1: Flor de lúpulo seccionado com destaque para lupulina



Fonte: Criado por IA, Adaptado de Durello; Silva; Bogusz Jr., 2019.

2.2 Análise Química

A composição química do lúpulo é constituída principalmente por resinas, óleos essenciais e compostos fenólicos. Os compostos fenólicos destacam-se por sua relevância tecnológica e biológica, atuando como antioxidantes naturais, contribuindo para a estabilidade coloidal e sensorial da cerveja e apresentando potencial bioativo de interesse farmacológico.

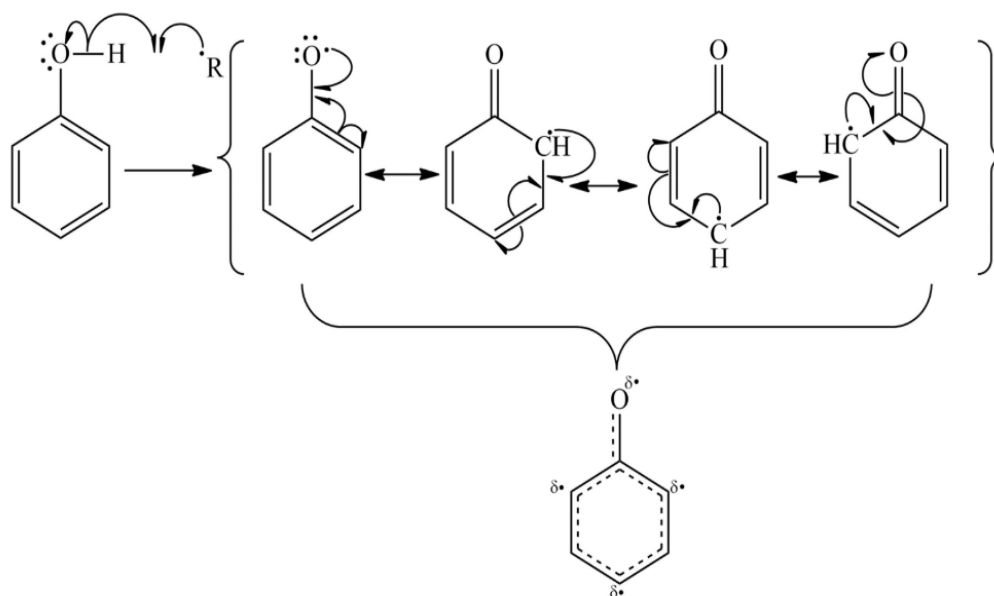
2.2.1 Polifenóis

Os compostos fenólicos do lúpulo correspondem, em média, a cerca de 4% da massa seca dos cones de lúpulo e englobam uma ampla variedade de substâncias com distintas características químicas, como flavonoides, flavan-3-óis, taninos, ácidos fenólicos, flavonoides prenilados e estilbenos (Durello; Silva; Bogusz Jr., 2019). Esses compostos atuam como antioxidantes naturais e, juntamente com os compostos fenólicos provenientes do malte, são responsáveis por grande parte da atividade antioxidante do mosto e da cerveja, protegendo-os de processos oxidativos e contribuindo para a estabilidade química, sensorial e coloidal da bebida (Zanoli; Zavatti, 2008; Durello; Silva; Bogusz Jr., 2019).

Os polifenóis, que constituem uma fração dos compostos fenólicos, representam aproximadamente entre 3 e 6% da massa seca dos cones de lúpulo e desempenham papel fundamental na estabilidade sensorial e na clareza da cerveja (Durello; Silva; Bogusz Jr., 2019; De Keukeleire et al., 2000). Compostos como as prenilchalconas, a exemplo do xanthumol, e

diferentes classes de flavonoides apresentam elevada capacidade de reagir com radicais livres, conferindo ao lúpulo uma expressiva atividade antioxidante, além de potencial aplicação farmacológica e funcional (Zanoli; Zavatti, 2008). A Figura 2 ilustra, de forma esquemática, o mecanismo antioxidante típico de compostos fenólicos, baseado na doação de hidrogênio e na estabilização do radical fenóxi por ressonância.

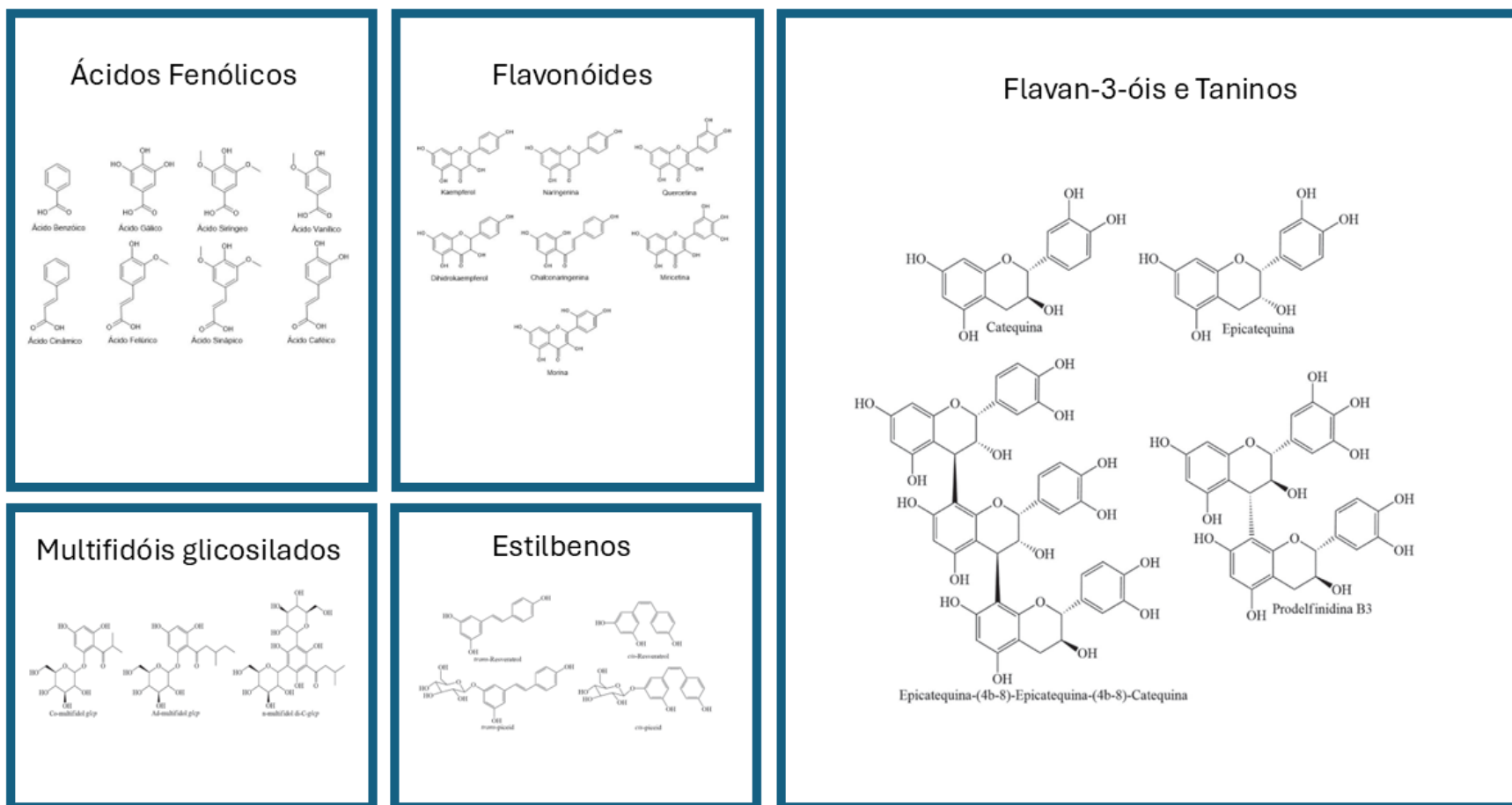
Figura 2: Mecanismo antioxidante genérico de compostos fenólicos por reação com radicais livres



Fonte: Fernando et al. (2016).

A diversidade estrutural dos compostos fenólicos presentes no lúpulo está diretamente relacionada às suas propriedades antioxidantes e tecnológicas. As principais classes de polifenóis encontradas nessa matéria-prima incluem flavonoides, taninos, ácidos fenólicos e compostos prenilados, cujas estruturas químicas influenciam sua capacidade de interação com radicais livres e macromoléculas presentes no mosto e na cerveja. A Figura 3 apresenta exemplos representativos dessas classes de compostos fenólicos comumente descritos na literatura para o lúpulo.

Figura 3: Estrutura química de alguns dos principais compostos presentes no lúpulo

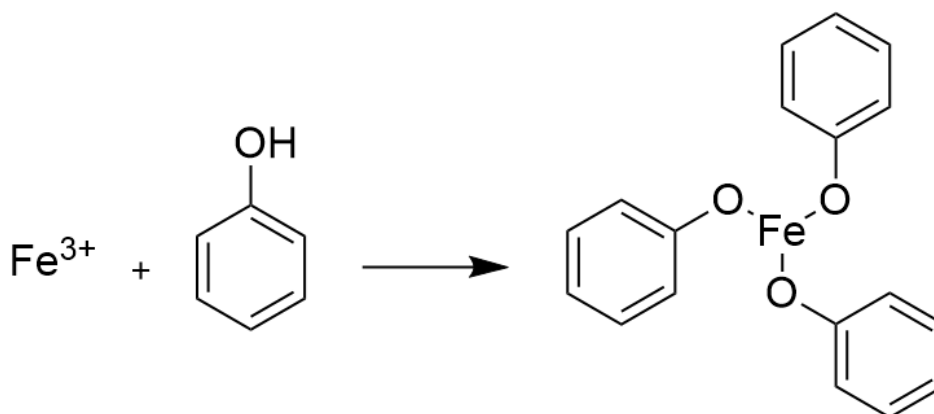


Fonte: Adaptado de Durello et al., 2019

Do ponto de vista analítico, o teor de polifenóis totais em lúpulos é comumente determinado por métodos espectrofotométricos, destacando-se o método colorimétrico padronizado pela European Brewery Convention (EBC). Nesse método, os polifenóis extraídos reagem com íons férricos em meio alcalino, formando complexos coloridos cuja absorbância é medida a 600 nm, permitindo a quantificação reprodutível e comparável desse parâmetro em lúpulos e produtos derivados (EBC, 2015).

Do ponto de vista químico, a base do método espectrofotométrico para determinação de polifenóis totais está associada à capacidade desses compostos em formar complexos estáveis com íons metálicos. Em meio alcalino, os grupos hidroxila fenólicos interagem com íons férricos (Fe^{3+}), resultando na formação de complexos coloridos cuja intensidade é proporcional à concentração de compostos fenólicos presentes na amostra. A Figura 4 ilustra, de forma esquemática, a reação genérica entre o íon Fe^{3+} e substâncias fenólicas, evidenciando o princípio químico que fundamenta a metodologia colorimétrica empregada neste estudo.

Figura 4: Esquema de reação genérica entre íon Fe^{3+} e as substâncias fenólicas



Fonte: Adaptado de Albano, Santos e Bastos (2022).

2.3 Atividade Biológica

No contexto cervejeiro, os compostos fenólicos presentes no lúpulo contribuem para a estabilidade coloidal, sensorial e oxidativa da bebida, influenciando características como clareza, aroma e resistência à degradação durante o armazenamento. Entretanto, a relevância do lúpulo (*Humulus lupulus L.*) não se restringe à sua aplicação tecnológica na produção de cerveja. Essa planta apresenta um perfil químico complexo, rico em metabólitos secundários que despertam crescente interesse também em áreas como saúde e cosméticos, devido às suas propriedades bioativas (Durello; Silva; Bogusz Jr., 2019).

Entre esses metabólitos, destacam-se os compostos fenólicos, especialmente os polifenóis, que exercem papel importante tanto na qualidade da cerveja quanto em atividades biológicas de interesse funcional. Esses compostos apresentam capacidade de reagir com radicais livres, atuando como agentes redutores e contribuindo para a proteção contra processos oxidativos. Estudos recentes demonstraram que extratos de lúpulo apresentam atividade antioxidante mensurável em ensaios químicos baseados na interação com espécies reativas, sendo essa atividade diretamente relacionada ao teor e à composição de compostos fenólicos presentes nas amostras analisadas (Durello; Silva; Bogusz Jr., 2019).

Além da atividade antioxidante, o lúpulo apresenta outras bioatividades relevantes descritas na literatura. Zanolli e Zavatti (2008), por meio de estudos farmacológicos *in vitro* e *in vivo*, relataram efeitos anti-inflamatórios, sedativos e estrogênicos associados a diferentes classes de metabólitos do lúpulo, incluindo flavonoides e compostos prenilados. No caso da atividade anti-inflamatória, os autores observaram a modulação de mediadores inflamatórios e alterações na resposta fisiológica a processos inflamatórios, evidenciando o potencial quimiopreventivo e terapêutico dessa planta. Esses resultados ampliam o interesse pelo lúpulo não apenas como insumo cervejeiro, mas também como matéria-prima com aplicações farmacológicas e funcionais.

Nesse contexto, a investigação das propriedades químicas do lúpulo cultivado sob diferentes condições ambientais torna-se particularmente relevante. A literatura indica que a composição química e as propriedades biológicas associadas aos compostos fenólicos podem variar em função de fatores como clima, intensidade de radiação solar e características do solo (Durello; Silva; Bogusz Jr., 2019). Regiões tradicionalmente produtoras de lúpulo, como o estado de Oregon, nos Estados Unidos, apresentam clima temperado e solos característicos dessas latitudes, enquanto o Cerrado brasileiro se distingue por condições tropicais, maior incidência de radiação solar e solos naturalmente mais ácidos e altamente intemperizados. Essas diferenças ambientais podem influenciar processos fisiológicos da planta e a biossíntese de metabólitos secundários (Borges et al., 2013). Considerando que o cultivo de lúpulo em regiões tropicais representa uma expansão recente dessa cultura, levantam-se questionamentos sobre como as condições do Cerrado podem afetar a formação de compostos fenólicos. Nesse sentido, formulam-se as seguintes hipóteses de investigação: o cultivo do lúpulo no Cerrado altera o teor de polifenóis em relação a dados reportados na literatura? e o lúpulo produzido sob condições tropicais apresenta composição química compatível com sua aplicação tecnológica na indústria cervejeira? A partir dessas questões, a caracterização do teor de polifenóis totais em cultivares

produzidos nesse ambiente torna-se fundamental para avaliar o potencial tecnológico e a viabilidade química do lúpulo cultivado no Brasil.

3. OBJETIVOS

Analisar, de forma quantitativa, o teor de polifenóis totais em três cultivares de lúpulo (*Humulus lupulus* L.) cultivadas no Cerrado, a fim de avaliar seu potencial tecnológico e sua aplicabilidade nas indústrias cervejeira e farmacêutica.

3.1. Objetivos Específicos

- Determinar o teor de polifenóis totais em três cultivares de lúpulo (*Humulus lupulus* L.) utilizando método espectrofotométrico padronizado.
- Comparar os teores de polifenóis totais entre os diferentes cultivares avaliados.
- Discutir o potencial antioxidante e tecnológico dos cultivares de lúpulo produzidos no Cerrado com base nos teores de polifenóis totais.
- Analisar a viabilidade do uso do lúpulo cultivado em condições tropicais como matéria-prima para aplicações nas indústrias cervejeira e farmacêutica.

4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

4.1 Material Vegetal

O material vegetal utilizado neste estudo consistiu em cones de lúpulo (*Humulus lupulus* L.) pertencentes a três cultivares: Comet, Triple Pearl e Zeus. As amostras foram provenientes de plantas cultivadas sob clima tropical no Cerrado, no município de Uberlândia – MG, em área experimental localizada no Instituto Federal do Triângulo Mineiro (IFTM), Campus Uberlândia, situado na Fazenda Sobradinho (18°45'57,1" S; 48°17'36,8" W).

O cultivar Comet é uma variedade de lúpulo (*Humulus lupulus* L.) de linhagem histórica, desenvolvida pelo programa de melhoramento do USDA em Corvallis, Oregon. Sua genealogia remonta a 1961, sendo resultado de um cruzamento entre uma fêmea inglesa do cultivar 'Sunshine' e um macho selvagem procedente do estado de Utah (USDA 5806M), conferindo-lhe uma robustez característica. Lançado comercialmente em 1974, o Comet é

morfologicamente distinguível pela coloração amarelo-pálida de suas folhas jovens. Apresenta cones de formato ovalado e alongado, com brácteas relativamente soltas e glândulas de lupulina de coloração dourada. Embora tradicionalmente classificado por seu potencial de amargor (alfa-ácidos entre 9,4-12,4%), destaca-se atualmente por seu perfil aromático resinoso e de frutas tropicais, com rendimentos produtivos entre 1900 e 2240 kg/hectare (Freshops, 2024; Hops Brasil, 2024; Brighenti, 2025; USDA, 2013).

O cultivar Triple Pearl é uma variedade triploide de lúpulo (*Humulus lupulus L.*), desenvolvida pelo programa de melhoramento genético do USDA e lançada oficialmente em 2013. Geneticamente, trata-se de um cruzamento entre uma matriz tetraploide do cultivar alemão 'Perle' e uma linhagem masculina diploide desconhecida, apresentando em sua linhagem traços dos cultivares Northern Brewer e Hallertau. Caracteriza-se por ser uma planta dioica e sem sementes, com vigor de crescimento acentuado e adaptação favorável a climas mais quentes. Morfologicamente, produz cones de formato arredondado e estrutura muito compacta, com brácteas densas que protegem glândulas de lupulina abundantes (Freshops, 2024; Hops Brasil, 2024; USDA, 1974).

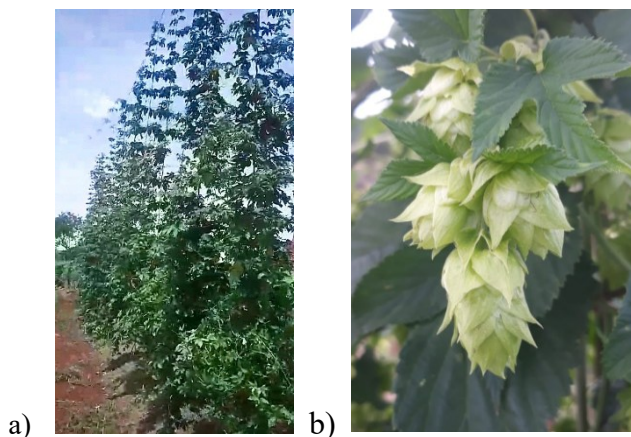
O cultivar Zeus é uma variedade de lúpulo (*Humulus lupulus L.*) de alto rendimento, amplamente reconhecida por sua elevada capacidade de amargor e vigor produtivo, com rendimentos que podem variar entre 2600 e 3400 kg/hectare. Historicamente, integra o grupo de cultivares conhecidas como CTZ (Columbus, Tomahawk e Zeus), compartilhando características semelhantes, embora análises de cromatografia gasosa e perfis químicos o identifiquem como um cultivar distinto, frequentemente apresentando teores de alfa-ácidos (13-20%) e óleos essenciais (1,5-2,4 ml/100g) superiores aos demais membros do grupo. Geneticamente, sua origem remete ao trabalho de Charles Zimmerman e à parceria HUSA-CEZ, LLC, sendo um material vegetal de morfologia ovalada, robusta e muito densa, com glândulas de lupulina de coloração alaranjada (Freshops, 2024; Hops Brasil, 2024; Brighenti, 2025; USDA, 2013).

Os cultivares foram coletados no Instituto Federal do Triângulo Mineiro (IFTM) pelo Dr. Eduardo Santos Almeida e Msc. Wilson Boitrage, responsáveis pelo cultivo experimental das plantas na região. As amostras foram fornecidas prontas para análise, acondicionadas em embalagens a vácuo, com o objetivo de preservar suas características químicas. Até o momento da realização dos ensaios analíticos, as amostras permaneceram armazenadas em suas embalagens originais, protegidas da luz e do calor e em baixa temperatura.

Com o intuito de ilustrar o material vegetal analisado e o contexto do cultivo experimental, a Figura 5 a) apresenta a planta de lúpulo (*Humulus lupulus L.*) cultivada sob

condições de clima tropical no Cerrado e b) apresenta os cones de lúpulo coletados, parte da planta utilizada nas análises químicas deste estudo.

Figura 5: a) Imagem da planta conhecida como lúpulo, cultivada na região do Cerrado e b) Imagem dos cones de lúpulo



Fonte: Arquivo pessoal de Wilson Boitrigo (2025).

4.2 Equipamentos

- Sistema de refluxo composto por balão de fundo redondo, condensador e manta aquecedora (Fisatom);
- Balança analítica (Shimadzu);
- Espectrofotômetro UV-Vis (THERMO FISHER SCIENTIFIC modelo Genesys 10s), operando na região do visível;
- Vidrarias laboratoriais usuais, incluindo balões volumétricos, pipetas, béqueres, provetas e cubeta de quartzo.

4.3. Reagentes

Os reagentes químicos utilizados foram: Água destilada, Carboximetilcelulose (CMC) / EDTA dissódico (Dinâmica), citrato férrico amoniacal (Dinâmica) e hidróxido de amônio (Êxodo científica).

4.4 Metodologia

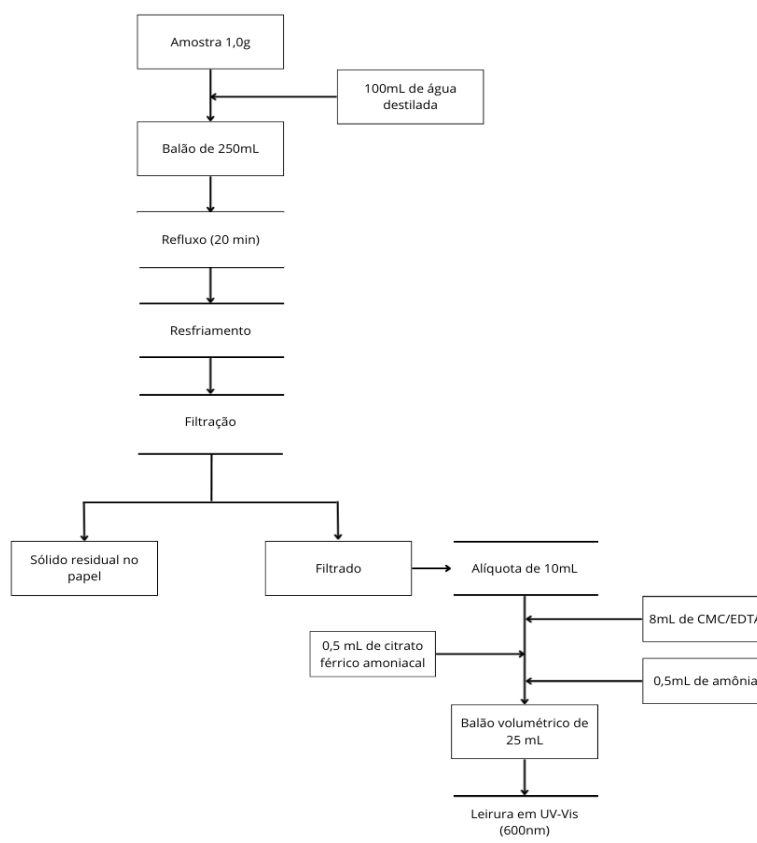
4.4.1 Determinação de polifenóis totais

A extração dos compostos fenólicos das amostras de lúpulo foi realizada por refluxo. Para isso, foi pesada 1,0 g da amostra, a qual foi transferida para um balão de fundo redondo contendo 100 mL de água destilada. O sistema foi acoplado a um condensador e submetido a aquecimento em manta aquecedora por um período de 20 minutos.

Após o término do refluxo, o extrato obtido foi resfriado à temperatura ambiente e, quando necessário, submetido à filtração para remoção de material particulado. O extrato aquoso obtido foi então utilizado para a determinação do teor de polifenóis totais.

A quantificação foi realizada por método espectrofotométrico, baseado na reação dos compostos fenólicos com íons férricos em meio alcalino, conforme metodologia recomendada pela European Brewery Convention (EBC). As leituras de absorbância foram realizadas em espectrofotômetro UV-Vis no comprimento de onda de 600 nm. A Figura 6 apresenta um fluxograma do procedimento experimental descrito.

Figura 6: Fluxograma do procedimento experimental para a extração e determinação do teor de polifenóis totais em amostras de lúpulo (*Humulus lupulus L.*)



Fonte: Próprio autor (2026)

O procedimento iniciou-se com a pesagem de 1,0 g da amostra de lúpulo, a qual foi submetida à extração por refluxo em 100 mL de água destilada por um período de 20 minutos. Após o resfriamento, o extrato obtido foi filtrado e uma alíquota de 10 mL foi transferida para um balão volumétrico de 25 mL para a realização da reação colorimétrica.

A esta alíquota foram adicionados 8 mL da solução de CMC/EDTA, 0,5 mL de citrato férrico amoniacal e 0,5 mL de amônia, sendo o volume final completado com água destilada em balão volumétrico.

O branco analítico foi preparado individualmente para cada amostra, seguindo o mesmo procedimento descrito, porém sem a adição do citrato férrico amoniacal, substituindo-se seu volume equivalente por água destilada.

As leituras de absorbância das amostras foram realizadas em espectrofotômetro UV-Vis no comprimento de onda de 600 nm, utilizando-se o respectivo branco como referência.

4.4.2 Tratamento de dados

As análises químicas foram realizadas em triplicata para cada cultivar de lúpulo avaliada. Os valores de absorbância obtidos nas determinações de polifenóis totais foram utilizados para o cálculo das concentrações correspondentes, conforme as equações previstas no método analítico adotado.

Os resultados foram expressos como média $\pm$ desvio padrão, visando à avaliação da reprodutibilidade dos ensaios. O tratamento dos dados foi realizado por meio de cálculos matemáticos em planilha eletrônica, permitindo a organização, tabulação e posterior análise comparativa entre as diferentes cultivares estudadas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os teores de polifenóis totais determinados para as três cultivares de lúpulo analisadas, expressos como média $\pm$ desvio padrão. Observou-se variação nos teores de polifenóis entre as cultivares Comet, Triple Pearl e Zeus, indicando influência do material genético mesmo sob as mesmas condições de cultivo.

Tabela 1: Teor de polifenóis totais em três tipos de cultivares cultivados na região do cerrado

CULTIVAR	% DE POLIFENÓIS	DESVIO PADRÃO
COMET	2,48	0,22
TRIPLE PEARL	5,08	0,38
ZEUS	3,00	0,08

Fonte: a autora

Dentre os cultivares estudados, o Triple Pearl apresentou o maior teor de polifenóis totais ($5,08 \pm 0,38\%$), seguido pelo cultivar Zeus ($3,00 \pm 0,08\%$) e pelo cultivar Comet ($2,48 \pm 0,22\%$). Esses resultados evidenciam diferenças quantitativas relevantes na composição fenólica entre as variedades analisadas, as quais podem ser atribuídas principalmente às características genéticas específicas de cada cultivar.

O cultivar Comet apresenta cones de formato ovalado e alongado, com brácteas mais soltas e glândulas de lupulina de coloração dourada. O cultivar Triple Pearl produz cones mais arredondados e compactos, com brácteas densas e maior concentração aparente de lupulina. Já o cultivar Zeus apresenta cones de maior robustez e densidade estrutural, com glândulas de lupulina de coloração alaranjada. Essas diferenças morfológicas podem estar associadas à variação observada no teor de polifenóis totais entre os cultivares, uma vez que, conforme descrito na literatura, aproximadamente 70% dos polifenóis do lúpulo estão localizados nas brácteas, enquanto cerca de 30% encontram-se nas glândulas de lupulina (Durello; Silva; Bogusz Jr., 2019). Dessa forma, variações na densidade e organização dessas estruturas podem influenciar a concentração desses compostos. A Figura 7 ilustra as diferenças morfológicas observadas entre os cultivares analisados.

Figura 7: Comparação entre os cones de lúpulo, Comet, Triple Pearl e Zeus.



Fonte: Gerado por IA, adaptado de Brighenti et. al 2024 e USDA.

Os valores obtidos situam-se próximo a faixa reportada na literatura para polifenóis totais em cones de lúpulo, geralmente entre 3% e 6% da massa seca (Durello; Silva; Bogusz Jr., 2019; De Keukeleire et al., 2000). No entanto, ressalta-se que os compostos fenólicos não constituem o principal parâmetro de qualidade tecnológica do lúpulo na indústria cervejeira,

sendo essa análise mais relevante para a compreensão do perfil químico das amostras e de seu potencial antioxidante.

De modo geral, os valores de desvio padrão obtidos demonstram precisão satisfatória das análises, considerando que os ensaios foram realizados em triplicata.

A variação nos teores de polifenóis observada entre os cultivares pode estar relacionada à resposta fisiológica das plantas às condições ambientais do Cerrado, caracterizadas por elevada incidência solar, temperaturas mais elevadas e variações na disponibilidade hídrica. A literatura aponta que fatores ambientais, como luz, temperatura e disponibilidade de água, influenciam diretamente a biossíntese e o acúmulo de compostos fenólicos em plantas, uma vez que esses metabólitos secundários estão associados a mecanismos de defesa e adaptação ao estresse ambiental (Kumar et al., 2023; Borges et al., 2013).

Assim, os resultados obtidos neste estudo demonstram que o cultivo de lúpulo sob condições tropicais pode originar matérias-primas com teores expressivos de polifenóis totais. Embora a literatura ainda seja limitada quanto ao uso desses compostos como parâmetro comparativo direto de qualidade, os dados obtidos indicam que o lúpulo cultivado no Cerrado apresenta potencial relevante do ponto de vista químico e tecnológico, especialmente no que se refere à contribuição antioxidante e à estabilidade do produto final.

6. CONCLUSÕES

O presente trabalho permitiu a determinação dos teores de polifenóis totais em três cultivares de lúpulo (*Humulus lupulus* L.) cultivadas sob condições ambientais do Cerrado, utilizando metodologia espectrofotométrica padronizada. O método colorimétrico EBC 7.14 mostrou-se adequado, reprodutível e eficiente para a quantificação desses compostos, apresentando boa precisão experimental, conforme evidenciado pelos baixos valores de desvio padrão obtidos nas análises realizadas em triplicata.

Os resultados evidenciaram variação nos teores de polifenóis totais entre os cultivares analisados, com destaque para o cultivar Triple Pearl, seguido por Zeus e Comet. Essas diferenças sugerem a influência do material genético na composição fenólica do lúpulo, mesmo quando cultivado sob as mesmas condições ambientais, reforçando a importância da escolha do cultivar para aplicações tecnológicas específicas.

Embora os compostos fenólicos não constituam o principal parâmetro de qualidade do lúpulo na indústria cervejeira, os teores observados mostram-se consistentes com dados reportados na literatura, como os descritos por Durello; Silva; Bogusz Jr. (2019) e De

Keukeleire et al. (2000), indicando que o cultivo em condições tropicais não compromete a presença desses metabólitos de interesse. Nesse sentido, a quantificação de polifenóis totais contribui para a compreensão do perfil químico do lúpulo cultivado no Cerrado, especialmente no que se refere ao seu potencial antioxidante e à sua influência na estabilidade da bebida.

Dessa forma, os resultados deste estudo indicam que o lúpulo cultivado no Cerrado apresenta viabilidade técnica e potencial tecnológico para aplicação na indústria cervejeira, além de contribuir para a ampliação do conhecimento sobre a composição química dessa cultura em condições tropicais. Como perspectivas futuras, recomenda-se a realização de estudos comparativos entre os cultivares de lúpulo produzido no Cerrado e provenientes de regiões tradicionalmente produtoras, a fim de estabelecer parâmetros mais robustos de avaliação da qualidade e da composição química. Adicionalmente, sugere-se a ampliação do número de cultivares analisados, bem como a investigação de outros parâmetros químicos relevantes, como ácidos amargos e óleos essenciais, de modo a complementar a caracterização tecnológica do lúpulo produzido no Brasil.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBANO, Wladimir M.; SANTOS, Marcelo G.; BASTOS, Wagner G. O estudo da teoria ácido-base de Lewis a partir de respostas com substâncias fenólicas de plantas medicinais. *Química Nova na Escola*, v. 43, n. 3, p. 361–366, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.21577/0104-8899.20160278>

BORGES, L. L.; ALVES, S. F.; SAMPAIO, B. L.; CONCEIÇÃO, E. C.; BARA, M. T. F.; PAULA, J. R. Environmental factors affecting the concentration of phenolic compounds in *Myrcia tomentosa* leaves. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, v. 23, n. 2, p. 230–238, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-695X2013005000019>.

BRIGHENTI, L. H. M. Avaliação agronômica e química de 10 variedades de lúpulo em Lages-SC. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais, Florianópolis, 2025. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/265002>.

DE KEUKELEIRE, D. Fundamentals of beer and hop chemistry. *Química Nova*, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 108-112, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422000000100019>

DURELLO, Renato S.; SILVA, Lucas M.; BOGUSZ JÚNIOR, Stanislaw. Química do lúpulo. *Química Nova*, v. 42, n. 8, p. 900–919, 2019. DOI: <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170412>

EUROPEAN BREWERY CONVENTION (EBC). Analytica-EBC: Method 7.14: Total Polyphenols in Hops and Hop Products by Spectrophotometry. Nuremberg: Fachverlag Hans Carl, 2015.

FERNANDO, I. P. S.; KIM, M.; SON, K.-T.; JEONG, Y.; JEON, Y.-J. Antioxidant Activity of Marine Algal Polyphenolic Compounds: A Mechanistic Approach. *Journal of Medicinal Food*, Jersey City, v. 19, n. 7, p. 615–628, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1089/jmf.2016.3706>

FRESHOPS. USDA Named Hop Variety Descriptions. Philomath, OR, 2024. Disponível em: <https://freshops.com/usda-named-hop-variety-descriptions/>. Acesso em: 8 mar. 2026.

HOPS BRASIL. Mudanças de Lúpulo: Triple Pearl. Disponível em: <https://www.hopsbrasil.com.br/mudas>. Acesso em: 8 mar. 2026.

KUMAR, K.; DEBNATH, P.; SINGH, S.; et al. An overview of plant phenolics and their involvement in abiotic stress tolerance. *Stresses*, v. 3, n. 3, p. 570–583, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/stresses3030040>

MARTINS, Lara Azevedo. Padronização e controle de qualidade em laboratório cervejeiro: um estudo aplicado. 2022. 71p. Monografia - Graduação em Biomedicina - Instituto Federal do Espírito Santo, Vila Velha, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ifes.edu.br/handle/123456789/2817>. Acesso em: 04 jan. 2026.

SOUZA, Beatriz C. de; CONTIN, Daniele R.; VIEIRA, Paulo Cezar; COSTA, Fernando B. Da. Análise de óleos voláteis de lúpulo (*Humulus lupulus* L.) Cascade e Chinook cultivados sob clima tropical no estado de São Paulo. *Química Nova*, v. 47, No. 3, e-20230109, 2024 DOI: <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20230109>

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Agricultural Research Service: Hop Genetic Resources. Corvallis, OR: USDA-ARS, 2024. Disponível em: <https://www.ars.usda.gov/>. Acesso em: 7 mar. 2026.

ZANOLI, P.; ZAVATTI, M. Pharmacognostic and pharmacological profile of *Humulus lupulus* L. *Journal of Ethnopharmacology*, v. 116, n. 3, p. 383–396, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2008.01.011>