

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto
completo desta dissertação será
disponibilizado somente a partir de
24/02/2027

At the author's request, the full text of this
dissertation will not be available online until
Feb. 24, 2027

FLÁVIA MYLLENA DOS SANTOS ARAUJO

**VARIAÇÃO SAZONAL EM SAFRAS SUCESSIVAS NO DESEMPENHO
AGRONÔMICO E NA ESTABILIDADE DOS COMPOSTOS DE AROMA E
AMARGOR DO LÚPULO "COMET" CULTIVADOS EM CONDIÇÃO
SUBTROPICAL COM SUPLEMENTAÇÃO LUMINOSA**

Botucatu

2026

FLÁVIA MYLLENA DOS SANTOS ARAUJO

**VARIAÇÃO SAZONAL EM SAFRAS SUCESSIVAS NO DESEMPENHO
AGRONÔMICO E NA ESTABILIDADE DOS COMPOSTOS DE AROMA E
AMARGOR DO LÚPULO “COMET” CULTIVADOS EM CONDIÇÃO
SUBTROPICAL COM SUPLEMENTAÇÃO LUMINOSA**

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus
de Botucatu, para obtenção do título de
Mestre em Agronomia/Horticultura.

Orientador(a): Filipe Pereira Giardini
Bonfim

Botucatu

2026

A663v

Araujo, Flávia Myllena dos Santos

Variação sazonal em safras sucessivas no desempenho agrônomo e na estabilidade dos compostos de aroma e amargor do lúpulo "comet" cultivados em condição subtropical com suplementação luminosa / Flávia Myllena dos Santos Araujo. -- Botucatu, 2026
63 p. : il., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu
Orientador: Filipe Pereira Giardini Bonfim

1. Humulus lupulus L. 2. sazonalidade. 3. Óleo essencial. I. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título:

VARIAÇÃO SAZONAL EM SAFRAS SUCESSIVAS NO DESEMPENHO AGRÔNOMICO E NA ESTABILIDADE DOS COMPOSTOS DE AROMA E AMARGOR DO LÚPULO "COMET" CULTIVADOS EM CONDIÇÃO SUBTROPICAL COM SUPLEMENTAÇÃO LUMINOSA

AUTORA: FLAVIA MYLLENA DOS SANTOS ARAUJO

ORIENTADOR: FILIPE PEREIRA GIARDINI BONFIM

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Agronomia (Horticultura), pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. FILIPE PEREIRA GIARDINI BONFIM (Participação Presencial)
Departamento de Produção Vegetal / UNESP / Câmpus de Botucatu - FCA



Dr. JÚLIO CÉSAR RODRIGUES LOPES SILVA (Participação Virtual)
Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Recursos Genéticos Vegetais / Instituto Agrônomo de Campinas



Prof. Dr. MARCELO DE SOUZA SILVA (Participação Presencial)
Departamento de Produção Vegetal / UNESP / Câmpus de Botucatu - FCA

Botucatu, 24 de fevereiro de 2026.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus por ter me dado forças, sabedoria, permissão e iluminando meu caminho para que pudesse concluir mais uma etapa da minha vida;

A minha mãe, Francileide Santos Araújo, minha avó Joventina Cassiana, as minhas tias Frassinete Araújo e Ana Marcia Muniz e meu tio Francisco Carlos Araújo, por me apoiarem e acreditarem na minha capacidade, pela dedicação e amor incondicional.

Ao meu companheiro, Marcos Nabate por toda paciência, parceria e dedicação durante a realização do meu trabalho.

As minhas melhores amigas e irmãs, em destaque Ludmylla Lima, Alina Cutrim, Laura Muniz e Luiza Muniz por toda amizade, irmandade e compreensão tanto na vida pessoal, como acadêmica.

Ao Prof. Dr. Filipe Pereira Giardini Bonfim, pela orientação, ensinamentos, paciência e exemplo de profissional.

Ao Grupo de Pesquisa em Horticultura Orgânica e Biodiversidade, por toda parceria e dedicação para realização desse trabalho.

A todos os professores e funcionários da FCA.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

RESUMO

O cultivo comercial do lúpulo concentra-se tradicionalmente em regiões temperadas, com um ciclo de crescimento sincronizado com as estações do ano. No Brasil, embora as altas temperaturas da primavera e do verão possam afetar significativamente o rendimento e a qualidade, os invernos amenos oferecem o potencial para mais de uma colheita por ano. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da sazonalidade no desempenho produtivo e qualidade química do lúpulo cultivado em safras sucessivas sob condições de uma região subtropical, sob suplementação luminosa. O experimento foi realizado no pomar da Fazenda Lageado da UNESP em Botucatu, São Paulo, Brasil. Os tratamentos consistiram em duas épocas sucessivas de condução das safras: primavera-verão (2024-2025) e outono-inverno (2025). O experimento foi instalado em delineamento em blocos casualizados com 10 blocos, contendo 2 plantas cada, totalizando 20 unidades experimentais, para esse experimento utilizou-se a variedade *Comet*. Foram avaliadas a fenologia através do acompanhamento semanal do desenvolvimento das plantas; as medidas fotossintéticas, coletadas utilizando o analisador de gás por infravermelho (IRGA); o acúmulo de graus-dia (GD); os parâmetros produtivos através dos dados de comprimento dos cones, altura de inserção do primeiro cone nas plantas, comprimento dos braços laterais, comprimento dos entrenós, altura das plantas, massa fresca e seca dos cones; e qualidade dos cones (teor de ácidos α e β e composição do óleo essencial). Os dados referentes aos parâmetros morfológicos, produtivos e aos teores de ácidos α e β foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade, a composição química dos óleos essenciais foi avaliada por meio de análise multivariada empregando o software estatístico MetaboAnalyst 5.0 e utilizado o RStudio para elaboração de modelos de regressão linear do GD. Ambos tratamentos completaram os estádios de desenvolvimento, completando os ciclos de desenvolvimento vegetativo e produtivo, a safra primavera-verão teve um ciclo de 125 dias e GD de 2427,76°C, enquanto safra-outono-inverno completou seu ciclo em 140 dias com GD de 2407,2°C. A taxa fotossintética líquida (A) foi de 12,33 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ na primavera-verão e 5,16 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ no outono-inverno, indicando que as plantas cultivadas na estação mais quente apresentaram maior assimilação de carbono. O CO_2 intercelular (C_i) apresentou comportamento inverso, com valores mais elevados no outono-inverno (103,31 $\mu\text{mol mol}^{-1}$) do que na primavera-verão (76,63 $\mu\text{mol mol}^{-1}$), sugerindo menor taxa de fixação de carbono sob temperaturas mais baixas. Em termos produtivos, a massa fresca total da planta apresentou boa quantidade em ambas as épocas de cultivo, enquanto a massa seca dos cones foi 48% superior na primavera-verão em relação ao outono-inverno. Os teores médios de α -ácidos e β -ácidos não apresentaram diferença significativa entre as épocas de cultivo, permanecendo em torno de 12% e 1,28 de α e β ácidos, respectivamente. Em relação ao óleo essencial, foi evidenciando dois perfis fitoquímicos distintos, safra outono-inverno favoreceu os constituintes mirceno e (*E*)-cariofileno. Já o cultivo na primavera-verão promoveu o acúmulo de α -humuleno e selina-3,7(11)-diene. De forma geral, esse estudo demonstra a viabilidade do cultivo da variedade de lúpulo *Comet* em ambas as safras (primavera-verão e outono-inverno) nas condições subtropicais do sudoeste paulista. A qualidade dos cones manteve-se adequada para fins cervejeiros em ambas épocas de condução das safras.

Palavra-chave: *Humulus lupulus* L; sazonalidade; óleo essencial; ácidos α e β

ABSTRACT

Commercial hop cultivation has traditionally been concentrated in temperate regions, with a growth cycle synchronized with the seasons. In Brazil, although the high temperatures of spring and summer may significantly affect yield and quality, the mild winters offer the potential for more than one harvest per year. Thus, the objective of this study was to evaluate the effect of seasonality on the productive performance and chemical quality of hops grown in successive harvests under subtropical conditions with supplemental lighting. The experiment was conducted in the orchard of Fazenda Lageado at UNESP, in Botucatu, São Paulo, Brazil. The treatments consisted of two successive growing seasons: spring–summer (2024–2025) and fall–winter (2025). The experiment was set up in a randomized complete block design with 10 blocks, each containing 2 plants, totaling 20 experimental units. The Comet variety was used. Phenology was evaluated through weekly monitoring of plant development; photosynthetic measurements were collected using an infrared gas analyzer (IRGA); growing degree days (GDD) were calculated; productive parameters were assessed based on cone length, height of first cone insertion on the plants, lateral branch length, internode length, plant height, and fresh and dry cone mass; and cone quality was determined by α - and β -acid content and essential oil composition. Data related to morphological and productive parameters, as well as α - and β -acid contents, were subjected to analysis of variance (ANOVA) and compared using Tukey's test at a 5% significance level. The chemical composition of essential oils was evaluated using multivariate analysis with the statistical software MetaboAnalyst 5.0, and RStudio was used to develop linear regression models for GDD. Both treatments completed all developmental stages, fulfilling both vegetative and productive cycles. The spring–summer season had a cycle of 125 days and accumulated 2427.76°C GDD, while the fall–winter season completed its cycle in 140 days with 2407.2°C GDD. The net photosynthetic rate (A) was 12.33 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ in spring–summer and 5.16 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ in fall–winter, indicating that plants grown in the warmer season showed higher carbon assimilation. Intercellular CO_2 (Ci) showed the opposite trend, with higher values in fall–winter (103.31 $\mu\text{mol mol}^{-1}$) than in spring–summer (76.63 $\mu\text{mol mol}^{-1}$), suggesting a lower carbon fixation rate under cooler temperatures. In terms of productivity, total fresh mass per plant was substantial in both growing seasons, while cone dry mass was 48% higher in spring–summer compared to fall–winter. The average α - and β -acid contents did not show significant differences between growing seasons, remaining around 12% and 1.28% for α - and β -acids, respectively. Regarding essential oil composition, two distinct phytochemical profiles were observed: the fall–winter season favored the constituents myrcene and (E)-caryophyllene, whereas spring–summer cultivation promoted the accumulation of α -humulene and selina-3,7(11)-diene. Overall, this study demonstrates the feasibility of cultivating the Comet hop variety in both growing seasons (spring–summer and fall–winter) under the subtropical conditions of southwestern São Paulo. Cone quality remained suitable for brewing purposes in both production periods.

Keywords: *Humulus lupulus* L.; seasonality; essential oil; α - and β -acids.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Brotação(A) e formação das primeiras folhas no lúpulo (B), estágio inicial do processo fotossintético	20
Figura 2 -	Estádios fenológicos do lúpulo variedade <i>Comet</i> (A) Fase vegetativa, com crescimento vertical e desenvolvimento foliar. (B) Fase reprodutiva, com detalhe da formação das inflorescências (cones)	21
Figura 3 -	Maturação dos cones de lúpulo, estágio de máximo acúmulo de compostos aromáticos e amargos.....	22
Figura 4-	Distribuição geográfica do cultivo de lúpulo no Brasil.....	24
Figura 5 -	Método de extração de óleo vegetal por hidroestilação com aparanto do tipo Clevenger.....	28
Figura 6 -	Relação entre a intensidade das fenofases com a precipitação e a temperatura média para variedade <i>Comet</i> cultivado na primavera-verão (A) e no outono-inverno (B)	36
Figura 7 -	Curva de graus-dia acumulados e temperatura média ao longo do ciclo do lúpulo <i>Comet</i> em Botucatu-SP - Safra Primavera-Verão (A) e Safra Outono-Inverno (B)	37
Figura 8 -	Modelo de regressão linear da safra primavera-verão e outono-inverno da variedade <i>Comet</i> por estágio fenológico.....	39
Figura 9 -	Análise de componentes principais (PCA) do perfil químico do lúpulo cultivado em duas épocas de produção (outono-inverno e primavera-verão)	50
Figura 10 -	Mapa térmico do perfil fitoquímico do lúpulo cultivado no outono-inverno e na primavera-verão.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Médias das variáveis de trocas gasosas em plantas de lúpulo cultivadas em duas épocas do ano (primavera-verão e outono-inverno).....	40
Tabela 2 - Desempenho morfofisiológico e produtivo do lúpulo variedade <i>Comet</i> cultivado nas estações primavera-verão e outono-inverno.....	41
Tabela 3 - Correlações de Pearson entre variáveis morfofisiológicas do lúpulo.....	43
Tabela 4 - Total de ácidos α - e β - (%) e rendimento de óleo essencial de cones de variedades de <i>Humulus lupulus</i> L. cultivadas em Botucatu, São Paulo, Brasil.....	45
Tabela 5 - Identificação e quantificação de compostos no lúpulo <i>Comet</i> de colheitas sucessivas de primavera-verão e outono-inverno cultivadas em condições subtropicais.....	46

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	19
2.1	Classificação botânica e aspetos morfológicos de lúpulo.....	19
2.2	Principais países produtores e áreas de produção.....	22
2.3	Lúpulo no Brasil.....	23
2.4	Características fitoquímicas do lúpulo.....	25
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	29
3.1	Descrição da área experimental.....	29
3.2	Manejos e tratos culturais.....	29
3.3	Descrição da variedade.....	30
3.4	Tratamentos e delineamento experimental.....	30
3.5	Características avaliadas.....	30
3.5.1	Fenologia.....	30
3.5.2	Avaliações fotossintéticas.....	31
3.5.3	Dados climáticos e soma térmica.....	31
3.5.4	Parâmetros morfológico de produtividade.....	32
3.5.5	Teor de α- e β- ácidos (%).....	32
3.5.6	Extração e análise química de óleo essencial.....	33
3.6	Análise estatística.....	34
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	35
4.1	Fenologia e Influência climática.....	35
4.2	Medidas Fotossintéticas e parâmetros produtivos.....	39
4.3	Análise Fitoquímica.....	44
5	CONCLUSÃO.....	53
	REFERÊNCIAS	55

1 INTRODUÇÃO

O lúpulo (*Humulus lupulus* L.) é uma planta hortícola trepadeira pertencente à família Cannabaceae, reconhecida mundialmente como matéria-prima fundamental na produção de cerveja devido aos seus compostos de amargor e aroma (Souza *et al.*, 2024). Além da indústria cervejeira, o lúpulo também possui um valor significativo nos setores cosmético, farmacêutico e alimentício (Rodrigues *et al.*, 2015). O cultivo comercial do lúpulo concentra-se tradicionalmente em regiões temperadas, pois é uma planta anual com um ciclo de crescimento sincronizado com as estações temperadas: cresce, floresce e produz cones durante a primavera e o verão, entra em dormência no inverno e reinicia o ciclo na primavera seguinte (Acosta-Rangel *et al.*, 2021).

O desenvolvimento da indústria do lúpulo em regiões subtropicais como o Brasil apresenta desafios e oportunidades únicos. Embora as altas temperaturas da primavera e do verão possam afetar significativamente o rendimento e a qualidade do lúpulo, os invernos amenos oferecem o potencial para mais de uma colheita por ano (Gonsaga, 2021). A consolidação da cadeia produtiva do lúpulo brasileiro também tem gerado impactos socioambientais favoráveis, com destaque para benefícios econômicos, como a ampliação de oportunidades de trabalho e oferta de produtos de alto valor agregado ao setor agroindustrial (Viriato *et al.*, 2025).

Reduzir a dependência do lúpulo importado, especialmente para cervejarias de pequeno e médio porte, é um fator-chave para este setor emergente, que também deve lidar com a instabilidade do mercado global e a variabilidade climática (Contin *et al.*, 2023). Nesse contexto, a hipótese central que norteia iniciativas de cultivo local é a de que o lúpulo produzido no sudoeste paulista apresenta qualidade compatível às exigências do mercado brasileiro para a produção de cerveja.

Um fator crítico para o cultivo bem-sucedido em áreas não tradicionais é compreender fenologia das variedades de lúpulo em resposta às variações climáticas sazonais. Estudos em climas temperados, como na República Tcheca, mostraram que o aumento da temperatura do ar leva a um início mais precoce e intervalos mais curtos entre os estágios fenológicos (Mozny *et al.*, 2009). Além disso, embora cada variedade tenha um perfil característico de ácidos α e β e óleos essenciais, são esperadas

variações significativas devido a condições ambientais específicas, um fenômeno conhecido como *terroir* (Fortuna, 2021).

Nesse contexto, a variedade *Comet* se destaca como um caso representativo. Desenvolvida nos Estados Unidos, onde é reconhecida por seu alto teor de ácidos alfa (9-11,5%) e perfil aromático complexo (Hopsteiner, 2020), seu comportamento em condições tropicais revela particularidades notáveis. Estudos recentes em condições subtropicais brasileiras demonstraram que a *Comet* não apenas mantém seu alto potencial de amargor como também apresenta um perfil químico diferenciado quando comparado ao seu país de origem (Sabino *et al.*, 2025).

Portanto, uma questão central para a produção brasileira de lúpulo vai além de verificar se os distintos ciclos sazonais (primavera-verão e outono-inverno) em condições subtropicais podem produzir cones com rendimento aceitável e qualidade comercialmente viável, mas inclui também investigar em que medida essas condições específicas de cultivo estão moldando perfis químicos e sensoriais distintivos para variedades como a *Comet*, potencialmente criando uma identidade única para o lúpulo brasileiro.

Os estudos que avaliam o desempenho do lúpulo em safras sucessivas ao longo de distintos ciclos sazonais, são fundamentais para discriminar os efeitos da temperatura em relação a outros fatores ambientais, como o fotoperíodo natural, passível de controle por meio de suplementação luminosa. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da sazonalidade sobre o desempenho produtivo e a qualidade química do lúpulo da cultivar *Comet*, cultivado em ciclos sucessivos de primavera-verão e outono-inverno, em condições subtropicais do sudoeste paulista, sob suplementação luminosa.

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto
completo desta dissertação será
disponibilizado somente a partir de
24/02/2027

At the author's request, the full text of this
dissertation will not be available online until
Feb. 24, 2027

5 CONCLUSÃO

O estudo demonstrou a viabilidade do cultivo da variedade *Comet* em condições subtropicais do sudoeste paulista, evidenciando efeito marcante da sazonalidade sobre o desempenho fisiológico, produtivo e químico das plantas. A safra de primavera-verão apresentou maiores valores de taxa fotossintética líquida, condutância estomática, transpiração e eficiência no uso da água, refletindo a influência de temperaturas mais elevadas e maior atividade metabólica.

Nessas condições, observou-se também encurtamento do ciclo de desenvolvimento. Por outro lado, a maior concentração de CO₂ intercelular no outono-inverno indica redução da atividade metabólica e menor assimilação de carbono. Apesar das diferenças fisiológicas, os aspectos produtivos e os teores de α - e β -ácidos permaneceram estáveis entre as épocas de cultivo.

A produção de óleo essencial foi superior na primavera-verão, associada ao maior desempenho fotossintético e vigor fisiológico das plantas, além de diferenças qualitativas no perfil químico. Nessa estação, verificou-se maior acúmulo de sesquiterpenos, com destaque para α -humuleno e selina-3,7(11)-dieno, enquanto o outono-inverno foi caracterizado por maior presença relativa de monoterpenos e ésteres oxigenados, como mirceno e geranil propanoato. Esses resultados indicam que a sazonalidade não apenas modula a intensidade, mas também a composição dos metabólitos secundários.

Os dados confirmam que o cultivo da variedade *Comet* é tecnicamente viável em ambas as épocas sob condições subtropicais, com manutenção da qualidade tecnológica dos cones para uso cervejeiro, embora a safra de primavera-verão proporcione maior produtividade e maior complexidade química do óleo essencial.

REFERÊNCIAS

- ACOSTA-RANGEL, A. *et al.* Hop (*Humulus lupulus* L.) phenology, growth, and yield under subtropical climatic conditions: Effects of cultivars and crop management. **Australian Journal of Crop Science**, v. 15, n. 05, p. 764–772 2021. DOI: <https://doi.org/10.21475/ajcs.21.15.05.p3192>
- ADAMS, R.P. **Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectroscopy**. Illinois, USA: Allured Publishing Corporation, 2017.
- ALMAGUER, C., SCHÖNBERGER, C., GASTL, M., ARENDT, E.K., BECKER, T. *Humulus lupulus* - a story that begs to be told. A review. **Journal of the Institute of Brewing**, v.120, n.4. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1002/jib.160>
- ALMEIDA, A. R.; & Conto, L. C. Lúpulo no Brasil: uma cultura promissora em ascensão. **Food Science Today**, v. 1, n. 3, p. 1-6. 2024. DOI: <https://doi.org/10.58951/fstoday.2024.001>
- AQUINO, A. M.; TEIXEIRA, A. J.; ASSIS, R. L. (Org.). **Referencial Técnico de Atratividade Agropecuária – Lúpulo**. Nova Friburgo, RJ: Embrapa, 2019.
- BAUERLE, W. L. Disentangling photoperiod from hop vernalization and dormancy for global production and speed breeding. **Scientific Reports**, v.9, n. 16003, 019. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-52548-0>
- BARRETO, I. A. C.; PILAU, F. G. Temperatura base e plastocrono de uma variedade de lúpulo. *Agrometeoros*, v. 31, p. 1-9, 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.31062/agrom.v31.e027116>
- BOCQUET, L. *et al.* *Humulus lupulus* L., a very popular beer ingredient and medicinal plant: overview of its phytochemistry, its bioactivity, and its biotechnology. **Phytochemistry Reviews**, v. 17, n. 5, p. 1.047-1.090, jul. 2018. Springer Nature America, Inc. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11101-018-9584-y>
- BONFIM, Filipe Pereira Giardini *et al.* Stability of aroma and bitterness compounds of Fuggle hops grown in subtropical conditions across successive harvests. **Journal of Essential Oil Bearing Plants**, v.28, n.4, p.796-805.2025. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2025.2537840>
- BRASIL. Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB. **Portal de informações agropecuárias**. Brasília. 2019. Disponível em: <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/produtos-360.html>. Acesso em: 18 set 2025.
- BRAZILIANFARMERS. **Rise of hops production in Brazil: heading towards the top of Latin America**. 2023. Disponível em: <https://www.brazilianfarmers.com/news/rise-of-hops-production-in-brazil-heading-towards-the-top-of-latin-america/>. Acesso em: 24 set 2025.

BRIGHENTI, Lu Humberto Mattos. **Avaliação agronômica e química de 10 variedades de lúpulo *Humulus lupulus* L. em Lages-SC**. 76 p. 2024. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil. 2024.

BUSATO, N. V. Estratégias de modelagem da extração de óleos essenciais por hidrodestilação e destilação a vapor. **Ciência Rural**, v.44, n.9, p.1574-1582. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20121330>

CABRAL, Mariana Ferreira Nunes. **Óleos essenciais e hidrolatos de *Humulus lupulus* L.: caracterização química de variedades cultivadas no estado de São Paulo**. 88 p. 2023. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp, Botucatu, Brasil. 2023.

CAMPOS, O. P., BONFIM, F. P. G., NUNES FERREIRA CABRAL, M., VIRIATO, V., DO CARMO FERNANDES, G., SCARDINI NEVES, C., MARQUES, M. O. M.. Hydrodistillation time for determining the yield and chemical composition of the essential oil from *Humulus lupulus* L. var. Comet cultivated under subtropical conditions. **Journal of Essential Oil Plants Contains**, v. 28, n. 5.2025. DOI: <https://doi.org/10.1080/0972060X.2025.2567350>.

CARVALHO, J. S.; BIZERRA, E. C.; MARQUES, P. R. R.; DONATO, S. L. R.; MAGALHÃES, D. B.; RAMPAZZO, M. C. Características fitotécnicas e nutricionais de bananeiras submetidas a fontes de fertilizantes para o manejo orgânico. **Nativa**, v. 8, n. 3, p. 367-375, 2020. DOI: <https://doi.org/10.31413/nativa.v8i3.8424>

CONTIN, Daniele Ribeiro; HABERMANN, Eduardo; SOUZA, Beatriz Costa de; OLIVEIRA, Eduardo Augusto Dias de; MARTINEZ, Carlos Alberto; VIEIRA, Paulo Cézar; COSTA, Fernando Batista Da. Exploring the tropical acclimation of European and American hop cultivars (*Humulus lupulus* L.): Focus on physiology, productivity, and chemical composition. **European Journal of Agronomy**, v.151,p.1-12. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2023.126990>

DE ARAÚJO COSTA, P. M.; SOUZA, V. C.; COSTA, V. S.; BARROS, E. S.; OLIVEIRA, I. S. da S. Fenofases reprodutivas em uma população de mandacaru (*Cereus jamacaru*) e facheiro (*Pilosocereus pachycladus* subsp. *pernambucensis*)(Cactaceae)/Reproductive phenophases in a population of mandacaru (*Cereus jamacaru*) and facheiro (*Pilosocereus pachycladus* subsp. *pernambucensis*)(Cactaceae). **Brazilian Journal of Development**, v. 6, nTese (. 5, p. 30536-30545, 2020. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n5-493>

DELLBIGLIA, W. J. **Análise multivariada de elementos agrometeorológicos e comparação de exigência térmica da cultura do lúpulo em ambiente protegido**. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, São Paulo, 2024. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/bf4159be-6e0f-40d9-999e-5fc010d3cc2f/content>. Acesso em: 06 nov 2025.

DIETZ, C.; COOK, D.; HUISMANN, M.; WILSON, C.; FORD, R. The multisensory perception of hop essential oil: a review. **Journal of The Institute of Brewing**, v. 4, n.126, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/jib.622>Digital Object Identifier (DOI)

DODDS, K. **Hops: a guide for new growers**. Development Officer Temperate Fruits, NSW DPI, Tumut, 2017. Disponível em: https://www.dpi.nsw.gov.au/__data/assets/pdf_file/0007/712717/hops-guide-for-new-growers.pdf. Acesso em: 17 ago 2025.

DUARTE, L. M., AMORIM, T. L., GRAZUL, R. M., OLIVEIRA, M. A. L. Differentiation of aromatic, bittering and dual-purpose commercial hops from their terpenic profiles: An approach involving batch extraction, GC–MS and multivariate analysis. **Food Research International**, v.138, p.1-8, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109768>.

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

EGTS, H.; DURBEN, D. J.; DIXSON, J. A.; ZEHFUS, M. H. A Multicomponent UV Analysis of α - and β -Acids in Hops. *J. Chemical Education*, v. 89, p. 117-120, 2012. 473-479, 1995. DOI: <https://doi.org/10.1021/ed1010536>

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. **Rede científica pretende estabelecer sistemas de produção de lúpulo no Brasil**. EMBRAPA, 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/78342634/rede-cientifica-pretende-estabelecer-sistemas-de-producao-de-lupulo-no-brasil>. Acesso em: 5 nov 2025.

EYRES, G.T.; MARRIOTT, P.J.; DUFOUR, J.P. Comparison of odor-active compounds in the spicy fraction of hop (*Humulus lupulus* L.) essential oil from four different varieties. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 55, n. 15, p. 6252-6261, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf070739t>

Food and Agriculture Organization - FAO. **The state of food and agriculture 2008: biofuels, prospects, risks and opportunities**. Roma: Food and Agricultural Organization of the United Nations. Disponível em: <https://www.fao.org/4/i0100e/i0100e00.htm>. Acesso em: 10 out 2025.

FARQUHAR, G. D.; VON CAEMMERER, S.; BERRY, J. A. A biochemical model of photosynthetic CO₂ assimilation in leaves of C₃ species. **Planta**, v. 149, p. 78-90, 1980. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00386231>.

FARAG, M. A.; WESSJOHANN, L. A. Cytotoxic effect of commercial *Humulus lupulus* L. (hop) preparations – In comparison to its metabolomic fingerprint. **Journal of Advanced Research**, Cairo, v. 4, n. 4, p. 417–421, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jare.2012.07.006>

FERGUS, G.; GRAHAM, G.; STEWART, P. Handbook of Brewing. (2006).

FERREIRA, D.F. Sisvar: Um sistema computacional de análise estatística. **Ciência Agrotecnol.** v. 35, n.1039–1042. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>

FORTUNA, Gabriel Cássia. Terroir do lúpulo, sua expressão e as possibilidades no Brasil.2025. Lamas Brew Shop. Disponível em: <https://blog.lamasbrewshop.com.br/2021/07/expressao-do-terroir-do-lupulo-no-brasil.html>. Acesso em: 10 out 2025.

FOURNIER, L. A. Un método cuantitativo para la medición de características fenológicas en árboles. **Turrialba**: v. 24, p. 422-423, 1974.

FRANCO, J. R.; DAL PAI, E.; CALÇA, M. V. C.; RANIERO, M. R.; DAL PAI, A.; SARNIGHAUSEN, V. C. R.; ROMÁN, R. M. S. **Atualização da normal climatológica e classificação climática de köppen para o município de Botucatu-SP**. IRRIGA, [S. l.], v. 28, n. 1, p. 77–92, 2023. DOI: [10.15809/irriga.2023v28n1p77-92](https://doi.org/10.15809/irriga.2023v28n1p77-92).

GONSAGA, R. F. **Desenvolvimento de híbridos de lúpulo adaptados às condições tropicais**. 113 p. 2021. Tese (Doutorado em Agronomia “Genética e Melhoramento de Plantas”) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, Brasil. 2021.

GRESTA, F. *et al.* Agronomic traits and essential oil profiles of *Humulus lupulus* L. cultivated in southern Italy. **Journal of Essential Oil Research**, v. 35, p. 60-70, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1080/10412905.2022.2103190>.

GINGRICH, G. A., HART, J. M., CHRISTENSEN, N. W. **Hops: Fertilizer guide**. Corvallis: Oregon State University, Extension Service, 2000.

GROSSIORD, C. *et al.* Plant responses to rising vapor pressure deficit. **New Phytologist**, v. 226, p. 1550-1566, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.16485>

GUIMARÃES, B. P.; EVARISTO, R. B. W.; GHESTI, G. F. Prospecção Tecnológica do Lúpulo (*Humulus lupulus* L.) e suas Aplicações com Ênfase no Mercado Cervejeiro Brasileiro. **Cadernos de Prospecção**, v. 14, n. 3, p. 858-872, 2021. DOI: <https://doi.org/10.9771/cp.v14i3.33059>

HEALEY, Julian. The Hops List: 265 Beer Hop Varieties From Around the World. 1 ed. Julian Healey,. 550 p. 2016

Herkenhoff, M.E; BROSWL, O.; FROHME, M. Aroma component analysis by HS-SPME/GC–MS to characterize Lager, Ale and sour beer styles. **Food Research International**, v.194, p. 1-16. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114763>

HOPSTEINER. **Hop Variety Data Sheet -Comet**. 2020. Disponível em: <https://hopsteiner.us/variety-data-sheets/Comet/>. Acesso em :12 nov 2025.

IHGC – INTERNATIONAL HOP GROWERS' CONVENTION. **Economic Commission - Summary Reports**. 2024. Disponível em: https://www.ihgc.org/wp-content/uploads/2024_07_IHGC_HopStatistics.pdf. Acesso em: 30 set 2025.

INCAMP. **Laudo de análise de qualidade de Lúpulo**. 2023. Disponível em: https://lupulobrasil.com.br/Laudo_Completo_Comet_L%C3%BApulo_Brasil_.pdf. Acesso em: 25 set 2025.

JASTROMBEK, J. M. *et al.* Hop: An Emerging Crop in Subtropical Areas in Brazil. **Horticulturae**, v. 8, n. 5, p. 393, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae8050393>

JUDD, Barslund D. **Hops Production in Virginia: Nutrition, Fungal Pathogens, and cultivars Trials**. 2018. Dissertação (Mestrado em Horticultura) - Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, 2018.

KARABÍN, M. *et al.* Biotransformations and biological activities of hop flavonoids. *Biotechnology advances*. v. 33, p. 1063-1090, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2015.02.009>.

KAVALIER, A. R. *et al.* Phytochemical and Morphological Characterization of Hop (*Humulus lupulus* L.) Cones over Five Developmental Stages Using High Performance Liquid Chromatography Coupled to Time-of-Flight Mass Spectrometry, Ultrahigh Performance Liquid Chromatography Photodiode Array Detection, and Light Microscopy Techniques. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, p. 4783-4793, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf1049084>.

LEÃO, N. V. M.; YARED, J. A. G. Fenofases reprodutivas de seis espécies da família Vochysiaceae que ocorrem na Floresta Nacional do Tapajós, Pará. *In*: SIMPÓSIO SILVICULTURA NA AMAZÔNIA ORIENTAL: contribuições do Projeto Embrapa/DFID, 1999, Belém, **Anais** [...]. Belém: EMBRAPACPATU: DFID, 1999.

LEMES, Ernane Miranda. Lúpulo: cultivo ganha expressão no Brasil. 2025. *Campo&Negócios*. Disponível em: <https://camponegocios.com/lupulo-cultivo-ganha-expressao-no-brasil/>. Acesso em 02 dez 2025.

LIMBERGUE, S. C.; CUNHA, R. C. C. Dinâmica da produção e das importações de cevada e lúpulo para a indústria cervejeira no Brasil. **Ciência Geográfica**, v. 29, n. 2, 2025. DOI: <https://doi.org/10.18817/26755122.29.2.2025.4214>

LOPES, Flávia Guimarães. **Caracterização de óleos essenciais de lúpulos brasileiros e importados**. 2023. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2023.

LUSSANI, M. A. **Cultura do lúpulo precisa avançar e se consolidar no mercado**. SEAPDR, 2021. Disponível em: <https://www.agricultura.rs.gov.br/cultura-do-lupulo-precisa-avancar-e-se-consolidar-no-mercado>. Acesso em: 5 nov 2025.

LUPULO BRASIL. **Características: Comet**. 2023. Disponível em: <https://lupulobrasil.com.br/comet>. Acesso em: 12 set 2025.

MACHADO, Túlio Vieira. **Potencial produtivo de cultivares de lúpulo no cerrado mineiro**. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2025.

MADDEN, R.; DARBY, H. **Hops harvest moisture determination**. University of Vermont Extension Northwest Crops and Soils Program and USD, Vermont, USA. 2012. Disponível em: www.uvm.edu/extension/cropsoil/wpcontent/uploads/Hop_harvest_fact_sheet.pdf. Acesso em: 19 nov 2024.

MARCHESAN, Tatiane Angela. **Potencial químico e tecnológico do lúpulo brasileiro**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia dos Alimentos), Universidade Federal de Santa Maria. 2020.

MEIRELLES, A. A. D. **Características Comet**. Lupulo Brasil. 2023. Disponível em: <https://lupulobrasil.com.br/comet>. Acesso em: 15 ago 2025.

MONACCI, E.; SANMARTIN, C.; BIANCHI, A.; PETTINELLI, S.; NAJAR, B.; MENCARELLI, F.; TAGLIERI, I. Chemical Quality and Characterization of Essential Oils in Postharvest Hop cv. Cascade: Ventilated Room Temperature as a Sustainable Alternative to Hot-Stove and Freeze-Drying Processes. **Beverages**, v.11, n.54, 1-14 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/beverages11020054>

MOZNY, M.; TOLASZ, R.; NEKOVAR, J.; SPARKS, T.; TRNKA, M.; ZALUD, Z. The impact of climate change on the yield and quality of Saaz hops in the Czech Republic. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 149, n. 6-7, p. 913-919, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2009.02.006>

NEVES, C. S. N. *et al.* Gas exchanges and morphometric measurements of a variety of hops (*Humulus lupulus* L.) (Cannabaceae) grown in subtropical conditions under organic and conventional management. **Australian Journal of Crop Science**, v. 17, n. 4, p. 385-391, 2023. DOI: <https://doi.org/10.21475/ajcs.23.17.04.p3741>

NEVES, C.S.N *et.al.* Yield Performance and Phytochemical Stability of ‘Comet’ Hop Under Contrasting Light Supplementation Regimes in Subtropical Conditions. **Plants**.v.14, n.22. 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants14223516>.

Oliveira, BCC; Oliveira, F.P.G.; Cabral, M.N.F.; Oliveira, V.; Pak Campos, O.; Oliveira, C.S.; Fernandes, G.d.C.; Oliveira, J.A.O.; Oliveira, R.; Marques, M.O.M. Caracterização fitoquímica de *Humulus lupulus* L. Variedades cultivadas no Brasil: zoneamento agrícola para a cultura em áreas tropicais. **Horticulturae**, v.11, n.470,2025. <https://doi.org/10.3390/horticulturae11050470>

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres 1981. 440 p.

OPSTAELE, F. V.; PRAET, T.; AERTS, G.; DE COOMAN, L. Characterization of Novel Single-Variety Oxygenated Sesquiterpenoid Hop Oil Fractions via Headspace

Solid-Phase Microextraction and Gas Chromatography–Mass Spectrometry/Olfactometry. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.61, n.44. 10555–10564, 2013. DOI: [https:// dx.doi.org/10.1021/jf402496t](https://dx.doi.org/10.1021/jf402496t)

PANG, Z.; XU, L.; VIAU, C.; LU, Y.; SALAVATI, R.; BASU, N.; XIA, J. MetaboAnalystR 4.0: A unified LC-MS workflow for global metabolomics. **Nature Communications**, v. 15, n. 3675, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-024-48009-6>

PAVLOVIČ, V.; PAVLOVIČ, M.; ČERENAK, A.; KOŠIR, I. J.; ČEH, B.; ROZMAN, TURK, J.; PAZEK, K.; KROFTA, K.; GREGORIC, G. Environment and weather influence on quality and market value of hops. **Plant, Soil and Environment**, v. 58, p. 155-160, 2012. DOI: <https://doi.org/10.17221/499/2011-PSE>

PILON, C.; SNIDER, J.L.; SOBOLEV, V.; CHASTAIN, D.R.; SORENSEN, R.B.; MEEKS, C.D.; MASSA, A.N.; WALK, T.; SINGH, B.; EARL, H.J. Assessing stomatal and non-stomatal limitations to carbon assimilation under progressive drought in peanut (*Arachis hypogaea* L.). **Journal of Plant Physiology**, v. 231, p. 124–134, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2018.09.007>

RAUT, S. *et al.* Influence of pre-drying storage time on essential oil components in dried hops (*Humulus lupulus* L.). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.101, n.6, p.2247-2255, Oct. 2020. doi: 10.1002/ jsfa.10844. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.10844>

ROCHA, Filomena Alexandra dos Santos. **Distribuição e ecologia do lúpulo (*Humulus lupulus* L. subsp *lupulus*) em Portugal**. Orientador: Pedro Teixeira Gomes . 2005. f. 173. Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente ‘Qualidade Ambiental’) - Universidade do Minho, Braga, Portugal. 2005.

RODRIGUES, Manoel Ângelo; MORAIS, Jorge Sá; CASTRO, João Paulo Miranda. **O lúpulo: da cultura ao extrato. Técnica cultural tradicional**. 1 ed. Bragança: Editora Instituto Politécnico, 2015. p.1-10.

ROSS, S. M. Sleep disorders: a single dose administration of valerian/hops fluid extract (dormeasan) is found to be effective in improving sleep. **Holistic nursing practice**.v.23,n.4,p.253–256,2009.DOI: <https://doi.org/10.1097/HNP.0b013e3181aed09d>

ROSTAGNO, M.A.; PRADO, J.M. Natural product extraction: principles and applications. Londres: Royal Society of Chemistry, 500p. 2013.

RYBÁČEK, V. 1991. **Hop Production**. Elsevier, New York.

SABINO, B. C. C. *et al.* Phytochemical characterization of *Humulus lupulus* L. varieties cultivated in Brazil: Agricultural zoning for the crop in tropical areas. **Horticulturae**, v. 11, n. 5, p. 470, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae11050470>

SANTOS, M. *et al.* Desempenho de novos híbridos de lúpulo (*Humulus lupulus* L.) no planalto serrano catarinense. **Formiga**, v. 13, n. 1, 2025. DOI: <https://doi.org/0.29069/forscience.2025v13n1.e1316>

F. R. Sharpe, D. R. J. Laws. The essential oil of hops a review. **Journal of The Institute of Brewing**, v. 87, n.2, p. 96-107, 1981. DOI: <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.1981.tb03996.x>.

SILVA, P. H. A.; FARIA, F. C. Avaliação da intensidade de amargor e do seu princípio ativo em cervejas de diferentes características e marcas comerciais. **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 4, p. 902-906, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-20612008000400021>.

SOUZA, B.; CONTINA, D. R.; VIEIRA, P. C.; COSTA, F. 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, n. 3, p. 1-8, 2024. DOI: <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20230109>.

SPÓSITO, Marcel Bellato; ISMAEL, Rodrigo Veraldi Ismael; BARBOSA, Caio Morais de Alcântara; TAGLIAFERRO, André Luiz. **A cultura do lúpulo**. Piracicaba - SP: ESALQ - Divisão de biblioteca, 2019.

SRECEC, S.; KVATERNJAK, I.; DRAŽEN, K.; ŠPOLJAR, A.; ERHATIC, R. Influence of climatic conditions on accumulation of α -acids in hop clones. **Agriculturae Conspectus Scientificus**, v. 73, n. 3, p. 161-166, 2008.

TAIZ, Lincoln; ZEIGER, Eduardo; MOLLER, Iam Max; MURPHY, Angus. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6 edição, Soc. Brew. Chem., v.75, p.161.2017.

TAKOI, Kiyoshi *et al.* The contribution of geraniol metabolism to the citrus flavour of beer: synergy of geraniol and β -citronellol under coexistence with excess linalool. **Journal of the Institute of Brewing**, v. 116, n. 3, p. 251-260, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1002/J.2050-0416.2010.TB00428.X>.

THOMAS, GG; SCHWABE, WW. Fatores que controlam a floração no lúpulo (*Humulus lupulus* L.). **Ann. Bot-Londres**, v. 33, p. 781–793, 1969.

TING, P.L., RYDER, D.S. The Bitter, Twisted Truth of the hop: 50 years of hop chemistry. **Journal of the American Society of Brewing Chemists**, v. 75, p. 161-180. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1094/ASBCJ-2017-3638-0>.

VAN DEN DOOL, H. A. N. D.; KRATZ, P. D. A generalization of the retention index system including linear temperature programmed gas-liquid partition chromatography. **Journal of Chromatography**, v. 11, p. 463-471, 1963. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(01\)80947-X](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(01)80947-X)

VISIN, Y. L.; SOUZA, B. C.; COSTA, F. B. Metabolic Profile Comparison of Hop (*Humulus lupulus* L.) cultivars Grown in Brazil. **Chemistry & Biodiversity**, v. 22, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1002/cbdv.202501728>.

YAMORI, W.; HIKOSAKA, K.; WAY, D. Temperature response of photosynthesis in C3, C4, and CAM plants: temperature acclimation and temperature adaptation.

Photosynthesis Research, v. 119, p. 101-117, 2014. DOI:

<https://doi.org/10.1007/s11120-013-9874-6>

VIRIATO, V.; RODRIGUES, G. S.; NUNES, M. R.; ADEGE, A. B.; BONFIM, F. P. G. On-farm observations of socioenvironmental impacts of *Humulus lupulus* L.

cultivation in Brazil. **Agronomy Journal**, v. 117, p. 1-15, 2025. DOI:

<https://doi.org/10.1002/agj2.70175>