



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS GENÉTICOS VEGETAIS

Luiz Humberto Mattos Brighenti

**AVALIAÇÃO AGRONÔMICA E QUÍMICA DE 10 VARIEDADES DE LÚPULO EM  
LAGES-SC**

Florianópolis 2024

Luiz Humberto Mattos Brighenti

**AVALIAÇÃO AGRONÔMICA E QUÍMICA DE 10 VARIEDADES DE LÚPULO**  
***Humulus lupulus* L. EM LAGES-SC**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de Mestre em Ciência.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Rosete Pescador

Co-orientador: Dr. Felipe Augusto Morretti Ferreira Pinto

Florianópolis, 2024.

Ficha catalográfica gerada por meio de sistema automatizado gerenciado pela BU/UFSC.  
Dados inseridos pelo próprio autor.

Brighenti, Luiz Humberto Mattos  
AVALIAÇÃO AGRONÔMICA E QUÍMICA DE 10 VARIEDADES DE LÚPULO  
Humulus lupulus L. EM LAGES-SC / Luiz Humberto Mattos  
Brighenti ; orientadora, Rosete Pescador,  
coorientador, Felipe Augusto Morretti Ferreira Pinto,  
2024. 76 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós  
Graduação em Recursos Genéticos Vegetais, Florianópolis,  
2024.

Inclui referências.

1. Recursos Genéticos Vegetais. 2. Variedades de  
Lúpulo. 3. Lúpulo em clima subtropical. I. Pescador,  
Rosete. II. Pinto, Felipe Augusto Morretti Ferreira. III.  
Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós  
Graduação em Recursos Genéticos Vegetais. IV. Título.

Luiz Humberto Mattos Brighenti

**AVALIAÇÃO AGRONÔMICA E QUÍMICA DE 10 VARIEDADES DE  
LÚPULO EM LAGES-SC**

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof.(a), Dr(a). Rosete Pescador  
UFSC

Prof. Dr. Cristian Soldi  
UFSC

Prof. Dr. Aparecido Lima  
UFSC

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de mestre em Ciência.

---

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

---

Prof. Rosete Pescador, Dr<sup>a</sup>. Orientadora

Florianópolis, 2024.

Este trabalho é dedicado aos meus colegas de classe, meus professores e aos meus queridos pais.

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos que fizeram parte desta caminhada comigo, meus colegas de mestrado Carol Zimmermann, Jackson Cardoso, Gabriel Cubas, Aline Goedel, e as doutorandas Andressa Hilha e Michelle Loss, que transformaram essa experiência em algo duradouro além das portas da universidade, sou muito grato pela amizade construída com todos vocês e admiro a resiliência e busca pelo sucesso de todos. Agradecer aos meus professores que me inspiraram durante esta caminhada e me mostraram novas formas de questionar e enxergar o mundo.

Ao professor Rubens Nodari por todas as cachaças às 18h de segunda-feira após o encerramento dos seminários.

Ao professor Alberto Fontanella Brighenti, que sempre buscou me incentivar e me fez olhar para fruticultura de uma forma diferente.

À professora Rosete Pescador, por sua incrível paciência, bom humor e luz. Os ensinamentos que ela trouxe foi muito além de conteúdos técnicos, sua forma de enxergar a vida e o mundo é extremamente admirável, ela é o perfeito exemplo de ‘coração bom’ que eu sempre busquei enxergar nas pessoas a quem procuro me espelhar.

Também gostaria de expressar minha profunda gratidão ao meu Co-orientador, Dr. Felipe Augusto Morreti Ferreira Pinto, e à Dr<sup>a</sup>. Mariana Mendes Fagherazzi. Sem a assistência e dedicação deles, a realização deste mestrado não teria sido possível.

Por fim, aos meus colegas de laboratório tanto do NPBV quanto do NEUVIN.

À UFSC, à EPAGRI, à AMBEV e ao RGV por toda a estrutura disponibilizada e às ótimas pessoas que lá se encontram.

Ao incentivo financeiro das instituições CAPES, FAPESC sem os quais não seria possível a realização deste trabalho.

Obrigado a todos em geral, que de uma forma contribuíram ou fizeram parte desses meus 2 anos de mestrado.

Como diria o professor Aparecido ao realizar um brinde.

- *“Que sejamos todos felizes”*.

*“O Sol, com todos aqueles planetas que giram à sua volta e dele dependem, ainda pode amadurecer um cacho de uvas como se nada mais existisse a fazer no universo.” (Galileu Galilei)*

## RESUMO

Este estudo avaliou agronomicamente e quimicamente dez variedades de lúpulo (*Humulus lupulus* L.) cultivadas em Lages-SC, sob condições climáticas subtropicais, com o objetivo de identificar as variedades mais adaptadas e produtivas. A pesquisa foi realizada na área experimental da AMBEV, com as plantas dispostas em um sistema vertical em "V", espaçadas em 1 m entre plantas e 3,5 m entre linhas. As variedades incluídas no estudo foram 'Alpha Aroma', 'Chinook', 'Comet', 'Crystal', 'Magnum', 'Nugget', 'Sorachi Ace', 'Southern Cross', 'Tahoma' e 'Zeus'. Foram coletados dados de altura da planta, peso da planta, inserção de 1º cone e ramo lateral, número de ramos laterais, peso, diâmetro e comprimento de cone, produtividade e número de cones por planta para avaliação da performance vegetativa e produtiva. As análises químicas determinaram os conteúdos de óleos essenciais, alfa e beta ácidos, componentes cruciais para a utilização na indústria cervejeira. Os resultados mostraram variações significativas entre as variedades em parâmetros vegetativos e agrônômicos medidos e avaliados, refletindo a diversidade de adaptação às condições locais. As variedades 'Comet', 'Zeus' e 'Sorachi Ace' apresentaram melhores índices de produtividade com 1725.03 kg/ha, 1896.29 kg/ha, 1684.56 kg/ha, respectivamente. Nas avaliações de alfa ácido (%) as variedades 'Comet', 'Chinook' e 'Alpha Aroma' apresentaram resultados de 14,32%, 11,42% e 8,28% respectivamente, valores esses superiores aos valores encontrados nos pellets comerciais dessas variedades. Este estudo contribuiu para o entendimento da viabilidade do cultivo de lúpulo em regiões subtropicais e fornece informações valiosas para a seleção de variedades adequadas à produção cervejeira local de Santa Catarina.

**Palavras-chave:** *Humulus lupulus* L.; adaptação agrônômica; qualidade química; clima subtropical; produtividade.



## ABSTRACT

This study evaluated agronomically and chemically ten hop varieties (*Humulus lupulus* L.) grown in Lages-SC, under subtropical climatic conditions, with the aim of identifying the most adapted and productive varieties. The research was conducted at the AMBEV experimental site, with plants arranged in a vertical "V" system, spaced 1 meter between plants and 3.5 meters between rows. The varieties included in the study were 'Alpha Aroma', 'Chinook', 'Comet', 'Crystal', 'Magnum', 'Nugget', 'Sorachi Ace', 'Southern Cross', 'Tahoma', and 'Zeus'. Data were collected on plant height, plant weight, first cone and lateral branch insertion, number of lateral branches, cone weight, diameter, and length, productivity, and number of cones per plant to assess vegetative and productive performance. Chemical analyses determined the contents of essential oils, alpha and beta acids, crucial components for use in the brewing industry. The results showed significant variations between varieties in the measured and evaluated vegetative and agronomic parameters, reflecting the diversity of adaptation to local conditions. The varieties 'Comet', 'Zeus', and 'Sorachi Ace' exhibited the highest productivity indices with 1725.03 kg/ha, 1896.29 kg/ha, and 1684.56 kg/ha, respectively. In the alpha acid (%) evaluations, the varieties 'Comet', 'Chinook', and 'Alpha Aroma' showed results of 14.32%, 11.42%, and 8.28%, respectively, values higher than those found in the commercial pellets of these varieties. This study contributes to the understanding of the feasibility of hop cultivation in subtropical regions and provides valuable information for the selection of varieties suited to local brewing production in Santa Catarina.

**Keywords:** *Humulus lupulus* L.; agronomic adaptation; chemical quality; subtropical climate; productivity.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Morfologia de folha de lúpulo: (a) folha inteira; (b) folha trilobada; (c) folha pentalobada; (d) folha heptalobada.....	19
Figura 2 - Flores de lúpulo feminina (à esquerda) e flores de lúpulo masculina (à direita).....	20
Figura 3 - fórmula química dos ácidos amargos presentes na lupulina: alfa-ácidos (Humulona, Cohumulona, Adhumulona, Prehumulona e Poshumulona) e $\beta$ -ácidos (Lupulona, Colupulona, Adlupulona, Prelupulona e Poslupulona) .....	23
Figura 4 - Total de hectares plantados de lúpulo <i>Humulus lupulus</i> L. por estado em 2021. ....	26
Figura 5 – Cone (A), folha (B) e perfil aromático (C) da variedade ‘Chinook’. <i>Humulus lupulus</i> L.....	27
Figura 6 - Cone, folha (A) e perfil aromático (B) da variedade 'Alpha Aroma'. <i>Humulus lupulus</i> L.....	27
Figura 7 – Cone (A), folha (B) e perfil aromático (C) da variedade ‘Nugget’. <i>Humulus lupulus</i> L.....	29
Figura 8 – Cone (A), folhas (B) e perfil aromático da variedade (C) ‘Comet’. <i>Humulus lupulus</i> L.....	30
Figura 9 – Cone (A) e perfil aromático (B) da variedade ‘Tahoma’. <i>Humulus lupulus</i> L.....	30
Figura 10 – Cone (A) e perfil aromático da variedade (B) ‘Sorachi Ace’. <i>Humulus lupulus</i> L.....	31
Figura 11 – Cone (A), folha (B) e perfil aromático (C) da variedade ‘Magnum’. <i>Humulus lupulus</i> L.....	32
Figura 12 – Cone (A), folha (B) e perfil aromático (C) da variedade ‘Crystal’. <i>Humulus lupulus</i> L.....	33
Figura 13 – Cone (A), folha (B) e perfil aromático (C) da cultivar ‘Zeus’. <i>Humulus lupulus</i> L.....	33
Figura 14 - Área experimental de lúpulo <i>Humulus lupulus</i> L. na AMBEV-SC, 10 filas, espaçamento 1 x 3,5m .....	35
Figura 15 – <i>Humulus lupulus</i> L. (A) lúpulos após processo de peletização, (B) medida de comprimento, (C) Pesagem dos cones úmidos, (D) Pesagem de 30 lúpulos e medição do tamanho e diâmetro com paquímetro digital, (E) colheita manual dos cones, (F) caixas de colheita .....	37
Figura 16 - Exemplo das embalagens à vácuo que foram submetidas para o laboratório de análise química. ....	38
Figura 17 - Representação esquemática do aparelho Clevenger utilizado na destilação. ....	42
Figura 18 - Duração do ciclo em dias de 10 variedades de lúpulo <i>Humulus lupulus</i> L. safra 2022/2023, Lages-SC .....	44
Figura 19 - Altura de plantas (m) por variedade de lúpulo <i>Humulus lupulus</i> L. safra 2022/23 em Lages,SC.....	46
Figura 20 - Numero de ramos laterais (pares) por variedade de lúpulo <i>Humulus lupulus</i> L. safra 2022/23 em Lages,SC .....	47
Figura 21 - Peso fresco de planta (kg) por variedade de lúpulo <i>Humulus lupulus</i> L. safra 2022/23 em Lages,SC.....	48
Figura 22 - Produtividade (kg/ha) de cones secos por variedade de lúpulo <i>Humulus lupulus</i> L. safra 2022/23 em Lages,SC .....	50
Figura 23 - Altura do 1º cone (cm) por variedade de lúpulo <i>Humulus lupulus</i> L. safra 2023 em Lages,SC.....	52

Figura 24 - Altura do 1º ramo lateral por variedade de lúpulo <i>Humulus lupulus</i> L. safra 2023 em Lages,SC.....	53
Figura 25 - Número de cones por planta por variedade de lúpulo <i>Humulus lupulus</i> L. safra 2022/2023 em Lages,SC.....	54
Figura 26 - Massa fresca (g) de cones/planta por variedade de lúpulo <i>Humulus lupulus</i> L. Safra 22/23. Lages-SC.....	56
Figura 27 - Medidas e diâmetro e comprimento (mm) por variedade de lúpulo <i>Humulus lupulus</i> L. Safra 22/23, Lages-SC.....	57
Figura 28 - Produtividade encontrada vs. produtividade esperada (kg/ha) safra 2022/2023, Lages-SC.....	58
Figura 29 - <i>A Figura 30 apresenta valores de Alfa ácidos encontrados e comerciais “esperados” (%) em análises de pellets de cones de 10 variedades de lúpulos. Safra 2022/23, Lages-SC.....</i>	62
Figura 30 - <i>A Figura 31 apresenta valores de Beta ácidos encontrados e comerciais “esperados” (%) em análises de pellets de cones de 10 variedades de lúpulos. Safra 2022/2023, Lages-SC. ....</i>	64
Figura 31 - <i>A Figura 32 apresenta valores de Óleos Essenciais encontrados e comerciais “esperados” (mL/100g) em análises de pellets de cones de 10 variedades de lúpulos. Safra 2022/2023, Lages-SC. ....</i>	65
Figura 32 - Análise de componentes principais (PCA) de dados agronômicos e químicos x variedades de lúpulo .....	67
Figura 33 - Análise de componentes principais (PCA) de avaliações químicas x variedades de lúpulo.....	68

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

% – Por Cento

°C – Graus Celsius

AmBev – American Beverage Company (Companhia de Bebidas das Américas)

ANOVA – Análise de Variância

Cfa – Clima Subtropical Úmido

CIRAM – Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina

CO<sub>2</sub> – Dióxido de carbono

CV – Coeficiente de Variação

EPAGRI – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina

g – Gramas

ha – Hectare

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

Kg – Quilograma

m – Metro

m<sup>2</sup> – Metro quadrado

max – Máxima

med – Média

min – Mínima

mm – Milímetros

N – Normalidade

n – Volume gasto de NaOH para titulação

NaOH – Hidróxido de Sódio

SC – Santa Catarina

T – Temperatura

t – Tonelada

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

UR – Umidade Relativa do Ar

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL .....	14
1.1. OBJETIVO GERAL .....	16
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	17
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	18
2.1. A PLANTA DE LÚPULO .....	18
2.2. EXIGÊNCIAS EDAFOCLIMÁTICAS .....	20
2.3. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS INFLORESCÊNCIAS DE LÚPULO .....	22
2.4. O CULTIVO NO BRASIL .....	24
2.5. VARIEDADES ANALISADAS .....	26
2.5.1 Chinook .....	26
2.5.2 Alpha Aroma .....	27
2.5.3 Southern Cross .....	28
2.5.4 Nugget .....	28
2.5.5 Comet .....	29
2.5.6 Tahoma .....	30
2.5.7 Sorachi Ace .....	31
2.5.8 Magnum .....	31
2.5.9 Crystal .....	32
2.5.10 Zeus .....	33
3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	34
3.1 Caracterização da área de estudo .....	34
3.2 Tratos Culturais .....	35
3.3 Fenologia .....	36
3.4 Avaliações Vegetativas e Produtivas .....	36
3.5 Análises Químicas .....	37
3.6 Delineamento Experimental e Análise Estatística .....	43
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	44
4.1 Fenologia .....	44
4.3 Análises Vegeto-produtivas .....	45
4.4 Análises químicas .....	60
4.5 Análise Multivariada .....	66
5. CONCLUSÕES .....	68
REFERÊNCIAS .....	70

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O lúpulo (*Humulus lupulus*) desempenha um papel crucial na produção de cerveja, atuando não apenas como agente de amargor e conservante, mas também influenciando profundamente o aroma e o sabor da bebida. A história do uso do lúpulo na cerveja é rica e multifacetada, remontando ao menos ao século IX na Europa. Behre (1999) destaca que, embora o lúpulo tenha sido mencionado em escritos do século VIII, foi somente no século XII que seu uso se tornou mais difundido na Europa, marcando o início da transição da cerveja gruit para a cerveja lupulada. Essa mudança não apenas melhorou a qualidade e a estabilidade da cerveja, mas também influenciou a economia local de regiões produtoras de lúpulo, como a Baviera na Alemanha e Kent na Inglaterra.

O cultivo de lúpulo se expandiu significativamente durante a Idade Média, com a Alemanha e a Inglaterra emergindo como centros importantes de produção. Unger (2004) observa que o cultivo do lúpulo foi incentivado pela sua capacidade de preservar a cerveja, uma qualidade particularmente valorizada em uma época em que as técnicas de conservação eram limitadas. A região de Hallertau na Alemanha, conhecida por seu solo fértil e clima adequado, tornou-se um dos maiores campos de cultivo de lúpulo do mundo, um status que mantém até hoje. A importância do lúpulo foi reconhecida oficialmente com a promulgação da Lei da Pureza da Baviera (Reinheitsgebot) em 1516, que estipulava que apenas água, malte e lúpulo poderiam ser usados na fabricação de cerveja na Baviera, destacando o papel essencial do lúpulo na cerveja (Hornsey, 2003).

No século XIX, com o advento da revolução industrial e melhorias nas técnicas de cultivo e processamento, a produção de lúpulo tornou-se mais eficiente, permitindo uma maior experimentação e desenvolvimento de estilos de cerveja. Segundo Hieronymus (2012), a inovação no cultivo e utilização do lúpulo levou ao surgimento de variedades com perfis de sabor e aroma distintos, contribuindo para a diversificação da cervejaria artesanal moderna. A busca por características únicas em variedades de lúpulo impulsionou a indústria cervejeira, permitindo aos cervejeiros criar uma ampla gama de cervejas que atendem a diversos paladares e preferências.

O lúpulo continua a ser um componente vital na produção de cerveja, com a indústria cervejeira artesanal moderna explorando cada vez mais as suas capacidades para criar cervejas inovadoras e complexas. A cultura do lúpulo, abrangendo desde o cultivo até o

consumo, reflete a importância histórica e contemporânea desta planta na cervejaria, destacando seu papel não apenas como ingrediente, mas como um elemento cultural significativo dentro da comunidade cervejeira (Oliver, 2011).

O gênero *Humulus* consiste em três espécies, *H. lupulus*, *H. japonicus* e *H. yunnanensis* (SMALL, 1978; NEVE, 1991). As variedades botânicas diferem em características morfológicas e genéticas. Os lúpulos selvagens norte-americanos e japoneses se assemelham morfolologicamente, sugerindo uma relação geneticamente próxima, embora difiram amplamente dos lúpulos europeus (TEMBROCK et al., 2016). A primeira, *Humulus lupulus* L. é a única utilizada para produção com fins comerciais (Sirriner et al., 2010) e inclui cinco variedades: *lupulus*, *cordifolius*, *lupuloides*, *neomexicanus* e *pubescens*. A planta alvo de estudo no presente trabalho corresponde à espécie *Humulus lupulus*, variedade *lupulus*.

Botanicamente o lúpulo é uma planta dióica, ou seja, as inflorescências se encontram separadas em plantas masculinas e femininas. No passado, eram utilizadas diversas partes da planta e para os mais variados fins: planta medicinal, incorporada em medicamentos recomendados para insônias e ansiedade; rebentos jovens comestíveis; caules desenvolvidos utilizados na fabricação de pasta de papel e na indústria têxtil (Sirriner et al., 2010; Rodrigues et al., 2015). Na elaboração de cerveja, somente são utilizadas apenas as flores femininas do lúpulo, pois nas plantas masculinas os cones possuem apenas 10 a 15 glândulas secretoras de lupulina, enquanto que os cones das plantas fêmeas podem possuir 10.000 ou mais glândulas (KNEEN, 2003).

Atualmente os países localizados no hemisfério norte são os maiores produtores de lúpulo do mundo (Tabela 1), segundo a comissão econômica do Internacional Hop Growers Convention (IHGC), sendo que os Estados Unidos e Alemanha representam mais de 60% da produção mundial, seguidos de República Tcheca e China (IHGC, 2020).

Tabela 1. Área total e produtividade dos 5 maiores produtores de lúpulo no mundo (2020) e a situação atual do Brasil (2023).

<b>País</b>	<b>Área total (ha)</b>	<b>Produtividade (ton)</b>
Estados Unidos	24.954	48.038
Alemanha	20.706	47.000
República Tcheca	4.966	5.950
China	2.360	7.044
Polônia	1.791	3.417
...		
<b>Brasil</b>	<b>111</b>	<b>88</b>

Fonte: ICHG (2020) e Aprodúpulo, 2023. Autoria: Luiz Humberto Mattos Brighenti

No Brasil, a lupulicultura teve início com os imigrantes alemães e poloneses que se instalaram na região da serra gaúcha no Rio Grande do Sul há mais de 60 anos, entretanto a cultura não permaneceu por muito tempo dando lugar a outras atividades econômicas naquela região. Atualmente há relatos de produção de lúpulo em diversos estados brasileiros, do Sul ao Norte do país. Segundo um levantamento feito pela APROLUPULO em 2024, Santa Catarina e Rio Grande do Sul são os estados brasileiros com a maior concentração de produtores e de área cultivada.

Este trabalho tem por objetivo a caracterização vegeto-produtiva e qualitativa de diferentes cultivares de lúpulo em Lages – SC.

## 1.1. OBJETIVO GERAL

Caracterizar a adaptação vegeto-produtiva e qualitativa de diferentes variedades de lúpulo, selecionando variedades mais adaptadas às condições climáticas da região.



## 1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Avaliar os índices produtivos e aspectos ligados à fisiologia das diferentes variedades de lúpulo.

Quantificar a qualidade dos cones de diferentes variedades de lúpulo, em relação a composição química de alfa e beta ácidos, óleos essenciais e índice de armazenamento.

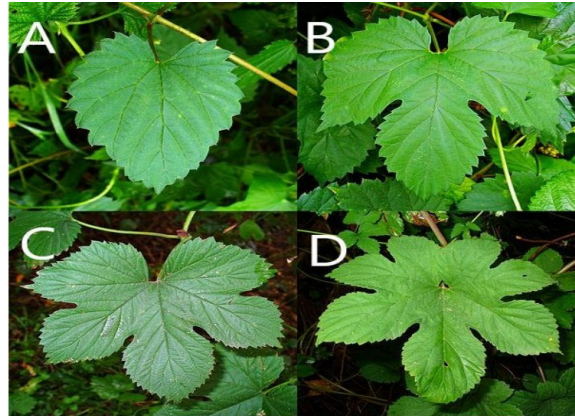
## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. A PLANTA DE LÚPULO

O lúpulo (*Humulus lupulus*) é uma planta herbácea perene, da classe das dicotiledôneas, ordem rosales pertencente à família Cannabaceae, sendo uma trepadeira e tendo característica reprodutiva dióica, ou seja, origina flores masculinas e femininas (RODRIGUES et al., 2015). É utilizado na fabricação de medicamentos, cosméticos e principalmente na produção de cerveja.

A parte subterrânea da planta é constituída por uma estrutura perene, composta de raízes que podem atingir 1,5 a 2,0 metros, são raízes especializadas na acumulação de reservas e raízes anuais emitidas a partir da estrutura perene ou da base dos sarmentos. Na primavera, a partir do rizoma, surgem brotos que se transformam em guias trepadeiras, que crescem até 8 m de altura em menos de três meses. Na fase inicial esses guias são de consistência herbácea, volúvel de forma tendencialmente hexagonal e se enrolam nos tutores no sentido horário, devido a presença dos tricomas. As folhas surgem de forma oposta aos nós, pecioladas, cordiformes, palmatilobuladas, com três ou cinco lóbulos, ásperas com ápice em ponta e bordas serradas (FAGHERAZZI, 2020). As folhas numa mesma planta apresentam formas diferentes (heterofilia), em que as jovens são normalmente inteiras e as mais velhas são geralmente trilobadas ou pentalobadas, podendo ser até heptalobadas (Figura 1), as nervuras das folhas são claramente visíveis e a superfície da mesma é pilosa (WAGNER, 1968).

*Figura 1 - Morfologia de folha de lúpulo: (a) folha inteira; (b) folha trilobada; (c) folha pentalobada; (d) folha heptalobada.*



Fonte: Zell (2011)

As flores masculinas são pequenas e agrupadas em panículas e o diâmetro de cada flor é de cerca de seis milímetros. Apresentam coloração verde-amarelada ou esbranquiçada e quando estão totalmente desenvolvidas, as anteras se abrem produzindo pólen que é distribuído pelo vento (ROCHA, 2005).

As Inflorescências femininas são constituídas por um eixo central curto no qual suporta várias brácteas. Quando estas inflorescências entram em maturação, o eixo central engrossa, as brácteas e bractéolas se ampliam e produzem o estróbilo (também chamado “cone”), sendo esta a forma da planta que é comercializada. O período do começo da floração até a formação do cone é de 15 a 20 dias (NEVE, 1991).

Apenas os cones dos indivíduos femininos são capazes de secretar, através das glândulas de lupulina, onde se encontram os óleos essenciais e os  $\alpha$ - e  $\beta$ -ácidos, produzidos pelos tricomas glandulares dos estróbilos (glândulas de lupulina). São estes compostos os principais responsáveis pelas características dadas à cerveja, por fornecer sabor e aroma, além de ser considerado um conservante natural e estabilizante da espuma na cerveja (ALMAGUER et al., 2014; OCVIRK et al., 2016).

*Figura 2 - Flores de lúpulo feminina (à esquerda) e flores de lúpulo masculina (à direita)*



Fonte: Rocha, 2005

O lúpulo pode ser propagado vegetativamente ou por sementes, mas devido ao fato de ser uma planta dióica possui alta heterogeneidade, sendo usualmente propagada vegetativamente para plantios comerciais, e por semente voltada para os programas de melhoramento (DENOMA, 2000).

As sementes de lúpulo apresentam dormência, ocasionada pela baixa permeabilidade do tegumento e pela presença de resinas que evitam que o embrião absorva água e oxigênio, motivo pelo qual a propagação seminal tem tempo curto para ser realizada em plantio comercial (LIBERATORE et al., 2018).

A propagação vegetativa pode ocorrer por intermédio de rizomas ou da parte aérea. As estacas são obtidas na poda de início da primavera e normalmente são utilizadas estacas de 10 a 15 cm, posicionadas na horizontal, cobertas por uma camada de solo de 5 cm. A propagação da parte aérea pode ser realizada por alporquia, mergulhia ou estaquia, a partir da escolha de ramos jovens vigorosos. Na estaquia devem ser utilizadas estacas com dois nós e com folhas, mantendo o substrato úmido, em temperaturas em torno de 25°C (ROCHA, 2005; GOMES et al., 2018).

## 2.2. EXIGÊNCIAS EDAFOCLIMÁTICAS

A faixa ideal de temperatura para o desenvolvimento do lúpulo está entre 16° a 18 °C, as quais estimulam seu desenvolvimento. Em temperaturas abaixo de 5°C e acima de 35°C a planta tem seu crescimento paralisado (RYBACEK, 1991). O lúpulo responde à

soma das temperaturas efetivas do ar, desde a brotação até à maturidade dos cones. A soma das temperaturas efetivas varia entre 1751 a 2900°C dependendo da variedade (MAROVT, 2007), como fator determinante de crescimento a cultura necessita de um início de primavera com tempo seco e fresco e, posteriormente, um verão mais quente e chuvoso (DODDS, 2017). É durante a época de floração e da transformação da flor em cone, que se verifica a maior exigência de temperaturas mais elevadas. Obtêm-se os melhores rendimentos quando chove suficientemente, com temperaturas entre 21 e 39°C, as plantas de lúpulo alcançam a assimilação máxima de carbono nessas temperaturas, quando há água suficiente (GONSAGA, 2021).

As condições ideais para o cultivo do lúpulo são solos argilosos ou arenosos profundos, com fácil drenagem, alta exposição à luz durante o crescimento da planta e clima frio (NEVE, 1991). O pH mais favorável é de 6,0 a 6,5 (CARRILHO, 1981; LINKE, 1958). Solos deficientemente drenados, solos fortemente alcalinos ou salinos devem ser evitados (CARTER et al., 1990), bem como solos pedregosos (VASCONCELOS, 1949).

Para que a planta de lúpulo cresça com sucesso sem irrigação, a precipitação durante o período de crescimento não deve ser inferior a 300 mm e deve ser bem distribuído (BURGUESS, 1964; DUQUE, 1983; LINKE, 1958).

Na estação da primavera a demanda por água é relativamente pequena, pois nessa estação ocorrem as brotações. Em contrapartida, no fim da primavera e início do verão quando se inicia a fase de desenvolvimento, bem como o crescimento dos ramos e folhas, floração e formação das inflorescências, a demanda hídrica é maior (FRIC et al., 1991; NEVE, 1991; SPÓSITO et al., 2019), pois nessa fase ocorre a produção e o acúmulo dos compostos (DE KEUKELEIRE et al., 2007). A ausência de água nessa fase poderá afetar significativamente a produção, bem como a qualidade dos cones (HNILICKOVA; NOVAK, 2000; FANDIÑO et al., 2015).

O lúpulo é uma planta exigente em luz, e esse fator deve ser levado em conta na localização do plantio do lupulal. Segundo Rybacek (1991), os lúpulos de qualidade cultivados geralmente requerem de 1800 a 2000 horas de radiação solar por ano. Sendo que dentro deste intervalo, 1300-1500 horas devem ocorrer no período vegetativo, onde

a planta necessita de mais energia para formação de biomassa. Considerando que o período vegetativo do lúpulo dura entre 122 e 127 dias (RYBACEK, 1991), a planta necessita em média de 11,2 horas de sol por dia na primavera. A duração do dia afeta principalmente o início da floração.

Devido a estas exigências de clima e solo para cultivo, acreditava-se que não era possível cultivar lúpulo no Brasil. Porém, algumas iniciativas para a produção de lúpulo em diferentes cidades das regiões sul, sudeste, norte e nordeste do Brasil, que derrubaram o mito da impossibilidade de se cultivar e produzir lúpulo no país (DURELLO et al., 2019).

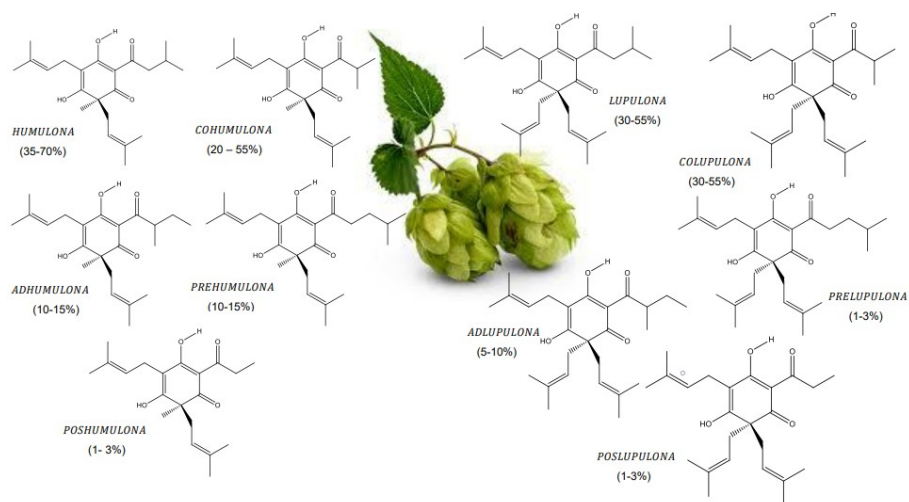
### 2.3. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS INFLORESCÊNCIAS DE LÚPULO

A composição química do lúpulo depende de fatores genéticos, maturação, geografia, amadurecimento, processamento pós-colheita e armazenamento (SILVA, 2019). As características como aroma e amargor de uma cerveja estão também relacionadas à quantidade e qualidade de lúpulo e tempo de adição de lúpulo, bem como a tecnologia geral de fabricação de cerveja aplicada (RETTBERG et al., 2018). Essas características distinguem-se entre a composição química: água (8-14 %); proteínas (12-24 %); resinas totais (12-21 %); alfa-ácidos (3- 20 %); beta-ácidos (3-6 %); taninos (2-6 %); celulose (10-17 %); cinzas (7-10 %); e óleos essenciais (0,5- 2 %) (HIERONYMUS, 2012). Os  $\alpha$ -ácidos contribuem para o amargor da cerveja e atuam como agentes bacteriostáticos favorecendo a ação das leveduras e inibindo a ação de algumas bactérias (CANBA; ERTEN; ÖZAHIN, 2001). Os  $\alpha$ -ácidos, contribuem mais para o aroma do que para o sabor. Segundo De Keukeleire et al., 2007, os  $\alpha$ - e  $\beta$ -ácidos começam a acumular desde o início do estágio de floração.

As resinas produzidas pelas flores do lúpulo incluem os ácidos amargos, que compõem todas as frações amargas e podem ser classificadas em resinas duras e macias. Dentro das resinas macias, de coloração amarela e aspecto fluido, denso e viscoso, encontram-se os ácidos amargos mais valiosos (Figura 3), os alfa-ácidos (Humulona, Cohumulona, Adhumulona, Prehumulona e Poshumulona), que variam de 3 a 17% e a fração  $\beta$ . Essa por sua vez pode ser dividida em  $\beta$ -ácidos (Lupulona, Colupulona, Adlupulona,

Prelupulona e Poslupulona), em uma proporção menor de 3 a 7% e resinas macias não caracterizadas, conforme aponta Krottenthaler (2009). O teor de alfa-ácidos é um parâmetro crucial para a qualidade do lúpulo no mercado, variando de 2 a 8% em variedades aromáticas e de 12 a 18% em variedades mais amargas, segundo Pavlovič (2009).

*Figura 3 - fórmula química dos ácidos amargos presentes na lupulina: alfa-ácidos (Humulona, Cohumulona, Adhumulona, Prehumulona e Poshumulona) e β-ácidos (Lupulona, Colupulona, Adlupulona, Prelupulona e Poslupulona)*



Os óleos essenciais do lúpulo são produzidos nas glândulas de lupulina, e representam de 0,5 a 3,0 % da massa seca do lúpulo (DURELLO et al., 2019). Os óleos essenciais são o grupo de compostos químicos responsáveis pelo componente aromático das várias cultivares e, portanto, aqueles que vão conferir o seu perfil aromático à cerveja (RODRIGUES et al., 2015). Os grupos a que pertencem estes compostos são o grupo dos monoterpenos, os sesquiterpenos e os álcoois terpênicos. Do grupo dos monoterpenos aparecem como compostos majoritários o mircenol, limoneno e o alfa-pineno. Do grupo dos sesquiterpenos aparecem como compostos majoritários o farneseno, humuleno e o beta-cariofileno. Do grupo dos álcoois terpênicos apenas aparece um composto, que é o linalol (LESKOVAR, 1978). A composição química dos cones de lúpulo depende de fatores genéticos que distinguem as diversas cultivares de lúpulo, ponto de colheita, condições climáticas e geográficas e processamento pós-colheita. Apesar disso, a literatura relata a existência de mais de 200 compostos químicos diferentes já identificados nos óleos essenciais do lúpulo por cromatografia gasosa e espectrometria de massa (CG-EM) (DURELLO et al., 2019).

As características como aroma e amargor de uma cerveja estão também relacionadas à quantidade e qualidade da dosagem de lúpulo e tempo de adição de lúpulo, bem como a tecnologia geral de fabricação de cerveja aplicada (RETTBERG et al., 2018). Pesquisas recentes conduzidas por (KOVACEVIC et al., 2022) analisaram a variação na composição química dos cones de lúpulo em diferentes estágios de maturação e condições climáticas. Este estudo confirma que o perfil de compostos bioativos, incluindo os ácidos alfa e beta-lupulinos, bem como os óleos essenciais, varia significativamente em função das condições ambientais e do ponto de colheita. Tal variação destaca a complexidade da agricultura do lúpulo e a necessidade de uma gestão agrônômica e de colheita precisas para manter a qualidade desejada do produto final.

#### 2.4. O CULTIVO NO BRASIL

O cultivo de lúpulo no Brasil tem experimentado um crescimento significativo nos últimos anos. Em 2023, a produção de lúpulo no país alcançou 88 toneladas, o que representa um aumento de 203% em comparação com o ano anterior. A área total dedicada ao cultivo de lúpulo atingiu 111,18 hectares, com um crescimento de 133%. Atualmente, há 114 produtores de lúpulo no Brasil, mostrando um aumento anual de 40% no número de produtores. Em comparação, a Argentina, que tem meio século de experiência na cultura, possui uma área total de 181,3 hectares de cultivo. A Aprolúpulo (Associação Brasileira de Produtores de Lúpulo) destaca que o avanço na mecanização da colheita e na melhora dos processos de beneficiamento do produto final têm sido fundamentais para esse crescimento. Além disso, 110 cervejarias brasileiras, especialmente as artesanais, já estão utilizando ou trabalhando com lúpulo brasileiro, integrando os produtores à cadeia cervejeira nacional.

Estudos realizados no Brasil também demonstram a viabilidade do cultivo de lúpulo sob as condições climáticas brasileiras, especialmente para as variedades Cascade e Chinook. Foi observado que, apesar das diferenças climáticas em relação aos principais países produtores, é possível contornar problemas como a menor incidência de luz natural no Brasil (até 14 horas diárias) com o uso de iluminação artificial para ampliar o período luminoso. Pesquisas sobre os compostos de óleos voláteis dessas variedades



revelaram que elas possuem os principais constituintes químicos encontrados no material comercial, especialmente a partir do segundo ano de cultivo. Isso indica que as plantas se adaptam bem ao clima tropical de São Paulo, apresentando uma boa resposta em termos de fotossíntese, presença de enzimas antioxidantes e produtividade de cones

Esses desenvolvimentos são muito promissores para a indústria cervejeira nacional e para os produtores de lúpulo, indicando um caminho sustentável para a redução da dependência de importações e para a valorização de ingredientes locais nas produções cervejeiras artesanais do Brasil.

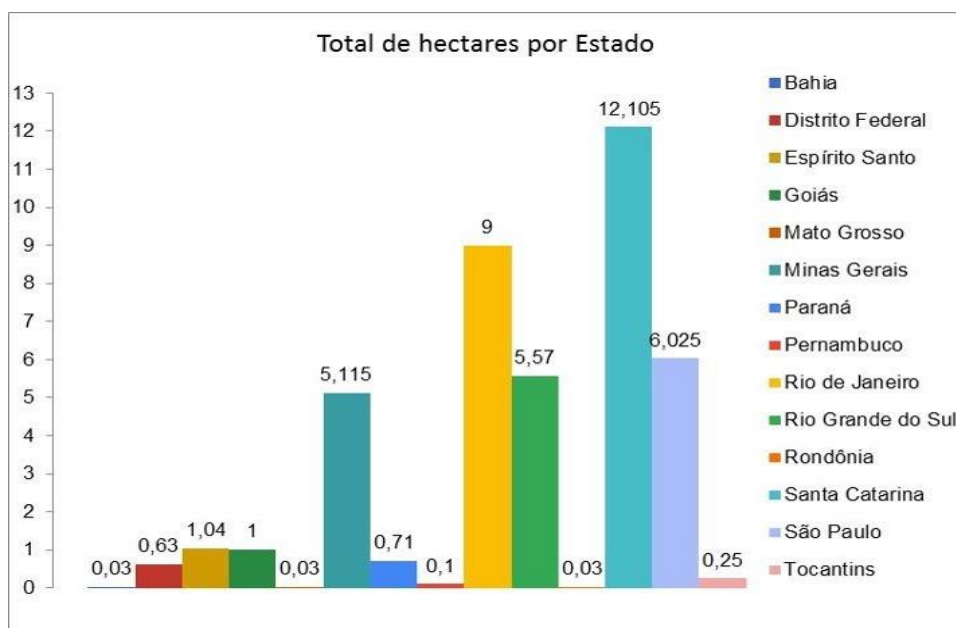
O Brasil não possui produção expressiva de lúpulo, sendo, praticamente, toda a demanda da indústria nacional abastecida por importações. Alguns fatores como custo de implantação e baixa produção nos primeiros anos podem explicar a dificuldade para que os produtores iniciem as atividades no cultivo. Segundo MAPA (2021) o custo de implantação do hectare de lúpulo em um sistema de condução em treliça alta V é de aproximadamente R\$187.534,68, sendo os maiores custos as mudas e postes utilizados. Fagherazzi et al. (2018) relatam que a produção por planta no primeiro ano foi de menos de 2 Kg, porém existe a tendência de aumento de produção com o aumento da idade do plantio devido aos rizomas estarem com mais reservas nutricionais.

Existem mais de 260 variedades de lúpulo catalogadas, cada uma com diferentes características apreciadas pela indústria cervejeira em relação à amargor, aroma e sabor (HEALEY, 2016). Atualmente o Brasil possui 48 cultivares no Registro Nacional de Cultivares, sendo que todas livres de patentes (RNC, 2021).

Os principais fornecedores de lúpulo ao Brasil são Alemanha e EUA com, respectivamente, 1.457 e 864 toneladas exportadas ao Brasil em 2017. Em relação aos valores financeiros das operações, os EUA lideram a balança comercial do lúpulo com aproximadamente 19 milhões de dólares exportados ao Brasil, enquanto a Alemanha, em segundo posto, exportou 15,7 milhões de dólares em 2017 (MARCUSO; MÜLLER, 2018). Os líderes mundiais na produção de lúpulo são os Estados Unidos com 48 mil toneladas e a Alemanha com 47 mil toneladas, seguidos pela República Tcheca e China, que apresentam produções de 6 e 7 mil toneladas, respectivamente. (ICHG, 2020). Atualmente há relatos de produção de lúpulo em diversos estados brasileiros, do Sul ao Norte do país como mostra o Gráfico 1. Segundo um levantamento

feito pela APROLUPULO em 2022, São Paulo (15.4 ha), Rio grande do Sul (9.6 ha) e Santa Catarina (8.6 ha) são os estados brasileiros com a maior concentração de produtores e de área cultivada.

Figura 4 - Total de hectares plantados de lúpulo *Humulus lupulus* L. por estado em 2021.



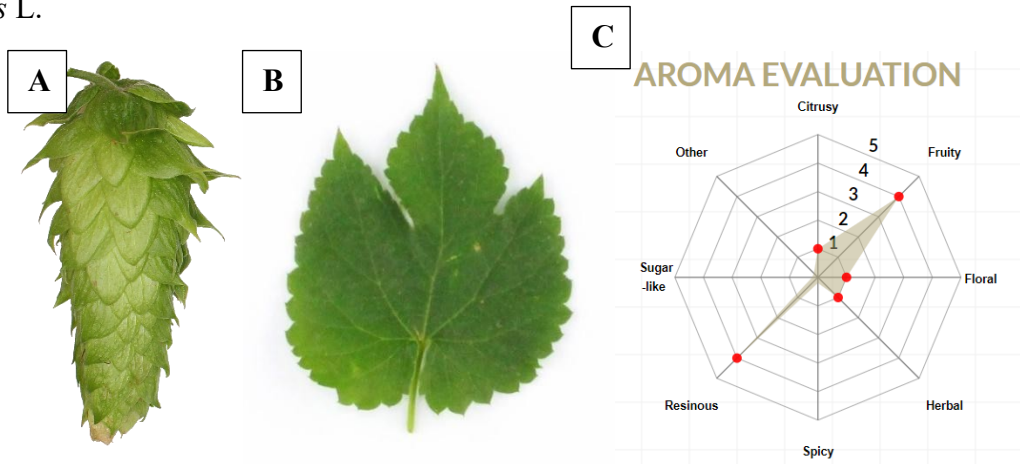
Fonte: Aprodúpulo, 2021

## 2.5. VARIEDADES ANALISADAS

### 2.5.1 Chinook

Criada a partir de um cruzamento entre Petham Golding e uma planta macho selecionado pelo USDA (Figura 5). Possui elevados teores de alfa ácido e boas propriedades de armazenamento. Foi desenvolvido pela USDA no programa de melhoramento genético executado no estado de Washington e lançado em 1985. Contém 10,0 a 14,0% de alfa ácidos e 3,5 a 4,5% de beta ácidos. Potencial produtivo 1.600 a 2.000 kg/ha e 1,5 a 2,7 ml/100g de óleos essenciais. Possui ciclo produtivo precoce a mediano, e é tolerante a murcha do *Verticillium* e susceptível ao míldio *Pseudoperonospora humuli* (WOODSKE, 2012).

Figura 5 – Cone (A), folha (B) e perfil aromático (C) da variedade ‘Chinook’. *Humulus lupulus* L.

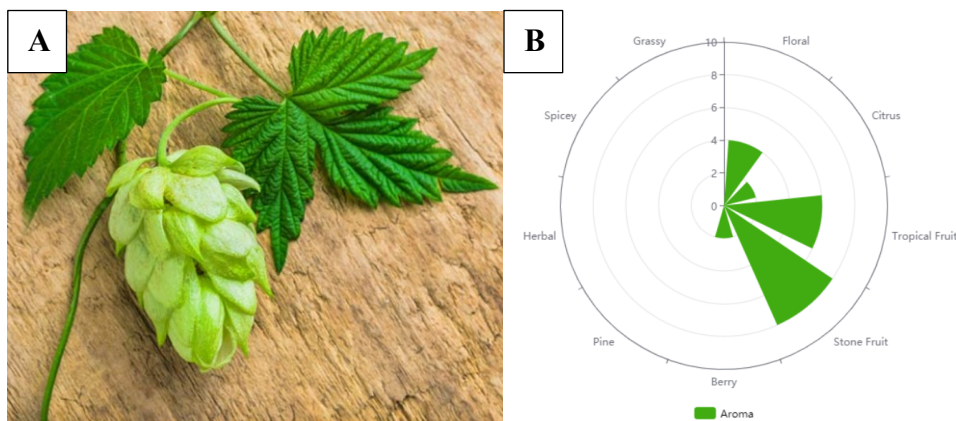


Fonte: Hopsteiner (2022)

### 2.5.2 Alpha Aroma

Foi inicialmente cultivado no final dos anos 1970 a partir da variedade ‘Smooth Cone’ através de polinização aberta, mas não foi lançado no mercado até 1983. Foi relançado sob o novo nome (Rakau) em 2007 (Figura 6). De acordo com a New Zealand Hops Limited, Alpha Aroma não existe mais como uma variedade de nome comercial. Apesar disso, atualmente está sendo cultivado e vendido sob seu nome antigo pela Dutchess Hops de Nova York, que o plantou nos EUA em 2013. Produtividade média de 1230kg/ha, Composição de Alpha Ácido: 5.8%-10.9%, composição de Beta Ácido: 2.6%-4.8% e composição Total de Óleos: 1.21 mL/100g (BARTH HAAS, 2022).

Figura 6 - Cone, folha (A) e perfil aromático (B) da variedade 'Alpha Aroma'. *Humulus lupulus* L.



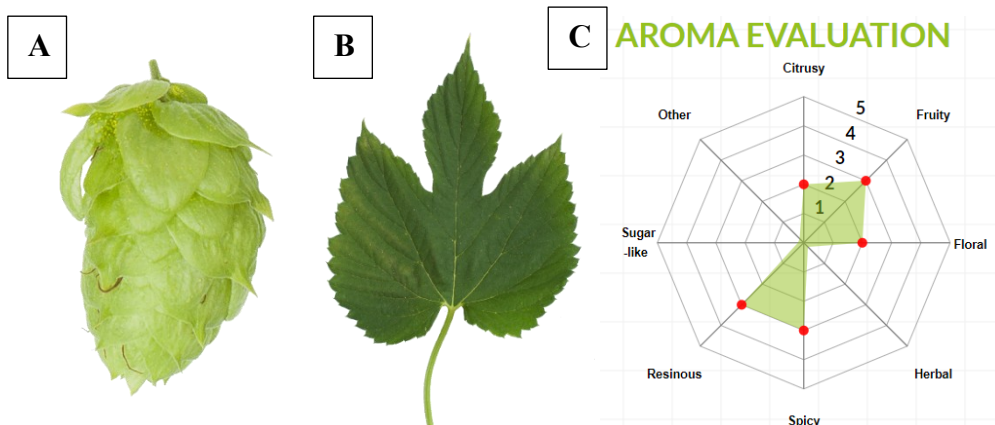
### **2.5.3 Southern Cross**

Southern Cross foi criado pelo programa de melhoramento da HortResearch da Nova Zelândia como um cruzamento entre Smooth Cone e o resultado de um Fuggle Californiano e Inglês. Foi lançado em 1994. É considerada uma variedade sem substituto pelas suas características cítricas e apimentadas conferidas à cerveja. Possui uma produtividade média de 850kg/ha, uma composição média de alfa ácidos de 13-14%, beta ácidos 6-7% e óleos essenciais 1.59mL/100g (FRESHOPS, 2022; HOPSTEINER, 2022).

### **2.5.4 Nugget**

Lúpulo norte-americano (Figura 7), desenvolvido a partir de um cruzamento entre uma planta feminina de Brewer's Gold e um genitor masculino de alto alfa-ácido e boas propriedades de armazenamento, sendo assim seu pedigree é composto por 5/8 de 'Brewer's Gold', '1/8 Early Green', '1/16 East Kent Golding', 1/32 'Bavarian' e 5/32 desconhecido (FRESHOPS, 2022; HOPSTEINER, 2022). O cruzamento foi realizado em 1970 e seu lançamento em 1982, pouco exigente em relação à fertilidade do solo, se adapta facilmente a várias localidades. Resistente ao míldio, oídio e murcha-de-verticílio (HEALEY, 2016; FRESHOPS, 2022). Possui uma produtividade média entre 1900-2500 kg/ha, apresenta teores de alfa-ácidos que variam entre 9,0% e 13,0%, betaácidos de 3,0% a 5,0% e teores de óleos essenciais de 0,9 a 1,3 mL 100g-1. Possui aromas que remetem a limão, lichia e abacaxi (BARTH HAAS, 2022).

Figura 7 – Cone (A), folha (B) e perfil aromático (C) da variedade ‘Nugget’. *Humulus lupulus* L.

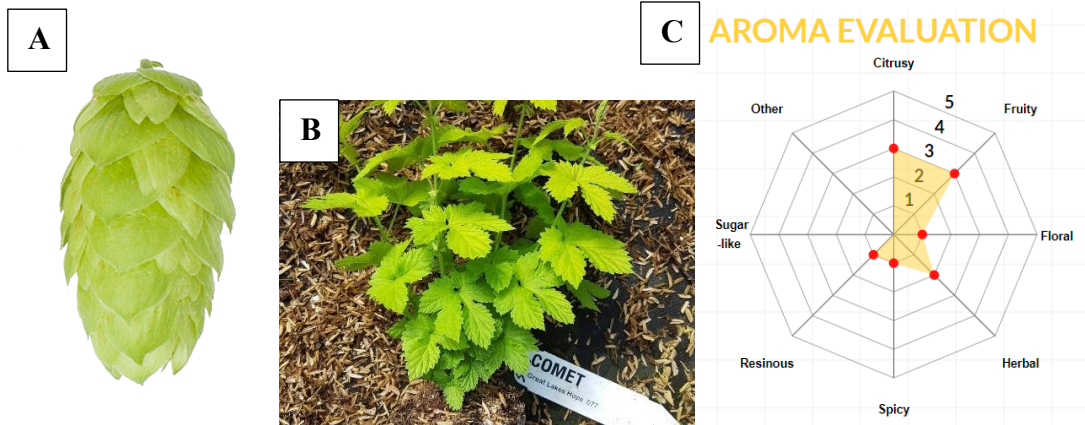


Fonte: Hopsteiner (2022)

### 2.5.5 Comet

Comet tem um parentesco intrigante de English Sunshine e um lúpulo nativo americano, trazendo um sabor “americano selvagem”. Lançado em 1974 pelo USDA (Figura 8), o Comet foi originalmente criado para atender às necessidades de lúpulos alfa mais altos. Atualmente, não está mais em produção comercial e é um pouco difícil de encontrar. O perfil de sabor do Comet baseia-se fortemente em um forte toque de toranja. Ele apresenta capacidades sólidas de amargor e tradicionalmente os cervejeiros o consideram mais adequado como agente de amargor para lagers de estilo americano. Recentemente, no entanto, houve um aumento em seu uso como dry-hop em ales e IPAs. Possui uma produtividade de 1900-2240 kg/ha, nas características químicas, essa variedade possui 9,4-12,4% de  $\alpha$ -ácidos, 3-6,1% de  $\beta$ -ácidos e 1,98mL/100g em óleos essenciais (HOPSLIST, 2022).

Figura 8 – Cone (A), folhas (B) e perfil aromático da variedade (C) ‘Comet’. *Humulus lupulus* L.

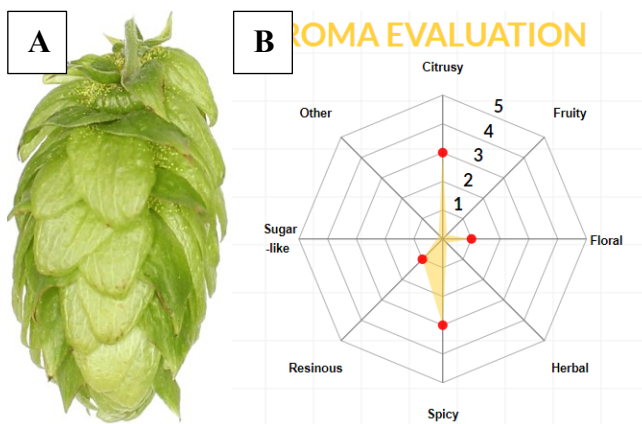


Fonte: Hopsteiner (2022)

### 2.5.6 Tahoma

Principalmente cultivada nos Estados Unidos, é uma variedade lançada em 2013 pela USDA e Washington State University como uma progênie da variedade Glacier (Figura 9). Possui uma alta produtividade de 2000-2200 kg/ha, teores de alfa ácido de 7.0-8.5%, beta ácido de 8.5-9.5% e um teor de óleos essenciais de 1-2mL/100g (HOPSLIST, 2022).

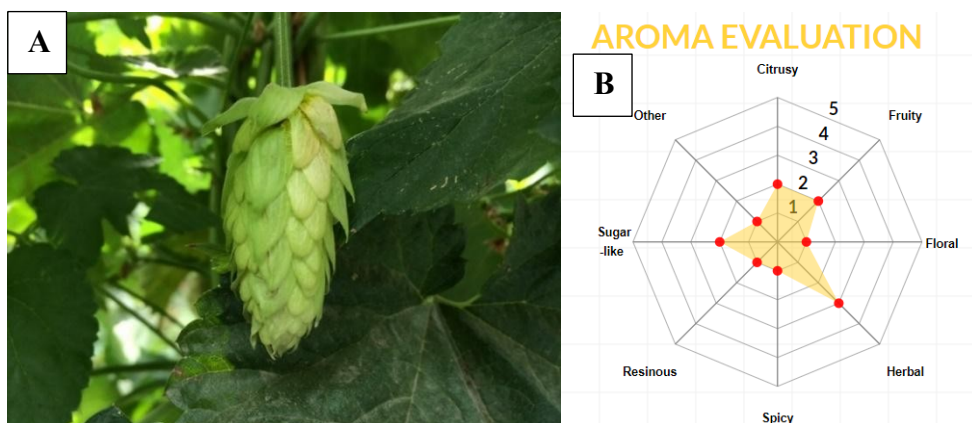
Figura 9 – Cone (A) e perfil aromático (B) da variedade ‘Tahoma’. *Humulus lupulus* L.



### 2.5.7 Sorachi Ace

O Sorachi Ace (Figura 10) é um lúpulo de duplo uso (amargor e aroma). Foi desenvolvido pela cervejaria japonesa Sapporo em 1970 e disponibilizado para produção e comercialização nos Estados Unidos em 2006. É um cruzamento entre os lúpulos Saaz e Brewer's Gold. É muito usado para amargor, porém, seu intenso aroma e sabor de limão com notas de chá e sementes de coentro, fazem dele uma excelente escolha para lúpulo de aroma. Altamente recomendado para cervejas refrescantes como IPAs, Saison e até cervejas de trigo. Possui uma produtividade média de 1560-1680 kg/ha,  $\alpha$ -ácidos de 12-16%,  $\beta$ -ácidos de 6-7% e um teor de óleos essenciais de 2-3 mL/100g (INFOBEER, 2022).

Figura 10 – Cone (A) e perfil aromático da variedade (B) 'Sorachi Ace'. *Humulus lupulus* L.



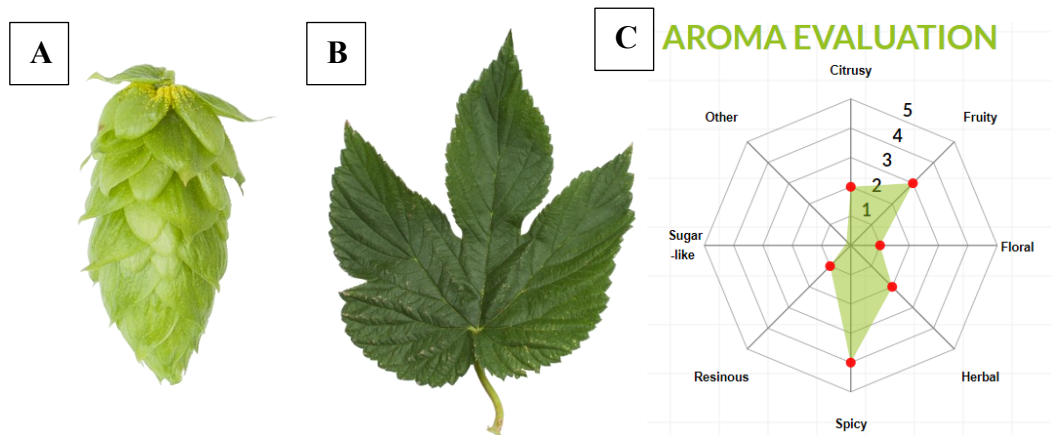
Fonte: Charles Faram (2022)

### 2.5.8 Magnum

Essa variedade foi desenvolvida no programa de melhoramento da “Hop Research Institute” em Hüll, em 1980 na Alemanha, obtida pelo cruzamento entre a variedade ‘Galena’ e uma planta masculina alemã (Figura 11). A ‘Magnum’, também conhecida como ‘Hallertau Magnum’, tem um potencial de produção de 1340 a 1700 kg/ha. Essa é a variedade com maior teor de alfa-ácidos em produção na Alemanha. A ‘Magnum’ apresenta uma concentração de 11 a 16 % de alfa-ácidos, sendo 21 a 29 % de cohumulona, 5 a 7 % de beta-ácidos e 1,6 a 2,6 mL de óleos essenciais /100g. Essa variedade além de ter um alto teor de alfa-ácidos apresenta uma boa produção e mostra-

se resistente as principais doenças. A ‘Magnum’ é utilizada na produção de cervejas dos tipos Ale, Lager, Stout e Pilsner. (SPÓSITO, 2019).

Figura 11 – Cone (A), folha (B) e perfil aromático (C) da variedade ‘Magnum’. *Humulus lupulus* L.



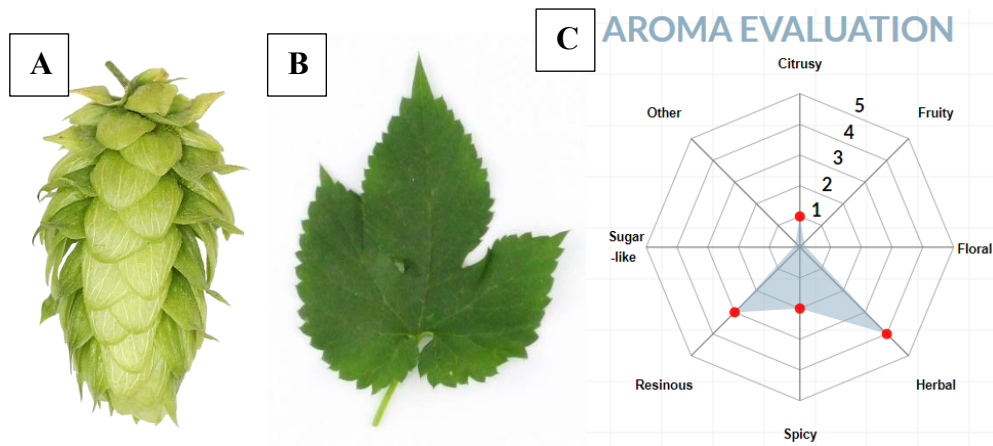
Fonte: Hopsteiner (2022)

### 2.5.9 Crystal

Crystal é uma variedade triplóide que foi criada pela U.S.D.A. de Hallertau mf, Cascade, Northern Brewer e Early Green (Figura 12). É percebido como o mais pungente da família triplóide de lúpulo Hallertau, e é cada vez mais popular entre os cervejeiros artesanais dos EUA. É uma variedade versátil que é utilizada em Pilsners e Lagers, assim como em ESB's e Ales americanas e belgas. Sua produtividade média é de 2100-2500 kg/ha, seus teores de  $\alpha$ -ácidos vão de 3,5-6,2%, 4,5-6,5% de  $\beta$ -ácidos e 1 a 1,5 mL de óleos essenciais /100g (FRESHOPS, 2022).



Figura 12 – Cone (A), folha (B) e perfil aromático (C) da variedade ‘Crystal’. *Humulus lupulus* L.

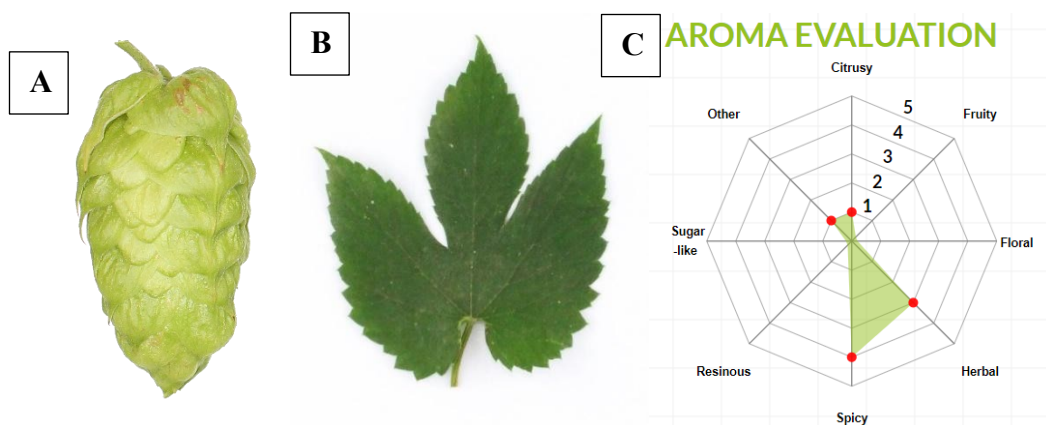


Fonte: Hopsteiner (2022)

### 2.5.10 Zeus

Variedade com alta concentração de  $\alpha$ -ácidos desenvolvida no Yakima Valley como parte do programa de melhoramento da Hopsteiner (Figura 13), com aromas de pimenta preta, cebola e citrus, possui uma produtividade de 2.680 a 3.000 kg/ha, suscetível a mildio e afídeos, concentração de  $\alpha$ -ácidos de 15-17%,  $\beta$ -ácidos de 4-6% e um teor de óleos essenciais de 2.5 a 3.5 mL/100g (HOSPTEINER, 2022).

Figura 13 – Cone (A), folha (B) e perfil aromático (C) da cultivar ‘Zeus’. *Humulus lupulus* L.



Fonte: Hopsteiner (2022)

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Caracterização da área de estudo

O experimento foi realizado em um lupulau no bairro São Miguel em Lages-SC de propriedade da AMBEV (27°49'42"S, 50°16'0"W, 960 m de altitude). A região tem clima Cfb (temperado com verão fresco), a temperatura média anual é de 14,3°C e a precipitação anual é de 1479,4 mm (CARDOSO et al., 2003). O solo é um Cambissolo húmico alumínico, com problemas de drenagem.

O sistema de condução das plantas vertical, em 'V', com postes de 5,5m. Para instalar a condução das plantas em "V" foram fixadas cordas de sisal do arame até a superfície do solo, sendo puxados dois fios por planta, onde foram selecionados de dois a quatro ramos mais vigorosos e com a forma hexagonal (PERAGINE, 2011), para serem conduzidos no sisal no sentido horário (Figura 14).

O espaçamento de plantio de 1,00m entre plantas e 3,5m entre linhas, resultando em 2857 plantas por hectare. A área total de 2520m<sup>2</sup> (0,25ha). Foi instalado um sistema de iluminação artificial com lâmpadas LED no topo das filas aproveitando a estrutura de postes e treliças, contendo 6 LED's brancos de 20W de potência por fila, espaçadas em 10 metros, para suprir a necessidade de fotoperíodo, a suplementação foi realizada nos meses de dezembro à fevereiro. O pomar, orientado no sentido Norte-Sul, foi plantado em meados de dezembro de 2022. Cada cultivar ocupou uma fila de 60m, totalizando 60 plantas por fila. Nas entrelinhas a vegetação espontânea, composta praticamente pelas espécies Buva (*Coryzsa* spp.), Tiririca (*Cyperus rotundus*) e Trapoeraba (*Commelina* ssp. L.), foi manejada com roçadas manuais quando necessário.

Foram avaliadas 10 variedade de lúpulo, Alpha Aroma, Chinook, Comet, Crystal, Magnum, Nugget, Sorachi Ace, Southern Cross, Tahoma, Zeus. As variedades de lúpulo são comumente classificadas em 3 grupos, lúpulos de amargor, lúpulos de aroma e lúpulos de dupla aptidão (SPÓSITO et al., 2019). Dentre as variedades avaliadas, são classificadas como lúpulos de amargor Magnum, Nugget e Zeus. Na aptidão de lúpulos

de aroma se encontram a Crystal, Sorachi Ace e Tahoma, e os lúpulos considerados de dupla aptidão estão Alpha Aroma, Chinook, Comet e Southern Cross.

*Figura 14 - Área experimental de lúpulo *Humulus lupulus* L. na AMBEV-SC, 10 filas, espaçamento 1 x 3,5m*



Fonte: Luiz Humberto Mattos Brighenti (2023)

### 3.2 Tratos Culturais

No final de dezembro foi realizada uma poda seletiva dos brotos, com o intuito de uniformizar a brotação, eliminar ramos ladrões e favorecer a emergência de ramos mais vigorosos. Após a seleção e condução dos ramos, foi realizada a poda de todos os brotos que não foram conduzidos.

O ponto ideal de maturação tecnológica para a colheita foi definido através da determinação da matéria seca de amostras de cones, que foi feita após constatado no campo que os cones atingiram os parâmetros qualitativos de ponto ideal para a colheita, que são: mudança sutil de cor verde para amarelado; barulho de amassar o cone como

se fosse papel ao toque e cor amarela das glândulas de lupulina se intensificam (DODDS, 2017).

Após essas avaliações sensoriais, foram retiradas amostras de cones da parte superior da planta, de cada cultivar, a fim de determinar em laboratório o teor de matéria seca dos cones, que se encontravam no momento considerado ideal de colheita, quando atingirem de 20 a 23% de matéria seca (MADDEN; DARBY, 2012). A colheita foi realizada em março e abril de 2023.

### 3.3 Fenologia

Os dias até a maturidade tecnológica foram calculados com base no número de dias a partir da data de plantio do lupulau até a data em que a maioria dos cones atingiu a maturidade tecnológica.

### 3.4 Avaliações Vegetativas e Produtivas

Após a colheita, realizada no ponto de maturidade tecnológica da cultura, foram realizadas as avaliações vegetativas e produtivas, para tal foram selecionadas aleatoriamente 4 plantas de cada cultivar.

Foram realizadas medidas de: altura da planta, número de pares de ramos laterais, altura do 1º cone, altura do 1º ramo lateral, peso da planta, peso fresco e seco de cones, peso de 10 e 30 cones, comprimento e diâmetro de cone, e número de cones por planta.

A altura de formação dos cones (m) foi medida como a distância da superfície do solo até o nó do qual os primeiros ramos férteis foram formados. Para estimar a altura da planta, do 1º cone, e do 1º ramo lateral, considerou-se a média das medidas dos ramos em ambos os lados da planta, devido ao sistema de condução em 'V'. Para as medidas de altura, foi utilizada uma fita métrica.

Na determinação do comprimento e diâmetro do cone (cm), foram medidos, com paquímetro digital, trinta cones de cada planta, sendo selecionados os que apresentavam comprimento mais homogêneo.

A produtividade foi determinada como o peso fresco e seco dos cones (g) após a colheita, a produtividade da cultivar por hectare foi definida multiplicando o peso seco dos cones (g) por 2857 plantas, de acordo com o espaçamento de plantio adotado. Para peso, foi utilizada uma balança analítica digital. O número de cones por planta foi obtido pela média da pesagem de 10 e 30 cones.

Figura 15 – *Humulus lupulus* L. (A) lúpulos após processo de peletização, (B) medida de comprimento, (C) Pesagem dos cones úmidos, (D) Pesagem de 30 lúpulos e medição do tamanho e diâmetro com paquímetro digital, (E) colheita manual dos cones, (F) caixas de colheita



Fonte: Luiz Humberto Mattos Brighenti (2023)

### 3.5 Análises Químicas

As amostras obtidas no estudo foram secas em estufa até a umidade de 8%, posteriormente foram trituradas e peletizadas, após o processo de peletização os cones atingiram um percentual de 6 a 7% de umidade. Essa quantidade de umidade presente nos cones de lúpulo garante a qualidade química por certo período de tempo com temperaturas controladas (MADDEN; DARBY, 2012). Após serem peletizadas,

embaladas em recipiente escuro e à vácuo (Figura 16), as amostras foram enviadas para a empresa Kalamazoo em São Paulo para realização das análises químicas. Para a preparação das amostras foram moídos 75 - 125 g em alta velocidade por 20 – 30 segundos usando um liquidificador.

Avaliou-se o percentual de alfa ácidos totais, o percentual de beta ácidos totais, o índice de armazenamento (HSI) e os óleos essenciais totais (mL/100g).

*Figura 16 - Exemplo das embalagens à vácuo que foram submetidas para o laboratório de análise química.*



Fonte: Rohb-Alfa ácidos totais (%) e Beta ácidos totais (%)

Obtido através da metodologia ASBC - HOPS 6 – espectrofotometria (ASBC, 2023).  
titulação condutimétrica (EBC 7.4 2019)

#### 1. Preparação da Amostra (para pellets de lúpulo)

Moagem: Foram pesados entre 75 e 125g de pellets de lúpulo. As amostras foram moídas em alta velocidade por 20 a 30 segundos usando um liquidificador, tomando cuidado para evitar o aquecimento da amostra, o que poderia degradar os compostos de interesse. Para verificar se a moagem estava adequada, 95% do pó deve passar por uma peneira com 20 aberturas por polegada.

## 2. Extração da Amostra

Adição de Solvente: Foram adicionados 100ml de tolueno ao recipiente, utilizando pipeta para garantir precisão.

Agitação e Separação de Fases: O recipiente de extração foi fechado firmemente. A mistura foi agitada mecanicamente por 30 minutos à temperatura ambiente, usando um agitador rotativo a 200 rpm. Após a agitação, a mistura foi centrifugada a 2000 rpm por 5 minutos para separação das fases sólida e líquida.

## 3. Procedimento e Medição

Preparação do Branco do Reagente: Foi preparada uma mistura de tolueno diluído com metanol/alcalino de forma análoga à amostra de medição. Este foi o branco do reagente para comparação.

Preparação da Amostra de Medição: Foram transferidos 5ml do sobrenadante claro (fase líquida) para um frasco volumétrico de 100 ml. O volume foi completado até a marca com metanol (diluição A). A diluição A foi misturada com metanol alcalino para que a absorção da solução em 325 e 355 nm estivesse dentro de 0.1 - 0.8 A (diluição B). Foram anotados o volume utilizado da diluição A e o volume total da diluição B. A medição foi realizada imediatamente para evitar a decomposição dos ácidos.

## 4. Avaliação

Medição Espectrofotométrica: Um espectrofotômetro (SHIMADZU UV-1900i UV-Vis) foi usado para medir a absorção nos comprimentos de onda de 325 e 355 nm. Os

valores de absorção foram comparados com padrões conhecidos para calcular a concentração de ácidos alfa e beta na amostra.

## 5. Registro e Interpretação dos Resultados

Os resultados foram expressos em porcentagens de ácidos alfa e beta.

A condutimetria é um método complementar para medir a % de alfa e beta ácidos, a técnica consiste em medir a capacidade de uma solução de conduzir corrente elétrica, que é influenciada pela presença e concentração de íons na solução.

Foram trituradas 10g de pellets de lúpulo e colocados num Erlenmeyer de 250mL, juntamente com 100mL de tolueno para realizar a extração, o recipiente de extração foi fechado firmemente. A mistura foi agitada mecanicamente por 30 minutos à temperatura ambiente, usando um agitador rotativo a 200 rpm e deixado descansar por 1h para separação das fases líquida e sólida. Para análise da amostra, uma alíquota da amostra preparada é pipetada no béquer de amostra e metanol é adicionado. A solução é então titulada com acetato de chumbo padronizado em MeOH/ácido acético glacial até após o ponto de equivalência, utilizando o equipamento modular de titulação Metrohm (Herisau, Suíça). O conteúdo de ácidos alfa é expresso como LCV (valor de condutância com chumbo) em porcentagem de massa.

### -Índice de armazenamento (HSI)

Obtido através da metodologia ASBC - HOPS 12 – espectrofotometria (ASBC, 2023).

HSI é um indicador da estabilidade e qualidade do lúpulo ao longo do tempo, principalmente em relação à degradação dos compostos presentes no lúpulo.

1. Preparação da Amostra: O lúpulo (prensado, não prensado ou em forma de pellets) é moído, e o processo de moagem é feito de forma a preservar a integridade da amostra, principalmente em relação à umidade.



2. Extração da Amostra: A amostra moída é misturada com tolueno para extrair os compostos de interesse. A mistura é agitada e depois centrifugada ou deixada em repouso para separar as fases sólida e líquida.

3. Preparação para Medição (Diluições A e B): A fase líquida (sobrenadante) é diluída com metanol (diluição A), e depois essa diluição é misturada com metanol alcalino para ajustar a absorção dentro de uma faixa específica (diluição B), preparando a amostra para medição.

4. Medição: As medições de absorção são realizadas em comprimentos de onda específicos (325 nm e 355 nm, e também 275 nm para a avaliação final do HSI). Os valores obtidos são comparados com padrões para determinar se o lúpulo é um "good keeper" ou "poor keeper", ou seja, se mantém bem suas características ao longo do tempo.

5. Avaliação: Os resultados foram expressos em HSI, absorbância a 275 nm e absorbância a 325 nm. Os valores padrão identificados foram:

- "Good keeper" lúpulo: fresco = 0.22; envelhecido = 0.32
- "Poor keeper" lúpulo: fresco = 0.26; envelhecido = 0.79

-Óleos essenciais totais (mL/100g)

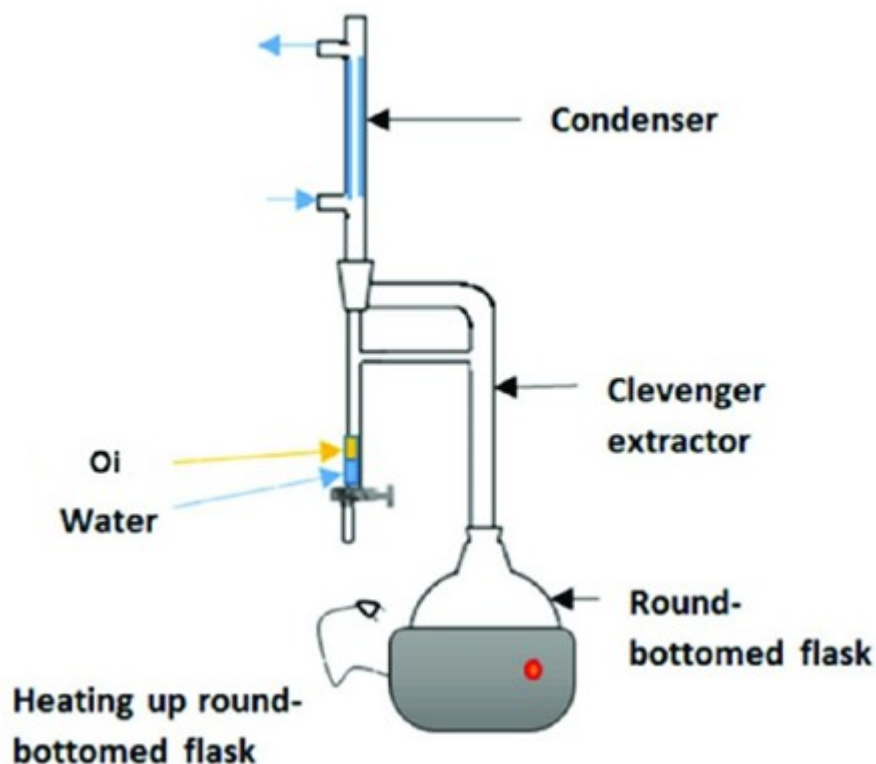
Obtido através da metodologia ASBC - HOPS 13 - destilação por arraste a vapor (ASBC, 2023).

O teor de óleos essenciais foi determinado seguindo o protocolo de análise recomendado pela American Society of Brewing Chemists – ASBC (HOPS 13). Os óleos essenciais foram extraídos das amostras de lúpulo utilizando a técnica de hidrodestilação no equipamento de Clevenger (Figura 4), onde os óleos são capturados pelo vapor d'água. Utilizou-se 100g de cada amostra, colocadas em um balão de fundo redondo com

capacidade para 5000mL. Para cada extração foram utilizadas 100g de amostra, que foram inseridas em um balão de fundo redondo de 5000mL. No mesmo foi adicionado 1200mL de água destilada para cobrir a manta térmica.

O aquecimento do sistema foi promovido por uma manta de aquecimento, onde foi mantido constante na temperatura mínima necessária para ebulição. O tempo de destilação foi mantido em quatro horas, contados a partir do momento da condensação da primeira gota. Após a extração foi realizada a leitura na coluna de retenção do Clevenger (Figura 17) e realizado o cálculo para a concentração de mL/100g.

*Figura 17 - Representação esquemática do aparelho Clevenger utilizado na destilação.*



Fonte: Huynh N. P. Dang

Para o cálculo do rendimento de extração de óleo essencial, utilizou-se a massa em base seca, conforme et al. (1998), sendo utilizada a Equação 1.

$$T (\%) = \frac{V_o \times 100}{Bm - \frac{Bm \times U}{100}} \quad \text{Eq. (1)}$$

Onde: T = teor de óleo (mL de óleo essencial em 100g de biomassa seca) ou rendimento de extração (%). Vo = volume de óleo extraído (mL), lido diretamente na escala do tubo separador. Bm = biomassa vegetal, medida em gramas.  $Bm - \frac{Bm \times U}{100}$  = quantidade de biomassa seca, isenta de água ou livre de umidade. Essa equação é largamente aplicada na determinação do teor de óleo essencial em base livre de umidade (BLU), sendo que o valor expresso em porcentagem, que corresponde ao volume/peso (mL de óleo essencial por 100g de biomassa seca) e indica o valor correto do teor de óleo contido na biomassa seca.

### 3.6 Delineamento Experimental e Análise Estatística

O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado, foram selecionadas aleatoriamente 4 plantas por cultivar para a realização das avaliações vegetativas e produtivas. Para as avaliações químicas foram analisadas 3 amostras de cada cultivar, as medidas foram realizadas em triplicata.

Os dados referentes ao monitoramento climatológico foram submetidos a análises descritivas para posterior interpretação para cada uma das cultivares estudadas.

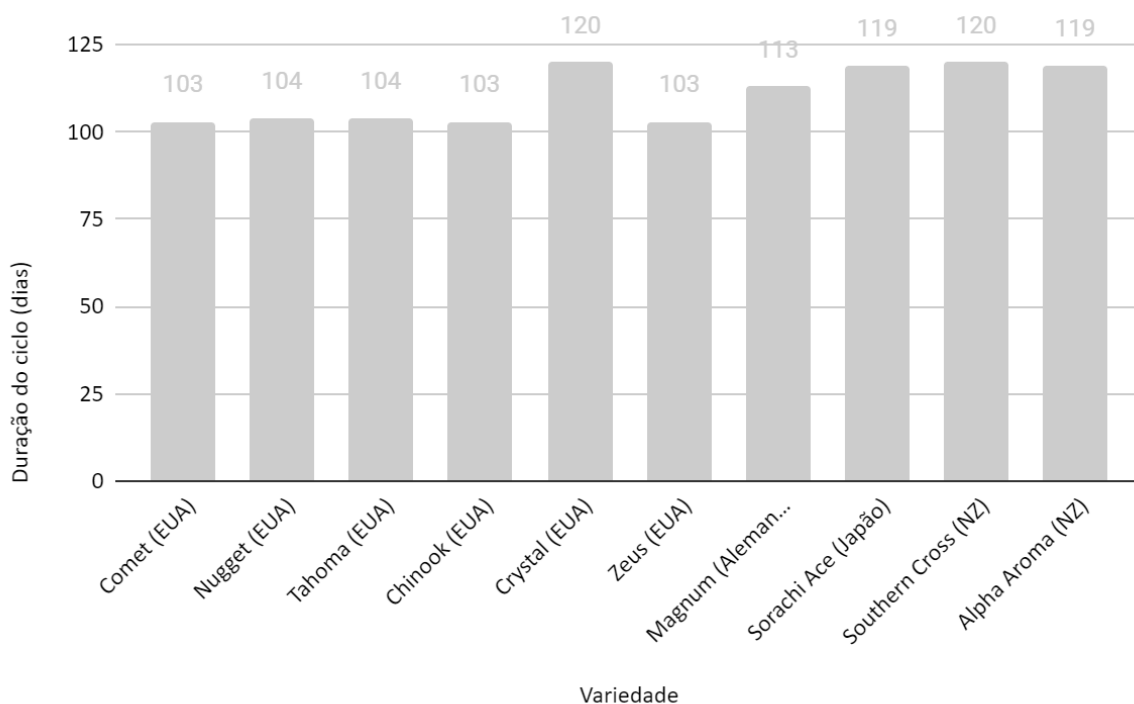
Os resultados obtidos através da avaliação das variáveis vegetativas, produtivas e químicas passaram por comparação através de análise de variância (ANOVA). Para comparação de médias foi utilizado o teste Scott Knott e para comparação de de médias com significância de 5% ( $p = 0,05$ ).

Os resultados também foram submetidos a análise multivariada de componentes principais (PCA). O software utilizado para o tratamento de dados será o RStudio (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2021).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Fenologia

Figura 18 - Duração do ciclo em dias de 10 variedades de lúpulo *Humulus lupulus* L. safra 2022/2023, Lages-SC



Os valores em dias do ciclo vegetativo de 10 variedades de lúpulo são apresentados na Figura 18. As variedades que apresentaram o ciclo mais curto foram ‘Comet’, ‘Chinook’ e ‘Zeus’ com 103 dias; ‘Nugget’ e ‘Tahoma’ com 104 dias. A duração do ciclo da cv. ‘Magnum’ foi de 113 dias. As cultivares que apresentaram o ciclo mais longo foram ‘Sorachi Ace’ e ‘Alpha Aroma’ com 119 dias; ‘Crystal’ e ‘Southern Cross’ com 120 dias (Figura 18).

A duração do ciclo do lúpulo em condições climáticas brasileiras (tropical) varia conforme a localidade e o ano de cultivo. Fagherazzi (2020) relatou que, em plantas no segundo ano da variedade ‘Chinook’ cultivadas em Lages-SC, o ciclo até a maturidade tecnológica foi de 189 dias. Fortuna et al. (2023) observaram valores de 154 dias para a variedade ‘Chinook’ e 152 dias para a variedade ‘Nugget’ no município de Botucatu-SP.

Já Nava (2023) registrou um ciclo de 140 dias para a variedade 'Chinook' no primeiro ano e 119 dias no segundo ano, no município de Dois Vizinhos-PR.

Acredita-se que a menor duração do ciclo observada neste trabalho possa estar relacionada com a época de plantio das mudas, uma vez que a época ideal das mudas serem plantadas é durante primavera. O plantio de todas as mudas foi realizado tardiamente no dia 13/12/2022, por esse motivo a duração do ciclo fenológico das plantas foi mais curto. O plantio de lúpulo no Brasil pode ser realizado em diferentes épocas do ano, conforme a região e o clima predominante. Para a Região Sul, recomenda-se o plantio dentre os meses de setembro a novembro (FAGHERAZZI; RUFATO, 2019).

No entanto, foram observadas através do número de dias para maturidade tecnológica, variações fenológicas entre as cultivares de diferentes origens, sugerindo um componente genético na duração do ciclo de crescimento e na adaptação climática. As observações mostraram que cultivares originárias dos Estados Unidos exibem ciclos de crescimento mais curtos em até 10 dias, em comparação com aqueles da Alemanha, e até 17 dias em comparação com Nova Zelândia e Japão, indicando uma possível adaptação às condições climáticas ambientais de Lages, SC, Brasil.

Isso sublinha a importância de selecionar cultivares adaptadas ao clima para novas regiões de cultivo de lúpulo, a fim de otimizar a produção e a qualidade. Visto que o ciclo da planta é geralmente afetado por condições de crescimento, como manejo e região de cultivo (FORSTER; SCHMIDT, 1994). O clima mais quente pode influenciar um crescimento vegetativo mais acelerado e floração precoce do lúpulo (ZMRZLAK; KAJFEŽ-BOGATAJ, 1996).

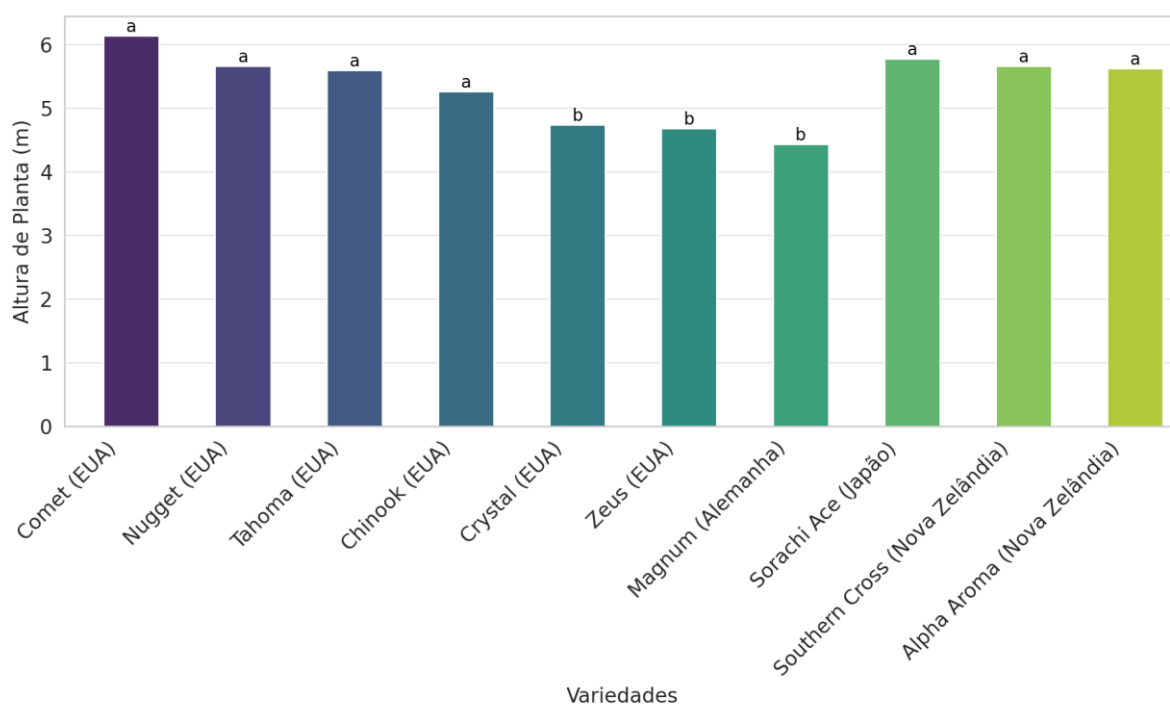
#### 4.3 Análises Vegeto-produtivas

##### - *Altura de Planta*

Quanto à altura da planta, essa variável é um indicador fundamental do vigor vegetativo e da capacidade de uma variedade para maximizar a captação de luz. Neste estudo,

várias variedades demonstram alcançar alturas significativas, sugerindo um potencial elevado de crescimento. Notavelmente, a variedade ‘Comet’ destacou-se com uma altura de 6.14m, posicionando-se no grupo estatístico superior juntamente com outras 6 (quais) variedades. Por outro lado, diferindo estatisticamente, as variedades ‘Crystal’ (4.74 m), ‘Zeus’ (4.69 m) e ‘Magnum’ (4.44 m) apresentaram alturas menores, com valores estatisticamente inferiores, indicando um crescimento mais limitado (Figura 19). Essa diferenciação na altura das plantas pode influenciar diretamente as estratégias de manejo e colheita, além de afetar a densidade de plantio recomendada.

Figura 19 - Altura de plantas (m) por variedade de lúpulo *Humulus lupulus* L. safra 2022/23 em Lages,SC

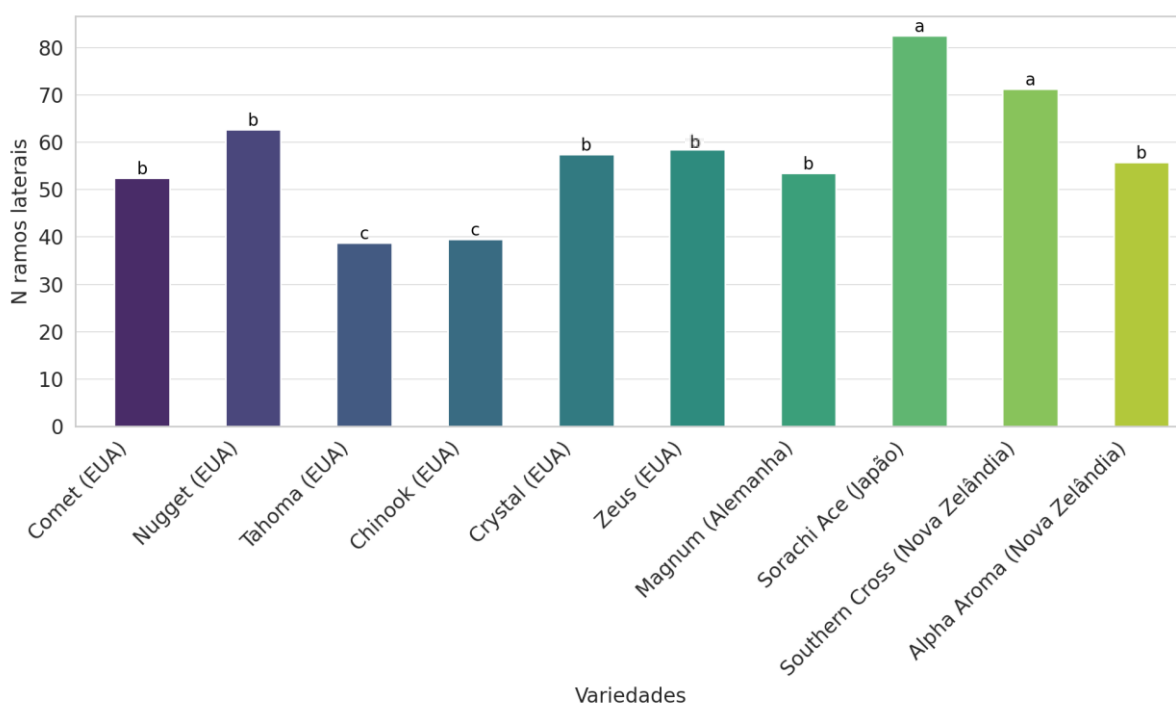


FAGHERAZZI (2019) encontrou uma altura média para a variedade ‘Chinook’ de 5,18 m em dois ciclos de avaliação (2018 e 2019) da cultivar em Lages/SC. Judd (2018) observou na Virginia - EUA valores, no ano de 2016, para as cultivares ‘Comet’ (4.51 m), ‘Nugget’ (4.72 m), ‘Tahoma’ (4.66 m), ‘Crystal’ (4.48 m), ‘Sorachi Ace’ (3.01 m) e Alpha Aroma (4.25 m), já no ano de 2017 os valores foram ‘Comet’ (5.17 m), ‘Nugget’ (4.82 m), ‘Tahoma’ (4.63 m), ‘Crystal’ (3.87 m), ‘Sorachi Ace’ (3.33 m) e Alpha Aroma (4.73 m).

- *Número de Ramos Laterais*

Em relação ao número de ramos laterais, uma métrica essencial para a avaliação da produtividade potencial, as variedades ‘*Sorachi Ace*’ e ‘*Southern Cross*’ foram superiores (82.50 e 71.25, respectivamente), demonstrando uma capacidade maior de ramificação com valores significativamente superiores as demais. As variedades ‘*Comet*’ (52.50), ‘*Nugget*’ (62.75), ‘*Crystal*’ (57.50), ‘*Zeus*’ (58.50), ‘*Magnum*’ (53.50) e ‘*Alpha Aroma*’ (55.75) se posicionaram no grupo estatístico médio, já as variedades ‘*Tahoma*’ (38.75) e ‘*Chinook*’ (39.50), estão posicionadas no grupo estatístico inferior, onde observamos um menor número de ramos laterais (Figura 20).

Figura 20 - Numero de ramos laterais (pares) por variedade de lúpulo *Humulus lupulus* L. safra 2022/23 em Lages,SC



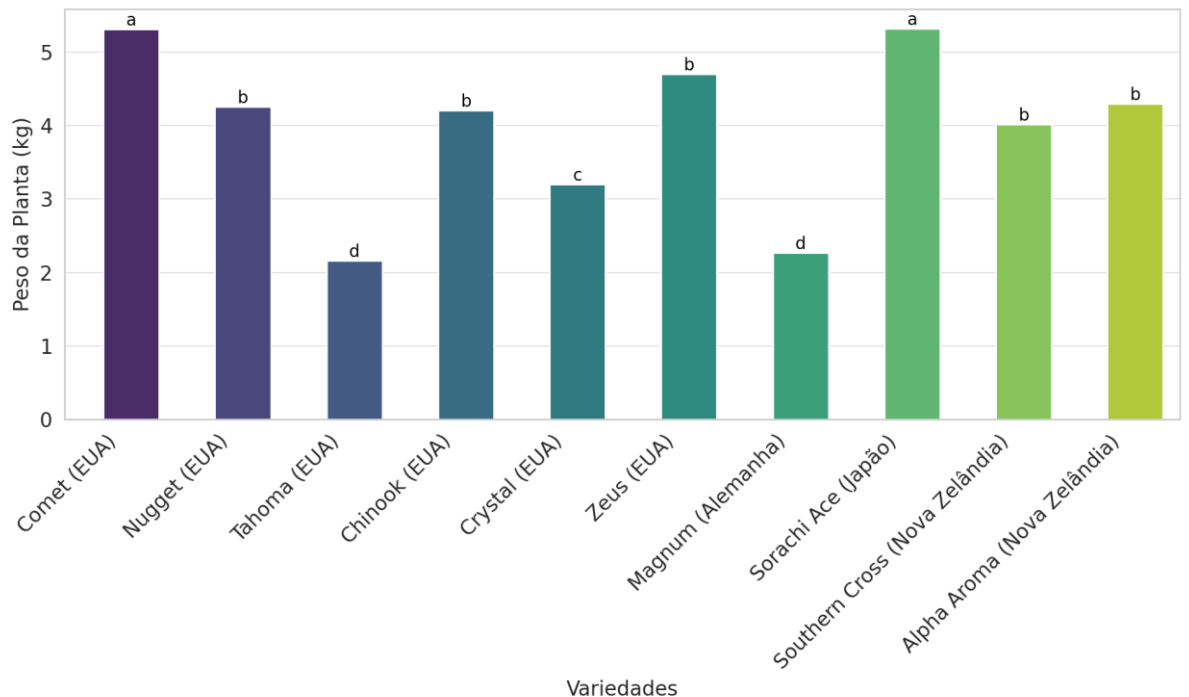
Estes resultados apontam para um potencial produtivo aumentado. Visto que, um maior número de ramos laterais em lúpulo pode resultar em uma produção aumentada de cones, se suportado por uma base genética favorável e práticas agrícolas otimizadas (HENRY et al., 2014). Em outras culturas como a soja, a análise da influência do número de ramos laterais no rendimento de plantas, revela uma correlação significativa entre estes parâmetros, sugerindo que um maior número de ramos pode contribuir para o aumento da produção (AINSORTH; LONG, 2005). Variedades com um número mediano de ramos oferecem um compromisso entre produtividade e manejo, enquanto

aquelas com menos ramos podem requerer menos trabalho de manejo, embora possam limitar a produção total de cones.

- *Peso da Planta*

O peso da planta reflete diretamente o vigor e a biomassa total, sendo crucial para a produtividade geral. Variedades que apresentam um maior peso não apenas indicam um crescimento saudável e robusto, mas também sugerem uma capacidade aumentada para a produção de lúpulo (Figura 21). As variedades ‘Comet’ e ‘Sorachi Ace’ se destacaram e foram estatisticamente superiores, com (5.31 kg e 5.32 kg, respectivamente), as variedades ‘Nugget’, ‘Chinook’, ‘Zeus’, ‘Southern Cross’ e ‘Alpha Aroma’ apresentaram um desempenho médio (4.26 kg, 4.21 kg, 4.70 kg, 4.02 kg e 4.30 kg, respectivamente) a variedade ‘Crystal’ teve um desempenho baixo com 3.2 kg e por fim as variedades ‘Tahoma’ e ‘Magnum’ apresentaram os piores desempenhos, com 2.16 kg e 2.27 kg, respectivamente.

Figura 21 - Peso fresco de planta (kg) por variedade de lúpulo *Humulus lupulus* L. safra 2022/23 em Lages, SC





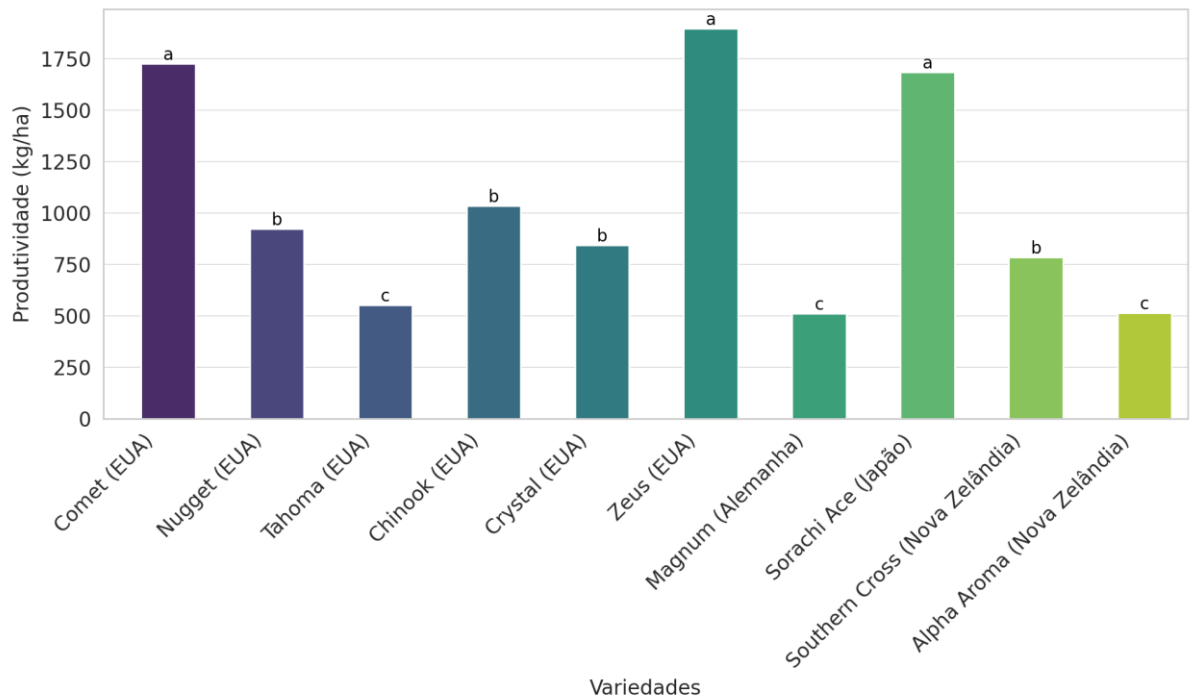
Em um estudo realizado por Judd (2018) sobre as características agrônômicas de diferentes variedades de lúpulo na Virgínia, EUA, foram observados os pesos das plantas ao longo de duas safras consecutivas. Em 2016, os pesos registrados foram: 'Comet' com 0,92 kg, 'Nugget' com 2,08 kg, 'Tahoma' com 0,30 kg, 'Crystal' com 2,99 kg, 'Sorachi Ace' com 1,26 kg, 'Southern Cross' com 1,30 kg e 'Alpha Aroma' com 1,39 kg. No ano seguinte, 2017, os pesos foram: 'Comet' com 1,72 kg, 'Nugget' com 2,26 kg, 'Tahoma' com 1,50 kg, 'Crystal' com 2,02 kg, 'Sorachi Ace' com 0,95 kg, 'Southern Cross' com 1,10 kg e 'Alpha Aroma' com 1,33 kg.

Segundo Grilc e Dabrowsk (1994) a cada quilograma de cone de lúpulo fresco produzido, gera pelo menos um quilo de material residual como folhas e ramos, mantendo uma proporção de 1:1, neste estudo mostra que há um certo desequilíbrio entre a produção vegetal e a produção de cones, nenhuma variedade chega na proporção 1:1, e a maioria das variedades produziu na proporção de 3:1 quantidade de material residual para quantidade de cones.

- *Produtividade (kg/ha)*

A produtividade, medida em kg/ha de cones secos, é talvez a variável mais importante do ponto de vista comercial, refletindo a eficiência total do cultivo de lúpulo. Variedades com alta produtividade são essenciais para operações comerciais de lúpulo, onde a maximização do retorno sobre o investimento é crucial. As variedades 'Comet', 'Zeus' e 'Sorachi Ace' se destacaram e foram estatisticamente superiores as demais com valores de 1725.03 kg/ha, 1896.29 kg/ha e 1684.56 kg/ha, respectivamente. As variedades 'Nugget', 'Chinook', 'Crystal' e 'Southern Cross', obtiveram um desempenho médio de 923.74 kg/ha, 1035.10 kg/ha, 843.72 kg/ha, 785.17 kg/ha, respectivamente, e as variedades com inferior desempenho foram 'Tahoma', 'Magnum' e 'Alpha Aroma', com produtividades de 553.54 kg/ha, 512.13 kg/ha e 516.27 kg/ha, respectivamente.

Figura 22 - Produtividade (kg/ha) de cones secos por variedade de lúpulo *Humulus lupulus* L. safra 2022/23 em Lages,SC



No estudo realizado por Alves (2018) acerca do impacto da irrigação sobre a qualidade e a produtividade da cultivar '*Nugget*' na região da Galiza, em Portugal, observou-se que a produtividade média em um pomar de nove anos foi de 1950 kg/ha. No estudo conduzido por Rangel et al. (2021), a adaptação de diferentes cultivares de lúpulo ao clima subtropical do sudeste da Flórida, Estados Unidos, foi avaliada com ênfase na produtividade agrícola durante o primeiro ano de cultivo. Os resultados indicaram que a variedade '*Nugget*', junto com outras duas variedades, demonstrou superioridade em termos de produção, alcançando uma produtividade média de 197 kg/ha. Em um experimento conduzido por Fernandes et al. (2023) em Lages, Santa Catarina, durante a safra 2022/2023, a produtividade da variedade de lúpulo '*Chinook*' foi avaliada sob condições controladas de estufa com diferentes umidades do solo. Os resultados demonstraram que a produtividade média alcançada por planta foi de 150 gramas. Com uma densidade de plantio estabelecida de 2222 plantas por hectare, isso resultou em uma produtividade total de aproximadamente 333,3 kg/há. Fagherazzi (2020) quantificou a produtividade de cones frescos da variedade '*Chinook*' em diferentes municípios. Os resultados indicaram uma produção de 2000 kg em Lages/SC em 2018

e 1000 kg no mesmo município em 2019. Adicionalmente, foi registrada uma produtividade de 4300 kg em Palmeira/SC e 5550 kg em São Joaquim/SC, ambos no ano de 2019. Todos esses dados referem-se à variedade 'Chinook'. É importante destacar que os dados de produtividade apresentados por Fagherazzi (2020) referem-se ao peso fresco dos cones de lúpulo. Conforme descrito por Kunze (2010), ao considerar um lúpulo com 80% de conteúdo aquoso, a fração seca (matéria orgânica não-aquosa) corresponde a 20% do peso total inicial. A secagem do lúpulo, que visa reduzir o teor de umidade para 10%, resulta em um peso final que inclui tanto a matéria seca original quanto a água residual, somando aproximadamente 30% do peso original. Assim, o peso final do lúpulo seco constitui cerca de um terço do seu peso inicial, refletindo uma redução substancial de massa devido à perda de umidade.

O lúpulo é uma planta perene, que leva pelo menos dois anos para amadurecer e assim produzir uma colheita satisfatória (GREAT LAKES HOPS, 2013). Assim, segundo essa informação, a tendência da produção é aumentar até o terceiro ano e depois estabilizar.

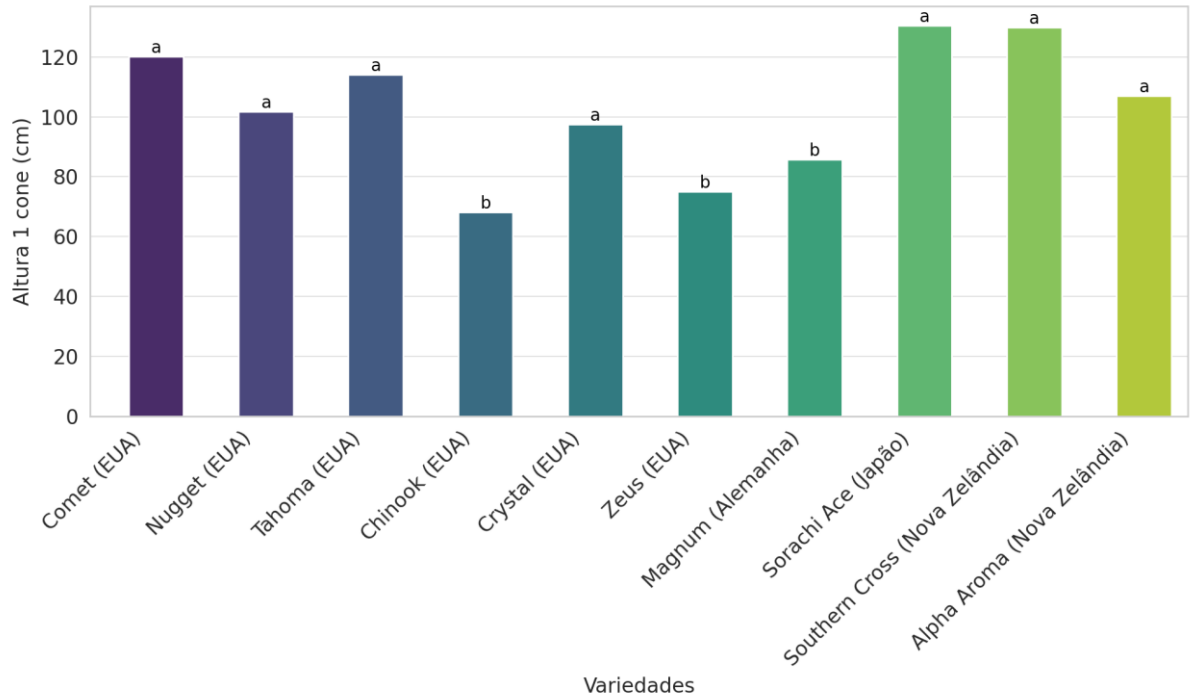
Esta análise detalhada por variável fornece uma visão abrangente das características e do potencial produtivo das variedades de lúpulo estudadas. A seleção cuidadosa de variedades, com base em uma compreensão profunda de suas performances em métricas chave, é essencial para otimizar os resultados de produção e atender às demandas específicas do mercado de lúpulo.

- *Altura do Primeiro Cone*

Variedades que demonstraram iniciar a produção de cones em alturas superiores proporcionam vantagens significativas em termos de manejo e sanidade da planta. As variedades 'Comet' (120.12 cm), 'Nugget' (101.75 cm), 'Tahoma' (114.12 cm), 'Crystal' (97.50 cm), 'Sorachi Ace' (130.38 cm), 'Southern Cross' (129.75 cm), 'Alpha Aroma' (107.00 cm) são variedades que se destacam neste aspecto, indicando uma preferência para a produção de cones em partes mais elevadas da planta, o que pode facilitar a colheita e reduzir a exposição a patógenos do solo. Por outro lado, as variedades 'Chinook' (68.12 cm), 'Zeus' (75.13 cm) e 'Magnum' (85.75 cm) apresentaram o primeiro cone em uma altura estatisticamente inferior (Figura 24) , o

que pode exigir atenção adicional no manejo de doenças e pragas, além de potencialmente complicar a colheita manual.

Figura 23 - Altura do 1º cone (cm) por variedade de lúpulo *Humulus lupulus* L. safra 2023 em Lages, SC



Fortuna (2023) realizou um experimento no centro oeste de São Paulo, onde comparou o desempenho de 5 variedades de lúpulo em cultivo convencional e orgânico. Para as variedades ‘Chinook’ e ‘Nugget’, encontrou valores de 1,51 m no cultivo orgânico e 1,60 m no cultivo convencional, respectivo a cada cultivar.

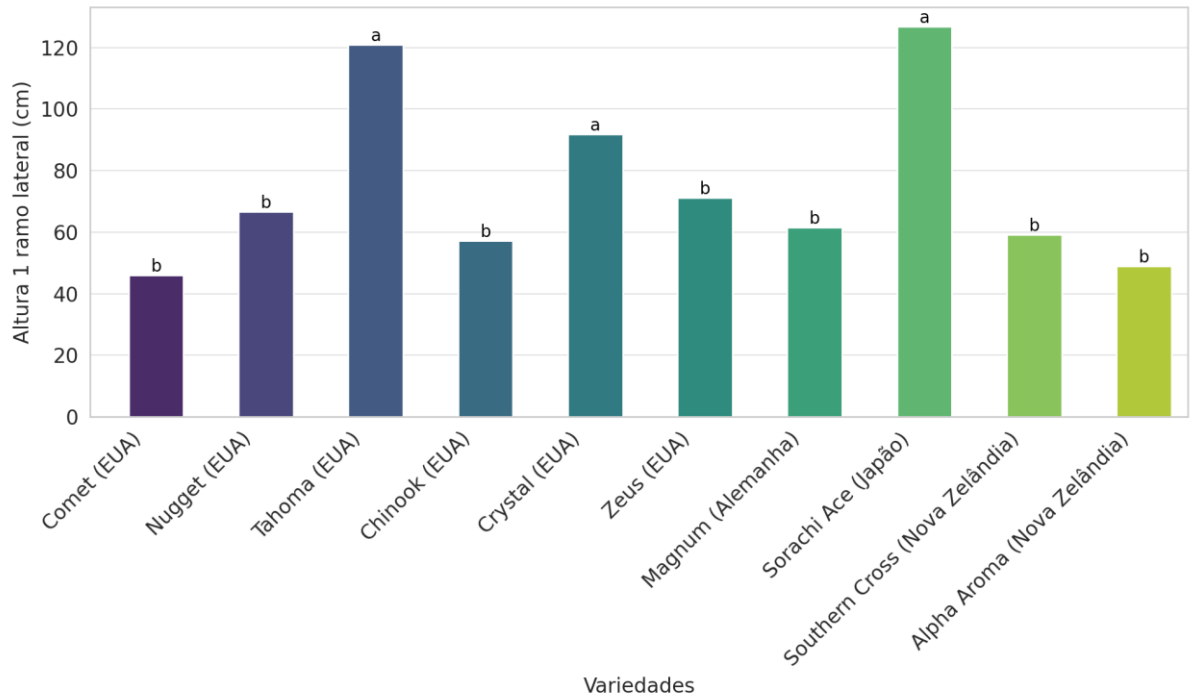
Este parâmetro morfológico produtivo está diretamente relacionado à produção por planta, pois o comprimento do entrenó e a altura de inserção do cone determinam o número de ramos laterais produtivos (MONGELLI et al., 2016).

#### - *Altura do Primeiro Ramo Lateral*

A altura do primeiro ramo lateral é crucial para a distribuição da produção de cones e o manejo da planta. As variedades ‘Tahoma’, ‘Crystal’ e ‘Sorachi Ace’ mostraram um melhor desempenho (Figura 25), com ramos laterais começando em alturas maiores (120,87 cm, 91,75 cm e 126,75 cm, respectivamente). Valores esses estatisticamente superiores as demais variedades avaliadas, o que sugere uma arquitetura de planta que

pode beneficiar a circulação de ar e a exposição solar dos cones. A luz solar é um dos principais fatores que estimulam a produção de lupulina, a substância responsável pelas propriedades aromáticas e amargas do lúpulo (TEIXEIRA; GOMES; PINHEIRO, 2015).

Figura 24 - Altura do 1º ramo lateral por variedade de lúpulo *Humulus lupulus* L. safra 2023 em Lages, SC



A ventilação adequada entre os ramos é essencial para evitar a propagação de doenças e garantir a qualidade dos cones e, ramos mais baixos podem dificultar a ventilação adequada (KLIMEK; WIELGUSZ, 2019). Em contraste, todas as demais variedades apresentaram um desempenho inferior, com destaque para a variedade ‘Comet’ e ‘Alpha Aroma’, com altura de inserção do primeiro ramo lateral de 46 cm e 49 cm, respectivamente. O primeiro ramo lateral em uma altura menor, indica uma tendência para um crescimento mais compacto, o que pode afetar negativamente a produtividade e a sanidade geral da planta. Nava (2023) em um trabalho sobre adubação orgânica em duas variedades de lúpulo encontrou, no ciclo 2022/2023 uma média de altura de inserção do primeiro ramo lateral de 0,55 cm para a variedade Chinook.

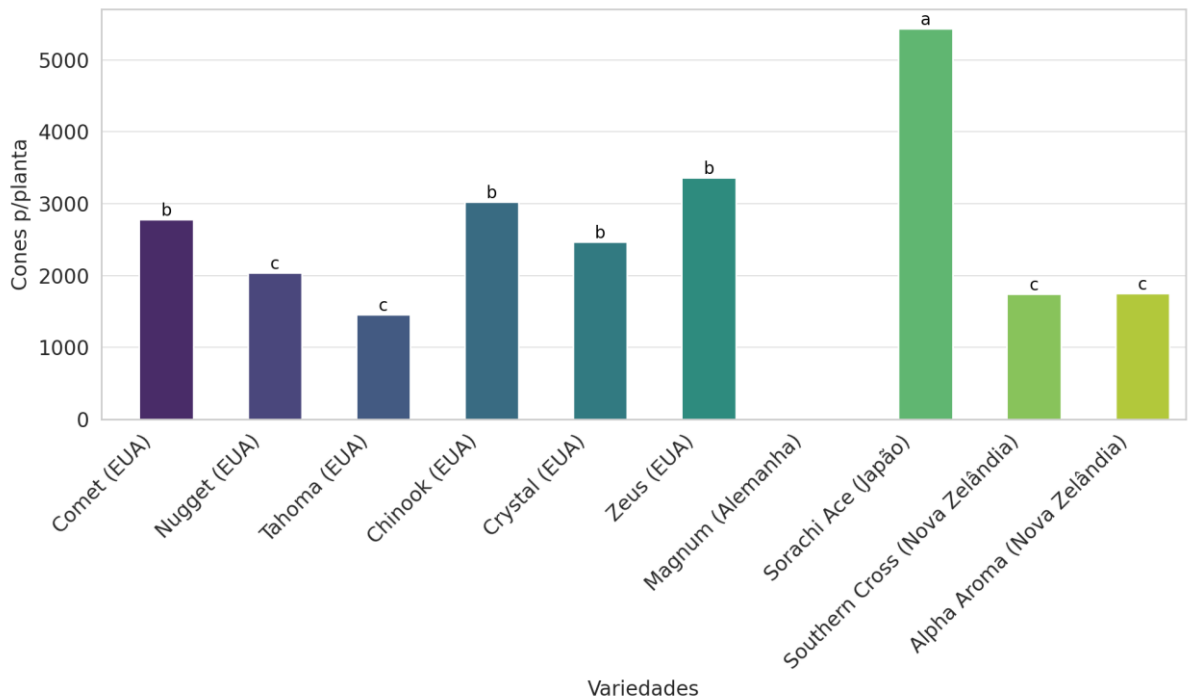
A inserção dos ramos laterais em alturas mais elevadas no caule geralmente resulta em uma maior produção de cones de lúpulo. Isso ocorre porque os ramos mais altos recebem

mais luz solar, o que é essencial para o crescimento e desenvolvimento dos cones. Quando os ramos laterais estão localizados em alturas mais baixas, eles podem receber menos luz solar devido à sombra criada pelos ramos superiores. Isso pode resultar em uma menor produção de cones, pois a quantidade de luz disponível para esses ramos é reduzida (HAUNOLD; MERKLE, 1974).

- *Número de Cones por Planta*

O número de cones por planta é um indicador direto da produtividade. A variedade ‘*Sorachi Ace*’ sobressai com um número superior de cones por planta (5434.33 cones) com diferença estatística as demais variedades (Figura 26). O aumento de cones fixados induz à competição por assimilados entre drenos e pode levar a diminuição do peso individual de cones. Ou seja, o aumento no número de frutos na planta pode aumentar a fração de foto-assimilados alocado nos frutos às expensas do crescimento das partes vegetativas (ANDRIOLO; FALCÃO, 2000).

Figura 25 - Número de cones por planta por variedade de lúpulo *Humulus lupulus* L. safra 2022/2023 em Lages,SC.



As variedades ‘*Comet*’, ‘*Chinook*’, ‘*Crystal*’ e ‘*Zeus*’, todas originárias dos Estados Unidos também se mostraram bom número de cones por planta (2779.84, 3027.48 e 3360.80, respectivamente). As demais variedades, ‘*Nugget*’, ‘*Tahoma*’, ‘*Southern Cross*’ e ‘*Alpha Aroma*’ foram estatisticamente inferiores (2038.51, 1455.01, 1745.74, 1749.84, respectivamente), sugerindo uma produtividade inferior em comparação com outras variedades. Isso pode indicar uma necessidade de otimização das práticas de cultivo ou uma seleção varietal mais adequada às condições de cultivo específicas para melhorar o rendimento.

Fernandes et al. (2023), em um experimento realizado em estufa no município de Lages/SC encontrou um número médio de 300 cones por planta para a variedade ‘*Chinook*’, já Fagherazzi (2020), encontrou médias de 2000 cones por planta para a mesma variedade nos municípios de São Joaquim e Palmeira nos ciclos 2018/2019, porém uma média de apenas 800 cones no município de Lages. Ruth (2018) caracterizando os aspectos morfológicos de diferentes cultivares de lúpulo em duas cidades, verificou diferença superior a 700 cones por planta dentro de uma mesma cultivar.

- *Qualidade dos Cones (Peso Fresco e Seco, diâmetro e comprimento)*

A qualidade dos cones de lúpulo, avaliada por meio de suas dimensões e peso, é fundamental para determinar o valor comercial do lúpulo produzido. Variedades que produzem cones maiores e mais pesados são preferidas, pois indicam um potencial maior para a extração de lupulina e óleos essenciais, componentes-chave na produção de cerveja. As glândulas secretoras de lupulina nos cones sintetizam e armazenam resinas e óleos essenciais ricos em terpenos, fenólicos e polifenóis, responsáveis por fornecer características de amargor, sabor e aroma na fabricação da cerveja (FAGHERAZZI, 2020). Além disso, os óleos essenciais representam entre 0,5% e 3,0% da massa do lúpulo seco (FÁVERO et al., 2020). Dessa forma, a seleção de variedades que produzem cones maiores e mais pesados pode aumentar a eficiência na extração desses componentes, resultando em uma melhor qualidade e valor comercial do lúpulo.

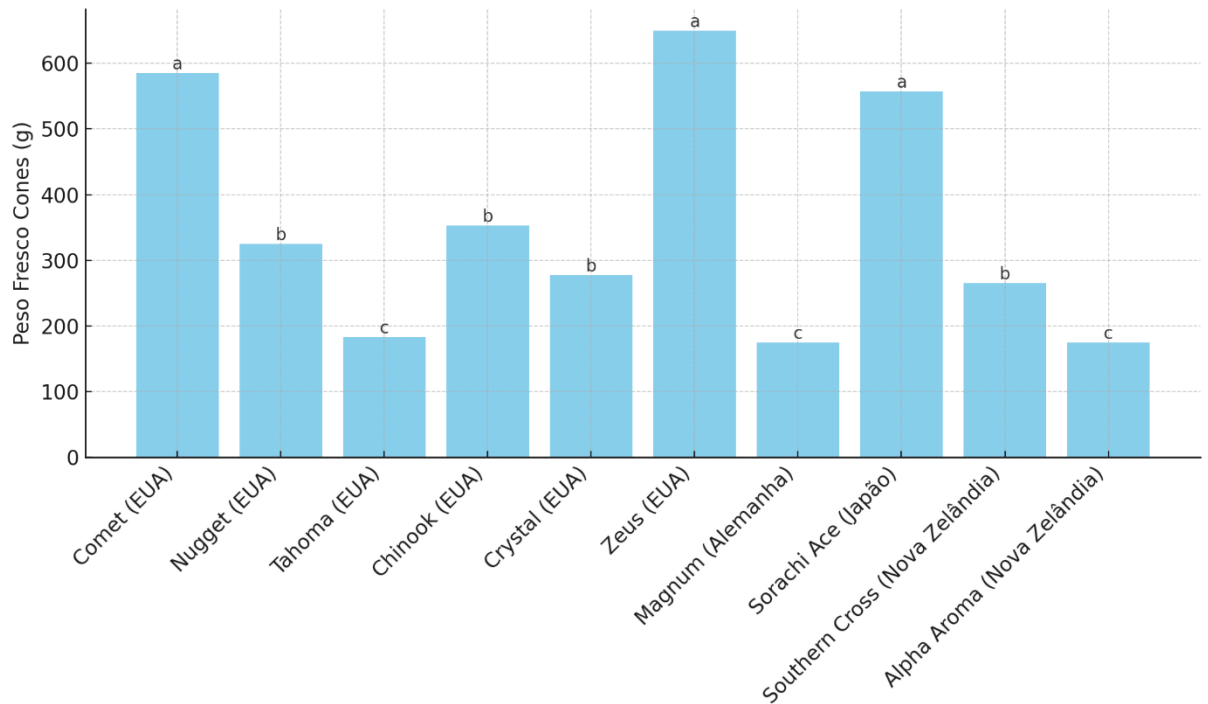
Na avaliação do peso fresco de cones das variedades de lúpulo, verifica-se que ‘*Comet*’, ‘*Zeus*’ e ‘*Sorachi Ace*’ apresentaram os maiores pesos, com 2.34 kg, 2.60kg e 2.23 kg

respectivamente, estatisticamente superior as demais variedades (Figura 27). Este resultado pode indicar uma maior eficiência na conversão de recursos para biomassa nessas variedades, ou uma adaptação superior às condições de cultivo propostas pelo estudo.

Em contraste, as variedades ‘*Tahoma*’, ‘*Magnum*’ e ‘*Alpha Aroma*’ foram identificadas com os menores valores de peso fresco, com 0.73 kg, 0.70 kg e 0.70 kg, e estatisticamente inferior. Este agrupamento pode refletir uma menor densidade de cone, uma taxa de crescimento reduzida ou uma menor resposta às práticas agrícolas implementadas.

As variedades ‘*Nugget*’, ‘*Chinook*’, ‘*Crystal*’ e ‘*Southern Cross*’ constituem o grupo intermediário.

Figura 26 - Massa fresca (g) de cones/planta por variedade de lúpulo *Humulus lupulus* L. Safra 22/23. Lages-SC



Em um experimento com as variedades ‘*Cascade*’ e ‘*Chinook*’, Nava (2023), encontrou um peso fresco médio de 90 gramas por planta no ciclo 2021/2022 e 88 gramas por planta no ciclo 2022/2023 para a variedade ‘*Chinook*’. Judd (2018) estudando a produção de 13 cultivares de lúpulo no estado da Virgínia, EUA, em duas estações de crescimento, obteve um peso fresco médio de cones em gramas por planta para as

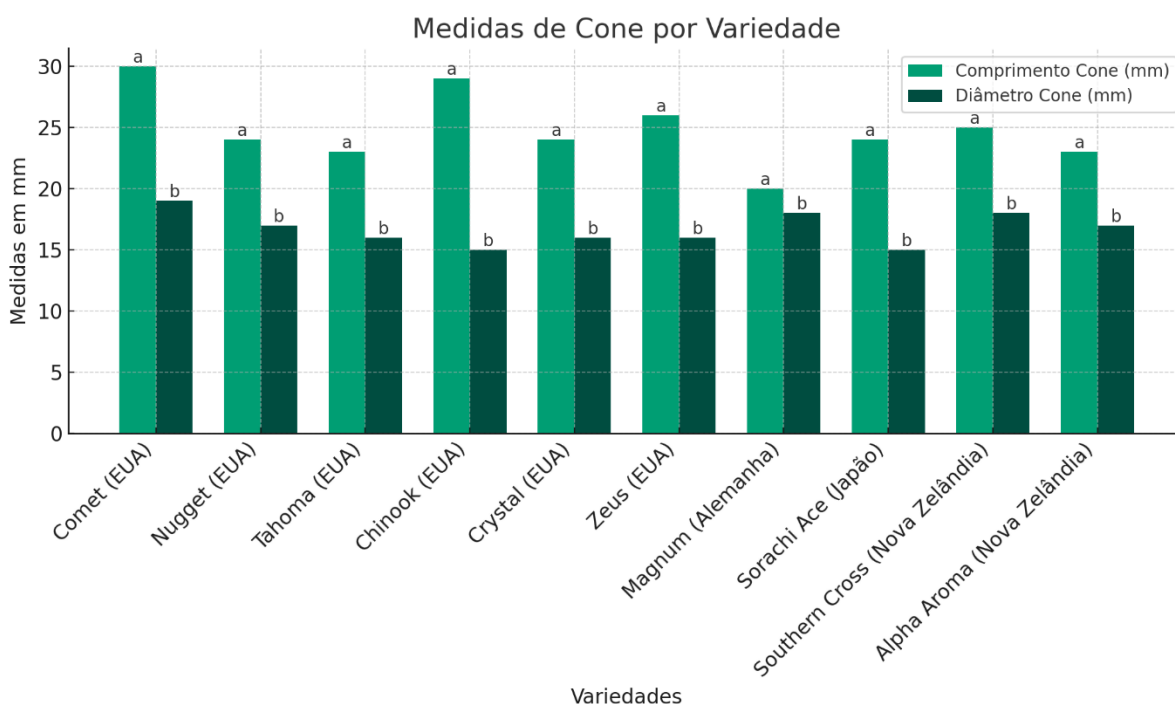


variedades ‘Comet’ (566.01 g), ‘Nugget’ (725.63g), ‘Tahoma’ (560.64 g), ‘Crystal’ (621.05 g), ‘Sorachi Ace’ (311.39 g), ‘Southern Cross’ (237.15 g) e ‘Alpha Aroma’ (265.17 g)

No que diz respeito ao comprimento dos cones (Figura 28), observa-se que somente as variedades ‘Comet’ e ‘Chinook’ apresentam os valores superiores de 30 e 28 mm respectivamente, estatisticamente superior as demais, indicados pela letra 'a'. Todas as outras variedades apresentaram semelhança estatística no grupo ‘b’. No entanto segundo a classificação da metodologia ASBC Hops-2, todos os cones podem ser classificados como cones pequenos.

No que tange ao diâmetro dos cones (Figura 28), todas as variedades apresentaram valores estatisticamente semelhantes, variando de 18 a 15 mm para as variedades Comet e Tahoma, respectivamente.

Figura 27 - Medidas e diâmetro e comprimento (mm) por variedade de lúpulo *Humulus lupulus* L. Safra 22/23, Lages-SC.

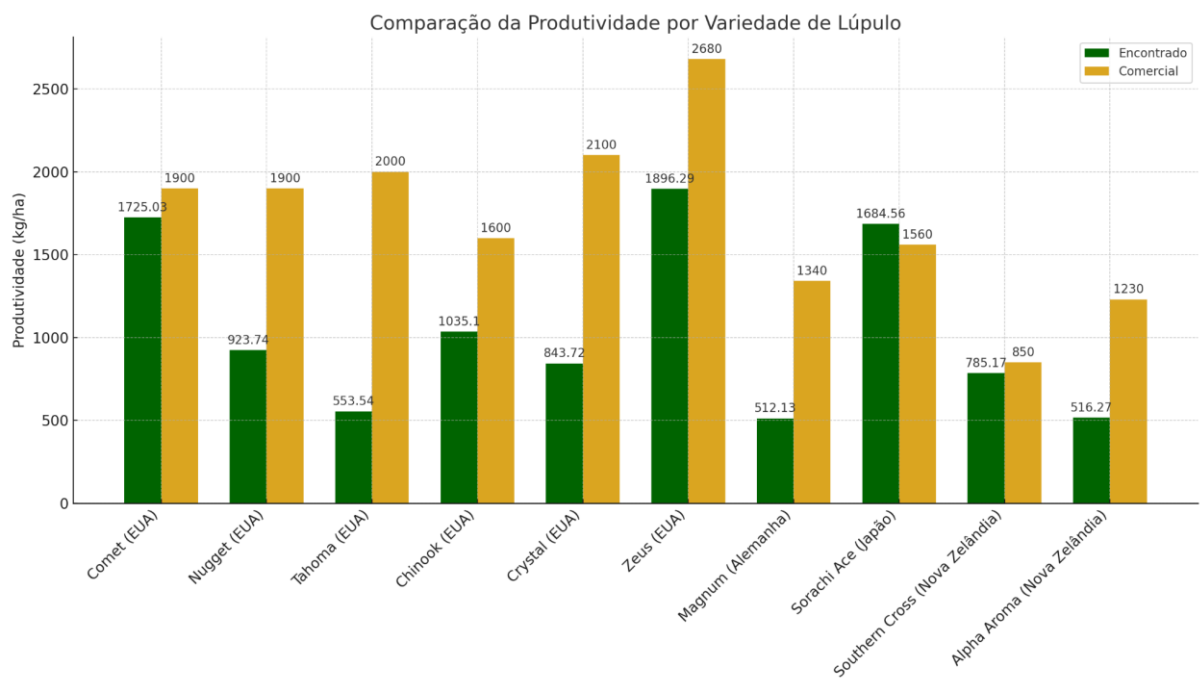


Nos estudos realizados por Fagherazzi (2019) e Nava (2023), foram analisadas as variações no comprimento dos cones da variedade de lúpulo 'Chinook' sob diferentes condições agrônômicas no Brasil. Fagherazzi (2019) investigou essa variedade em três

municípios de Santa Catarina—São Joaquim, Lages e Palmeira. Em São Joaquim, o comprimento médio dos cones foi de 43,35 mm, classificando-os como médios, enquanto em Palmeira e Lages, os cones foram menores, com cerca de 32 mm, sendo classificados como pequenos. Por outro lado, Nava (2023) focou no impacto de diferentes regimes de adubação em 'Chinook', além da variedade 'Cascade', no município de Dois Vizinhos-PR. Durante o ciclo de cultivo de 2021/2022, os cones de 'Chinook' apresentaram um comprimento médio de 28,30 mm, que diminuiu para 26,9 mm no ciclo seguinte de 2022/2023, sendo classificados como cones pequenos.

A classificação de tamanho de cones de acordo com a metodologia ASBC Hops-2 define cones grandes como tendo comprimento igual ou superior a 5.1 cm, cones médios entre 3.2 e 5.1 cm, e cones pequenos menores que 3.2 cm (MADDEN; DARBY, 2012). O comprimento do cone está associado ao ponto de maturidade fisiológica das inflorescências (ČEH; ZMRZLAK, 2012). Estudos realizados por KAVALIER et al. (2011) mostram que existe uma relação direta entre o desenvolvimento dos cones e a acumulação de metabólitos especializados. No entanto, é importante notar que cones de tamanho excessivo dificultam o processo de secagem, o que pode resultar em perda de qualidade (RAUT et al., 2020).

Figura 28 - Produtividade encontrada vs. produtividade esperada (kg/ha) safra 2022/2023, Lages-SC



A Figura 29 apresenta a produtividade encontrada e produtividade esperada (kg/ha) de cones deste trabalho. Analisando os dados de produtividade em kg/ha para as variedades de lúpulo no primeiro ano de cultivo (2022/23) em comparação com os padrões comerciais, podemos categorizar as variedades em três grupos principais, com base em sua performance relativa:

### 1. Variedades com Alto Potencial Inicial

Zeus (EUA) e Sorachi Ace (Japão) e Comet (EUA) destacam-se por suas produtividades quase alcançando ou superando os valores comerciais já no primeiro ano, com 1896.29 kg/ha, 1684.56 kg/ha 1725.03 kg/ha respectivamente, contra valores comerciais de 2680 kg/ha, 1560 kg/ha e 1900 kg/há. Este desempenho indica uma adaptação notável e um potencial considerável de desenvolvimento e possível aumento de produtividade nos anos seguintes.

### 2. Variedades com Potencial Moderado

Chinook (EUA), e Southern Cross (Nova Zelândia) apresentam produtividades que, embora abaixo dos padrões comerciais (1035.10 kg/ha vs. 1600 kg/ha para Chinook; 785.17 kg/ha vs. 850 kg/ha para Southern Cross), demonstram um potencial moderado de alcançar ou ultrapassar esses padrões com práticas de manejo adequadas e o amadurecimento das plantações.

### 3. Variedades com Desafios de Produtividade

Nugget (EUA), Tahoma (EUA), Crystal (EUA), Magnum (Alemanha), e Alpha Aroma (Nova Zelândia) mostram os maiores desafios, com produtividades significativamente abaixo (923.74 kg/ha, 553.54 kg/ha, 843.72 kg/ha, 512.13 kg/ha, e 516.27 kg/ha, respectivamente) dos valores comerciais (1900 kg/ha, 2000 kg/ha, 2100 kg/ha, 1340 kg/ha e 1250 kg/ha, respectivamente). Estes resultados sugerem uma necessidade de intervenções agronômicas específicas ou uma avaliação da adaptabilidade dessas variedades às condições locais para melhorar a produtividade.

#### 4.4 Análises químicas

Tabela 2 - Valores médios observados de Alfa Ac. (%), Beta Ac. (%), Óleos Ess (mL/100), Índice de Armazenamento Saudável (HSI) de pellets de 10 variedades de lúpulo, Safra 2022/23, Lages-SC

<b>VARIEDADE</b>	<b>Alfa Ácido (%)</b>	<b>Beta Ácido (%)</b>	<b>Óleos Essenciais (mL/100)</b>	<b>HSI</b>
<i>Comet</i>	14.32 a	6.66 a	1.25 a	0.33 b
<i>Magnum</i>	8.51 c	3.23 e	0.78 b	0.27 b
<i>Nugget</i>	9.12 c	4.82 c	0.96 a	0.50 a
<i>Zeus</i>	7.28 d	3.15 e	0.50 c	0.36 b
<i>Sorachi Ace</i>	7.80 d	6.14 b	0.44 a	0.44 a
<i>Southern Cross</i>	8.79 c	3.51 d	0.38 b	0.38 b
<i>Tahoma</i>	2.51 f	3.55 d	0.57 a	0.57 a
<i>Chinook</i>	11.42 b	5.08 c	0.34 b	0.34 b
<i>Crystal</i>	4.97 e	4.70 c	0.35 b	0.35 b
<i>Alpha Aroma</i>	8.28 c	2.29 f	0.56 a	0.56 a

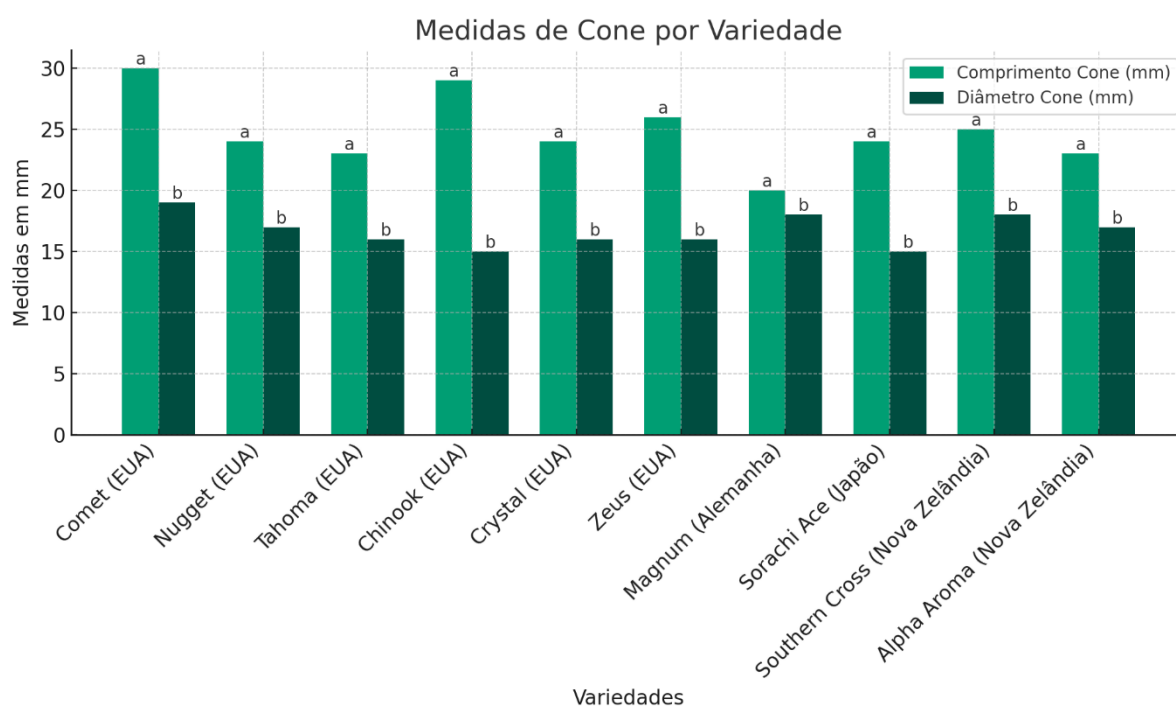
\*Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Scott Knott a 5% de probabilidade de erro.

A Tabela 2 foi organizada de forma que os lúpulos com aptidão para amargor estão separados dos lúpulos com aptidão para aroma, para que possamos analisar melhor os resultados de acordo com as características de cada variedade. As 4 primeiras variedades (Comet, Magnum, Nugget e Zeus) são consideradas lúpulos de amargor, enquanto as outras 6 variedades (Sorachi Ace, Southern Cross, Tahoma, Chinook, Crystal e Alpha Aroma) são consideradas lúpulos de aroma.

Com base na análise estatística realizada, os resultados obtidos para as diferentes variedades em estudo revelam informações significativas sobre as propriedades químicas das mesmas, com destaque para o teor de Alfa Ácido, Beta Ácido, a concentração de Óleos Essenciais, e o Índice de Armazenamento Saudável (HSI).

No que se refere ao teor de Alfa Ácido, elemento crucial para o amargor e estabilidade do aroma em produtos como a cerveja, observou-se que a variedade ‘Comet’ se destacou

significativamente, apresentando o maior valor de 14.32%, classificando-se no grupo estatístico superior (grupo a). Tal resultado sugere que a variedade ‘Comet’ pode ser particularmente vantajosa para a produção de cervejas com maior amargor e estabilidade aromática. Em contrapartida, as variedades ‘Zeus’ e ‘Sorachi Ace’ registraram os menores teores de Alfa Ácido, com 7.28% e 7.80% respectivamente, situando-se em grupos estatísticos inferiores (grupo d), o que pode indicar uma preferência para aplicações onde se deseja um amargor mais suave.



Quanto ao Beta Ácido, conhecido por contribuir para as características sensoriais da cerveja, a variedade ‘Comet’ também apresentou o maior valor (6.66%, grupo a), reforçando sua potencialidade na contribuição de aromas e sabores complexos. As variedades ‘Magnum’ e ‘Zeus’, por outro lado, apresentaram os menores valores para este indicador, situando-se no grupo estatístico inferior (grupo e), o que pode limitar seu uso em aplicações que requerem um perfil sensorial mais rico.

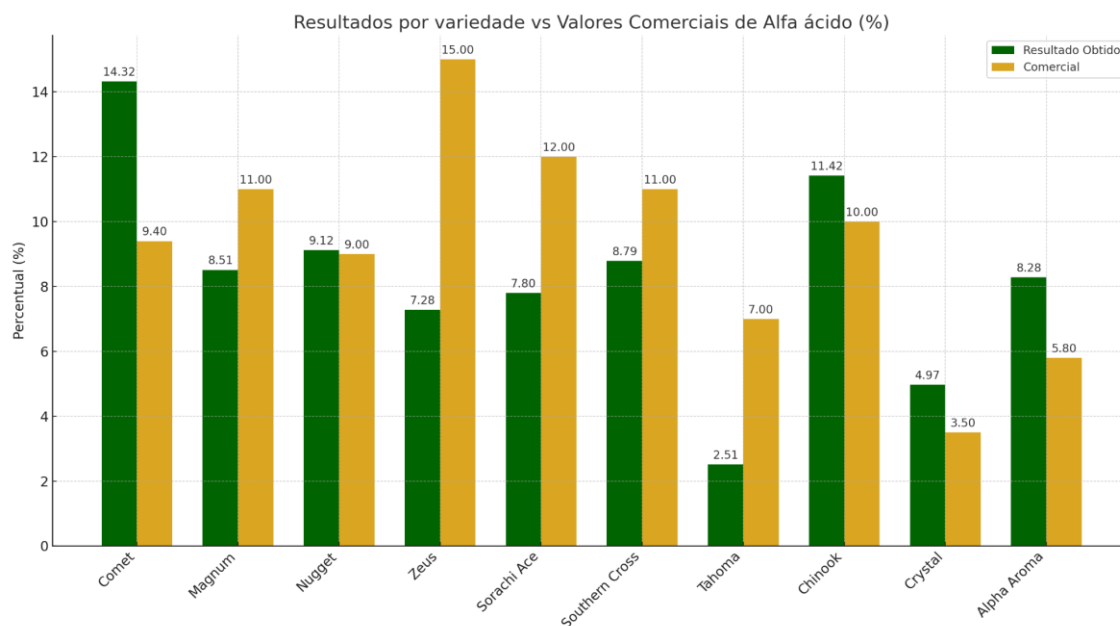
A análise dos Óleos Essenciais revelou que a variedade ‘Comet’, juntamente com ‘Nugget’, lidera em termos de concentração, com valores de 1.25 mL/100g e 0.96 mL/100g, respectivamente (ambos no grupo a). Este resultado é particularmente relevante para a indústria de aromatizantes e essências, sugerindo que estas variedades podem ser excelentes candidatas para a extração de óleos essenciais de alta qualidade.

A variedade ‘Zeus’ exibiu o menor valor de concentração de óleos essenciais (0.50 mL/100g, grupo c), indicando uma menor potencialidade para tais aplicações.

Por fim, em relação ao Índice de Armazenamento Saudável (HSI), que é um indicativo da capacidade de armazenamento e preservação da qualidade, as variedades ‘Nugget’ e ‘Sorachi Ace’ apresentaram os piores índices, com 0.50 e 0.44, respectivamente (grupo a), indicando uma maior deterioração na preservação de suas características ao longo do armazenamento. As demais variedades mostraram índices melhores, o que pode influenciar a escolha da variedade dependendo das condições e duração do armazenamento pretendido, porém nenhuma variedade atingiu o índice de ‘Good Keeper’ de 0.22, e ficaram acima até mesmo do índice máximo de ‘Poor Keeper’ de 0.26, quando a leitura é realizada em lúpulos frescos.

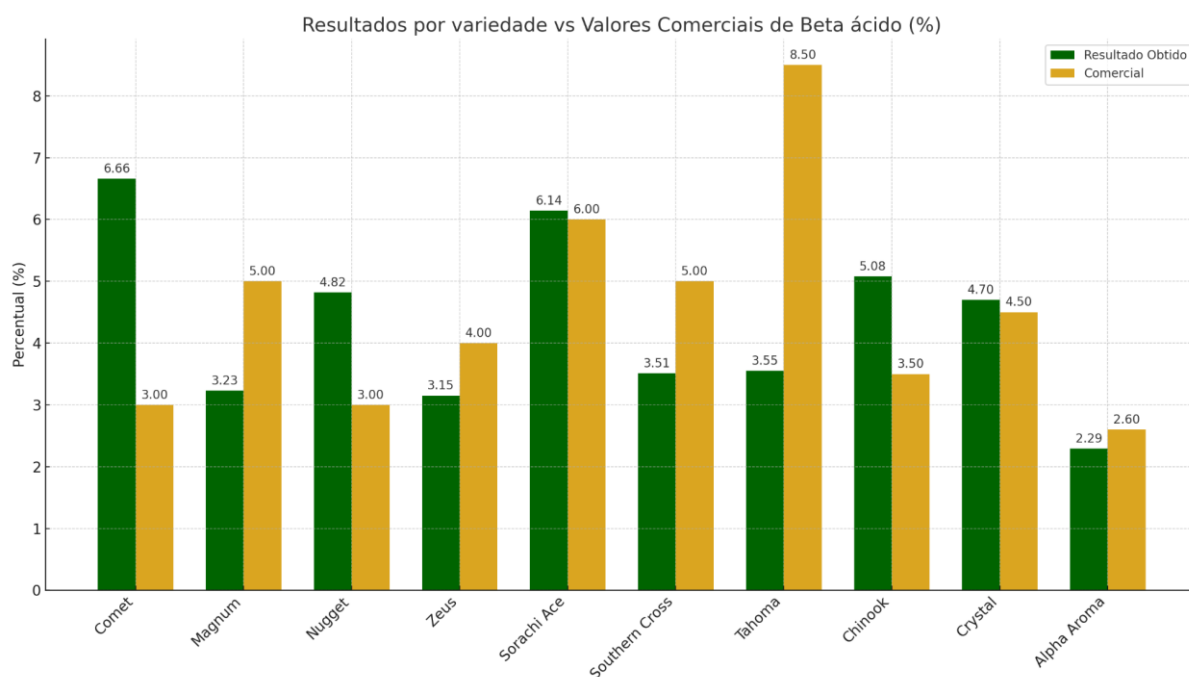
Em resumo, a variedade Comet se apresenta como uma escolha superior para usos que requerem altos níveis de Alfa e Beta Ácidos e uma rica concentração de Óleos Essenciais, oferecendo vantagens distintas para a produção de cervejas com características sensoriais robustas. Em contrapartida, a Nugget, apesar de suas qualidades, mostra-se menos apropriada para situações que exigem armazenamento prolongado, devido ao seu baixo Índice de Armazenamento Saudável.

*Figura 29 - A Figura 30 apresenta valores de Alfa ácidos encontrados e comerciais “esperados” (%) em análises de pellets de cones de 10 variedades de lúpulos. Safra 2022/23, Lages-SC.*



Os resultados (Figura 30) para Comet mostraram uma concentração de alfa ácidos maior (14.32%) do que o valor comercial (9.40%). Isso pode sugerir que as condições sob as quais o lúpulo Comet foi cultivado nesse trabalho foram particularmente favoráveis para a produção de alfa ácidos. As variedades Zeus, Sorachi Ace e Southern Cross mostraram menores concentrações de alfa ácidos em comparação com os valores comerciais. Isso poderia implicar que as condições de cultivo ou os estágios de colheita não eram ideais para maximizar o conteúdo de alfa ácidos nessas variedades específicas. A variedade Tahoma é o caso mais extremo, com um valor (2.51%) muito abaixo do comercial (7%) Isso sugere que a variedade Tahoma pode ser particularmente sensível às condições de cultivo ou que houve algum estresse específico que afetou adversamente a produção de alfa ácidos. As variedades Chinook e Nugget mostraram resultados que estão relativamente próximos aos valores comerciais, com Chinook apresentando um pouco mais e Nugget um pouco menos. Isso pode indicar uma boa adaptação dessas variedades às condições sob as quais foram cultivadas nesse trabalho. A variedade Crystal apresentou um resultado superior em comparação com o valor comercial. Assim como o Comet, isso pode indicar condições de cultivo favoráveis.

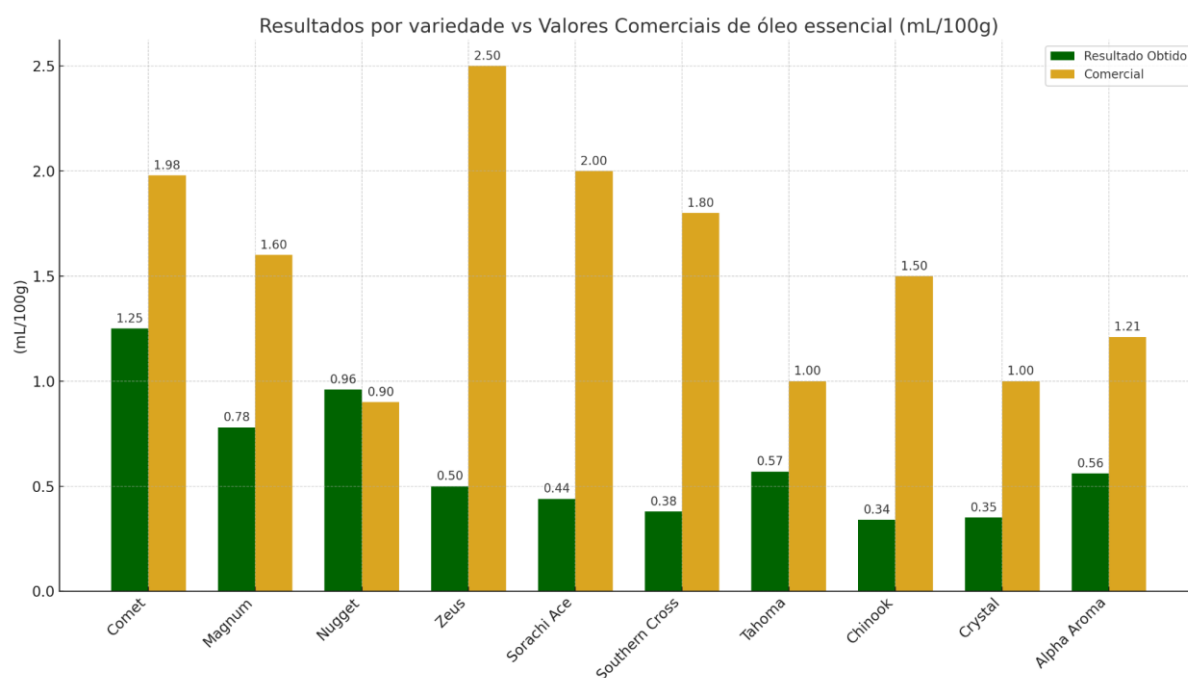
Figura 30 - A Figura 31 apresenta valores de Beta ácidos encontrados e comerciais “esperados” (%) em análises de pellets de cones de 10 variedades de lúpulos. Safra 2022/2023, Lages-SC.



A variedade Comet mostrou um conteúdo de beta ácidos mais alto nesse trabalho em comparação aos valores comercial, atingindo um valor (6.66%) maior que o dobro do valor comercial (3%), indicando uma potencial eficácia no cultivo ou na expressão genética favorável para a produção de beta ácidos nessas condições específicas. A variedade Tahoma apresentou resultados consideravelmente mais baixos (3.55%) do que o valor comercial (8.5%), sugerindo uma sensibilidade às condições de cultivo em relação à produção de beta ácidos, semelhante ao observado para os alfa ácidos. As variedades Chinook, Crystal, Nugget e Sorachi Ace mostraram resultados de beta ácidos que são superiores aos valores comerciais. Isso pode indicar que as condições sob as quais estas variedades foram cultivadas favoreceram uma produção elevada de beta ácidos. As variedades Magnum, Southern Cross e Tahoma apresentaram menores concentrações de beta ácidos nos resultados em comparação com os valores comerciais, o que pode refletir condições de cultivo menos ideais para a produção de beta ácidos ou variações genéticas que não foram plenamente expressas nessas condições. Já a variedade Alpha Aroma mostrou uma ligeira diminuição nos beta ácidos comparada ao valor comercial, o que pode ser considerado dentro de uma margem de variação normal, sugerindo que os fatores de cultivo e genéticos podem estar bem equilibrados para essa variedade.



Figura 31 - A Figura 32 apresenta valores de Óleos Essenciais encontrados e comerciais “esperados” (mL/100g) em análises de pellets de cones de 10 variedades de lúpulos. Safra 2022/2023, Lages-SC.



A variedade Nugget é um caso interessante onde o conteúdo de óleos essenciais encontrado (0.96 mL/100g) é ligeiramente superior ao valor comercial (0.9), indicando que as condições de cultivo podem ter sido particularmente favoráveis para a produção de óleos essenciais, ou que as plantas possuíam uma expressão genética única que favoreceu essa característica. Para variedades como Comet, Magnum, Zeus, Sorachi Ace, Southern Cross e Chinook, os resultados mostram uma significativa diminuição no conteúdo de óleos essenciais comparado aos valores comerciais. Especialmente no caso do Zeus, onde o valor encontrado foi de apenas 0.50 contra 2.5 (mL/100g) comercialmente. Isso sugere que as condições de cultivo, ou possivelmente a época de colheita, não foram ideais para a maximização da produção de óleos essenciais nestas variedades. Embora também menores que os valores comerciais, as diferenças para as variedades Tahoma, Crystal e Alpha Aroma foram menos drásticas. O Tahoma, em particular, teve um resultado mais próximo ao valor comercial, sugerindo que esta variedade pode ser menos sensível às variações nas condições de cultivo em relação à produção de óleos essenciais.

#### 4.5 Análise Multivariada

A análise de componentes principais (PCA) aplicada aos dados biológicos e químicos das variedades de lúpulo (Figura 33) revela um panorama de variações significativas, com o primeiro componente principal (Eixo01) explicando 37.72% da variação e o segundo (Eixo02) contabilizando 21.06%. O acúmulo de 58.78% da variabilidade total é notável, indicando a eficácia do PCA em destacar as diferenças essenciais entre as variedades.

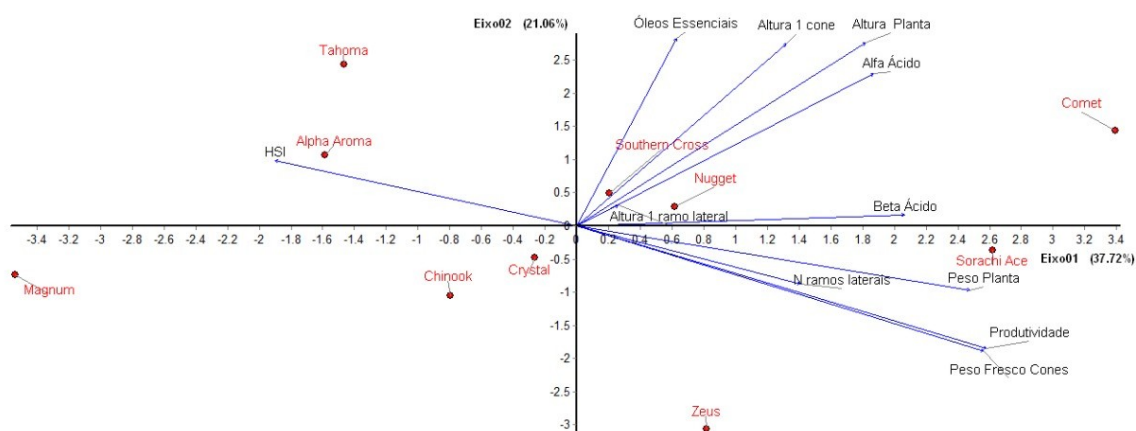
A correlação entre as variáveis 'Peso Fresco de Cones' e 'Produtividade' é evidenciada pela proximidade no gráfico, sugerindo que um maior peso fresco dos cones está associado a uma maior produtividade geral. Isso aponta para uma relação diretamente proporcional entre o peso dos cones e a produtividade das variedades em estudo.

Variedades identificadas no quadrante positivo do Eixo01, particularmente 'Comet' e 'Sorachi Ace', exibiram valores elevados de 'Peso da Planta', 'Número de Ramos Laterais' e 'Beta Ácido', indicando um perfil de crescimento vigoroso e potencialmente um amargor mais intenso no lúpulo. 'Magnum', isolada no extremo negativo do Eixo02, sugere um perfil distinto com relação ao 'HSI', um indicador potencial de menor estabilidade pós-colheita.

Adicionalmente, o alinhamento dos vetores de 'Alfa Ácido' e 'Óleos Essenciais' com as variedades 'Southern Cross' e 'Nugget' no biplot indica uma concentração superior destes compostos nestas variedades.

A variedade 'Zeus' é notável pelo seu impacto significativo na variável 'Peso Fresco de Cones'.

Figura 32 - Análise de componentes principais (PCA) de dados agrônômicos e químicos x variedades de lúpulo

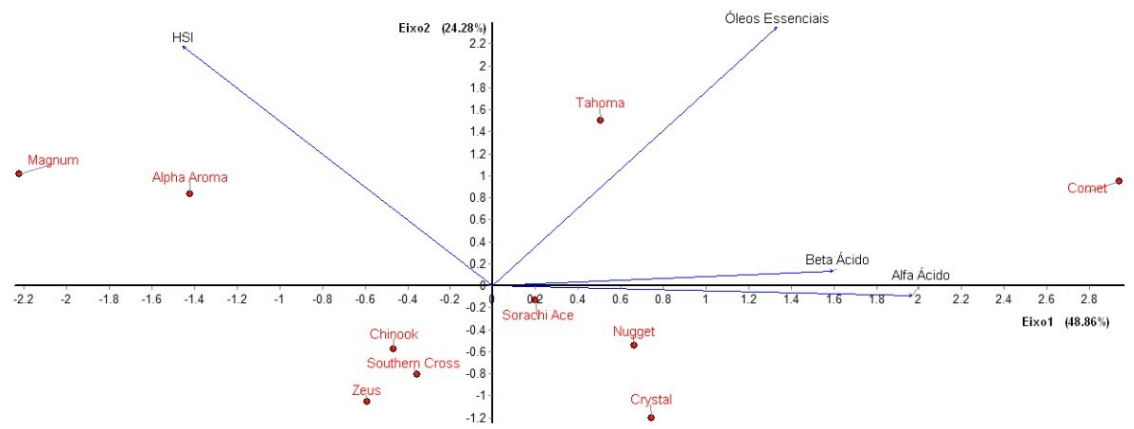


A análise de componentes principais (PCA) revela algumas percepções sobre a composição química de variedades de lúpulo, com a disposição das variedades ao longo dos eixos principais refletindo diferenças significativas nos seus perfis químicos (Figura 34). O Eixo1 é responsável por 48.86% da variabilidade nos dados, evidenciando-se como o componente dominante na diferenciação química entre as variedades. Notadamente, a variedade 'Comet' destaca-se nesse eixo, sugerindo altos níveis de ácidos alfa e beta, componentes cruciais que conferem amargor à cerveja.

Por outro lado, o Eixo2, que explica 24.28% da variabilidade, parece ser influenciado predominantemente pelos conteúdos de óleos essenciais, como evidenciado pela posição proeminente da variedade 'Tahoma' neste eixo. A localização antagônica do vetor de 'HSI' em relação aos 'Óleos Essenciais' sugere uma relação inversa entre estes dois atributos; variedades com alta concentração de óleos essenciais podem exibir um índice de estabilidade de armazenamento inferior.

Variedades como 'Chinoook', 'Southern Cross' e 'Zeus', situadas mais centralmente no gráfico, representam um equilíbrio moderado nas concentrações de alfa ácido e beta ácido, contrastando com a variedade 'Magnum', que, posicionada distante no eixo negativo de HSI, pode indicar particularidades na sua estabilidade durante o armazenamento.

Figura 33 - Análise de componentes principais (PCA) de avaliações químicas x variedades de lúpulo



## 5. CONCLUSÕES

As variedades 'Comet', 'Southern Cross', 'Zeus' e 'Sorachi Ace' apresentaram ótimos níveis de produtividade já em seu primeiro ano. Já as variedades 'Tahoma', 'Magnum' e 'Alpha Aroma' mostraram resultados muito aquém.

As características agronômicas mais conectadas a produtividade de lúpulo são peso da planta, número de ramos laterais e peso fresco de cones.

As variedades 'Comet', 'Magnum', 'Nugget', 'Chinook', 'Crystal' e 'Alpha Aroma' obtiveram resultados semelhantes ou até superiores a % de alfa ácido encontrada comercialmente. As variedades 'Zeus' e 'Tahoma' ficaram muito abaixo dos valores encontrados comercialmente.

Para % de beta-ácidos, as variedades 'Comet', 'Nugget', 'Sorachi Ace', 'Chinook' e 'Crystal' se destacaram com valores superiores aos encontrados no mercado.

Com exceção da variedade 'Nugget', todas as demais ficaram abaixo do valor encontrado comercialmente para o teor de óleos essenciais (mg/mL)

## REFERÊNCIAS

AFONSO, S.; ARROBAS, M.; RODRIGUES, M. Â. Response of Hops to Algae-Based and Nutrient-Rich Foliar Sprays. *Agriculture*, v. 11, p. 798, 2021. DOI: 10.3390/agriculture11080798. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agriculture11080798>. Acesso em: 03 nov. 2024.

ALVES, F. C., **Influência da rega na produtividade e na qualidade da produção do lúpulo (*Humulus lupulus* L.), variedade Nugget, na região da Galiza**. Dissertação (Mestrado). 2018.

AINSORTH, Elizabeth A.; LONG, Stephen P. What have we learned from 15 years of free-air CO<sub>2</sub> enrichment (FACE)? A meta-analytic review of the responses of photosynthesis, canopy properties and plant production to rising CO<sub>2</sub>. *New Phytologist*, [s.l.], v. 165, n. 2, p. 351-372, 2005. Disponível em: <https://www.intechopen.com/chapters/64022>. Acesso em: 20 abr. 2024.

APROLUPULO - Associação Brasileira de Produtores de Lúpulo. Disponível em: <<https://www.aprolupulo.com.br>>. Acessado em: 29 novembro 2023.

ASBC- American Society of Brewing Chemists. Disponível em: <https://www.asbcnet.org/Methods/HopsMethods/Pages/default.aspx>. Acesso em: 17 de janeiro de 2024.

BEHRE, K.-E. The history of beer additives in Europe — A review. *Vegetation History and Archaeobotany*, v. 8, n. 1-2, p. 35-48, 1999.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Lúpulo no Brasil: perspectivas e realidades** / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

Secretaria de Agricultura Familiar e Cooperativismo. Alexander Creuz, Stéfano Gomes Kretzer. Brasília: MAPA/SAF, 2022. 175 p. ISBN 978-65-86803-89-1.

CARRILHO, F. Necessidades do lúpulo do ponto de vista – clima e trabalhos culturais. In: *1ª Jornadas Técnicas sobre a Cultura do Lúpulo*. Resumos... Braga: [s.n.], 1981.

DAGOSTIM, Marcelo Dalpiaz. **Crescimento do lúpulo (*Humulus lupulus* L.) em função da adubação nitrogenada e da aplicação de ácido giberélico foliar**. 2019. 67 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Curso de Ciência do Solo, Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2019.

DODDS, K. **Hops: A Guide for New Growers**. 1. ed. New South Wales: NSW Department of Primary Industries, 2017.

FAGHERAZZI, M. M. **Adaptabilidade de cultivares de lúpulo na região do planalto Sul Catarinense**. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Lages, 2020.

FAGHERAZZI, M.M.; Rufato, L.; **Aspectos técnicos da cultura do lúpulo**. 2019.

FÁVERO, Celso; et al. **Lúpulo: características químicas e aplicações na indústria cervejeira**. *Química Nova*, v. 43, n. 5, p. 588-594, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br>. Acesso em: 14 nov. 2023.

FERNANDES, Raquel Carlos et al. Produção e qualidade de lúpulos cascade e chinook submetidos a diferentes umidades de solo. *Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana*, Curitiba, v. 21, n. 12, p. 26778-26800, 2023.

FORTUNA, G. C. et al. Agronomic performance of *Humulus lupulus* L. varieties cultivated in organic and conventional systems in São Paulo center-west, Brazil. *Ciência Rural*, v. 53, n. 8, p. e20210704, 2023.

FRESHOPS (2021). Disponível em: <https://freshops.com>. Acesso em: 23 de outubro de 2023.

GREAT LAKES HOPS (2013). Disponível em: <https://www.greatlakeshops.com>. Acesso em: 28 de julho de 2023.

GRILIC, V.; DABROWSKI, B. Utilisation of waste hop foliage by solvent extraction. *Bioresource Technology*, p. 7-19, 1994.

HEALEY, J. *The Hops List: 265 Beer Hop Varieties from Around the World*. Disponível em: <http://www.hopslist.com/hops/bittering-hops/bullion/>. Acesso em: 20 out. 2023.

HENRY, Richard J. et al. Quantitative genetic parameters for yield, plant growth and cone chemical traits in hop (*Humulus lupulus* L.). *BMC Genomic Data*, [s.l.], 2014. Disponível em: <https://bmccgenomdata.biomedcentral.com/articles/10.1186/1471-2156-15-22>. Acesso em: 20 abr. 2024.

HIERONYMUS, S. **For the Love of Hops: The Practical Guide to Aroma, Bitterness and the Culture of Hops**. Brewers Publications, 2012.

HOPSTEINER. *Guidelines for Hop Buying*. 2020. Disponível em: <https://www.hopsteiner.com/news/type/guidelines/>. Acesso em: 05 nov. 2023.



HORSNEY, I. S. *A History of Beer and Brewing*. Royal Society of Chemistry, 2003.

INTERNATIONAL HOP GROWERS' CONVENTION (IHGC). Disponível em: <https://www.usahops.org/enthusiasts/2017---july-ihgc-economic-commission-cou>  
Acesso em: 04 de julho de 2022.

JUDD, Barslund D. **Hops Production in Virginia: Nutrition, Fungal Pathogens, and Cultivar Trials**. 2018. Thesis submitted to the faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, 2018.

KNEEN, R. **Small Scale and Organic Hops Production**. British Columbia, 2003.

KLIMEK-CHODACKA, M.; WIELGUSZ, K. The influence of the height of branch formation and the vegetation period on the quantity and quality of hop yield. *Agricultural Engineering*, v. 23, n. 3, p. 29-37, 2019.

KOCH, R.; BÜCKING, H. Impact of chlorophyll on quality and yield of hop (*Humulus lupulus* L.). *Plant Physiology and Biochemistry*, v. 107, p. 278-284, 2016.

KOVAČEVIĆ, D. B. et al. Variability in the chemical composition of hops (*Humulus lupulus* L.) related to climatic conditions and maturity. *Food Chemistry*, v. 356, p. 129673, 2022.

KUNZE, W. **Technology Brewing and Malting**. 3. ed. Berlin: VLB Berlin, 2010.

LINKE, W. (1958) **La culture du houblon**. Dunod, Paris. 306 p.

MADDEN, R.; DARBY, H. 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](http://www.uvm.edu/extension/cropsoil/wpcontent/uploads/Hop_harvest_fact_sheet.pdf)>. Acesso em: 19 jul. 2023.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - **Registro Nacional De Cultivares** – RNC. 2020.

MONGELLI, A. et al. Are *Humulus lupulus* L. ecotypes and cultivars suitable for the cultivation of aromatic hop in Italy? A phytochemical approach. *Industrial Crops and Products*, v. 83, p. 693–700, maio 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669015306361>. Acesso em: 12 mar. 2024. doi: 10.1016/j.indcrop.2015.12.046.

NAVA, Karine Guedes. **Aspectos agronômicos em resposta à adubação orgânica e caracterização química de cones de lúpulo (*Humulus lupulus*) produzido no sul do Brasil**. 2023. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2023.

NEVE, R.A. 1991. **Hops**. Chapman and Hall, London, UK. P 266

OLIVER, G. **The Oxford Companion to Beer**. Oxford University Press, 2011.

PERAGINE, J. **Growing your own hops, malts, and brewing herbs**. Ocala: Atlantic, 2011.

**R DEVELOPMENT CORE TEAM**. R: A language and environment for statistical computing. 2021. Disponível em: <<https://www.r-project.org>>. Acesso em 10 nov. 2023.

RANGEL, Aleyda; RECHCIGL, Jack; BOLLIN, Simon; DENG, Zhanao; AGEHARA, Shinsuke. Hop (*Humulus lupulus* L.) phenology, growth, and yield under subtropical climatic conditions: effects of cultivars and crop management. *Australian Journal of Crop Science*, [s.l.], p. 764-772, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.21475/ajcs.21.15.05.p3192>. Acesso em: 18 abr. 2024.

RODRIGUES, M.; MORAIS, J.; CASTRO, J. O lúpulo: da cultura ao extrato. Técnica cultural tradicional. In: Livros de Atas, Jornadas de Lúpulo e Cerveja, p. 1-10, 2015.

SANTOS, A. S. et al. Sesquiterpenes on Amazonian Piper Species. *Acta Amazonica*, v. 28, n. 2, 1998, p. 127-130.

SMALL, E. A numerical and nomenclatural analysis of morphogeographic taxa of *Humulus*. *Systematic Botany*, v. 3, p. 37-76, 1978.

SIRRINE, J. et al. Sustainable Hop Production in Great Lakes Region. Extension Bulletin E-3038. Michigan University Extension, 2010.

SKOMRA, U. et al. Agro-morphological differentiation between European hop (*Humulus lupulus* L.) cultivars in relation to their origin. *Journal of Food Agriculture & Environment*, Helsinki, FI, v. 11, p. 1123-1128, 2013.

SPOSITO, Marcel; ISMAEL, Rodrigo; MORAIS DE ALCÂNTARA BARBOSA, Caio; TAGLIAFERRO, André. **A Cultura do Lúpulo**. 2019.

SRECEC, S. et al. Dynamics of hop growth and accumulation of  $\alpha$ -acids in normal and extreme climatic conditions. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 2008.

TEIXEIRA, J. C.; GOMES, M. H.; PINHEIRO, J. Influence of lateral branch height on hop (*Humulus lupulus* L.) yield and quality. *Ciência e Técnica Vitivinícola*, v. 30, n. 1, p. 1-8, 2015.

TAMBROCK, L.; MCALEER, J.; GILLIGAN, T. A revision of native North American *Humulus* (Cannabaceae). *Journal of the Botanical Research Institute of Texas*, v. 10, n. 1, p. 11-30, 2016.

UNGER, R. W. (2004). **Beer in the Middle Ages and the Renaissance**. University of Pennsylvania Press, 2004.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Recife: 2006. Versão Digital, 443 p.

WAGNER, T. **Hmeljarstvo. 1. del – skripta**. Kmetijski kombinat Žalec, 1968. 115 p.