



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

NATHALIA RODRIGUES LELES

**DESEMPENHO DE VARIEDADES DE LÚPULO
CONDUZIDAS COM SUPLEMENTAÇÃO ARTIFICIAL DE
LUZ SOB CONDIÇÃO SUBTROPICAL**

Londrina
2023

NATHALIA RODRIGUES LELES

**DESEMPENHO DE VARIEDADES DE LÚPULO
CONDUZIDAS COM SUPLEMENTAÇÃO ARTIFICIAL DE
LUZ SOB CONDIÇÃO SUBTROPICAL**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Departamento de Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Sergio Ruffo Roberto
Co-orientador: Prof. Dr. Alessandro Jefferson Sato

Londrina
2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Leles, Nathalia Rodrigues .

Desempenho de variedades de lúpulo conduzidas com suplementação artificial de luz sob condição subtropical / Nathalia Rodrigues Leles. - Londrina, 2023.
80 f. : il.

Orientador: Sergio Ruffo Roberto.

Coorientador: Alessandro Jefferson Sato.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2023.
Inclui bibliografia.

1. Humulus lupulus L. - Tese. 2. Lupulina - Tese. 3. Alfa-ácidos - Tese. 4. Óleos essenciais - Tese. I. Ruffo Roberto, Sergio. II. Jefferson Sato, Alessandro. III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDU 63

NATHALIA RODRIGUES LELES

**DESEMPENHO DE VARIEDADES DE LÚPULO
CONDUZIDAS COM SUPLEMENTAÇÃO ARTIFICIAL DE
LUZ SOB CONDIÇÃO SUBTROPICAL**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Departamento de Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Agronomia.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Sergio Ruffo Roberto
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Dra. Mariana Mendes Fagherazzi
Ambev

Prof. Dr. Filipe Pereira Giardini Bonfim
Universidade Estadual Paulista "Júlio de
Mesquita Filho" - UNESP

Londrina, 30 de março de 2023

AGRADECIMENTOS

À Deus, por ser fonte de força e esperança durante todo o caminho trilhado até então.

À Universidade Estadual de Londrina, ao programa de Pós Graduação em Agronomia e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela oportunidade de realizar o mestrado com ensino público, de qualidade e com apoio financeiro a partir da bolsa concedida.

Ao meu orientador e professor Dr. Sergio Ruffo Roberto, pela confiança e orientação fornecidas durante o mestrado e a execução deste trabalho.

À Universidade Federal do Paraná pela parceria que possibilitou o desenvolvimento desta e de outras pesquisas com lúpulo.

Ao meu co-orientador e amigo Dr. Alessandro Jefferson Sato, por todos os ensinamentos e orientações fornecidos durante a minha formação profissional, iniciando na graduação e se estendendo ao mestrado e a execução deste trabalho.

À Universidade do Estado de Santa Catarina pela parceria e o fornecimento das mudas utilizadas neste trabalho.

Aos professores, Robson Fernando Missio, Nelson Luis Mello Fernandes, Rodrigo Sequinel, Ivonete Rossi Bautitz e Isaac George Rosset, e às técnicas, Raquel Minuceli Vilvert e Aline Bavaresco, da Universidade Federal do Paraná que auxiliaram de diferentes formas no processo de obtenção dos dados deste trabalho.

Ao grupo de pesquisa LUPA, pela cooperação e disposição no processo de obtenção dos dados deste trabalho.

Aos membros da comissão examinadora, pela disponibilidade e pelas contribuições a este trabalho.

Aos meus familiares, em especial meu marido Luiz Gustavo de Lima Vilvert, meus pais Esmeraldo Miranda Leles e Lucineia Antunes Rodrigues Leles, e minha irmã Nayara Cristina Rodrigues Leles (*in memoriam*), por sempre priorizarem e incentivarem os meus estudos, além de todo amor, apoio e compreensão que tornaram possível a conclusão do mestrado.

Por fim, a todos os amigos que de alguma forma auxiliaram durante a minha formação profissional e/ou na realização desse trabalho.

LELES, Nathalia Rodrigues. **Desempenho de variedades de lúpulo conduzidas com suplementação artificial de luz sob condição subtropical**. 2023. 79f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2022.

RESUMO

O objetivo deste estudo foi determinar a duração dos principais estágios fenológicos, o desempenho do crescimento das plantas, o rendimento produtivo e a qualidade de cones de variedades de lúpulo cultivadas sob iluminação suplementar (artificial) em região de clima subtropical. O estudo foi realizado em Palotina, Paraná, Brasil (24°S), durante as safras de 2021 e 2022. As plantas foram conduzidas em sistema de treliça com 5,5 m de altura e com suplementação artificial de luz com lâmpadas LED durante o desenvolvimento vegetativo das plantas (17 h de fotoperíodo diário). As seguintes variedades de lúpulo foram avaliadas: a) Hallertau Mittelfrüher; b) Mapuche; c) Northern Brewer; d) Spalter; e) Yakima Gold. Foram avaliados a duração dos estágios fenológicos, o crescimento vegetativo (altura de plantas; massa fresca das plantas; número de ramos laterais por planta), os componentes de rendimento produtivo (número de cones por ramo lateral; número de cones por planta; massa fresca do cone; comprimento e largura do cone; produção de cones fresco por planta; produtividade por hectare) e os componentes químicos dos cones (teores de alfa- e beta-ácidos; e concentração de óleos essenciais). A duração dos estágios fenológicos foi avaliada por meio de observações visuais enquanto o desenvolvimento do crescimento das plantas foi analisado por regressão não linear log-logística. Os demais dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey ($p < 0,05$). Os dados foram também submetidos à análise multivariada pelo teste dos componentes principais (APC) e à análise de correlação e agrupamento hierárquico. A variedade Mapuche, na primeira e na segunda safra, bem como as variedades Spalter e Yakima Gold na segunda safra foram as mais precoces. Em ambas safras, os componentes de rendimento produtivo foram considerados responsivos de forma positiva à precocidade das variedades, em que a Mapuche na safra de 2021, e a Mapuche, Spalter e Yakima Gold na safra de 2022, foram as que tiveram as maiores médias do número de cones por ramo lateral e por planta, produção por planta e produtividade. Quanto à composição química dos cones, a variedade Yakima Gold apresentou relação positiva com os teores de alfa e beta-ácidos e com a concentração de óleos essenciais em ambas as safras.

Palavras-chave: *Humulus lupulus* L. Cerveja. Lupulina. Alfa-ácidos. Óleos essenciais.

LELES, Nathalia Rodrigues. **Development of hop varieties grown with artificial light supplementation under subtropical conditions**. 79f. Dissertation on Agronomy – State University of Londrina, Londrina. 2023.

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the duration of the main phenological stages, the plant growth development, the yield and the cone quality of hop varieties grown under supplemental (artificial) lighting in a subtropical climate region. The study was carried out in Palotina, Paraná, Brazil (24°S), during the 2021 and 2022 growing seasons. The hop plants were cultivated in a 5.5 m high trellis system and with artificial light supplementation with LED lamps during the early season (daily photoperiod of 17 hours). The following hop varieties were evaluated: a) Hallertau Mittelfrüher; b) Mapuche; c) Northern Brewer; d) Spalter; and e) Yakima Gold. The duration of the phenological stages, the vegetative growth (plant height; fresh mass of the plants; number of side shoots per plant), the components of productive yield (number of cones per side shoots; number of cones per plant; fresh mass of the cone; length and width of the cone; production of cones per plant; productivity per hectare) and the chemical components of the cones (alpha- and beta-acid contents; and the concentration of essential oils). The duration of the phenological stages was assessed by means of visual observations, while the development of plant growth was analyzed by non-linear log-logistic regression. The other data were subjected to analysis of variance and the means compared using the Tukey test ($p < 0.05$). In addition, the multivariate analysis (principal components - APC) and the correlation analysis and hierarchical grouping were also analyzed. Mapuche, in the first and second seasons, as well as Spalter and Yakima Gold in the second season, were the earliest varieties. In both seasons, the productive yield components were considered positively responsive to the earliness of the varieties, in which Mapuche in the 2021 season, and Mapuche, Spalter and Yakima Gold in the 2022 season had the highest means of the number of cones per side shoots and per plant, production per plant and yield. Regarding the chemical composition of the cones, the Yakima Gold had a positive relationship with alpha and beta-acid contents and the essential oil concentration in both seasons.

Palavras-chave: *Humulus lupulus* L. Beer. Lupulin. Alpha-acid. Essencial oils.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Principais países produtores e áreas de produção de lúpulo do mundo (em verde), com destaque para aqueles localizados entre as latitudes 35° e 55° N e S (JASTROMBEK et al., 2022). | 16 |
| Figura 2 - Mapa do Brasil incluindo áreas emergentes de cultivo de lúpulo localizadas em Palotina, Paraná (24° S). | 20 |
| Figura 3 - Condução de lúpulos. (A) Sistema de treliça alta com ramos chegando ao topo; (B) lúpulo com cones maduros na colheita (JASTROMBEK et al., 2022). | 25 |
| Figura 4 - Iluminação suplementar com lâmpadas LED para controle de floração de lúpulo. | 32 |
| Figura 5 - Temperatura média do ar e precipitação pluviométrica mensal de Palotina, PR em 2021. | 34 |
| Figura 6 - Temperatura média do ar e precipitação pluviométrica mensal de Palotina, PR em 2022. | 34 |
| Figura 7 - Radiância (mw sr ⁻¹) das lâmpadas LED Avant 6500 K e Philips Green Power DR/W utilizadas para a suplementação artificial de luz no cultivo de lúpulos nas safras 2021 e 2022, respectivamente. | 36 |
| Figura 8 - Croqui de instalação das lâmpadas LED Avant 6500 K usadas no cultivo de lúpulos na safra de 2021. | 37 |
| Figura 9 - Croqui de instalação das lâmpadas LED Philips Green Power DR/W usadas no cultivo de lúpulos na safra de 2022. | 38 |
| Figura 10 - Duração do dia em horas (fotoperíodo) ao longo do ano em Palotina, Paraná (24° S). | 38 |
| Figura 11 - Representação da escala fenológica BBCH do lúpulo (adaptado de ROBBAUER et al., 1995). | 39 |
| Figura 12 - Duração em dias dos principais estágios fenológicos das plantas de variedades de lúpulo na safra 2021. | 43 |
| Figura 13 - Duração em dias dos principais estágios fenológicos das plantas de variedades de lúpulo na safra 2022. | 45 |
| Figura 14 - Desenvolvimento da altura das plantas (m) de variedades de lúpulo na safra de 2021. A: Hallertau Mittelfrüher; B: Mapuche; C: Northern Brewer; D: Spalter; E: Yakima Gold; (----): altura da planta estimada. | 47 |
| Figura 15 - Estimativa do desenvolvimento do crescimento das plantas (m) de | |

| | |
|--|----|
| variedades de lúpulo na safra de 2021. | 48 |
| Figura 16 - Desenvolvimento da altura das plantas (m) de variedades de lúpulo na safra de 2022. A: Hallertau Mittelfrüher; B: Mapuche; C: Northern Brewer; D: Spalter; E: Yakima Gold; (-----): altura da planta estimada. | 50 |
| Figura 17 - Estimativa do desenvolvimento da altura das plantas (m) de variedades de lúpulo na safra de 2022. | 51 |
| Figura 18 - Análise de componentes principais (PCA) para massa fresca das plantas (MF), número de ramos laterais por planta (NRL), número de cones por ramo lateral (NCR), número de cones por planta (NCP), massa fresca do cone (MC), comprimento do cone (CC), largura do cone (LC), produção de cones fresco por planta (ProdP), produtividade estimada (Prod), teor de alfa-ácido (AA), teor de beta-ácido (BA) e concentração de óleos essenciais (OE) para as variedades de lúpulo na safra de 2021. | 64 |
| Figura 19 - Heatmap elaborado a partir da análise de correlação e agrupamento hierárquico para massa fresca das plantas (MF), número de ramos laterais por planta (NRL), número de cones por ramo lateral (NCR), número de cones por planta (NCP), massa fresca do cone (MC), comprimento do cone (CC), largura do cone (LC), produção de cones fresco por planta (ProdP), produtividade estimada (Prod), teor de alfa-ácido (AA), teor de beta-ácido (BA) e concentração de óleos essenciais (OE) para as variedades de lúpulo avaliadas na safra de 2021. DV= Desenvolvimento vegetativo; CRP= Componentes de rendimento produtivo; QQ= Qualidade química. | 66 |
| Figura 20 - Análise de componentes principais (PCA) para massa fresca das plantas (MF), número de ramos laterais por planta (NRL), número de cones por ramo lateral (NCR), número de cones por planta (NCP), massa fresca do cone (MC), comprimento do cone (CC), largura do cone (LC), produção de cones fresco por planta (ProdP), produtividade estimada (Prod), teor de alfa-ácido (AA), teor de beta-ácido (BA) e concentração de óleos essenciais (OE) para as variedades de lúpulo avaliadas na safra de 2022. | 67 |
| Figura 21 - Heatmap elaborado a partir da análise de correlação e agrupamento hierárquico para massa fresca das plantas (MF), número de ramos laterais por planta (NRL), número de cones por ramo lateral (NCR), número de cones por planta (NCP), massa fresca do cone (MC), comprimento do cone (CC), largura do cone (LC), produção de cones fresco por planta (ProdP), produtividade estimada (Prod), teor de alfa-ácido (AA), teor de beta-ácido (BA) e concentração de óleos essenciais (OE) para | |

as variedades de lúpulo avaliadas na safra de 2022. DV= Desenvolvimento vegetativo;
CRP= Componentes de rendimento produtivo; QQ= Qualidade química.69

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Massa fresca das plantas e número de ramos laterais por planta de variedades de lúpulo na safra de 2021. | 49 |
| Tabela 2 - Massa fresca das plantas e número de ramos laterais por planta de variedades de lúpulo na safra de 2022. | 52 |
| Tabela 3 - Número de cones por ramo lateral, número de cones por planta e massa de cone de variedades lúpulo na safra de 2021. | 53 |
| Tabela 4 - Comprimento e largura do cone de variedades de lúpulo na safra de 2021. | 54 |
| Tabela 5 - Produção de cones fresco por planta e produtividade de variedades lúpulo na safra de 2021. | 55 |
| Tabela 6 - Número de cones por ramo lateral, número de cones por planta e massa de cone de variedades lúpulo na safra de 2022. | 57 |
| Tabela 7 - Comprimento e largura do cone de variedades de lúpulo na safra de 2022. | 58 |
| Tabela 8 - Produção de cones fresco por planta e produtividade de variedades lúpulo na safra de 2022. | 59 |
| Tabela 9 - Teores de alfa- e beta-ácidos, e concentração de óleos essenciais em cones de variedades lúpulo na safra de 2021. | 60 |
| Tabela 10 - Teores de alfa- e beta-ácidos, e concentração de óleos essenciais em cones de variedades lúpulo na safra de 2022. | 63 |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 13 |
| 2 | REVISÃO DE LITERATURA..... | 15 |
| 2.1 | O CULTIVO DE LÚPULO E IMPORTÂNCIA ECONÔMICA..... | 15 |
| 2.2 | CULTIVO DE LÚPULO NO BRASIL..... | 18 |
| 2.3 | CARACTERÍSTICAS BOTÂNICAS E VARIEDADES DE LÚPULO | 21 |
| 2.3.1 | Variedades Avaliadas | 24 |
| 2.4 | CONDUÇÃO DAS PLANTAS DE LÚPULO..... | 24 |
| 2.5 | REQUISITOS CLIMÁTICOS DE LÚPULO | 26 |
| 2.5.1 | Temperatura do Ar..... | 26 |
| 2.5.2 | Disponibilidade Hídrica | 27 |
| 2.5.3 | Fotoperíodo..... | 28 |
| 3 | MATERIAL E MÉTODOS..... | 33 |
| 3.1 | DESCRIÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL..... | 33 |
| 3.2 | DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E AVALIAÇÕES | 38 |
| 3.2.1 | Fenologia das variedades de lúpulo | 39 |
| 3.2.2 | Desenvolvimento do crescimento das plantas | 39 |
| 3.2.3 | Componentes de rendimento produtivo | 40 |
| 3.2.4 | Componentes químicos dos cones | 41 |
| 3.3 | ANÁLISES ESTATÍSTICAS..... | 42 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 43 |
| 4.1 | FENOLOGIA DAS VARIEDADES DE LÚPULO | 43 |
| 4.1.1 | Safra 2021 | 43 |
| 4.1.2 | Safra 2022 | 45 |
| 4.2 | DESENVOLVIMENTO DO CRESCIMENTO DAS PLANTAS | 46 |
| 4.2.1 | Safra 2021 | 46 |
| 4.2.2 | Safra 2022 | 49 |
| 4.3 | COMPONENTES DE RENDIMENTO PRODUTIVO | 53 |
| 4.3.1 | Safra 2021 | 53 |
| 4.3.2 | Safra 2022 | 56 |
| 4.4 | COMPONENTES QUÍMICOS DOS CONES | 60 |
| 4.4.1 | Safra 2021 | 60 |
| 4.4.2 | Safra 2022 | 62 |
| 4.5 | ANÁLISE MULTIVARIADA | 64 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 4.5.1 | Safra 2021 | 64 |
| 4.5.2 | Safra 2022 | 67 |
| 5 | CONCLUSÕES | 71 |
| | CONSIDERAÇÕES..... | 72 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 73 |

1 INTRODUÇÃO

O lúpulo (*Humulus lupulus* L.) é uma planta perene pertencente à família Cannabaceae (ACOSTA-RANGEL et al., 2021). As flores femininas, denominadas cones, possuem tricomas glandulares que armazenam e secretam lupulina, constituídas de resinas e óleos essenciais que podem ser usados para fins industriais e medicinais (ROSSINI et al., 2021). Na indústria cervejeira, esses constituintes são utilizados para conferir amargor, sabor e aroma à cerveja, além de serem cofatores em diversos processos de estabilização do produto, tornando o lúpulo um ingrediente essencial para a produção da bebida (ALMAGUER et al., 2015).

O lúpulo é uma planta de dia curto com fotoperíodo crítico de 15 horas, portanto, tem a floração estimulada quando a duração do dia é menor do que este valor (JASTROMBEK et al., 2022). Em condições favoráveis de fotoperíodo, os ramos podem atingir um pico de crescimento de até 25 cm por dia (SIRRINE, 2014), mas se as condições de fotoperíodo não forem suficientes para o crescimento vegetativo no início da estação, um número insuficiente de nós é formado, limitando a capacidade da planta de florescer, reduzindo a produção de cones (JASTROMBEK et al., 2022; ACOSTA-RANGEL et al., 2021).

A duração do fotoperíodo varia em função da latitude, portanto, para atender a demanda do lúpulo a faixa de latitude ideal é de 35° a 55° norte ou sul do equador (DODDS, 2017; SIMIELI et al., 2021; SIRRINE, 2014). O que coincide com os principais produtores mundiais, os Estados Unidos e a Alemanha com 70% da área de lúpulo cultivado (JASTROMBEK et al., 2022). Contudo, existem iniciativas de cultivo bem-sucedidas em áreas de clima subtropical nos subtrópicos (latitudes 23,5° e 35° norte ou sul do equador) como no centro-oeste da Flórida (27 °N) (ACOSTA-RANGEL et al., 2021), sendo a iluminação artificial uma opção para permitir que a planta possa ter um crescimento vegetativo adequado e evitar a floração precoce (AGEHARA, 2020).

No Brasil, várias tentativas de cultivo não prosperaram e um dos fatores limitantes para o desenvolvimento da cadeia pode ter sido a duração do dia inferior a 14 h em todas as regiões brasileiras. Com isso, apesar de ser o terceiro maior produtor de cerveja do mundo com produção estimada em 15,3 bilhões de L.ano⁻¹ (MAPA, 2020; IBGE, 2020), o país importa quase a totalidade dessa matéria-prima utilizada pela indústria (3.243 t) dos Estados Unidos e da Alemanha (COMEX,

2022).

Além da dependência da indústria brasileira pelo mercado externo de lúpulo, o crescimento em número de cervejarias artesanais que demandam essa matéria-prima também contribuiu para aumentar o interesse pelo seu cultivo no país. Com isso, fomentou-se o desenvolvimento de estudos que auxiliem na expansão da cadeia produtiva brasileira buscando a adaptação de tecnologias de cultivo e de variedades internacionais às condições locais (MÜLLER; MARCUSSO, 2018). Dentre essas tecnologias, destaca-se o uso de iluminação suplementar com lâmpadas LED (light-emitting diode) para inibir a floração precoce das plantas no campo (JASTROMBEK et al., 2022).

Uma das demandas para o sucesso do desenvolvimento da produção brasileira de lúpulo é conhecer o comportamento agrônômico das diferentes variedades sob condições climáticas locais. Cada variedade de lúpulo possui diferentes níveis de resinas e óleos essenciais em sua composição (DURELLO; SILVA; BOGUSZ, 2019), portanto, apresentam diferentes perfis de qualidade, os quais são totalmente influenciados pela interação entre genótipo e ambiente. Sendo assim, a mesma variedade pode apresentar diferenças na sua composição química associadas às diferentes regiões de cultivo, provocando uma tipicidade de amargor e sabor aromático na matéria-prima para a indústria cervejeira (RODOLFI et al., 2019).

Como o cultivo de lúpulo ainda é muito recente no Brasil e a cadeia de produção ainda incipiente, informações científicas e fidedignas a respeito da adaptação de variedades com uso de suplementação luminosa artificial com luzes LED a campo são limitadas. Sendo assim, com este estudo se teve o objetivo de caracterizar a duração dos principais estágios fenológicos, o desempenho do crescimento das plantas, o rendimento produtivo e a qualidade de cones de variedades de lúpulo cultivadas sob iluminação suplementar (artificial) em região de clima subtropical.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O CULTIVO DE LÚPULO E IMPORTÂNCIA ECONÔMICA

O lúpulo (*Humulus lupulus* L.) é uma planta dioica de antiga domesticação e uso, encontrada na natureza em quase todas as regiões de clima temperado, produzindo anualmente inflorescências ao longo de um ciclo que dura aproximadamente quatro meses (BAUERLE, 2019). As flores femininas se desenvolvem em cones, também conhecidos como estróbilos, que são responsáveis por aportar amargor, aroma e estabilidade microbiológica à cerveja. O lúpulo é uma das matérias-primas essenciais para a indústria cervejeira em todo o mundo (RODOLFI et al., 2019) e, em menor escala, é utilizado na indústria farmacêutica (FAGHERAZZI, 2020).

Cada variedade de lúpulo possui diferentes níveis de aroma e essência em sua composição, e os compostos de interesse para a indústria cervejeira são os níveis de ácidos alfa e beta e os óleos essenciais presentes nos seus cones (DURELLO; SILVA; BOGUSZ, 2019). O lúpulo pode ser comercializado em várias formas: fresco, desidratado, em pó e extratos, e na indústria cervejeira, a forma mais utilizada são em *pellets*. Além disso, o lúpulo é uma matéria-prima essencial para a caracterização de produtos cervejeiros na indústria cervejeira moderna. Além de conferir à cerveja o sabor amargo e aromático típico, o lúpulo é um importante cofator em diversos processos de estabilização do produto acabado. Devido à reação entre ácidos amargos e proteínas do mosto, o lúpulo permite a clarificação da cerveja, estabiliza a espuma e também é um conservante natural (GRESSER, 2010).

Embora seja usado em quantidades relativamente pequenas nas cervejarias, representa uma grande porcentagem do custo de produção (KRAMER et al., 2015). Com base no tipo e quantidade de lúpulo, é possível produzir uma grande quantidade de estilos de cervejas com diferentes aromas e graus de amargor (DURELLO; SILVA; BOGUSZ, 2019).

Atualmente, os maiores produtores de cerveja do mundo são a China, Estados Unidos e Brasil (BARTHHAAS, 2021), e a demanda por uma gama diversificada de lúpulos de qualidade vem crescendo nas indústrias ao redor do mundo. No Brasil, a produção de cerveja é de aproximadamente 15,3 bilhões de L.ano⁻¹ e representa 1,7% do PIB nacional, com faturamento anual de R\$ 160 bilhões,

(não *H. lupulus*), um arbusto ou pequena árvore africana da família Rhamnaceae, comumente referido como *gesho*, que é usado de maneira semelhante ao lúpulo na fabricação de *tella*, uma cerveja etíope preparada a partir de mel, água e folhas de *gesho* (LEE; REGU; SELESHE, 2015).

Mais recentemente, a dinâmica do comércio global tem encorajado a expansão das áreas de cultivo de lúpulo, agora abrangendo áreas paralelas as latitudes entre 35° e 55° em ambos os hemisférios (MARCEDDU; CARRUBBA; SARNO, 2020), especialmente na Austrália, Nova Zelândia, África do Sul, Argentina e Brasil (RUFATO; FAGHERAZZI, 2019).

No Brasil, o cultivo de lúpulo tem sido impulsionado principalmente pelo aumento de um grande número de novas cervejarias artesanais, que têm demandado matéria-prima diversificada para a produção de diversos tipos e estilos de cerveja. Em 2020, 1.383 novas cervejarias foram registradas no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, o que corresponde a um crescimento de 14,4% em relação a 2019, sendo que 80% estão localizadas nas regiões Sul e Sudeste do país, entre as latitudes 20° e 30° S (MAPA, 2020).

Embora existam relatos de tentativas de cultivo de lúpulo no Brasil no século 19, sua produção comercial só começou a ser importante em 2016, quando diversas variedades foram importadas e registradas por viveiros comerciais com autorização do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, que mais tarde começou a se multiplicar e fornecer mudas sadias e de alta qualidade genética (GONSAGA, 2021).

O interesse pelo cultivo no Brasil tem sido ampliado devido às tecnologias de cultivo adaptadas, ao desenvolvimento de novas variedades a partir do melhoramento genético e à possibilidade de adaptação das variedades internacionais às condições locais (MÜLLER; MARCUSSO, 2018). Esta escalada de interesse, tanto no cultivo como na exploração comercial do lúpulo, tem atraído importantes investimentos para o seu estabelecimento em nível nacional. Embora ainda em fase de desenvolvimento, a produção de lúpulo tem interessado diversos empreendedores, principalmente nas regiões sul e sudeste do país (RUFATO; FAGHERAZZI, 2019; GUIMARÃES; EVARISTO; GHESTI, 2021).

O grande desafio para o desenvolvimento da produção de lúpulo no Brasil é a adaptação de variedades às condições geográficas e climáticas locais. Alta capacidade de rendimento e tipicidade de amargor e sabor aromático são duas

características desejáveis para atender a crescente demanda por matéria-prima pela indústria cervejeira no Brasil (JASTROMBEK et al., 2022).

2.2 CULTIVO DE LÚPULO NO BRASIL

Os primeiros relatos de cultivo de lúpulo no Brasil datam de 1885, quando o imperador Dom Pedro II trouxe mudas para o estado do Rio de Janeiro. Há também relatos de 1869 da introdução de mudas trazidas por imigrantes poloneses para o estado do Paraná. Décadas depois, por volta de 1953, o imigrante austríaco Roland Hoblik planejava cultivar lúpulo em Nova Petrópolis, no Rio Grande do Sul, mas o seu cultivo não prosperou quando as cervejarias locais que sustentavam sua produção foram adquiridas por uma cervejaria maior que importava essa matéria-prima de outros países (GONSAGA, 2021), e a atividade foi assim descontinuada. Outras tentativas isoladas de cultivo também foram feitas no início da década de 1980 no Instituto Agrônomo do Paraná, mas sem sucesso.

Em meados dos anos 2000, as tentativas de cultivo do lúpulo foram retomadas no Brasil. Um produtor do estado de São Paulo começou a cultivar plantas de lúpulo a partir de sementes importadas do Canadá, mas não teve sucesso e decidiu remover as plantas. Em 2005, uma das plantas removidas naturalmente voltou a crescer e se desenvolver no campo, completando seu ciclo produtivo. Posteriormente, essa planta foi multiplicada e recebeu o nome de 'Mantiqueira', despertando o interesse pela produção em várias localidades do país (SPÓSITO et al., 2019).

A partir de 2010, o cultivo do lúpulo nacional tornou-se mais importante, impulsionado pelo crescente número de cervejarias artesanais no país que demandavam matéria-prima diversificada. Esse ressurgimento motivou diversos empreendedores a investir em novas áreas de cultivo devido à disponibilidade de novas tecnologias desenvolvidas por algumas instituições de pesquisa (GUIMARÃES; EVARISTO; GHESTI, 2021; ARRUDA et al., 2021; SIMIELI et al., 2021). Dentre essas tecnologias, destaca-se o uso de iluminação suplementar a partir de lâmpadas LED (light-emitting diode) para controlar a floração das plantas no campo, isso porque região alguma do Brasil atende aos requisitos mínimos de fotoperíodo do lúpulo (17 h diárias na fase de desenvolvimento vegetativo), específicas das regiões entre as latitudes 35° e 55° Norte ou Sul do Equador, e esta foi uma das principais causas do insucesso do cultivo de lúpulo no país no passado (JASTROMBEK et al., 2022). Ressalta-se que a demanda nacional de lúpulo também foi influenciada pela busca

por matéria-prima recém-colhida, fresca e desidratada, exigindo menor tempo de armazenamento, pois o lúpulo perde qualidade no processo de peletização devido à oxidação e degradação de seus compostos químicos ao longo do tempo (DURELLO; SILVA; BOGUSZ, 2019).

Dado o crescente interesse pela cultura do lúpulo no Brasil, em 2018, foi fundada a Associação Brasileira dos Produtores de Lúpulo – APROLÚPULO – em associação com a Universidade do Estado de Santa Catarina, UDESC, Lages, no estado de Santa Catarina, com o objetivo de coletar informações e promover o cultivo de lúpulo no país (MÜLLER; MARCUSSO, 2018). Além disso, em 2018, foi formada uma rede para a promoção da cultura do lúpulo na região da Serra Fluminense, no estado do Rio de Janeiro, reunindo diversas instituições públicas de pesquisa e empresas privadas para compartilhar conhecimentos e recursos para que a cultura do lúpulo se tornasse uma atividade viável.

As principais iniciativas brasileiras de produção de lúpulo estão espalhadas por 60 ha em regiões de diferentes latitudes e climas, especialmente na região sul do país (EPAGRI, 2022). Por isso, esta região tem a maior concentração de produtores de lúpulo e cervejarias artesanais do país, sendo que o estado de Santa Catarina possui o maior número de produtores, especificamente na região das Lajes (latitude 28° S). Outras iniciativas de produção de lúpulo também têm sido realizadas em outras regiões do sul do país, como em Palotina, no estado do Paraná (latitude 24° S) (Figura 2).



Figura 2 - Mapa do Brasil incluindo áreas emergentes de cultivo de lúpulo localizadas em Palotina, Paraná (24° S).

A cadeia produtiva do lúpulo no Brasil representa a integração de diversos setores, e alguns estudos têm sido realizados com objetivo de tornar viável a sua produção no país, dentre os quais se destacam: adaptabilidade de variedades; melhoramento genético; sistemas de condução; iluminação suplementar; manejo da irrigação e fertilização; controle de doenças e pragas; estudos econômicos e de viabilidade; métodos de avaliação química de cones e qualidade para a indústria cervejeira (FAGHERAZZI, 2020; GONSAGA, 2021).

Em função das condições climáticas do Brasil, tem sido explorada a possibilidade de se obter mais de um ciclo de produção por ano em algumas regiões, enquanto em regiões tradicionais de cultivo, apenas um ciclo é obtido por ano (GUIMARÃES; EVARISTO; GHESTI, 2021). Este é um diferencial que pode potencializar ainda mais o cultivo de lúpulo no país, semelhante ao que vem sendo praticado no estado da Flórida, EUA (AGEHARA, 2020), cujo clima também é subtropical e situado na latitude 31° N.

As iniciativas de cultivo de lúpulo no Brasil têm gerado grande entusiasmo pela produção dessa importante matéria-prima para a indústria cervejeira. Além disso, o lúpulo brasileiro apresentou características distintas em termos de amargor e aroma quando comparado aos produtos importados, o que levou à produção de cerveja com tipicidade (ALMEIDA et al., 2020, DURELLO; SILVA; BOGUSZ, 2019), que tem sido foco de diversas iniciativas no país.

O Brasil tem grande potencial para o desenvolvimento da cultura do lúpulo, e o interesse em ampliar a cadeia produtiva levou à união entre instituições públicas de pesquisa e empresas privadas, como a AMBEV (Companhia de Bebidas das Américas), com o objetivo de gerar, expandir, e disseminar conhecimento sobre a produção de matérias-primas sustentáveis e de alta qualidade no país (LOHNBIER, 2022).

2.3 CARACTERÍSTICAS BOTÂNICAS E VARIEDADES DE LÚPULO

O gênero *Humulus* é composto por três espécies, *Humulus lupulus*, *Humulus japonicus* e *Humulus yunnanensis*, sendo *H. lupulus* a principal espécie cultivada comercialmente utilizada pela indústria cervejeira devido aos seus altos níveis de lupulina (ALMAGUER et al., 2015; RUFATO; FAGHERAZZI, 2019).

O lúpulo é uma planta trepadeira, herbácea e perene pertencente à família Cannabaceae. É uma planta dióica, portanto, desenvolve flores masculinas e femininas em plantas separadas (RODRIGUES; MORAIS; CASTRO, 2015; AQUINO; TEIXEIRA; ASSIS, 2019). No entanto, apenas as plantas femininas são cultivadas em escala comercial, pois as flores femininas, chamadas de cones ou estróbilos, possuem maior rendimento de resinas. As flores da planta masculina têm apenas 10-15 glândulas secretoras de lupulina, enquanto as flores femininas têm 10.000 ou mais glândulas. Assim, plantas masculinas, que são facilmente distinguíveis das femininas, são importantes apenas para o melhoramento e são utilizadas para desenvolver novas variedades em cruzamentos controlados (DODDS, 2017), mas não devem ser utilizadas para produção comercial no campo.

As resinas produzidas em cones oriundos de flores femininas são características do lúpulo, não sendo encontradas em nenhuma outra espécie vegetal. As resinas são produzidas em glândulas de lupulina presentes nos tricomas das brácteas das inflorescências (SPÓSITO et al., 2019).

As glândulas secretoras de lupulina têm a capacidade de sintetizar e

armazenar resinas e óleos essenciais devido à presença de mais de 300 compostos aromáticos. Os óleos essenciais são formados principalmente por hidrocarbonetos (FAGHERAZZI, 2020), terpenos fenólicos e polifenóis (FARAG et al., 2012). Os compostos terpenoides, incluindo os alfa-ácidos, também conhecidos como humulonas, servem como fonte de sabores e aromas, enquanto os beta-ácidos, ou lupulonas, produzem a biostase do mosto. Nas resinas, a porcentagem de alfa ácidos, beta ácidos e óleos essenciais varia entre 3 e 17%, 3 e 7% e 0,5 e 2%, respectivamente (RUFATO; FAGHERAZZI, 2019).

Os alfa-ácidos contribuem para o amargor da cerveja e atuam como agentes bacteriostáticos, favorecendo a ação das leveduras durante o processo de fermentação e inibindo a ação de algumas bactérias. Os alfa- e beta-ácidos começam a se acumular nos cones desde o início da floração (RODRIGUES; MORAIS; CASTRO, 2015).

Os óleos essenciais são compostos químicos relacionados aos componentes aromáticos de diferentes variedades e conferem aroma à cerveja. Os grupos aos quais esses compostos pertencem são os monoterpenos (mirceno, limoneno e alfa-pineno), sesquiterpenos (farneseno, humuleno e beta-cariofileno) e álcoois terpenos (linalol) (DURELLO; SILVA; BOGUSZ, 2019).

A composição química dos cones de lúpulo e as concentrações desses compostos dependem dos fatores genéticos das diferentes variedades, pontos de colheita, condições climáticas e geográficas associadas ao local de cultivo (RETTBERG; BIENDL; GARBE; 2018) e idade da planta (ACOSTA-RANGEL et al., 2021). A produtividade aumenta até o terceiro ano de vida das plantas, quando tendem a se estabilizar, e nos dois primeiros anos, sua qualidade é menor (DONNER et al., 2020).

O cultivo de lúpulo para uso na produção de cerveja originou-se no Hemisfério Norte, começando na Europa Oriental em torno da Boêmia, Eslovênia e Baviera antes do século XIII, depois se espalhando para outros países europeus (RUFATO; FAGHERAZZI, 2019). Além do sabor amargo e aromático característico, o lúpulo ficou conhecido por suas propriedades conservantes na cerveja, ao contrário da combinação de ervas, flores, frutas, raízes, cascas e até vegetais, conhecida como *gruit*, que era adicionada à bebida para este fim (FAGHERAZZI, 2020). Assim, em 1516, na Baviera, na Alemanha, foi criada a Lei da Pureza, também conhecida como *Reinheitsgebot*, na qual apenas o lúpulo poderia ser adicionado para conferir amargor

à cerveja (SPÓSITO et al., 2019). Em 1629, o lúpulo europeu começou a ser introduzido nos Estados Unidos, e logo o cultivo da planta se espalhou para o sul e oeste do país, no entanto, foi apenas em 1800 que a produção em maior escala foi bem-sucedida (DODDS, 2017).

A partir de 1800 os britânicos introduziram o cultivo em suas colônias do hemisfério sul, como na África do Sul, Austrália e Nova Zelândia. Por volta de 1860, os alemães introduziram o lúpulo na China e na Coreia, e em 1876, com a popularidade da cerveja de lúpulo, os japoneses começaram a produzir variedades americanas e alemãs. Finalmente, o lúpulo chegou à América do Sul em 1851, trazido por um diplomata chileno que iniciou seu cultivo comercial no Chile em 1857. Mais tarde, imigrantes alemães que viviam no sul do Chile introduziram o lúpulo na Argentina em 1865 (SPÓSITO et al., 2019).

As variedades de lúpulo diferem de acordo com seu país de origem, características morfológicas, períodos de maturação e composição química (HEALEY, 2016), principalmente em relação à quantidade de alfa- e beta-ácidos e óleos essenciais (KARABIN et al., 2015). As variedades de amargor são caracterizadas por apresentarem maiores teores de alfa-ácidos em sua composição química (DURELLO; SILVA; BOGUSZ, 2019).

Existem atualmente mais de 260 variedades de lúpulo catalogadas, cada uma com diferentes características apreciadas pela indústria cervejeira em termos de amargor, aroma e sabor (HEALEY, 2016). No entanto, as variedades mais abundantemente cultivadas em todo o mundo incluem aproximadamente 30 variedades americanas e 40 europeias, com um número menor de variedades asiáticas.

As variedades de lúpulo com maior área de produção nos EUA hoje são Citra[®], Mosaic[®], Simcoe[®], Cascade, Centennial e CTZ (sigla para Columbus, Tomahawk e Zeus, três variedades comerciais de propriedade de várias empresas privadas para a mesma variedade de lúpulo) (IHGC, 2021), enquanto na Alemanha as variedades mais importantes são Perle, Hallertau Tradition, Hallertau Magnum e Herkules (BARTHHAAS, 2021).

No Brasil existem 48 variedades de lúpulo registradas no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, sendo as mais abundantemente cultivadas atualmente Cascade, Columbus, Chinook, Nugget, Saaz, Centennial, Comet, Hallertau, Hallertau Mittelfrüher, Mapuche, Magnum, Zeus, Fuggle e Northern Brewer

(MAPA, 2020). Um importante impulso para o aumento de novas áreas de lúpulo no Brasil foi o estabelecimento de viveiros comerciais de lúpulo, entre os quais destacam-se: Ninkasi, Hops Brasil, Van de Bergen e Lúpulo Gaúcho, que proporcionaram o fornecimento de mudas femininas de diferentes variedades e de alta qualidade genética, multiplicada por estacas.

2.3.1 Variedades Avaliadas

As variedades de lúpulo avaliadas nesse estudo são: Hallertau Mittelfrüher, Mapuche, Northern Brewer, Spalter e Yakima Gold. A seguir são descritas as suas principais características.

A variedade alemã Hallertau Mittelfrüher apresenta teores de alfa-ácidos e beta-ácidos de 3,5 a 5,5% e 4,5 a 5,0%, respectivamente, e potencial produtivo médio de 2.300 a 2.400 kg.ha⁻¹ (FAGHERAZZI et al., 2017). A variedade argentina Mapuche apresenta teores de alfa-ácidos, beta-ácidos e óleos essenciais de 5,8% a 6,4%, 4,1% a 4,8% e 1,1 mL.100 g⁻¹, respectivamente, e seu potencial produtivo é de 1.800 kg.ha⁻¹ (TESTA; TROCHINE; BERGAMINI, 2019). A variedade americana Northern Brewer apresenta teores de alfa-ácidos, beta-ácidos e óleos essenciais de 8,0 a 10,0%, 3,0 a 5,0%, 1,5 a 2,0 mL.100 g⁻¹, respectivamente, e seu potencial produtivo é de 1.600 a 1.800 kg.ha⁻¹ (HEALEY, 2016). A variedade alemã Spalter apresenta teores de alfa-ácidos, beta-ácidos e óleos essenciais de 3,0 a 6,5%, 2,0 a 5,0% e 0,5 a 1,2 mL.100 g⁻¹, respectivamente, e potencial produtivo de 1.750 a 2.000 kg.ha⁻¹ (HEALEY, 2016). A variedade americana Yakima Gold apresenta teores de alfa-ácidos, beta-ácidos e óleos essenciais de 8,8 a 10,5%, 4,3 a 5,0% e 1,9 a 2,3 mL.100 g⁻¹, e potencial produtivo de 1.800 a 2.000 kg.ha⁻¹ (WOODSKE, 2012).

2.4 CONDUÇÃO DAS PLANTAS DE LÚPULO

As plantas de lúpulo se desenvolvem a partir de caules subterrâneos conhecidos como rizomas, que se entrelaçam com a ajuda de pelos rígidos ao longo de suas hastes, conhecidos como tricomas. Os ramos de lúpulo crescem rapidamente, com um pico de crescimento de até 25 cm por dia (FAGHERAZZI, 2020; SIRRINE, 2014). Devido a esse comportamento trepador, as plantas de lúpulo cultivadas comercialmente no Brasil são tutoradas para crescer em treliças altas, normalmente de 5-6 m de altura, sendo as plantas tutoradas em diferentes materiais, como fios de

sisal ou de algodão (Figura 3).



Figura 3 - Condução de lúpulos. (A) Sistema de treliça alta com ramos chegando ao topo; (B) lúpulo com cones maduros na colheita (JASTROMBEK et al., 2022).

Quando o lúpulo está crescendo, ele passa por duas fases, a vegetativa (início da estação) e a de floração ou reprodução (fim da estação). O início da estação é o momento em que as plantas de lúpulo atingem o topo da treliça para desenvolver amplos braços laterais para o desenvolvimento do cone no fim da estação.

O lúpulo tem forte dominância apical e crescimento indefinido, atingindo comprimentos de 6 a 8 m. As folhas aparecem opostas aos nós, pecioladas, em forma de coração, com 3 ou 5 lóbulos, e com bordas serrilhadas e ásperas com ápice pontiagudo. Tricomas secretores, ou glândulas de resinas e óleos essenciais, são encontrados na parte inferior das folhas (SPÓSITO et al., 2019).

O desenvolvimento fenológico do lúpulo pode ser dividido nos seguintes estádios principais: 0) brotação; 1) desenvolvimento foliar; 2) formação de ramos laterais; 5) emergência de inflorescência; 6) floração; 7) desenvolvimento dos cones; e 8) maturação dos cones (ROBBAUER, 1995).

Os lúpulos são tutorados em sistemas de treliças muito altas, por isso

é essencial que sejam instalados quebra-ventos ao redor do lupulal, pois os ventos podem fazer com que as plantas caiam e reduzam a qualidade do cone.

Tutorar os ramos de lúpulo na fase inicial de crescimento é uma tarefa trabalhosa que envolve enrolar manualmente os ramos em torno de um fio de sisal no sentido horário para estimular o crescimento vertical. As plantas de lúpulo de segundo ano geralmente são produtivas o suficiente para serem tutoradas com 2 a 4 hastes, dependendo da densidade de plantio e do desenho do lupulal. As plantas produzem muitos ramos durante a rebrota no início da estação de crescimento, e o seu crescimento vigoroso inicial tende a ser rígido e quebradiço, e pode resultar em ramos com longos entrenós que não são propícios à maximização do rendimento, e por esta razão, a seleção de ramos no início da estação é crítica. Ao selecionar brotos mais uniformes e secundários, a carga de colheita pode ser aumentada e o risco de quebra dos ramos em dias que ventam muito pode ser reduzido. Devem ser selecionadas de 2 a 4 ramos por fio, dependendo da variedade (SIRRINE, 2014).

2.5 REQUISITOS CLIMÁTICOS DE LÚPULO

O lúpulo é tradicionalmente cultivado em regiões de clima temperado (ACOSTA-RANGEL et al., 2021), mas no hemisfério Sul, as principais regiões produtoras estão localizadas na Austrália entre 37° e 43° S, na Nova Zelândia entre 41° e 42° S, na Argentina entre 35° e 40° S, e na África do Sul a 34° S (DODDS, 2017).

As condições climáticas desempenham um papel decisivo no cultivo dessa espécie, sendo a temperatura do ar, o fotoperíodo e a disponibilidade hídrica os principais elementos. Como o cultivo do lúpulo começou recentemente no Brasil, país grande e com relevo variado, o conhecimento do clima das diferentes regiões torna-se essencial para a determinação das áreas mais adequadas para o cultivo do lúpulo, bem como para a escolha de variedades e para a utilização de técnicas de cultivo, como o tempo de poda e colheita, uso de iluminação suplementar, adubação química e irrigação.

2.5.1 Temperatura do Ar

Em áreas tradicionais de cultivo, a temperatura do ar é um elemento climático importante para a produção de lúpulo, e influencia muito no desenvolvimento inicial das plantas após a dormência, o que determina a época de colheita dos cones

(PAVLOVIC et al., 2012). No fim do inverno, a temperatura média do ar deve aumentar gradativamente e atingir 10°C para que as plantas iniciem seu crescimento vegetativo. Durante as estações de primavera e verão, a planta de lúpulo depende de uma faixa de temperatura ideal entre 13,2 e 20,5°C para seu crescimento e, em extremos abaixo de 5°C e acima de 35°C tem o crescimento paralisado (ACOSTA-RANGEL et al., 2021).

Nas regiões de alta latitude do Brasil, onde o inverno (jul./set.) é mais severo e de maior duração, como em Lages (latitude 28° S), o início da estação de crescimento do lúpulo tende a se desenvolver a partir de meados de setembro (início da primavera), e os cones são colhidos de fevereiro até o início de março (final do verão) do ano seguinte, variando conforme a variedade. Em regiões com invernos amenos, como Palotina (latitude 24° S), que tem baixo risco de geadas, o início da estação de brotação do lúpulo é a partir do fim de julho (inverno), e os cones são colhidos em novembro/dezembro (início do verão). Tecnicamente isso possibilita a indução de um segundo ciclo de produção e a maximização da produção, aplicando uma segunda poda após a colheita, em que a temperatura do ar por permanecer elevada até o fim de abril, permite um bom desenvolvimento vegetativo das plantas para uma segunda safra ao longo de 12 meses.

2.5.2 Disponibilidade Hídrica

A distribuição das chuvas ao longo do ano também influencia o cultivo do lúpulo. A necessidade de água pode variar de acordo com a região de cultivo, pois a demanda por evapotranspiração do lúpulo depende da temperatura, vento, umidade do ar e tipo de solo (ALBA et al., 2021). Nas estações mais quentes do ano, a necessidade hídrica é maior, e a precipitação pode ser insuficiente em regiões com baixa ou média pluviosidade, sendo necessário o uso de irrigação, principalmente nas fases fenológicas de maior demanda de água, como a floração (DODDS, 2017), quando a planta absorve grandes quantidades de nutrientes e água. A precipitação média necessária é de 500 a 600 mm durante o crescimento vegetativo do lúpulo, e a precipitação deve ser distribuída uniformemente ao longo do período para obter maiores rendimentos de cone (RODRIGUES; MORAIS; CASTRO, 2015; ALBA et al., 2021).

A irrigação tem sido obrigatória para a maioria das áreas emergentes de cultivo de lúpulo no Brasil, especialmente durante o início da estação de

crescimento, embora a quantidade de chuva ao longo do ano seja considerada suficiente. Durante esta estação, um amplo suprimento de água é essencial para permitir que as plantas cheguem ao topo da treliça adequadamente.

O cronograma de irrigação é um fator muito importante, pois a maior demanda hídrica das plantas ocorre nos períodos que a evapotranspiração está no auge. A irrigação em períodos em que a demanda por água da planta é menor pode levar ao encharcamento do solo e proporcionar condições favoráveis para a ocorrência de doenças, especialmente no sistema radicular. O uso de *mulching* nas linhas de plantio, juntamente com tela plástica, pode proporcionar melhores condições de proteção do solo próximo às raízes do lúpulo, além de permitir melhor controle de plantas daninhas e maior eficiência no uso da água de irrigação por meio da redução da evapotranspiração.

2.5.3 Fotoperíodo

Um elemento climático de extrema importância para o desenvolvimento do lúpulo é o fotoperíodo, pois esse determina o momento em que as plantas são induzidas a florescer, definindo seu potencial de cultivo (DODDS, 2017). O fotoperíodo é definido como o número de horas de luz diário que influencia no crescimento e desenvolvimento das plantas, alterando a sequência de formação de nó, entrenó e folhas, para formação de gemas florais. O fator decisivo para a alteração desse comportamento é justamente o período escuro (ZANOTELLI, 2009).

Muitas plantas usam a duração do dia para controlar o tempo de floração (CARRÉ; COUPLAND; PUTTERIL, 2018). Tais plantas são classificadas como plantas de dia curto ou de dia longo, dependendo se florescem quando a duração do dia se torna mais curta ou mais longa do que um número específico de horas, referido como a duração crítica do dia (KREBS, 2019; NEVE, 1991). Uma planta de dia curto é aquela que necessita de noites longas para florescer e uma planta de dia longo, por conseguinte, é aquela que responde a noites curtas (KAMPF, 2005). Assim, a floração é promovida por fotoperíodo acima da duração do fotoperíodo crítico em plantas de dia longo, ou por fotoperíodo inferior à duração do fotoperíodo crítico em plantas de dia curto (LEYSER, 2003).

O lúpulo é considerado uma planta de dia curto com fotoperíodo crítico de 15 horas. Quando a duração do dia começa a aumentar, acima de 15 h, os lúpulos permanecem em crescimento vertical (para cima) durante o início da estação, e os

ramos se expandem com os ramos laterais que suportarão a colheita. Quando a duração do dia começa a diminuir, abaixo de 15 h, as plantas passam para a fase de crescimento reprodutivo ou fim da estação, quando surgem as inflorescências e os cones se desenvolvem, o que é condição determinante para a obtenção de altas produtividades (ISKRA et al., 2019; AGEHARA, 2020). Além disso, o crescimento vegetativo do lúpulo cessa completamente se as plantas crescem sob condições de fotoperíodo muito curto (< 8 h) (THOMAS; SCHWABE, 1969).

2.5.3.1 Controle da Floração

Em plantas influenciadas pela duração do dia, como o lúpulo, a regulação da floração é dada pelo balanço entre promotores e inibidores de florescimento que são produzidos a partir do estímulo fotoperiódico nas folhas (TAIZ; ZEIGER, 2017). O fotorreceptor presente nas folhas responsável por essa resposta fisiológica é o pigmento cromóforo fitocromo que detecta as transmissões entre a luz e o escuro. Esse pigmento pode existir sob duas formas, a vermelha (660 nm) e a vermelha distante (730 nm). A vermelha constitui a forma de proteína que absorve a radiação na faixa 660 nm de comprimento de onda, e a vermelha distante é a forma fisiologicamente ativa do pigmento, e absorve a radiação na faixa de 730 nm (TAIZ; ZEIGER, 2017; ZANDONADI, 2021).

As formas do fitocromo sofrem ciclos de fotorreversibilidade, em que as relações de troca dependem da frequência da luz (ZANDONADI, 2021). Uma molécula de fitocromo de forma vermelha que absorve um fóton de luz de 660 nm se torna uma molécula de forma vermelha distante, assim como uma molécula de forma vermelho distante que absorve um fóton de luz vermelha distante (730 nm) se converte em uma molécula de forma vermelha. Na verdade, quando expostos à luz solar ou artificial, um equilíbrio entre as formas vermelha e vermelha distante é estabelecido nas plantas. No escuro, o vermelho distante diminui em favor do vermelho. Uma interrupção do escuro regenera a quantidade de vermelho distante novamente, que é o que determinará se as plantas florescerão ou não (BURES; GAVILÁN; KOTIRANTA, 2018).

A forma vermelha distante é a que promove a floração em plantas de dias longos e inibe em plantas de dias curtos, promovendo o crescimento vegetativo das plantas (TAIZ; ZEIGER, 2017; ZANDONADI, 2021). Em plantas de dia curto, o estímulo fotoperiódico (730 nm), ao ser percebido pelo fitocromo, produz inibidores de

florescimento nas folhas que são translocados pelo floema ao meristema apical da planta estimulando o crescimento vegetativo (ZANDONADI, 2021).

Para a floração, o tamanho mínimo das plantas são parâmetros-chave, pois plantas com menos nós do que o necessário para a floração, não florescem em condições de dias curtos (THOMAS; SCHWABE, 1969). Para tanto, a exposição de plantas de lúpulo a um período de dias longos durante o início da estação promove o crescimento vegetativo, pois o fitocromo permanece em maior quantidade na forma fisiologicamente ativa, absorvendo luz vermelho distante (730 nm), inibindo a síntese de promotores do florescimento (ZANDONADI, 2021). O número de dias longos deve ser suficiente para que as plantas atinjam o topo da treliça, formando um bom número de nós, o que melhora eficiência de floração e produção (THOMAS; SCHWABE, 1969; ALBA et al., 2021).

Quando não se encontra essas condições de irradiação com luz natural, em regiões de fotoperíodo inferior a 15 h, uma opção para o controle do crescimento e floração da planta é o uso de luz artificial. O controle artificial da floração é realizado com o uso de fontes luminosas que fornecem luz com picos nos comprimentos de onda de 660 e 730 nm para promover maior eficiência de conversão do fitocromo. A suplementação luminosa deve ser administrada de tal forma que o período de escuro não ultrapasse 5 h contínuas, o que pode prover condições favoráveis à indução floral (KOFRANEK, 1992). É necessária uma intensidade luminosa muito baixa para realizar a quebra de noite, geralmente menor que $1 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, sendo que a intensidade luminosa sugerida é de 7 e 10 *footcandle*, que corresponde em radiação fotossinteticamente ativa (RFA) aproximadamente 77-110 lux ou 0,30-0,43 W m^{-2} (ZANDONADI, 2021).

No Brasil, a duração da luz do dia é inferior a 14 h nas regiões de maior altitude. Como resultado, as plantas de lúpulo cultivadas sob esta condição de duração do dia tendem a florescer prematuramente e, portanto, têm crescimento limitado de ramos e rendimentos de cones. Esta condição climática é, de fato, uma das principais causas do insucesso no cultivo de lúpulo no país em todas as tentativas anteriores, quando não existiam técnicas de manipulação da floração do lúpulo por meio de iluminação suplementar.

A adoção de diferentes variedades e tecnologias são necessárias para a adaptação do cultivo as condições climáticas disponíveis mantendo um alto rendimento de lúpulo. Mais recentemente, foi introduzido o uso de iluminação

suplementar (artificial) para controlar a sua floração e a produtividade, o que pode ser considerado um ponto de virada para o sucesso da produção de lúpulo em regiões subtropicais, onde o comprimento natural do dia induz a floração prematura e não promove o crescimento adequado da planta.

No Brasil, o uso da iluminação suplementar para controlar a floração do lúpulo, bem como algumas características específicas das lâmpadas LED, como espectro, potência, espaçamento e densidade, ainda estão em avaliação. No entanto, em outras regiões subtropicais, como a Flórida, EUA (latitude 31° N), foram obtidos bons resultados com o controle efetivo da floração do lúpulo usando lâmpadas LED para induzir o crescimento vegetativo das plantas para suportar maiores rendimentos, e simultaneamente prevenir a floração no início da estação de crescimento (AGEHARA, 2020). Além disso, já existem bons resultados manipulando-se a floração do lúpulo cultivado em casas de vegetação com obtenção de múltiplas safras por ano (BAUERLE, 2019).

As lâmpadas LED são formadas por um diodo emissor de luz que com a passagem da corrente elétrica emite luz visível através de um processo chamado eletroluminescência. Essas lâmpadas são as mais recentes no mercado e necessitam de menor quantidade de potência para gerar o mesmo fluxo luminoso que lâmpadas incandescentes e fluorescentes sem utilizar reatores. Possuem formatos diversos e no seu interior se encontra um circuito eletrônico que ajusta a tensão elétrica e os componentes LED (ZANDONADI, 2021).

Uma das principais vantagens das lâmpadas LED em comparação às outras fontes de luz, como a incandescente, é a capacidade que essas possuem em controlar a composição espectral da luz para aplicações específicas (MORROW, 2008). Além disso, é importante selecionar lâmpadas LED projetadas para inibir a floração de plantas de dias curtos, como as lâmpadas de bulbo Philips GreenPower LED DR/W 10 W, que oferecem uma combinação de espectros vermelho escuro e branco (DR/W) (AGEHARA, 2020). No Brasil, vários tipos de lâmpadas LED estão em avaliação para aumentar a produção de lúpulo, incluindo a DR/W e outras luzes de cultivo dentro do espectro de RFA em diferentes arranjos. Dependendo das condições climáticas de cada local, da variedade de lúpulo e outras condições de cultivo, alguns ajustes são necessários quando a iluminação suplementar é usada para manipular o crescimento do lúpulo. Basicamente, quanto menor for a latitude de uma determinada região, maior será o número de horas de iluminação artificial necessárias durante o

início da estação de crescimento. No entanto, as condições de temperatura do ar para o crescimento do lúpulo de um determinado local também devem ser consideradas.

As lâmpadas de bulbo LED são penduradas no topo das treliças e espaçadas a 10 m, de modo que ficam suspensas sobre as plantas de lúpulo. Quando a luz do dia começa a diminuir, as luzes LED são acesas para simular as condições do dia (Figura 4). As lâmpadas LED são acesas pelo menos meia hora antes do pôr-do-sol e permanecem acesas por 5 a 7 h por dia, dependendo da latitude, para fornecer um mínimo de 17 horas de luz do dia durante 7 a 9 semanas ou até que o lúpulo desenvolva uma quantidade vegetativa suficiente crescimento (BAUERLE, 2019; AGEHARA et al., 2021).



Figura 4 - Iluminação suplementar com lâmpadas LED para controle de floração de lúpulo.

As plantas de lúpulo normalmente começam a emitir as inflorescências dentro de alguns dias após o término da suplementação de luz. Como resultado, tem sido observado um aumento expressivo no rendimento de várias variedades de lúpulo cultivadas com essa tecnologia, o que tem incentivado produtores a iniciar o cultivo de lúpulo. Em regiões onde são possíveis vários ciclos de crescimento por ano, a manipulação da floração por meio de iluminação suplementar também pode ser necessária para garantir alta produtividade de lúpulo. A caracterização completa das condições climáticas de cada local, especialmente o fotoperíodo ao longo do ano, é fundamental para o sucesso da produção de lúpulo em climas subtropicais.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi realizado em área experimental da Universidade Federal do Paraná – UFPR, Setor Palotina, localizada no município de Palotina, Paraná, Brasil (24°17'40.05" S; 55°50'23.16" W e altitude de 332 m). O solo predominante é o Latossolo vermelho eutroférico, de origem basáltica e textura argilosa, e o clima é do tipo Cfa subtropical úmido, conforme a classificação de Köppen, com temperatura média anual de 20,8 °C, pluviosidade média anual de 1.508 mm (GOMES; WREGGE, 2020), fotoperíodo máximo do verão de 13,5 h, e mínimo no inverno de 10,5 h.

Foi avaliado o desenvolvimento vegetativo e produtivo de cinco variedades de lúpulo (*Humulus lupulus* L): a) Hallertau Mittelfrüher; b) Mapuche; c) Northern Brewer; d) Spalter; e) Yakima Gold, conduzidas sob suplementação artificial de luz durante as safras de 2021 e 2022. As mudas constituídas de plantas femininas foram propagadas por estaquia na Universidade Estadual de Santa Catarina – UDESC, Lajes, SC e plantadas em outubro de 2020, conduzidas em sistema vertical de treliça alta com tutoramento em “V” na linha, com quatro ramos por planta (dois em cada fio de sustentação), altura de 5,5 m e espaçamento de 1,0 m entre plantas e 3,0 m entre linhas.

Nas duas safras avaliadas, a poda de inverno foi realizada rente ao solo no fim de julho para estimular o desenvolvimento das gemas. Entretanto, na safra de 2022, as plantas tiveram que ser novamente podadas rente ao solo no fim de outubro devido ao elevado volume de precipitação (acumulado de 924 mm entre julho e outubro), e às baixas temperaturas ocorridas no período (aproximadamente 20 °C), o que acarretou em desuniformidade do desenvolvimento vegetativo das plantas oriundas da poda de julho. As médias mensais de temperatura do ar (°C) e precipitação pluviométrica (mm) foram determinadas a partir de medições diárias pela estação meteorológica B2K, localizada na sede da C-Vale em Palotina, PR em 2021 (Figura 5) e 2022 (Figura 6).

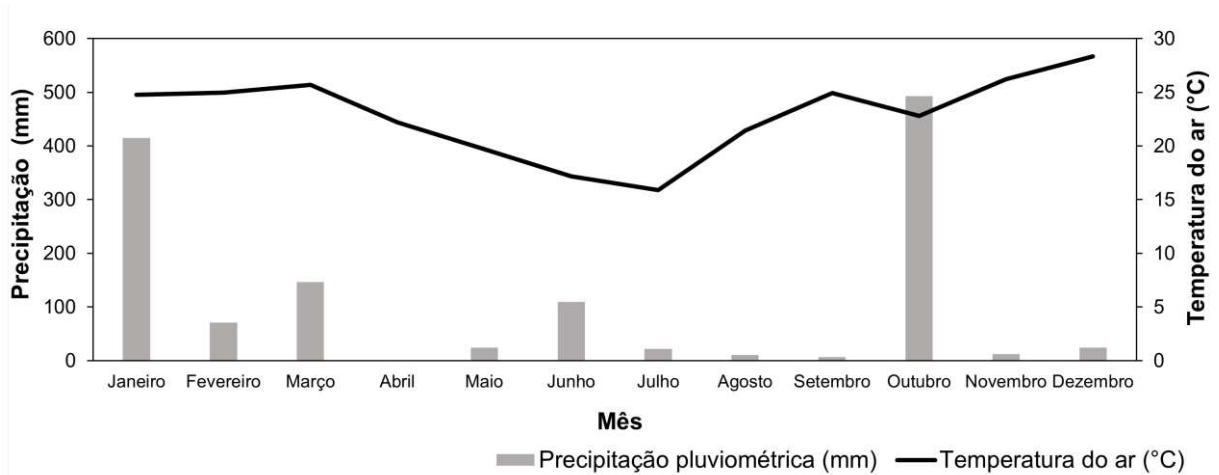


Figura 5 - Temperatura média do ar e precipitação pluviométrica mensal de Palotina, PR em 2021.

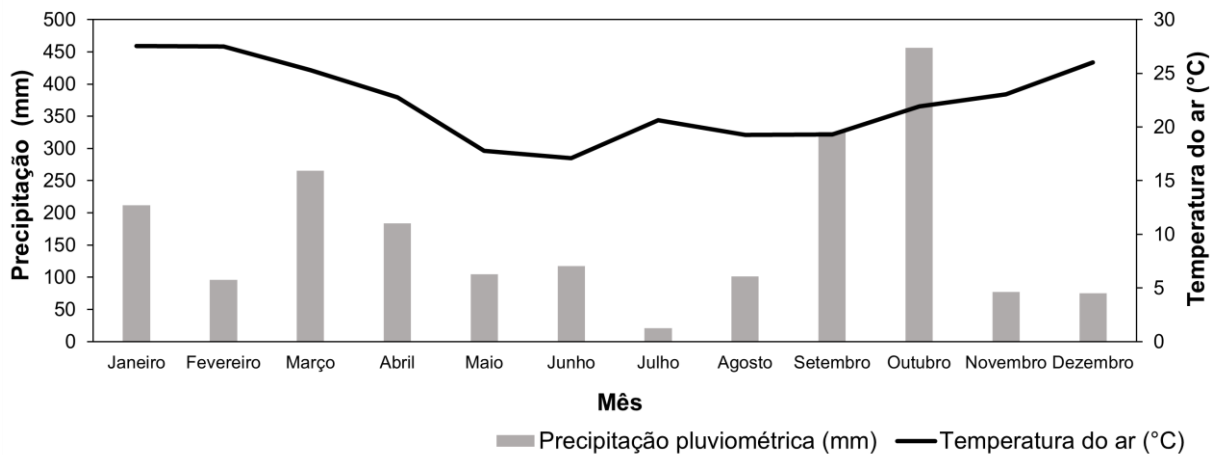


Figura 6 - Temperatura média do ar e precipitação pluviométrica mensal de Palotina, PR em 2022.

Em ambos os anos de cultivo a adubação, a seleção e condução de ramos, a desfolha na base da planta, o controle de plantas invasoras e de pragas foram semelhantes. A adubação foi realizada com aplicações parceladas durante o desenvolvimento vegetativo, sendo aplicadas 50 g de NPK 10-10-10 por planta no início da brotação, no desenvolvimento foliar e na formação de ramos laterais. Após a brotação das plantas foi realizada a seleção e condução dos ramos nos fios de sustentação. A desfolha na base da planta foi realizada durante o desenvolvimento vegetativo, com intuito de aumentar vigor, removendo folhas e ramos velhos a uma altura de 50 cm da base da planta. As plantas invasoras foram controladas por capina manual na linha de cultivo e pela presença de grama esmeralda na entrelinha. O

controle de pragas, em especial de ácaro manchado, foi realizado por aplicações sequenciais de extrato de limoneno, óleo de neem e protetores cúpricos.

Na área experimental foi instalado um sistema de irrigação por gotejamento por mangueiras de fila dupla. Por ser o lúpulo uma planta de dia-curto, na área experimental foi instalado um sistema de suplementação luminosa com lâmpadas LED para tentar controlar a floração das plantas durante a fase de crescimento vegetativo das variedades. Nessa fase, o objetivo foi aumentar artificialmente o fotoperíodo para que as plantas não florescessem precocemente, e somente o desenvolvimento vegetativo fosse estimulado. Após as plantas atingirem o topo da treliça (altura de 5,5 m), a suplementação luminosa foi desligada permanentemente para que o fotoperíodo curto estimulasse a floração das plantas.

Na safra de 2021 a lâmpada de bulbo LED empregada foi a Avant 6.500 K 40W (luz branca fria) cujo espectro de luz encontra-se na Figura 7. Essa lâmpada apresenta espectro de luz predominante de 450 nm (azul) e entre 500 e 600 nm (verde e amarelo). Na safra de 2022 estas lâmpadas foram substituídas por bulbos LED Philips GreenPower DR/W 10W com espectro desenvolvido para inibir a floração de plantas de dias curtos, contendo fluxo de fótons de $25 \mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}$, com espectro luz predominante de 450 nm (azul) e pico de 650 nm (vermelho) (Figura 5). O espectro das lâmpadas utilizadas foi determinado a partir de medições de sua radiância (mw sr^{-1}) empregando-se um espectrorradiômetro Fieldspec 3 Jr (Analytical Spectral Devices, Boulder, CO, EUA), com o posicionamento da fibra óptica em contato direto com o vidro/acrílico da lâmpada. Os valores de radiância foram coletados em laboratório, em ambiente escuro livre da influência de iluminação externa e, para cada lâmpada, foram realizadas onze leituras em diferentes locais do bulbo, minimizando, assim, possíveis interferências do material de cobertura.

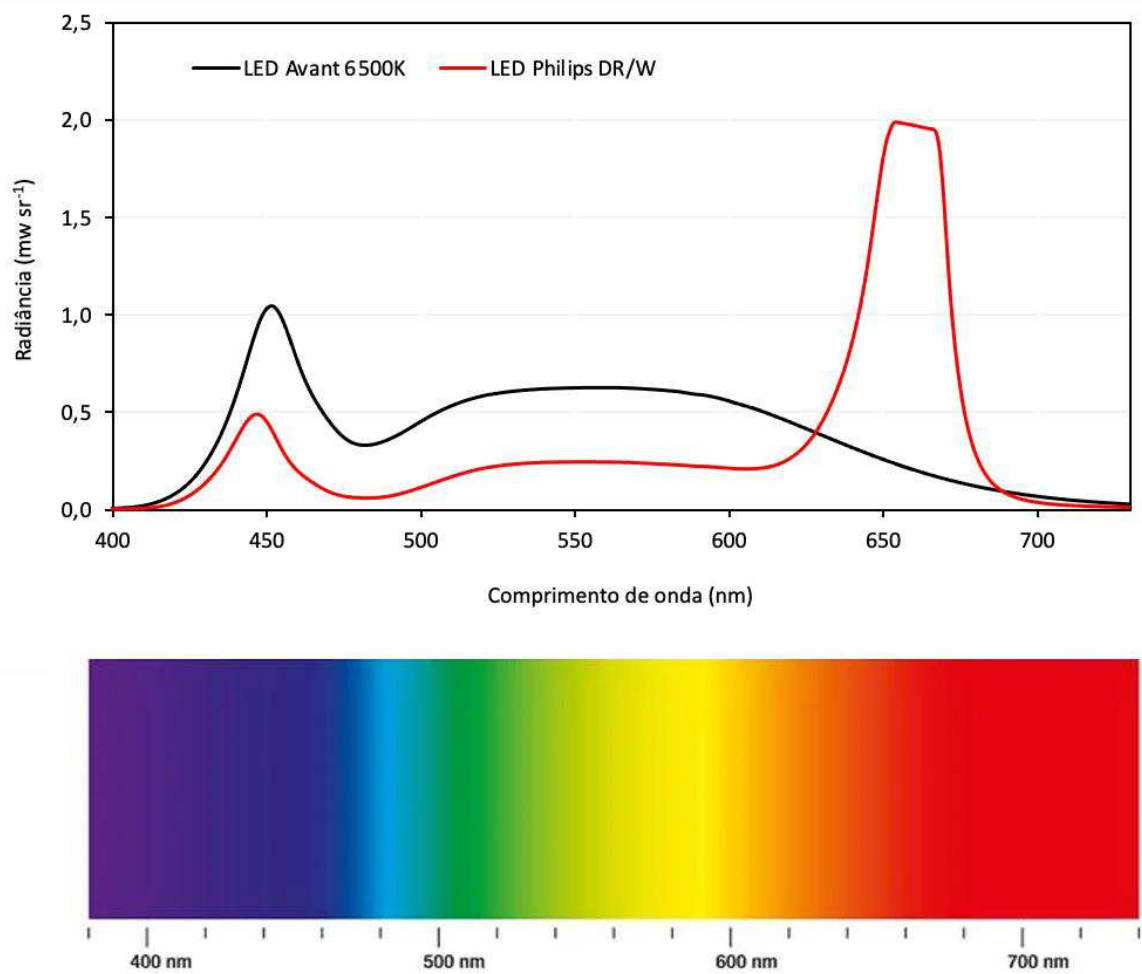


Figura 7 - Radiância (mw sr⁻¹) das lâmpadas LED Avant 6500 K e Philips Green Power DR/W utilizadas para a suplementação artificial de luz no cultivo de lúpulos nas safras 2021 e 2022, respectivamente.

Na safra 2021 as lâmpadas LED Avant 6.500 K 40W foram instaladas no topo das treliças na linha de plantio espaçadas a cada 5 m (Figura 8). O sistema de acionamento dessas lâmpadas LED era automático e controlado por um temporizador, que consistia em acionar diariamente os LEDs às 18 h e desliga-los às 23 h. A suplementação de luz foi suspensa quando as plantas atingiram o topo da treliça, que ocorreu aos 82 dias após a poda, em 21 de outubro de 2021.

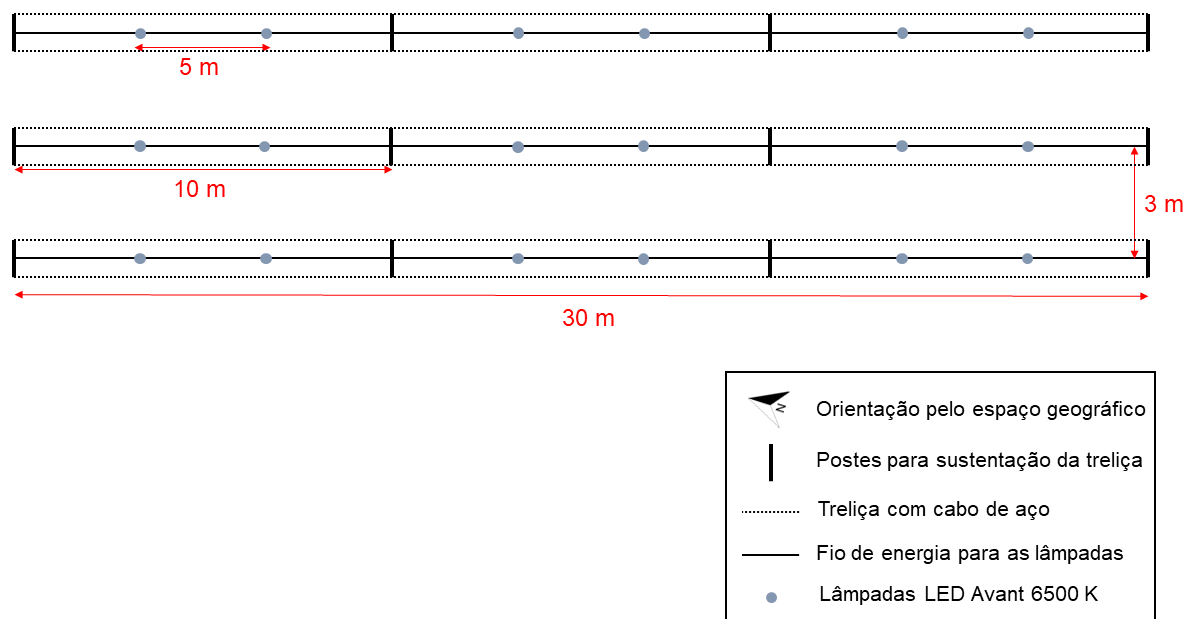


Figura 8 - Croqui de instalação das lâmpadas LED Avant 6500 K usadas no cultivo de lúpulos na safra de 2021.

Na safra 2022 as lâmpadas LED Philips GreenPower DR/W 10W foram instaladas da mesma forma que as anteriores e espaçadas a cada 10 m (Figura 9). O sistema de acionamento destas lâmpadas LED também foi automático e controlado por um temporizador, que consistia em acionar diariamente os LEDs aos 30 min antes do por-do-sol, mantendo-os ligados por um período até que fossem suplementadas 17 h de fotoperíodo diário. A determinação dos horários diários para o acionamento e o desligamento automáticos da suplementação luminosa foi realizada a partir dos fotoperíodos diários calculados para a latitude de Palotina, PR (Figura 10). Para tanto, os cálculos foram feitos a partir da equação: $N=2/(15 \arcsin(-\tan \varphi \cdot \tan \delta))$, em que: N = duração do dia em horas; φ = latitude geográfica (valores negativos para o hemisfério Sul); e δ = declinação solar, o qual foi obtido a partir da equação: $\delta=23.45 \cdot \sin[360(284+n)/365]$, em que: n = dias Julianos do ano. Os valores foram transformados em radianos para seno e tangente (VAREJÃO-SILVA, 2006). A suplementação de luz foi suspensa quando as plantas atingiram o topo da treliça, que ocorreu aos 60 dias após a poda em 19 de dezembro de 2022.

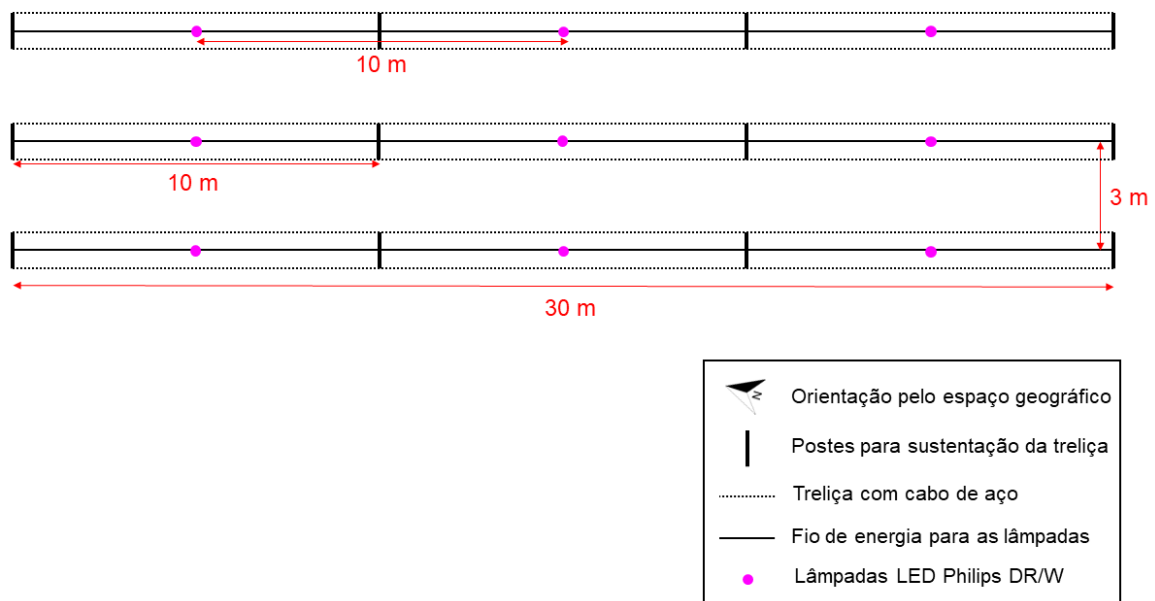


Figura 9 - Croqui de instalação das lâmpadas LED Philips Green Power DR/W usadas no cultivo de lúpulos na safra de 2022.

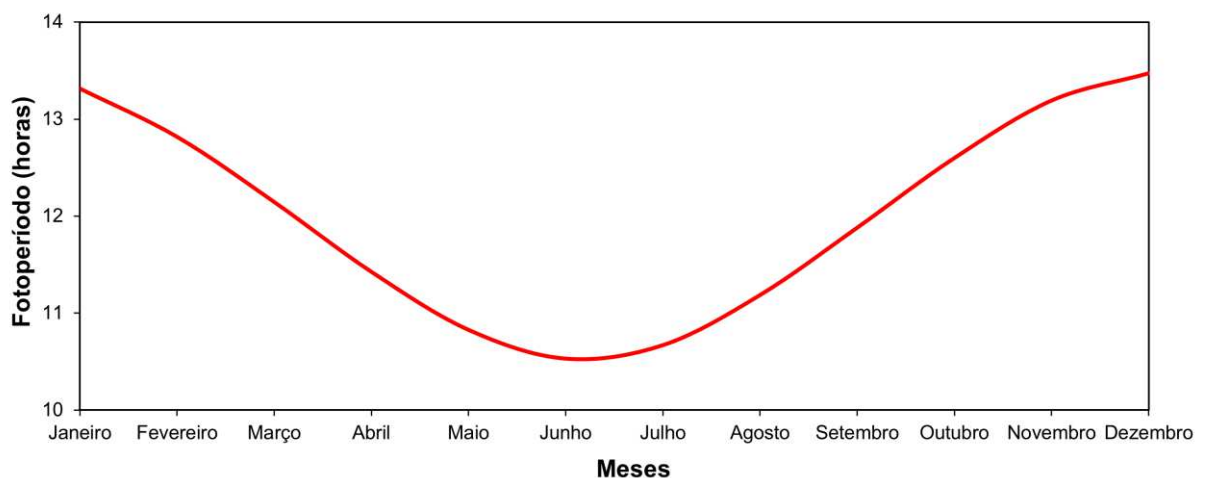


Figura 10 - Duração do dia em horas (fotoperíodo) ao longo do ano em Palotina, Paraná (24° S).

3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E AVALIAÇÕES

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com cinco tratamentos (variedades de lúpulo), quatro repetições e quatro plantas por parcela. Nas duas safras foram avaliadas a fenologia das variedades de lúpulo, o desenvolvimento do crescimento das plantas, os componentes de rendimento produtivo e os componentes químicos dos cones.

3.2.1 Fenologia das variedades de lúpulo

A duração das principais fases fenológica das variedades dos lúpulos foi determinada a partir da avaliação de quatro ramos por parcela experimental (um ramo por planta) a cada cinco dias, desde a poda de inverno até a colheita dos cones.

Foi avaliada nestas plantas, por meio de observações visuais, a duração em dias dos seguintes estádios de acordo com a escala BBCH, a partir da poda de inverno: brotação; desenvolvimento foliar; formação de ramos laterais; emergência de inflorescência; floração; desenvolvimento dos cones; e maturação dos cones (ROBBAUER et al., 1995) (Figura 11). A partir destes dados, foram construídos diagramas com a escala de duração em dias de cada uma das fases fenológicas das variedades de lúpulo avaliadas.

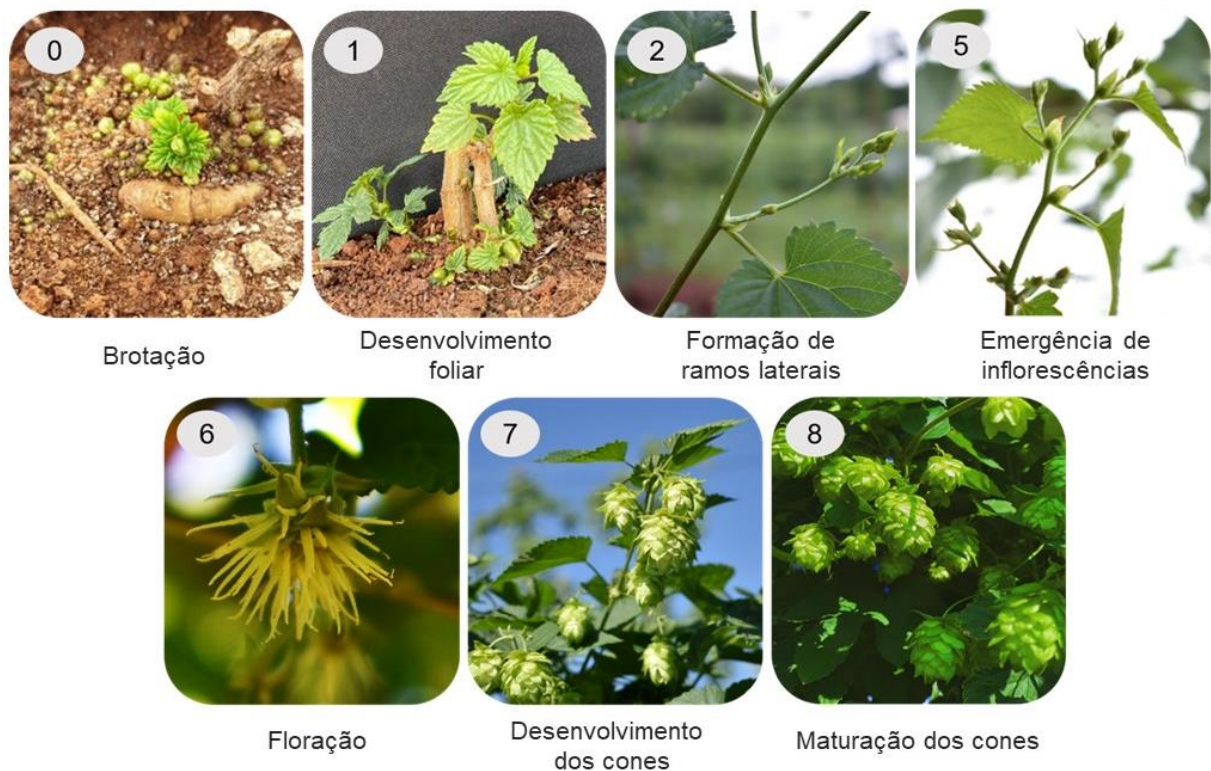


Figura 11 - Representação da escala fenológica BBCH do lúpulo (adaptado de ROBBAUER et al., 1995).

3.2.2 Desenvolvimento do crescimento das plantas

O desenvolvimento vegetativo foi avaliado a partir das variáveis: altura das plantas; massa fresca das plantas e número de ramos laterais por planta.

A altura de plantas (m) foi definida pela extensão da base do lúpulo até a inserção da última folha produzida, mensurada com o auxílio de uma fita métrica, avaliada a partir do surgimento do primeiro par de folhas a cada cinco dias, até que as plantas atingissem a altura da estrutura (5,5 m).

O desenvolvimento do crescimento das plantas (m) foi analisado por regressões não-lineares do tipo log-logística, com o objetivo de modelar os dados sob a forma de equações. Para isso, foi utilizado uma adaptação do modelo logístico proposto por Seefeldt et al. (1995): $Y=Y_{max}+(Y_{min}-Y_{max})/[1+(\frac{x}{x_0})^p]$, em que: Y = variável de interesse; x = número de dias acumulados; e Y_{max}, Y_{min}-Y_{max}, x₀ e p são os parâmetros de ajuste da equação, de tal forma que Y_{max} é o ponto máximo obtido, Y_{min}-Y_{max} é a diferença entre o ponto mínimo e o ponto máximo, x₀ é o número de dias que proporciona 50% de resposta da variável e p é a declividade da curva.

A massa fresca da planta (kg) e o número de ramos laterais por planta foram avaliados na colheita, com auxílio de uma balança digital de bancada para a massa.

3.2.3 Componentes de rendimento produtivo

O ponto de colheita foi definido a partir de observações sensoriais diárias quando os cones apresentaram aspecto fechado e papeliformes ao toque, com mudança sutil de cor verde para amarelado e intensificação da coloração dourada da lupulina, além do potencial de aroma totalmente desenvolvido.

Os componentes de rendimento produtivo avaliados na colheita para cada variedade foram: número de cones por ramo lateral; número de cones por planta; massa fresca do cone; comprimento e largura do cone; produção de cones fresco por planta; e produtividade estimada.

O número de cones por ramo lateral foi determinado utilizando a fórmula (x/y), em que: x = número de cones por planta, e y = número de ramos por planta. O número de cones por planta foi determinado utilizando a fórmula: $\frac{(x*100)}{y}$, em que: x = produção por planta, e y = massa de 100 cones.

A massa fresca do cone (g) foi determinada utilizando uma balança digital de precisão. O comprimento e a largura do cone foram avaliados com auxílio de um paquímetro digital (mm).

A produção de cones fresco por planta (kg/planta) de cada variedade foi determinada pela pesagem de todos os cones de cada planta em balança digital de precisão. A produtividade estimada ($t \cdot ha^{-1}$) foi determinada utilizando a fórmula: $x * \left(\frac{10000}{y}\right)$, em que: x = produção de cones fresco por planta, e y = área que cada planta ocupa ($3 m^2$).

3.2.4 Componentes químicos dos cones

Para realização das análises químicas dos cones das variedades de lúpulo, amostras de cones (50 g) de cada parcela foram submetidas a um processo de secagem de ar forçado a frio ($20^\circ C$) até atingirem umidade de 10%. Posteriormente foram armazenadas a vácuo até o momento das avaliações. Os componentes químicos analisados nos cones foram: teor de alfa-ácido; teor de beta-ácido; e teor de óleos essenciais.

A determinação dos teores de alfa- e beta-ácidos foi realizada a partir da extração dos ácidos da amostra de lúpulo seguida de análise espectrofotométrica em três comprimentos de onda (EGTS et al., 2012). A extração dos ácidos foi realizada utilizando-se uma amostra de 2,5 g de lúpulo (moído em pó fino) que foi adicionada a 50,0 mL de metanol. A mistura sofreu agitação por 30 min em temperatura ambiente seguido de um repouso de 10 min. Em seguida, foi realizado uma filtração em membrana millipore ($0,45 \mu m$) para remoção do material particulado. Uma alíquota de $50 \mu L$ do filtrado foi colocada em um balão volumétrico de 25 mL e o volume foi completado com a solução extratora NaOH metanólico (0,5 mL de 6M NaOH em 250 mL de metanol). O resultante desta solução foi colocado em uma cubeta de quartzo de percurso óptico de 1 cm para a avaliação no espectro UV visível, usando como branco $50 \mu L$ de metanol em 25 mL de NaOH metanólico. Os valores de absorbância foram obtidos para os comprimentos de onda de 275, 325 e 355 nm. A partir destas leituras foram determinados: teor de alfa-ácido (%) = $[(-51,26 * A_{355nm}) + (73,79 * A_{325nm}) - (19,07 * A_{275nm})]$; e teor de beta-ácido (%) = $[(55,27 * A_{355nm}) - (47,59 * A_{325nm}) + (5,1 * A_{275nm})]$; em que: A = leitura da absorbância em cada comprimento de onda.

A determinação do teor de óleos essenciais foi realizada a partir da extração dos óleos essenciais pelo método de coação em extrator de circuito fechado com período de extração em 4 h (SANTOS et al., 2004). De cada parcela,

foram pesadas 30 g de amostra seca, trituradas e inseridas em um balão volumétrico com 500 mL de água destilada. Em seguida, o balão foi adaptado ao extrator e levado à manta aquecedora. O rendimento do óleo essencial extraído da biomassa vegetal foi calculado pelo método de base livre de umidade (BLU), utilizando a fórmula: teor de óleo essencial ($\text{mL} \cdot 100\text{g}^{-1}$) = $\left(\frac{V_o}{Bm - \frac{Bm \cdot U}{100}}\right) \cdot 100$, em que: V_o = volume de óleo extraído (mL); Bm = biomassa vegetal (g); e U = umidade presente na biomassa.

3.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e ao teste de F, e quando significativo, as médias foram comparadas pelo teste Tukey à 5% de probabilidade. As médias de número de cones por ramo lateral e massa fresca do cone em 2021 foram transformados por Box e Cox e o teor de alfa-ácido em 2021 por \sqrt{x} , sendo x o valor expresso em unidade.

Adicionalmente, as médias de massa fresca das plantas, número de ramos laterais por planta, número de cones por ramo lateral, número de cones por planta, massa fresca do cone, comprimento do cone, largura do cone, produção de cones fresco por planta, produtividade estimada, teor de alfa-ácido, teor de beta-ácido e concentração de óleos essenciais foram submetidas à análise multivariada pelo teste dos componentes principais (PCA) e à análise de correlação e agrupamento hierárquico.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 FENOLOGIA DAS VARIEDADES DE LÚPULO

4.1.1 Safra 2021

A duração das principais fases fenológicas foram distintas entre as variedades de lúpulos durante a safra de 2021 (Figura 12). Embora o início da brotação das plantas tenha sido semelhante entre as variedades, verificou-se que 'Mapuche' e 'Spalter' atingiram as fases de emergência das inflorescências e floração mais precocemente, aproximadamente aos 85 e 90 dias do início do desenvolvimento vegetativo, respectivamente. Para as demais variedades a emergência das inflorescências ocorreu próximo dos 110 dias após o início do desenvolvimento vegetativo das plantas.

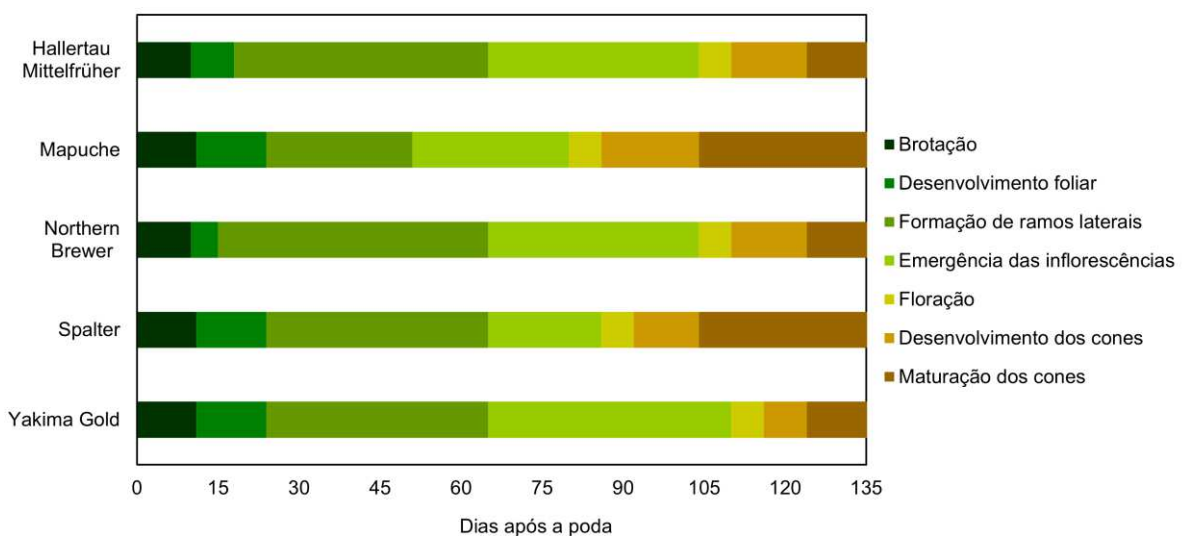


Figura 12 - Duração em dias dos principais estágios fenológicos das plantas de variedades de lúpulo na safra 2021.

É importante destacar que apesar da diferença nas fases fenológicas, a duração do ciclo total das variedades avaliadas foi bem próximo, tendo em vista que para todas as variedades os cones foram colhidos em torno de 135 dias após a poda das plantas. Entretanto, nesta primeira safra, o critério para a determinação exata do ponto colheita de cada uma das variedades não estava bem estabelecido, e optou-se em colher os cones no mesmo período, tendo em vista que os mesmos passaram a entrar na fase de senescência de forma bastante acelerada.

O comportamento fenológico das plantas de lúpulo é influenciado por uma interação entre o genótipo e o ambiente. Essa interação é expressa pela heterogeneidade dos genótipos frente a diferentes condições climáticas de cultivo (ROSSINI et al., 2016). Um dos fatores ambientais que influenciam a duração das fases fenológicas é a duração crítica do dia (ACOSTA-RANGEL et al., 2021), e de acordo com os resultados observados, verificou-se que o comportamento fenológico das variedades foi semelhante ao de algumas regiões de clima temperado (42°N) com fotoperíodo superior a 15-16 h (LIZOTTE; SIRRINE, 2020), e divergiu ao encontrado em região de clima subtropical (27°N), com fotoperíodo inferior a 14 h (ACOSTA-RANGEL et al., 2021), o que indica que a suplementação luminosa pode ter influenciado no ciclo fenológico das variedades avaliadas.

Para regiões com fotoperíodo superior a 15-16 h, a floração do lúpulo ocorre de forma rápida e sincronizada, cerca de 90 dias após a brotação, com duração média de 14 dias. Além disso, os estágios de desenvolvimento e maturação do cone ocorrem ordenadamente, e os cones de uma planta amadurecem praticamente ao mesmo tempo (LIZOTTE; SIRRINE, 2020). Em contrapartida, em regiões com fotoperíodo inferior a 14 h a floração geralmente é induzida precocemente aos 26 dias após a brotação, e essa fase se prolonga por um período três vezes maior que o período típico de floração em clima temperado (42°N). Nessas condições, também observa-se a ocorrência de estágios fenológicos distintos ocorrendo simultaneamente, como a formação de brotos laterais, o desenvolvimento de novas flores e a senescência dos cones, o que pode ser atribuído à duração inadequada do dia em clima subtropical (27°N) (ACOSTA-RANGEL et al., 2021).

Os estudos a respeito do uso da iluminação artificial no controle da floração do lúpulo são escassos, no entanto, para a cannabis medicinal (*Cannabis sativa*: Cannabaceae), espécie vegetal também de dia curto e que apresenta necessidade de fotoperíodo superior a 16 h na fase de desenvolvimento vegetativo, existem vários estudos sobre o uso de iluminação artificial em ambientes protegidos em regiões tropicais e subtropicais que indicam que a medida que o fotoperíodo aumenta, a resposta à floração é atrasada, e o período de desenvolvimento vegetativo é estendido aumentando a biomassa vegetativa (ZHANG et al., 2021; TRANCOSO et al., 2022; RODRIGUEZ-MORRISON; LLEWELLYN; ZHENG, 2021; HALL; BHATTARAI; MIDMORE, 2014; DANG; ARACHCHIGE, CAMPBELL, 2022), corroborando com o comportamento fenológico observado para as variedades de

lúpulo avaliadas sob fotoperíodo estendido nesse trabalho.

4.1.2 Safra 2022

De forma geral, verificou-se que na safra de 2022 o ciclo de todas as variedades foi distinto ao observado na primeira safra (Figura 13). Observou-se que ‘Mapuche’, ‘Spalter’ e ‘Yakima Gold’ foram mais precoces quanto às fases de emergência da inflorescência e floração, atingindo-as aproximadamente aos 60 e 65 dias do início do desenvolvimento vegetativo, respectivamente, o que resultou também na antecipação da maturação dos seus cones, que ocorreu em aproximadamente 100 dias. O período em que ocorreu a emergência das inflorescências foi semelhante para as demais variedades, aproximadamente aos 70 dias após o início do desenvolvimento vegetativo das plantas, totalizando ciclos de aproximadamente 120 dias.

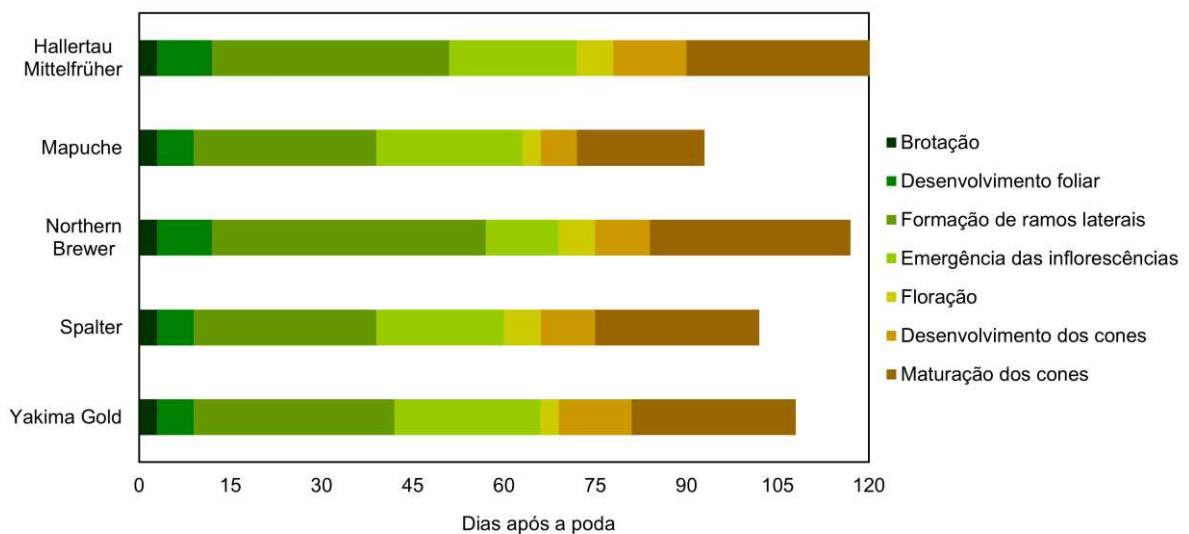


Figura 13 - Duração em dias dos principais estágios fenológicos das plantas de variedades de lúpulo na safra 2022.

Nesta safra também se verificou semelhança entre o comportamento fenológico das variedades avaliadas e o observado em regiões com fotoperíodo superior a 15-16 h, o que indica a eficiência da suplementação luminosa no ciclo fenológico das variedades avaliadas.

O encurtamento do ciclo das variedades em relação à primeira safra pode estar relacionado à época em que as podas foram realizadas, uma vez que para esta segunda safra, o ciclo das plantas iniciou em outubro, tendo em vista que foi

necessário realizar uma segunda poda em função do baixo desenvolvimento inicial das plantas, causado pelas baixas temperaturas e altas precipitações que ocorreram após a primeira poda, realizada no fim de julho. Desta forma, o desenvolvimento das plantas na safra de 2022 ocorreu sob condições de temperaturas mais elevadas, o que resultou no início mais precoce das fases fenológicas do lúpulo (MOZNY et al., 2009; HALL; BHATTARAI; MIDMORE, 2012). Além disso, também se observa influência do clima no desenvolvimento de algumas variedades, como a 'Yakima Gold', que na primeira safra apresentou comportamento fenológico tardio, e na segunda, precoce. Cada variedade exige uma condição específica para o seu pleno desenvolvimento, principalmente no que se refere à temperatura do ar (MOZNY et al., 2009; HALL; BHATTARAI; MIDMORE, 2012), o que sugere que a 'Yakima Gold' otimize seu desenvolvimento quando podada em épocas mais tardias quando a temperatura do ar está mais elevada.

4.2 DESENVOLVIMENTO DO CRESCIMENTO DAS PLANTAS

4.2.1 Safra 2021

Em relação ao desenvolvimento do crescimento das plantas, verificou-se comportamentos distintos entre as variedades quanto ao tempo necessário para atingir o topo da treliça (5,5 m) (Figura 14). Observou-se que aos 30 dias após o início vegetativo das plantas a 'Mapuche' apresentou um pico de crescimento mais acelerado, o que permite considerar que essa variedade foi a mais precoce nesta safra, enquanto a 'Hallertau Mittelfrüher', 'Northern Brewer' e 'Spalter' foram intermediárias, e a 'Yakima Gold' a mais tardia (Figura 15).

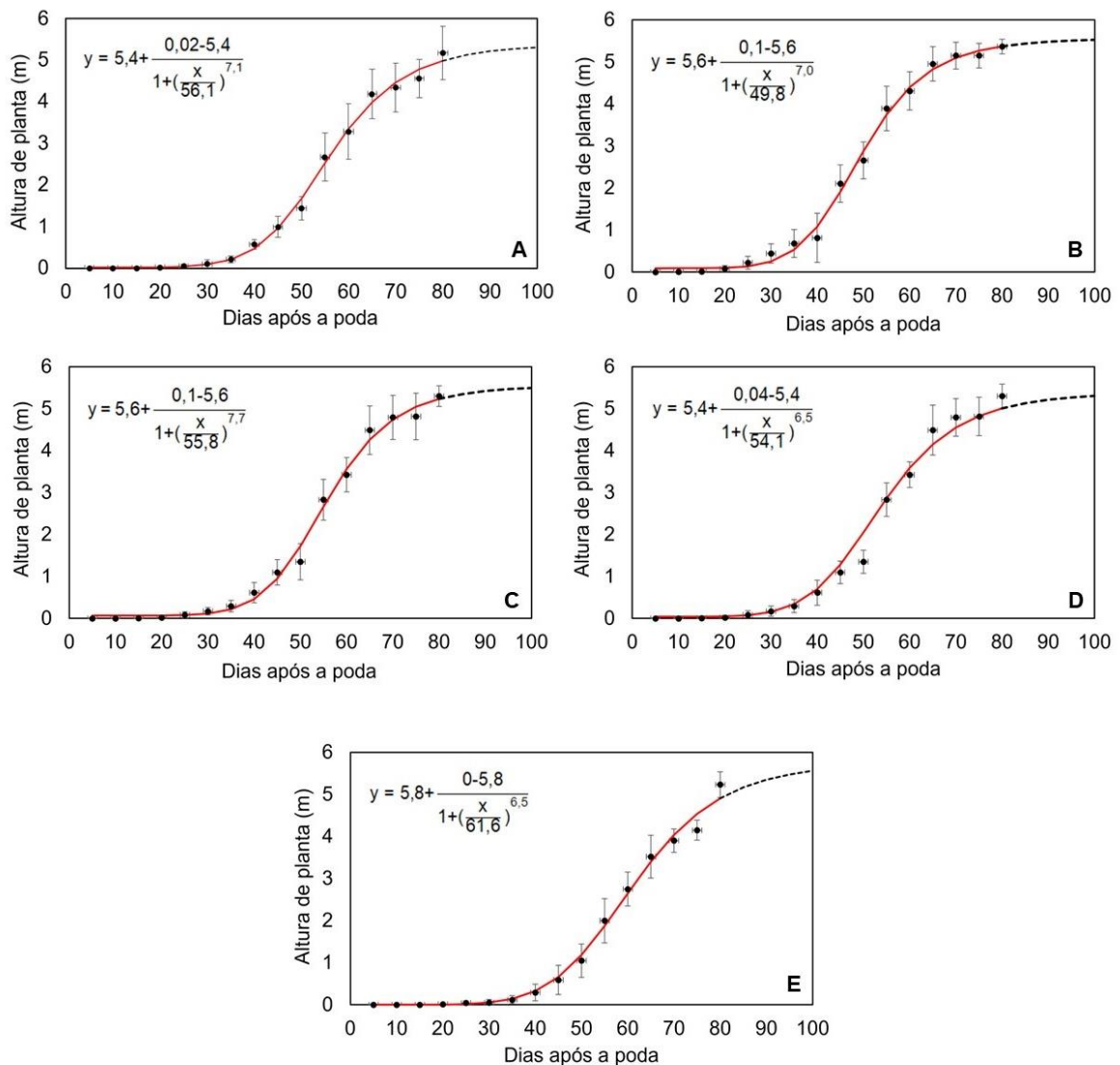


Figura 14 - Desenvolvimento da altura das plantas (m) de variedades de lúpulo na safra de 2021. A: Hallertau Mittelfrüher; B: Mapuche; C: Northern Brewer; D: Spalter; E: Yakima Gold; (-----): altura da planta estimada.

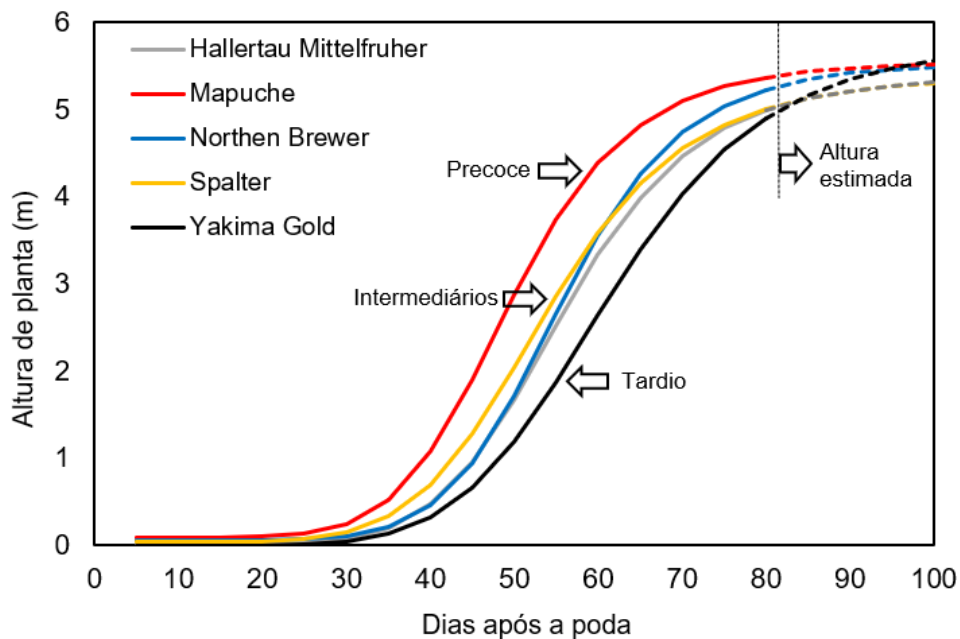


Figura 15 - Estimativa do desenvolvimento do crescimento das plantas (m) de variedades de lúpulo na safra de 2021.

O desenvolvimento das plantas de lúpulo também é influenciado pelo fotoperíodo e pelo momento da indução floral (ROSSINI et al., 2021). O fotoperíodo em torno de 17 h é necessário para permitir o crescimento adequado das plantas até que estas atinjam o fio superior da treliça antes da diferenciação floral. Se as condições de fotoperíodo não forem suficientes na fase de desenvolvimento vegetativo, um número insuficiente de nós é formado, afetando o rendimento produtivo das plantas (JASTROMBEK et al., 2022; ACOSTA-RANGEL et al., 2021), uma vez que as inflorescências se originam das gemas formadas em cada nó de crescimento.

A extensão do fotoperíodo por iluminação artificial, com lâmpadas halógenas (Osram 2900 K 42 W), exerce também influência sobre o alongamento do caule nos estágios iniciais de crescimento em cannabis medicinal, propiciando que estas atinjam as maiores alturas de plantas. Em contrapartida, ao fornecer fotoperíodo menor que o fotoperíodo crítico, as plantas dessa espécie são induzidas à iniciação floral precocemente, restringindo o desenvolvimento dos internódios no eixo primário e o crescimento destas (HALL; BHATTARAI; MIDMORE, 2014).

Quanto à massa fresca das plantas e ao número de ramos laterais por planta, verificou-se diferenças estatísticas entre as variedades somente para número de ramos laterais na safra de 2021 (Tabela 1). As variedades Mapuche e Northern Brewer apresentaram as maiores médias quanto ao número de ramos laterais por

planta, e as variedades 'Spalter' e 'Yakima Gold' as menores médias. As variedades que produzem o maior número de ramos laterais por planta geralmente apresentam o melhor desempenho para produção de cones (RUGGERI; LORETI; ROSSINI, 2018), isso porque o número de cones produzidos é proporcional ao número de ramos laterais férteis e o seu comprimento (SKOMRA; BOCIANOWSKI; AGACKA, 2013).

Tabela 1 - Massa fresca das plantas e número de ramos laterais por planta de variedades de lúpulo na safra de 2021.

| Variedades | Massa fresca das plantas (kg) | Nº de ramos laterais por planta |
|------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| Hallertau Mittelfrüher | 1,7 | 71,9 b |
| Mapuche | 1,9 | 84,3 a |
| Northern Brewer | 1,5 | 83,5 a |
| Spalter | 1,2 | 56,8 c |
| Yakima Gold | 1,4 | 64,7 bc |
| CV % | 35,8 | 6,3 |
| F | 1,1 ^{ns} | 27,7 ^{**} |

Médias seguidas pela mesma letra em cada coluna não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$). ns: não significativo. **: significativo ($p < 0,01$).

4.2.2 Safra 2022

Em 2022 foram também observadas diferenças entre as variedades quanto ao tempo necessário para atingir a topo da treliça (Figura 16). Aos 20 dias após o início vegetativo das plantas observou-se que 'Mapuche', 'Spalter' e 'Yakima Gold' apresentaram crescimento mais acelerado, sendo consideradas mais precoces, ao contrário de 'Hallertau Mittelfrüher' e 'Northern Brewer', que apresentaram crescimento tardio e não atingiram o topo da treliça até a floração das plantas (Figura 17).

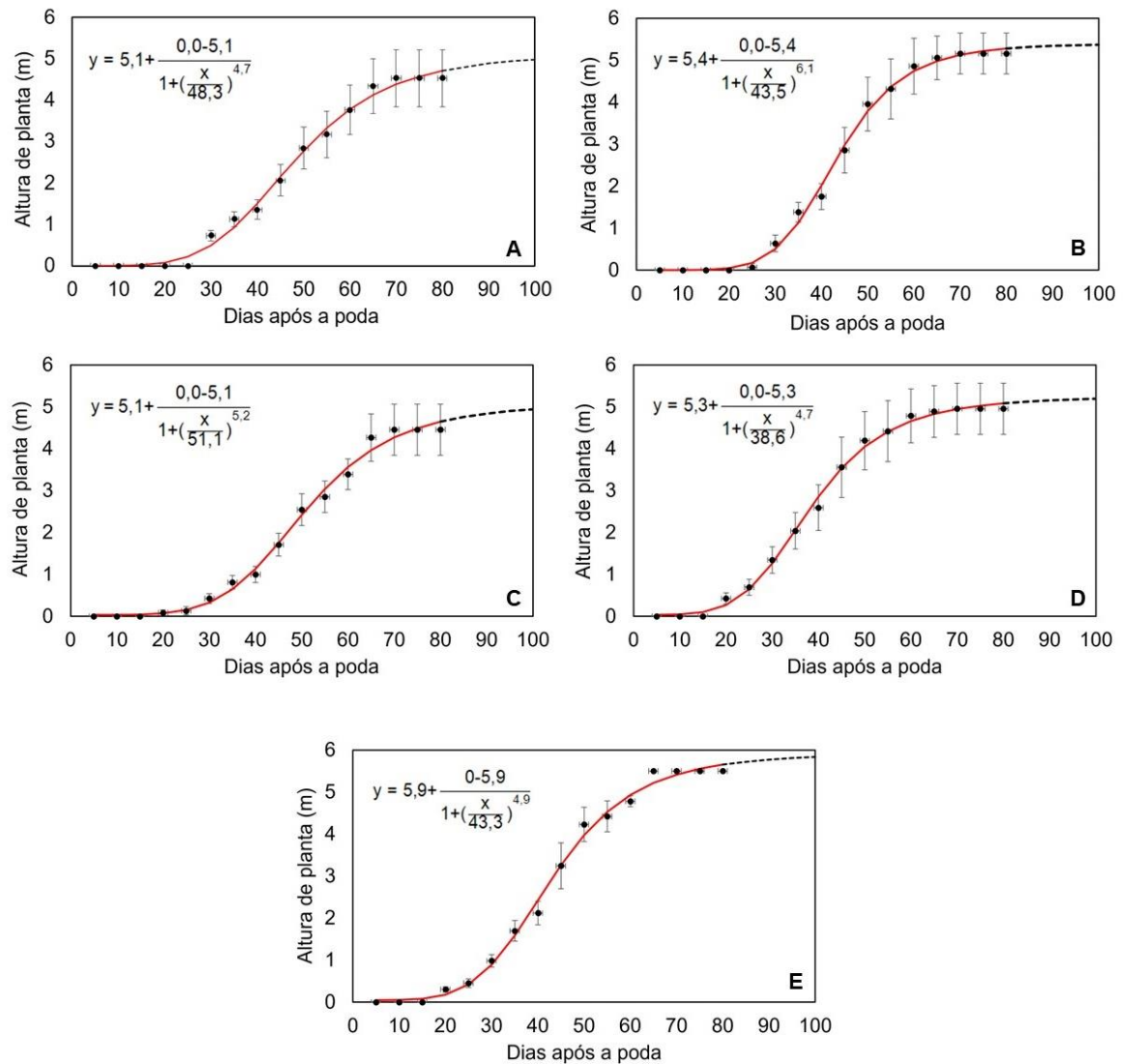


Figura 16 - Desenvolvimento da altura das plantas (m) de variedades de lúpulo na safra de 2022. A: Hallertau Mittelfrüher; B: Mapuche; C: Northern Brewer; D: Spalter; E: Yakima Gold; (-----): altura da planta estimada.

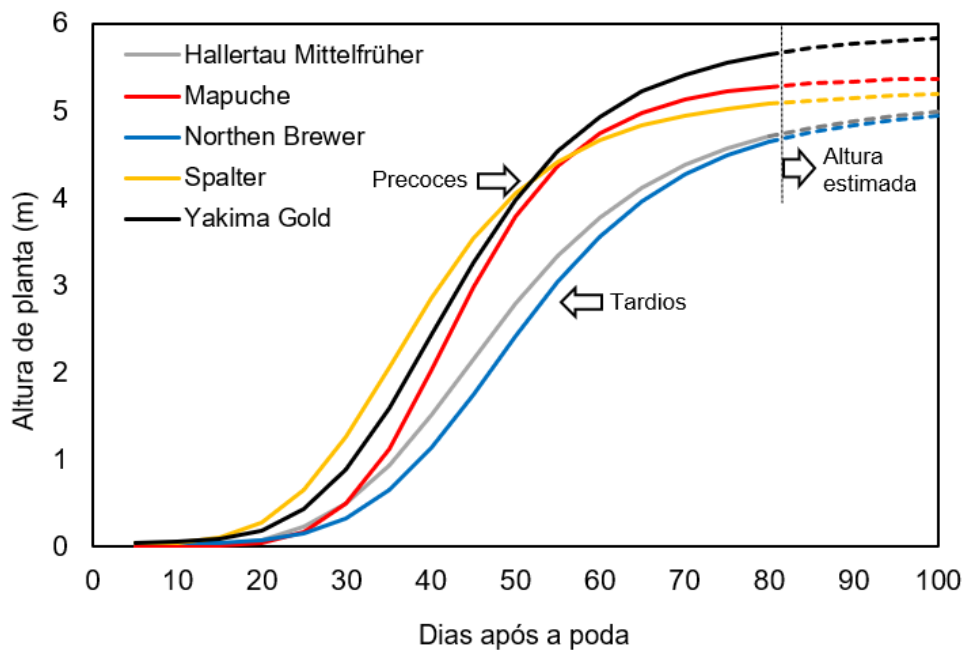


Figura 17 - Estimativa do desenvolvimento da altura das plantas (m) de variedades de lúpulo na safra de 2022.

O desenvolvimento mais lento da ‘Hallertau Mittelfrüher’ e ‘Northern Brewer’ nesta safra pode estar associado ao baixo acúmulo de reservas no rizoma em decorrência da realização da segunda poda em outubro. A transferência de reservas para o rizoma ocorre no fim do ciclo de cultivo, no período de dormência da planta, portanto, como essas plantas não passaram por esse período de acúmulo e possivelmente utilizaram grande parte das reservas nutricionais para o desenvolvimento vegetativo após a primeira poda, o seu desenvolvimento pode ter sido prejudicado (DODDS, 2017; SPÓSITO et al., 2019). Em contrapartida, nesta safra as variedades Yakima Gold e Spalter foram tão precoces quanto à variedade Mapuche. As condições climáticas, sobretudo a temperatura do ar, em decorrência da época de poda, pode ter influenciado o crescimento das plantas. No geral, a elevação da temperatura é quem estimula as plantas de lúpulo a iniciarem o seu crescimento após a poda, tendo como faixa ideal de temperatura entre 13,2 e 20,5°C (ACOSTA-RANGEL et al., 2021). Com base nestas observações, algumas variedades poderiam ser podadas mais cedo, como a Mapuche, e outras mais tarde, como a Spalter e a Yakima Gold, permitindo o escalonamento de alguns tratamentos culturais que demandam elevada mão de obra, como a seleção de ramos e a colheita.

Além da influência do ambiente, cada variedade apresenta um

número de dias ideal para o crescimento das plantas até a floração (THOMAS; SCHWABE, 1969; MCADAM et al., 2014), o que indica que possivelmente a 'Mapuche', 'Spalter' e 'Yakima Gold', por serem mais precoces, necessitem de um menor número de dias para o desenvolvimento vegetativo, e conseqüentemente, menor exposição ao fotoperíodo estendido.

Quanto à massa fresca das plantas verificou-se que as variedades Mapuche, Spalter e Yakima Gold, concomitante ao desenvolvimento de altura das plantas, apresentaram as maiores médias, enquanto as variedades Hallertau Mittelfrüher e Northern Brewer as menores médias. Em relação ao número de ramos laterais, a variedade Spalter apresentou a maior média e a variedade Hallertau Mittelfrüher a menor (Tabela 2). Observa-se que as variedades que apresentaram a maior massa fresca das plantas apresentaram também o maior número de ramos laterais por planta, exceto a Mapuche.

Tabela 2 - Massa fresca das plantas e número de ramos laterais por planta de variedades de lúpulo na safra de 2022.

| Variedades | Massa fresca das plantas (kg) | Nº de ramos laterais por planta |
|------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| Hallertau Mittelfrüher | 1,3 b | 91,7 d |
| Mapuche | 2,3 a | 104,8 cd |
| Northern Brewer | 1,4 b | 111,5 bc |
| Spalter | 2,1 a | 138,1 a |
| Yakima Gold | 2,2 a | 126,6 ab |
| CV % | 17,7 | 7,0 |
| F | 8,7** | 20,4** |

Médias seguidas pela mesma letra em cada coluna não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$). **: significativo ($p < 0,01$).

De forma geral, em ambas as safras avaliadas observou-se que as variedades de lúpulo somente floresceram após a suspensão da iluminação artificial, a qual foi realizada baseando-se na altura total das variedades mais precoces. Além disso, verificou-se que após a suspensão da iluminação artificial, o desenvolvimento do crescimento das plantas cessou. Portanto, a suplementação artificial utilizada nas duas safras, ainda que com lâmpadas LED de espectros distintos, pode ser considerada necessária para que o desenvolvimento vegetativo das plantas tenha

resultado na formação de um número de nós suficiente para a produção de cones. Entretanto, considera-se que a suplementação artificial no cultivo de lúpulos para as condições brasileiras deve ser aprofundada, visando determinar as lâmpadas cujos espectros sejam mais eficientes para controlar a floração das plantas, bem como a sua densidade e distribuição na área de produção para cada variedade.

4.3 COMPONENTES DE RENDIMENTO PRODUTIVO

4.3.1 Safra 2021

Houve diferença estatística entre as variedades de lúpulo avaliadas na safra 2021 quanto ao número de cones por ramo lateral, número de cones por planta e massa dos cones (Tabela 3). Quanto ao número de cones por ramo lateral e número de cones por planta verificou-se que ‘Mapuche’ se destacou apresentando as maiores médias entre as variedades. Embora inferiores a ‘Mapuche’, as médias observadas para a ‘Spalter’ foram superiores as demais. Quanto a massa do cone, a ‘Hallertau Mittelfrüher’ destacou-se juntamente com a ‘Mapuche’, sendo superiores à ‘Yakima Gold’.

Tabela 3 - Número de cones por ramo lateral, número de cones por planta e massa de cone de variedades lúpulo na safra de 2021.

| Variedades | Nº de cones por ramo lateral | Nº de cones por planta | Massa do cone (g) |
|------------------------|------------------------------|------------------------|-------------------|
| Hallertau Mittelfrüher | 5,9 c | 422,8 c | 0,4 a |
| Mapuche | 24,0 a | 2.008,5 a | 0,4 a |
| Northern Brewer | 8,2 c | 599,2 c | 0,3 ab |
| Spalter | 17,9 b | 1.376,1 b | 0,3 ab |
| Yakima Gold | 5,6 c | 513,2 c | 0,2 b |
| CV % | 12,3 | 22,0 | 22,4 |
| F | 117,1** | 44,1** | 6,0** |

Médias seguidas pela mesma letra em cada coluna não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$). **: significativo ($p < 0,01$).

O número de cones por ramo lateral e por planta e a massa do cone constituem os principais componentes produtivos do lúpulo (CERNEA; VÂTCĂ, 2009), e portanto, as variedades que se sobressaem quanto à estas características

normalmente atingem o melhor rendimento produtivo.

As variedades Mapuche e Yakima Gold quando cultivadas em condições tropicais localizadas na latitude 21°S no Brasil e sem suplementação luminosa, apresentaram em média 49,7 e 60,3 cones por planta, respectivamente (GONSAGA, 2021), o que é muito inferior ao observado já no primeiro ano de cultivo deste trabalho, sendo que não foram encontrados dados comparativos nessas condições para as demais variedades em estudo. O número de cones por ramo lateral e por planta têm relação positiva com o desenvolvimento vegetativo (CERNEA; VÂTCĂ, 2009; FAGHERAZZI, 2020; GONSAGA, 2021), portanto, quando as condições ambientais não favorecem o crescimento das plantas, o número de cones é baixo. No cultivo de plantas de cannabis medicinal sob uso de iluminação suplementar, a biomassa no momento da mudança do fotoperíodo de dias longos para dias curtos é que direciona o número de flores produzidas (DANG; ARACHCHIGE, CAMPBELL, 2022), corroborando com os resultados encontrados, em que o genótipo de lúpulo que se destacou como precoce e vigoroso também apresentou o maior número de cones por ramo lateral e por planta.

A massa de cone apresenta relação positiva com os atributos físicos do cone que determinam o seu tamanho, como o comprimento e a largura (CERNEA; VÂTCĂ, 2009). Em relação às características físicas dos cones, observou-se diferença entre as variedades de lúpulo somente quanto à sua largura (Tabela 4). A ‘Hallertau Mittelfrüher’, concomitante à massa do cone, apresentou a maior média, sendo que a menor média foi observada para a ‘Spalter’.

Tabela 4 - Comprimento e largura do cone de variedades de lúpulo na safra de 2021.

| Variedades | Comprimento do cone (cm) | Largura do cone (cm) |
|------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| Hallertau Mittelfrüher | 2,5 | 1,9 a |
| Mapuche | 2,2 | 1,2 ab |
| Northern Brewer | 2,0 | 1,5 ab |
| Spalter | 1,6 | 0,9 b |
| Yakima Gold | 2,0 | 1,3 ab |
| CV % | 23,2 | 28,8 |
| F | 1,9 ^{ns} | 3,9* |

Médias seguidas pela mesma letra em cada coluna não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$). ns: não significativo. *: significativo ($p < 0,05$).

O tamanho do cone, definido pelo seu comprimento e largura, influencia diretamente a sua massa, e consecutivamente, a produtividade das plantas (SKOMRA; BOCIANOWSKI; AGACKA, 2013). Essas características são íntimas de cada variedade (GONSAGA, 2021), no entanto, como somente a largura da variedade Spalter foi inferior às demais, pode-se concluir que o tamanho do cone não exerceu influência sobre a sua produtividade na safra de 2021. Salienta-se que para o lúpulo os fatores qualitativos dos cones são mais importantes do que os quantitativos, tendo em vista que o seu produto final depende diretamente do teor de alfa ácido e óleos essenciais (DURELLO; SILVA; BOGUSZ, 2019; ALMAGUER et al., 2014).

Quanto à produção de cones fresco por planta e à produtividade estimada, observou-se na safra de 2021 que 'Mapuche' foi a mais produtiva, diferindo significativamente das demais (Tabela 5). Quanto à produção por planta, as variedades Hallertau Mittelfruher, Northern Brewer, Spalter e Yakima Gold não apresentaram diferenças entre si. Quanto a produtividade estimada, as variedades Hallertau Mittelfrüher e Northern Brewer não diferiram das variedades Spalter e Yakima Gold, no entanto, a variedade Spalter foi menos produtiva que a variedade Mapuche e mais produtiva que a variedade Yakima Gold.

Tabela 5 - Produção de cones fresco por planta e produtividade de variedades lúpulo na safra de 2021.

| Variedades | Produção de cones fresco por planta (kg) | Produtividade (kg ha ⁻¹) |
|------------------------|---|---|
| Hallertau Mittelfrüher | 0,2 b | 579,2 bc |
| Mapuche | 0,9 a | 2.861,5 a |
| Northern Brewer | 0,2 b | 639,6 bc |
| Spalter | 0,4 b | 1.480,9 b |
| Yakima Gold | 0,1 b | 444,8 c |
| CV % | 37,3 | 38,0 |
| F | 19,4** | 19,7** |

Médias seguidas pela mesma letra em cada coluna não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$). **: significativo ($p < 0,01$).

De acordo com alguns autores, a produtividade esperada para as diferentes variedades de lúpulo é distinta, entre elas: entre 2.300 a 2.400 kg.ha⁻¹ para a 'Hallertau Mittelfrüher' (FAGHERAZZI et al., 2017), 1.800 kg.ha⁻¹ para a 'Mapuche'

(TESTA; TROCHINE; BERGAMINI, 2019), entre 1.600 a 1.800 kg.ha⁻¹ para a 'Northern Brewer' (HEALEY, 2016), entre 1.750 a 2.000 kg.ha⁻¹ para a 'Spalter' (HEALEY, 2016) e entre 1.800 e 2.000 kg/ha para a 'Yakima Gold' (WOODSKE, 2012). Nesse trabalho, observou-se que para primeira safra, somente a 'Mapuche' teve produtividade superior à esperada, enquanto todas as demais variedades tiveram médias inferiores.

Assim como no número de cones, a produção e produtividade de cones também é influenciada pelo desenvolvimento vegetativo da planta e o momento da floração (MCADAM et al., 2014; AGEHARA, 2020; MARCEDDU; CARRUBBA; SARNO, 2020; ROSSINI, 2016). Por essa razão, a variedade Mapuche, que atingiu a altura da treliça e floresceu em menor tempo, apresentou o maior potencial produtivo. Características como o número e comprimento de ramos laterais, o número de cones por planta, o tamanho e a massa de cones, que também podem ser influenciadas pelo desenvolvimento vegetativo, causam efeito direto no rendimento de cones (MCADAM et al., 2014; HAUNOLD; NICKERSON; LIKENS, 1983).

4.3.2 Safra 2022

Na safra de 2022 foram observadas diferenças estatísticas entre as variedades de lúpulo quanto ao número de cones por ramo lateral, número de cones por planta e a massa dos cones (Tabela 6). Observou-se que 'Mapuche' e 'Spalter' apresentaram as maiores médias de número de cones por ramo lateral e número de cones por planta, enquanto 'Hallertau Mittelfrüher' e 'Northern Brewer' apresentaram as menores médias. Quanto a massa do cone, a 'Yakima Gold' apresentou a maior média, não diferindo da 'Hallertau Mittelfrüher' e 'Northern Brewer'.

Tabela 6 - Número de cones por ramo lateral, número de cones por planta e massa de cone de variedades lúpulo na safra de 2022.

| Variedades | Nº de cones por ramo lateral | Nº de cones por planta | Massa do cone (g) |
|------------------------|------------------------------|------------------------|-------------------|
| Hallertau Mittelfrüher | 7,3 cd | 624,6 c | 0,4 ab |
| Mapuche | 20,1 a | 2.120,4 ab | 0,3 b |
| Northern Brewer | 5,4 d | 571,2 c | 0,4 ab |
| Spalter | 18,6 ab | 2.192,5 a | 0,3 b |
| Yakima Gold | 12,5 bc | 1.557,4 b | 0,5 a |
| CV % | 23,8 | 19,1 | 14,5 |
| F | 18,4** | 33,8** | 6,1** |

Médias seguidas pela mesma letra em cada coluna não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$). **: significativo ($p < 0,01$).

Nesta segunda safra, assim como na primeira, observou-se que as variedades que se sobressaíram quanto ao desenvolvimento vegetativo, como a 'Mapuche', 'Spalter' e 'Yakima Gold', também apresentaram o maior número de cones, seja por ramo lateral ou por planta. Por outro lado, a 'Hallertau Mittelfrüher' e 'Northern Brewer', que tiveram o seu desenvolvimento vegetativo prejudicado, apresentaram também o menor número de cones. Além disso, observou-se que as variedades que apresentaram um menor número de cones por ramo lateral e por planta, 'Hallertau Mittelfrüher' e 'Northern Brewer', apresentaram maior massa do cone. Em função do menor número de cones por planta e da relação fonte e dreno, espera-se que haja maior disponibilidade de fotoassimilados para o desenvolvimento individual de cada cone, resultando em maior massa dos cones nestas plantas (FAGHERAZZI, 2020; TAIZ; ZEIGER, 2017).

Quanto às características físicas dos cones na safra 2022, observou-se diferenças estatísticas entre as variedades, em que 'Yakima Gold' e 'Northern Brewer' apresentaram as maiores médias de comprimento de cone (Tabela 7). Quanto à largura do cone, observou-se que 'Yakima Gold' apresentou a maior média, diferindo da 'Hallertau Mittelfrüher' que apresentou a menor média.

Tabela 7 - Comprimento e largura do cone de variedades de lúpulo na safra de 2022.

| Variedades | Comprimento do cone (cm) | Largura do cone (cm) |
|------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| Hallertau Mittelfrüher | 1,8 b | 1,2 b |
| Mapuche | 1,8 b | 1,3 ab |
| Northern Brewer | 2,2 a | 1,5 ab |
| Spalter | 1,9 b | 1,4 ab |
| Yakima Gold | 2,3 a | 1,6 a |
| CV % | 5,1 | 11,7 |
| F | 21,3** | 4,7* |

Médias seguidas pela mesma letra em cada coluna não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$). *: significativo ($p < 0,05$). **: significativo ($p < 0,01$).

Segundo a classificação de tamanho de cones (ASBC, 2010), que leva em consideração o comprimento e a largura dos cones, todas as variedades avaliadas apresentaram cones de tamanho pequenos (2,5 cm de comprimento e 1,9 cm de largura) nas duas primeiras safras avaliadas. É pertinente destacar que nos primeiros anos de cultivo os cones não apresentam uniformidade quanto ao tamanho e a massa, portanto, é comum o desenvolvimento de cones menores do que o esperado nessa fase (GUIMARÃES, 2020).

Quanto a produção de cones fresco por planta e a produtividade estimada na safra de 2022, observou-se que 'Mapuche', 'Spalter' e 'Yakima Gold' atingiram as maiores médias, enquanto 'Hallertau Mittelfrüher' e 'Northern Brewer' as menores para essas variáveis (Tabela 8). Levando-se em consideração a produtividade esperada para as variedades, descrita anteriormente, observou-se que para o segundo ano 'Yakima Gold', 'Mapuche' e 'Spalter' apresentaram produtividade superior à esperada, enquanto 'Hallertau Mittelfrüher' e 'Northern Brewer' foram inferiores ao esperado.

Tabela 8 - Produção de cones fresco por planta e produtividade de variedades lúpulo na safra de 2022.

| Variedades | Produção de cones fresco por planta (kg) | Produtividade (kg ha ⁻¹) |
|------------------------|---|---|
| Hallertau Mittelfrüher | 0,2 b | 811,1 b |
| Mapuche | 0,6 a | 2.051,0 a |
| Northern Brewer | 0,2 b | 657,6 b |
| Spalter | 0,6 a | 2.122,9 a |
| Yakima Gold | 0,7 a | 2.251,0 a |
| CV % | 19,1 | 19,1 |
| F | 26,5** | 26,5** |

Médias seguidas pela mesma letra em cada coluna não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$). **: significativo ($p < 0,01$).

Assim como na primeira safra avaliada em 2021, as variedades que, após terem atingido o topo da treliça, floresceram mais rapidamente, também apresentaram o maior potencial produtivo. No entanto, para a segunda safra em 2022, esperava-se um aumento acentuado de produtividade para todas as variedades, como ocorreu com 'Yakima Gold', pois durante os três primeiros anos de cultivo, a tendência é que a produção das plantas aumente devido a estabilização e formação das reservas nutricionais dos rizomas (DONNER et al., 2020; FAGHERAZZI et al., 2018). Assim, a ausência deste acentuado rendimento pode estar associada às condições climáticas durante o crescimento das plantas (DONNER et al., 2020).

Como descrito anteriormente, na safra de 2022, logo após a poda de inverno, o elevado volume de precipitação (924 mm entre julho e outubro), e conseqüentemente menor incidência de luz solar e o prolongamento do período com baixas temperaturas (aproximadamente 20 °C), acarretaram na desuniformidade do desenvolvimento vegetativo das plantas (FORSTER; SCHÜLL, 2020), o que tornou necessária uma segunda poda das plantas em outubro, resultando em menor aporte de reservas nutricionais para o desenvolvimento inicial das plantas (DODDS, 2017; SPÓSITO et al., 2019). Além disso, em dezembro de 2022, quando a iluminação artificial foi suspensa, o fotoperíodo diário era o maior do ano (ao redor de 13,5 h), ou seja, 1,5 h a mais comparado ao fotoperíodo do mês de outubro quando a iluminação artificial foi suspensa na safra de 2021. Desta forma, a indução da floração pode ter sido influenciada nesta safra, alterando possivelmente o potencial produtivo das

plantas (ZHANG et al., 2021).

4.4 COMPONENTES QUÍMICOS DOS CONES

4.4.1 Safra 2021

Observou-se que na safra de 2021 houve diferenças entre as variedades quanto aos principais componentes químicos dos cones (Tabela 9). Nesta safra, os teores de alfa e beta-ácidos da 'Yakima Gold' foram superiores aos da 'Northern Brewer' e semelhantes aos da 'Hallertau Mittelfrüher', 'Mapuche' e 'Spalter'. Quanto à concentração de óleos essenciais, a maior média foi observada para a 'Mapuche', e as menores para 'Spalter' e 'Northern Brewer'.

Tabela 9 - Teores de alfa- e beta-ácidos, e concentração de óleos essenciais em cones de variedades lúpulo na safra de 2021.

| Variedades | Alfa-ácido (%) | Beta-ácido (%) | Óleos essenciais (mL.100g ⁻¹) |
|------------------------|-------------------|-------------------|--|
| Hallertau Mittelfrüher | 5,9 ab | 1,8 ab | 1,1 ab |
| Mapuche | 5,0 ab | 1,9 ab | 1,2 a |
| Northern Brewer | 3,0 b | 1,2 b | 1,0 b |
| Spalter | 5,1 ab | 1,4 ab | 0,6 c |
| Yakima Gold | 8,5 a | 2,1 a | 1,1 ab |
| CV % | 16,5 | 17,9 | 7,2 |
| F | 5,1* | 5,5** | 34,8** |

Médias seguidas pela mesma letra em cada coluna não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$). *: significativo ($p < 0,05$). **: significativo ($p < 0,01$).

De acordo com outros autores, os teores de alfa e beta-ácidos esperados para as variedades são, respectivamente: entre 3,5 a 5,5% e 4,5 a 5,0% para a 'Hallertau Mittelfrüher' (FAGHERAZZI et al., 2017), entre 5,8% a 6,4% e 4,1% a 4,8% para a 'Mapuche' (TESTA; TROCHINE; BERGAMINI, 2019), entre 8,0 a 10,0% e 3,0 a 5,0% para a 'Northern Brewer' (HEALEY, 2016), entre 3,0 a 6,5% e 2,0 a 5,0% para a 'Spalter' (HEALEY, 2016) e entre 8,8 a 10,5% e 4,3 a 5,0% para a 'Yakima Gold' (WOODSKE, 2012). Observa-se que nesta primeira safra, as médias encontradas para alfa-ácido se aproximaram do esperado para todas as variedades, com exceção a 'Northern Brewer' que foi inferior. Para o teor de beta-ácido, todas as variedades apresentaram médias inferiores ao teor esperado.

Na maioria das vezes o teor de alfa-ácido nas variedades é superior ao teor de beta-ácido, como foi observado neste trabalho. Nas cervejas, o amargor característico fornecido pelo lúpulo está associado à isomerização dos alfa-ácidos pela ação da temperatura alta durante a fervura (DURELLO et al., 2019). A influência dos beta-ácidos no amargor das cervejas ainda não foi completamente esclarecida, porém sabe-se que são compostos com baixa solubilidade em água e que não isomerizam durante a fervura, permanecendo em cerca de 85% da sua totalidade no lúpulo após a fervura, portanto, apenas vestígios desses compostos são encontrados na bebida acabada (KLIMCZAK; CIOCH-SKONECZNY, 2022). No entanto, o teor de beta-ácido fornece estabilidade microbiológica, química e sensorial a bebida, e a utilização de lúpulos com teor de beta-ácido abaixo do esperado, apesar de interferir minimamente no amargor da cerveja, pode favorecer a contaminação durante o processo de produção da bebida (DURELLO et al., 2019), o que pode ser revertido com a adição de uma maior quantidade de lúpulo no processo.

A concentração esperada de óleos essenciais nos cones de lúpulo para algumas variedades é: entre 0,6 a 1,2 mL.100 g⁻¹ para a 'Hallertau Mittelfrührer' (HEALEY, 2016), 1,1 mL.100 g⁻¹ para a 'Mapuche' (TESTA; TROCHINE; BERGAMINI, 2019), entre 1,5 a 2,0 mL.100 g⁻¹ para a 'Northern Brewer' (HEALEY, 2016), entre 0,5 a 1,2 mL.100 g⁻¹ para a 'Spalter' (HEALEY, 2016) e entre 1,9 a 2,3 mL.100 g⁻¹ para a 'Yakima Gold' (WOODSKE, 2012). Observou-se nesta primeira safra que as concentrações de óleos essenciais das variedades foram semelhantes ao esperado, com exceção a 'Northern Brewer' e 'Yakima Gold', que foram inferiores.

Neste trabalho, justamente as variedades que apresentaram a concentração de óleos essenciais próximas ao esperado são lúpulos considerados para aporte de aroma (HEALEY, 2016; TESTA; TROCHINE; BERGAMINI, 2019). Esse tipo de lúpulo, ao contrário dos de amargor, deve ser adicionado ao final da fervura, a fim de evitar as perdas das substâncias voláteis presentes nos óleos essenciais por ação do calor, e conferir o aroma lupulado à cerveja. Vale ressaltar que as notas de aroma como florais, condimentados, herbáceos, amadeirados, frutados etc., são influenciadas sinergicamente por uma composição extremamente complexa, que pode conter até 1.000 compostos de várias classes químicas (RUTNIK; HRNČIČ; KOŠIR, 2021; EYRES; DUFOUR, 2009; DURELLO et al, 2019).

A composição química dos cones de lúpulo responde a uma complexa interação entre genótipo e ambiente (MCADAM et al., 2013). Como observado, cada

variedade apresenta um potencial genético para sintetizar determinados compostos, como as resinas moles e os óleos essenciais (ARRUDA et al., 2021). Por exemplo, as variedades avaliadas apresentam diferentes aptidões, sendo ‘Northern Brewer’ e ‘Yakima Gold’ consideradas para dupla utilização, por possuir propriedades de amargor e aroma, e ‘Hallertau Mittelfrüher’, ‘Mapuche’ e ‘Spalter’ consideradas aromáticas, por seus teores de óleos essenciais (HEALEY, 2016; TESTA; TROCHINE; BERGAMINI, 2019). Além disso, por serem compostos provenientes do metabolismo secundário das plantas, o ambiente intervém na regulação de sua expressão gênica (MCADAM et al., 2013; SANTOS et al., 2022). Com isso, algumas regiões de cultivo são melhores para algumas variedades, mas não para outras (HIERONYMUS, 2012). Essa complexa interação pode ser explicada pois as condições ambientais de cultivo podem regular a expressão gênica, promovendo o desenvolvimento de diversas características fenotípicas, resultando em variabilidade fenotípica (MCADAM et al., 2014; BORÉM et al., 2013), o que pode explicar a baixa qualidade de ‘Northern Brewer’ para essa região de cultivo. Essa interação origina uma característica conhecida como o *terroir*, que é quando o ambiente de uma determinada zona de cultivo inevitavelmente afeta as propriedades de sabor e aroma dos produtos finais. Dentre os fatores que influenciam esta característica, tem-se as condições climáticas, a estrutura distinta do solo, a latitude e as práticas culturais associadas (SANTOS, 2020).

4.4.2 Safra 2022

Quanto aos componentes químicos dos cones das variedades na safra de 2022, observou-se que ‘Yakima Gold’ apresentou as maiores médias quanto aos teores de alfa- e beta-ácidos e à concentração de óleos essenciais, não diferindo da ‘Spalter’ quanto à esta última característica (Tabela 10). Quanto aos teores de alfa- e beta-ácidos, embora inferior à ‘Yakima Gold’, a ‘Mapuche’ apresentou médias superiores às demais variedades, enquanto a ‘Hallertau Mittelfrüher’ as menores.

Tabela 10 - Teores de alfa- e beta-ácidos, e concentração de óleos essenciais em cones de variedades lúpulo na safra de 2022.

| Variedades | Alfa-ácido (%) | Beta-ácido (%) | Óleos essenciais (mL.100g ⁻¹) |
|------------------------|-------------------|-------------------|--|
| Hallertau Mittelfrüher | 2,3 d | 1,4 d | 0,8 b |
| Mapuche | 5,8 b | 2,5 b | 0,8 b |
| Northern Brewer | 3,2 cd | 1,8 c | 0,8 b |
| Spalter | 4,2 c | 1,9 c | 1,0 ab |
| Yakima Gold | 7,4 a | 4,0 a | 1,3 a |
| CV % | 10,2 | 6,3 | 14,3 |
| F | 75,5** | 190,2** | 12,0** |

Médias seguidas pela mesma letra em cada coluna não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$). **: significativo ($p < 0,01$).

Levando em consideração a composição química esperada para as variedades de lúpulo descrita anteriormente, verificou-se que na safra de 2022 somente os teores de alfa-ácido encontrados para ‘Mapuche’ e ‘Spalter’ e de beta-ácido para ‘Spalter’ e ‘Yakima Gold’ foram próximos ao esperado, sendo as médias das demais variedades inferiores. Quanto à concentração de óleos essenciais somente ‘Hallertau Mittelfrüher’ e ‘Spalter’ apresentaram médias semelhantes ao esperado.

Os maiores teores de beta-ácido observados para as variedades nessa segunda safra, exceto ‘Hallertau Mittelfrüher’ também podem ter sido influenciados pelas condições climáticas durante o ciclo, sobretudo a maior precipitação em relação à primeira safra. O acúmulo de teor de beta-ácidos é maior em regiões que tem maiores médias mensais de precipitação, associando a disponibilidade hídrica ao acúmulo dos ácidos amargos (RODOLFI et al., 2019).

Contudo, de forma geral, a qualidade química de algumas variedades, como ‘Mapuche’, ‘Spalter’ e ‘Hallertau Mittelfrüher’ atingiram em no mínimo um dos anos avaliados o padrão exigido mundialmente, sugerindo que o Brasil apresente potencial para o desenvolvimento de lúpulo de qualidade para atender a demanda da indústria cervejeira nacional.

4.5 ANÁLISE MULTIVARIADA

4.5.1 Safra 2021

Pela análise dos componentes principais (APC), verificou-se que na safra de 2021 os componentes principais PC1 e PC2 representaram juntos 76,8% da variação total, sendo 43,3% de PC1 e 33,5% de PC2 (Figura 18).

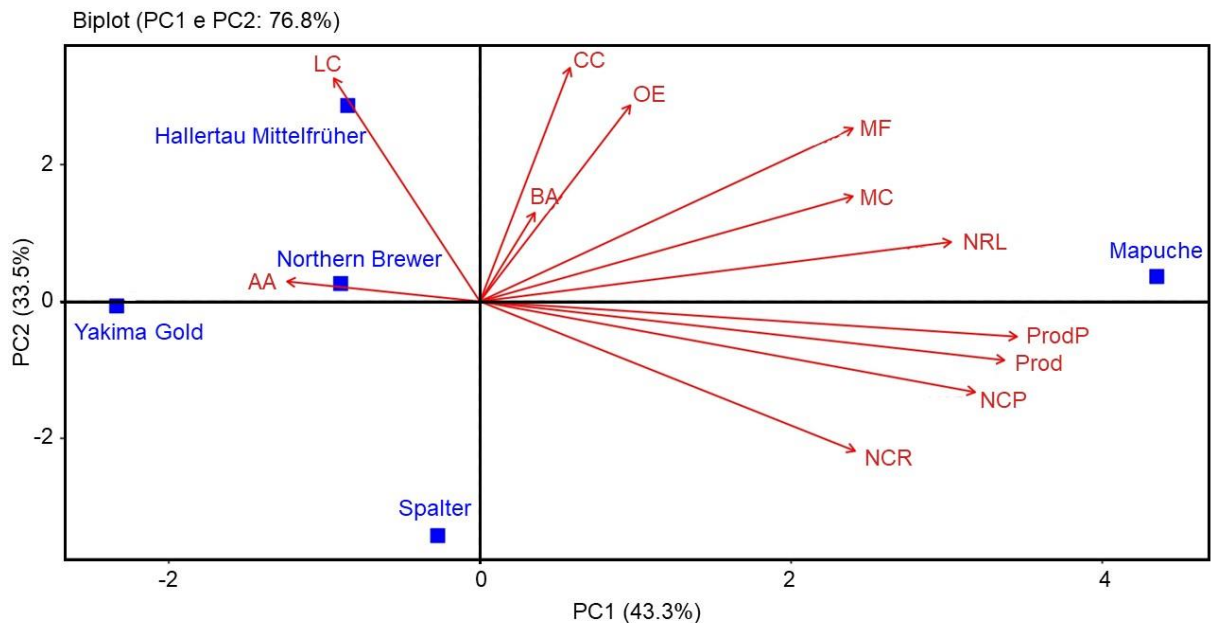


Figura 18 - Análise de componentes principais (PCA) para massa fresca das plantas (MF), número de ramos laterais por planta (NRL), número de cones por ramo lateral (NCR), número de cones por planta (NCP), massa fresca do cone (MC), comprimento do cone (CC), largura do cone (LC), produção de cones fresco por planta (ProdP), produtividade estimada (Prod), teor de alfa-ácido (AA), teor de beta-ácido (BA) e concentração de óleos essenciais (OE) para as variedades de lúpulo na safra de 2021.

Neste primeiro ano de cultivo, verifica-se com base no componente principal 1 (PC1) que a 'Mapuche' apresentou relação positiva às variáveis massa fresca das plantas, número de ramos laterais por planta, número de cones por ramo lateral, número de cones por planta, massa fresca do cone, comprimento do cone, produção de cones fresco por planta, produtividade estimada, teor de beta-ácido e concentração de óleos essenciais. Por outro lado, a 'Hallertau Mittelfrühher' e a 'Yakima Gold' apresentaram relação positiva à largura do cone e ao teor de alfa-ácido, e negativa com todas as demais variáveis. Apesar da 'Northern Brewer' apresentar

correlação positiva ao teor de alfa-ácido, verificou-se pelo *heatmap* (Figura 15) correlação negativa entre a 'Northern Brewer' e esta característica, o que pode ser explicado por sua baixa contribuição (1,25%) para a APC.

Com base no componente principal 2 (PC2), observa-se que a 'Spalter' apresentou relação positiva às variáveis número de cones por ramo lateral, número de cones por planta, produção de cones fresco por planta e produtividade estimada, e negativa às demais variáveis.

Pelo *heatmap* (Figura 19) que considera a análise de correlação e agrupamento hierárquico, observou-se no primeiro ano que as variedades formaram três grupos e as variáveis quatro grupos. Cada grupo de variedades formado apresentou comportamento de correlação característico quanto as variáveis analisadas. O primeiro grupo foi composto por 'Yakima Gold', 'Hallertau Mittelfrüher' e 'Northern Brewer', o segundo por 'Mapuche', e o terceiro por 'Spalter'. O primeiro grupo de variáveis foi formado a partir do número de cones por ramo lateral, número de cones por planta, produção por planta e produtividade estimada; o segundo, a partir do número de ramos laterais e a massa fresca do cone; o terceiro pelos teores de alfa- e beta-ácidos; e o quarto a partir da largura do cone, comprimento do cone, massa fresca da planta e concentração de óleos essenciais.

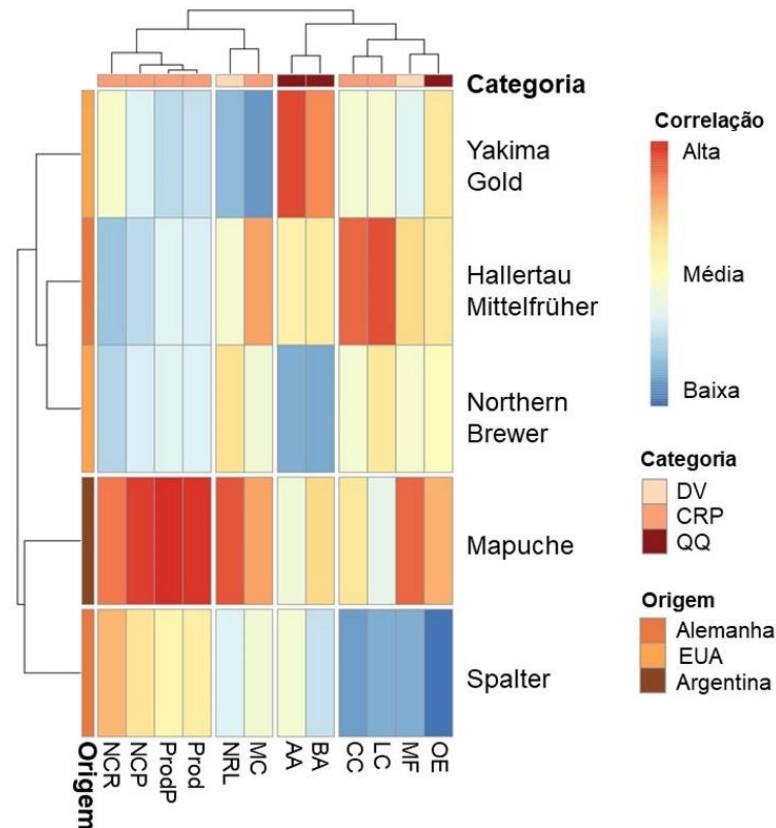


Figura 19 - Heatmap elaborado a partir da análise de correlação e agrupamento hierárquico para massa fresca das plantas (MF), número de ramos laterais por planta (NRL), número de cones por ramo lateral (NCR), número de cones por planta (NCP), massa fresca do cone (MC), comprimento do cone (CC), largura do cone (LC), produção de cones fresco por planta (ProdP), produtividade estimada (Prod), teor de alfa-ácido (AA), teor de beta-ácido (BA) e concentração de óleos essenciais (OE) para as variedades de lúpulo avaliadas na safra de 2021. DV= Desenvolvimento vegetativo; CRP= Componentes de rendimento produtivo; QQ= Qualidade química.

O grupo composto pela ‘Hallertau Mittelfrüher’, ‘Northern Brewer’ e ‘Yakima Gold’ apresentou baixa relação com número de cones por planta, produção por planta e produtividade estimada. O grupo composto pela ‘Mapuche’ apresentou alta relação para o número de cones por ramo lateral, número de cones por planta, produção por planta e produtividade estimada, número de ramos laterais, massa fresca do cone, massa fresca da planta e concentração de óleos essenciais, no entanto, apresentou relação mediana quanto ao comprimento do cone e teor de beta-ácido e relação baixa para largura do cone e teor de alfa-ácido. O grupo composto pela ‘Spalter’ apresentou relação mediana com o número de cones por ramo lateral, número de cones por planta, produção por planta e produtividade estimada, e baixa

quanto aos demais componentes avaliados.

4.5.2 Safra 2022

Pela análise dos componentes principais, verificou-se que na safra de 2022 os componentes PC1 e PC2 representaram juntos 89,5% da variação total, sendo 58,4% de PC1 e 31,1% de PC2 (Figura 20).

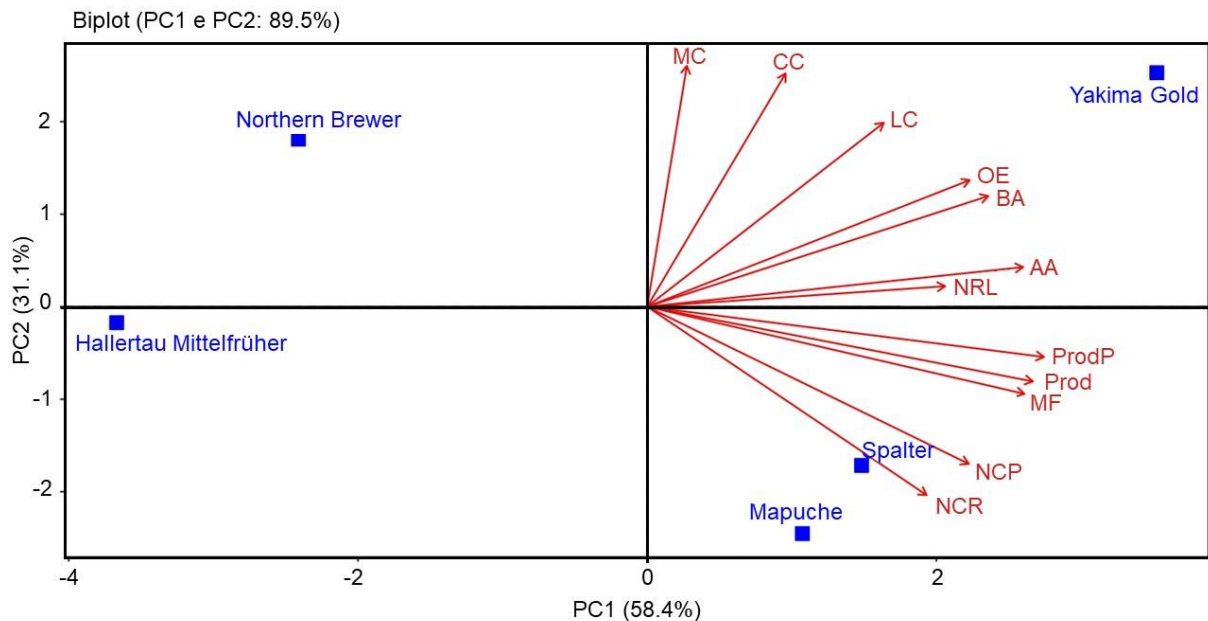


Figura 20 - Análise de componentes principais (PCA) para massa fresca das plantas (MF), número de ramos laterais por planta (NRL), número de cones por ramo lateral (NCR), número de cones por planta (NCP), massa fresca do cone (MC), comprimento do cone (CC), largura do cone (LC), produção de cones fresco por planta (ProdP), produtividade estimada (Prod), teor de alfa-ácido (AA), teor de beta-ácido (BA) e concentração de óleos essenciais (OE) para as variedades de lúpulo avaliadas na safra de 2022.

Neste segundo ano de cultivo, verificou-se com base no componente principal 1 (PC1) que a 'Mapuche', 'Spalter' e 'Yakima Gold' apresentaram relação positiva às variáveis massa fresca das plantas, número de ramos laterais, número de cones por ramo lateral, número de cones por planta, produção de cones fresco por planta, produtividade estimada, teores de alfa- e beta-ácidos, e concentração de óleos essenciais, em oposição à 'Hallertau Mittelfrüher' e à 'Northern Brewer', que apresentaram relação negativa à estas variáveis.

Com base no componente principal 2 (PC2), observa-se que a ‘Yakima Gold’ e a ‘Northern Brewer’ apresentaram relação positiva às variáveis massa fresca do cone, comprimento do cone e largura do cone, enquanto a ‘Mapuche’, ‘Spalter’ e ‘Hallertau Mittelfrüher’ apresentaram relação negativa.

Pelo *heatmap*, que considera a análise de correlação e agrupamento hierárquico, observou-se na safra de 2022 que as variedades também formaram três grupos e as variáveis quatro grupos (Figuras 21). O primeiro grupo foi composto pela ‘Hallertau Mittelfrüher’ e ‘Northern Brewer’; o segundo pela ‘Yakima Gold’; e o terceiro pela ‘Mapuche’ e ‘Spalter’. O primeiro grupo de variáveis foi formado pelo número de ramos laterais por planta; o segundo pelo número de cones por ramo lateral, número de cones por planta, massa fresca das plantas, produção por planta e a produtividade estimada; o terceiro pelos teores de alfa- e beta-ácidos e concentração de óleos essenciais; e o quarto pela massa fresca do cone, comprimento do cone e largura do cone.

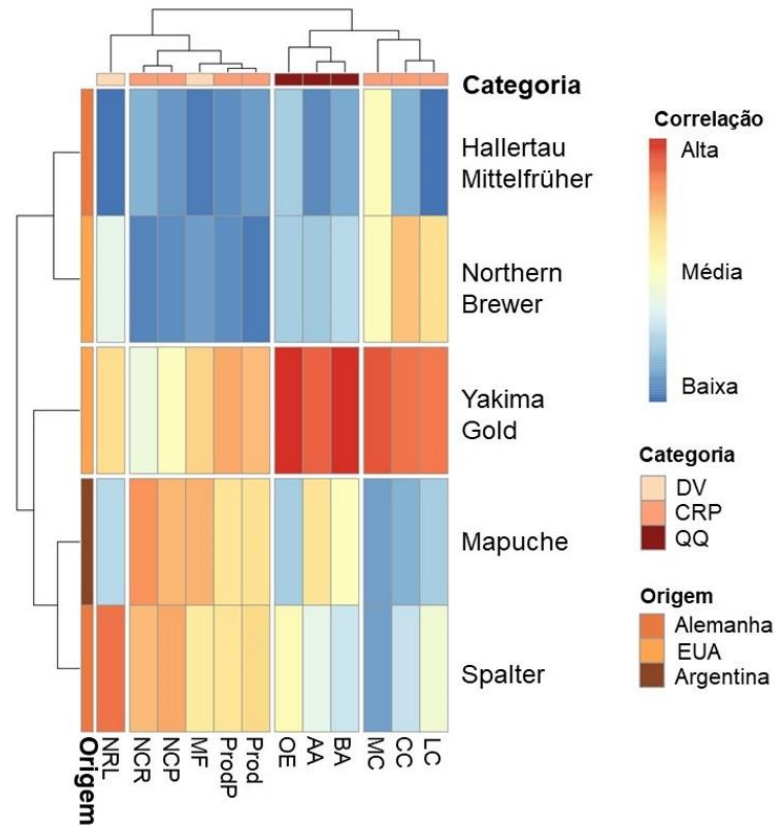


Figura 21 - Heatmap elaborado a partir da análise de correlação e agrupamento hierárquico para massa fresca das plantas (MF), número de ramos laterais por planta (NRL), número de cones por ramo lateral (NCR), número de cones por planta (NCP), massa fresca das plantas (ProdP), produtividade estimada (Prod), teor de alfa-ácido (AA), teor de beta-ácido (BA) e concentração de óleos essenciais (OE) para as variedades de lúpulo avaliadas na safra de 2022. DV= Desenvolvimento vegetativo; CRP= Componentes de rendimento produtivo; QQ= Qualidade química.

O grupo composto pela 'Hallertau Mittelfrüher' e 'Northern Brewer' apresentou baixa relação às variáveis número de ramos laterais por planta, número de cones por ramo lateral, número de cones por planta, massa fresca das plantas, produção por planta, produtividade estimada, teores de alfa- e beta-ácidos e concentração de óleos essenciais. O grupo composto pela 'Yakima Gold' apresentou relação mediana para número de ramos laterais por planta, número cones por ramo lateral, número de cones por planta, massa fresca das plantas, produção por planta e produtividade estimada, e relação alta aos teores de alfa- e beta-ácidos, concentração de óleos essenciais, massa do cone, comprimento do cone e largura do cone. O grupo

composto pela 'Mapuche e 'Spalter' apresentou relação mediana ao número de cones por ramo lateral, número de cones por planta, massa fresca das plantas, produção por planta e produtividade estimada, e relação baixa à massa do cone, comprimento do cone e largura do cone.

5 CONCLUSÕES

Em região de clima subtropical sob suplementação artificial de luz e fotoperíodo estendido, as condições climáticas de cada safra exercem influência direta sobre o desenvolvimento do crescimento das variedades de lúpulo.

Na primeira safra, quando as plantas de lúpulo foram podadas no fim do inverno, as variedades Mapuche e Spalter apresentaram comportamento fenológico mais precoce, entretanto, somente o crescimento vegetativo de Mapuche foi considerado precoce. Além disso, a variedade Yakima Gold apresentou-se tardia para ambas as safras avaliadas. Na segunda safra avaliada, quando as plantas foram podadas novamente aos 70 dias após terem sido podadas no fim do inverno, devido às baixas temperaturas e excesso de precipitações, as variedades mais precoces foram Mapuche, Spalter e Yakima Gold, e as mais tardias as variedades Hallertau Mittelfrüher e Northern Brewer.

Os componentes de rendimento produtivo foram responsivos de forma positiva à precocidade e ao vigor das variedades, sendo as variedades mais produtivas a Mapuche na safra de 2021, e a 'Mapuche', 'Spalter' e 'Yakima Gold' na safra de 2022.

Quando aos componentes químicos, a variedade Yakima Gold teve alta relação com os teores de alfa e beta-ácidos e com a concentração de óleos essenciais, demonstrando seu potencial para dupla utilização independente da safra avaliada. Estes três componentes não se correlacionaram na primeira safra, pois as variedades de aroma como Mapuche, Hallertau Mittelfrüher e Spalter, apesar de não terem teores de alfa ou de beta-ácidos elevados, tiveram altas concentrações de óleos essenciais.

CONSIDERAÇÕES

Levando em consideração as características avaliadas, constata-se que sob suplementação artificial de luz em região subtropical localizada na 24°S no Brasil, variedades de lúpulo de ciclo precoce, como a 'Mapuche' no primeiro e segundo ano produtivo, e 'Spalter' e 'Yakima Gold' no segundo ano, apresentaram desempenho produtivo e a qualidade química adequados. Apesar dos resultados promissores, cabe considerar que o lúpulo tem como principal função ser matéria-prima para a produção de cervejas, e por esta razão, é necessário avaliar o perfil sensorial dos cones de cada variedades para enquadrar seu uso na elaboração dos diferentes estilos de cervejas.

O estilo de uma cerveja pode ser influenciado pelo perfil do lúpulo utilizado e pelas técnicas de lupulagem adotadas durante a produção da bebida. As técnicas de lupulagem normalmente diferenciam-se pelo momento e a quantidade de adição do lúpulo na receita, portanto, diferentes técnicas vão proporcionar diferentes resultados (GOMES et al., 2021). Na lupulagem é comum a combinação de variedades de lúpulo, assim como entre os momentos de adição das mesmas para a elaboração de variados estilos de cervejas (DE KEUKELEIRE, 2000), não sendo possível definir somente um perfil para as variedades avaliadas neste estudo.

Algumas observações podem ser destacadas, como por exemplo, o promissor uso de 'Yakima Gold' para técnicas de lupulagem que conferem aroma, devido à concentração de óleos essenciais ser superior a 1,0 mL.100 g⁻¹ em ambas as safras avaliadas, com adições em momentos que a temperatura é mais baixa para evitar a degradação desses compostos (HIERONYMUS, 2012; MULLER, 2021). Outro destaque é para o uso de lúpulos provenientes da variedade Yakima Gold em técnicas que conferem amargor, por ter sido esta a que atingiu os teores de alfa-ácidos mais próximos aos 10% exigidos, com adições ao início da fervura quando a temperatura está elevada, favorecendo assim a isomerização destes compostos (PALMER, 2017; DURELLO; SILVA; BOGUSZ, 2019).

Salienta-se por fim que os resultados deste trabalho foram observados para variedades de lúpulos em seus primeiros anos produtivos, portanto, de plantas jovens que tendem a estabilizar a sua produção e qualidade de cones ao longo dos anos de cultivo, sendo necessário acompanhar as mesmas características nos próximos ciclos produtivos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOSTA-RANGEL, A.; RECHCIGL, J.; BOLLIN, S.; DENG, Z.; AGEHARA, S. Hop (*Humulus lupulus* L.) phenology, growth, and yield under subtropical climatic conditions: Effects of cultivars and crop management. **Australian Journal of Crop Science**, v. 15, n. 5, p. 764-772, 2021. DOI: 10.21475/ajcs.21.15.05.p3192.

AGEHARA, S. Using Supplemental Lighting to Control Flowering of Hops in Florida. **UF/IFAS Extension**, abril 2020. Disponível em: <<https://edis.ifas.ufl.edu/publication/HS1365>>. Acesso em: 19 jan. 2022.

AGEHARA, S.; GALLARDO, M.; ACOSTA-RANGEL, A.; DENG, Z.; RECHCIGL, J.; LUO, T.; QIU, Q. Crop Management Practices and Labor Inputs for Hop Production in Florida. **EDIS**, 2021, 2021. DOI:10.32473/edis-hs1409-2021.

ALBA, J. M. F.; MIGUEL, P.; ALMEIDA, I. R.; BUENO, J. M. M.; NACHTIGALL, S. D.; LEIDEMER, J. D.; JUNIOR, A. P. **Zoneamento edafoclimático de culturas agrícolas no município de Gravataí, RS**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2021. (Documento 507).

ALMAGUER, C.; GASTL, M.; ARENDT, E. K.; BECKER, T. Comparative study of the contribution of hop (*Humulus lupulus* L.) hard resins extracted from different hop varieties to beer quality parameters. **J. Am. Soc. Brew. Chem.**, v. 73, p. 115-123, 2015. DOI: 10.1094/ASBCJ-2015-0327-01.

ALMAGUER, C.; SCHÖNBERGER, C.; GASTL, M.; ARENDT, E. K.; BECKER, T. *Humulus lupulus*— a story that begs to be told. A review. **Journal of The Institute of Brewing**. p. 289-314, 2014. DOI: 10.1002/jib.160.

ALMEIDA, A. R.; BRISOLA MACIEL, M. V. O.; GANDOLPHO, B. C. G.; MACHADO, M. H.; TEIXEIRA, G. L.; BERTOLDI, F. C.; NORONHA, C. M.; VITALI, L.; BLOCO, J. M.; BARRETO, P. L. M. Brazilian Grown Cascade Hop (*Humulus lupulus* L.): LC-ESI-MS-MS and GC-MS Analysis of Chemical Composition and Antioxidant Activity of Extracts and Essential Oils. **Soc. Brew. Química**, v. 79, p. 156-166, 2020. DOI: 10.1080/03610470.2020.1795586.

AQUINO, A. M.; TEIXEIRA, A. J.; ASSIS, R. L. **Referencial Técnico de Atratividade Agropecuária – Lúpulo**. Nova Friburgo: Embrapa, 2019.

ARRUDA, T. R.; PINHEIRO, P. F.; SILVA, P. I.; BERNARDES, P. C. A new perspective of a well-recognized raw material: Phenolic content, antioxidant and antimicrobial activities and α - and β -acids profile of Brazilian hop (*Humulus lupulus* L.) extracts. **LWT - Food Sci. Technol.** v. 141, 2021. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.110905.

ASBC - American Society of Brewing Chemists. Physical Examination. **Hops Methods**, n. 2, 2010. DOI: 10.1094/ASBCMOA-Hops-2.

BARTHHAAS. **Barthhaas report hops 2020/2021**, 2021. Disponível em: <<https://www.barthhaas.com/en/campaign/barthhaas-report-2021>>. Acesso em: 7 jul. 2022.

BAUERLE, W. L. Disentangling photoperiod from hop vernalization and dormancy for global production and speed breeding. **Scientific Reports**, v. 9, 2019. DOI:10.1038/s41598-019-52548-0.

BORÉM, A.; MIRANDA, G. V.; FRITSCHÉ-NETO, R. **Melhoramento de plantas**. Viçosa: Editora UFV, 2013. 523 p. ISBN 978-85-7269-466-7

BURES, S.; GAVILÁN, M. U.; KOTIRANTA, S. **Illuminación artificial en agricultura**. Valência, ES: Enero, 2018. 46 p.

CARRÉ, I.; COUPLAND, G.; PUTTERILL, J. Photoperiodic responses and the regulation of flowering. *In*: HALL, A. J. W., MCWATTERS, H. G. **Endogenous Plant Rhythms (Annual Plant Reviews)**. Oxford: Blackwell Publishing Ltd., 2005. v. 21, p. 167–190.

CERNEA, S.; VÂTCĂ, S. Phenotypic correlations between some quantitative characters of the hop. **Hop and Medicinal Plants**, 2009. Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/267073294.pdf>>. Acesso em: 13 out. 2022.

COMEX - Portal do Comércio Exterior do Brasil. **Exportação e Importação Geral** Disponível em: <<http://comexstat.mdic.gov.br/pt/geral>>. Acesso em: 7 mar. 2022.

DANG, M.; ARACHCHIGE, N. M.; CAMPBELL, L. G. Optimizing Photoperiod Switch to Maximize Floral Biomass and Cannabinoid Yield in Cannabis sativa L.: A Meta-Analytic Quantile Regression Approach. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, n. 797425, 2022. DOI: 10.3389/fpls.2021.797425.

DE KEUKELEIRE, D. Fundamentals of beer and hop chemistry. **Química Nova**, v. 23, n. 1, 2000. DOI: 10.1590/S0100-40422000000100019

DODDS, K. **Hops a guide for new growers**. Tumut: Development Officer Temperate Fruits, 2017. ISBN 978-1-76058-008-7. Disponível em: <https://www.dpi.nsw.gov.au/__data/assets/pdf_file/0007/712717/hops-guide-for-new-growers.pdf>. Acesso em: 19 jan. 2022.

DONNER, P.; POKORNÝ, J.; JEŽEK, J.; KROFTA, K.; PATZAK, J.; PULKRÁBEK, J. Influence of weather conditions, irrigation and plant age on yield and alpha-acids content of Czech hop (*Humulus lupulus* L.) cultivars. **Plant Soil Environ**. v. 66, p. 41–46, 2020. DOI: 10.17221/627/2019-PSE.

DURELLO, R. S.; SILVA, L. M.; BOGUSZ JR, S. Química do lúpulo. **Química nova**, São Paulo, v. 42, n. 8, p. 900-919. 2019. DOI: 10.21577/0100-4042.20170412.

EGTS, H.; DURBEN, D. J.; DIXSON, J. A.; ZEHFUS, M. H. A Multicomponent UV Analysis of α - and β -Acids in Hops. **J. Chem. Educ.**, v. 89, p. 117–120, 2012. DOI: 10.1021/ed1010536.

EPAGRI. **Santa Catarina prevê safra de 10 toneladas de lúpulo**. 2022. Disponível em: <<https://www.epagri.sc.gov.br/index.php/2022/02/25/santa-catarina-preve-safra-de-10-toneladas-de-lupulo/>>. Acesso em: 27 fev. 2023.

EYRES, G.; DUFOUR, J-P. 22 - Hop Essential Oil: Analysis, Chemical Composition and Odor Characteristics. **Beer in Health and Disease Prevention**, 2009, p. 239-254. DOI: 10.1016/B978-0-12-373891-2.00022-5

FAGHERAZZI, M. M. Adaptabilidade de cultivares de lúpulo na região do Planalto Sul Catarinense. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual de Santa Catarina, Lages, 2020.

FAGHERAZZI, M. M.; RUFATO, L.; KRETZSCHMAR, A. A.; ARRUDA, A. L.; SOARES DOS SANTOS, M. F.; CAMARGO, S. S. A cultura do lúpulo: botânica e variedades. **Revista Agronomia Brasileira**. v. 1, 2017. DOI: 10.29372/rab201712.

FAGHERAZZI, M. M.; SANTOS, M. F. S.; SANTOS, K. V. T.; RUFATO, L. Análise de custo de implantação de lúpulo na região do Planalto Sul Catarinense. **Revista da Jornada de Pós-graduação e Pesquisa - Congrega**, v. 15, n. 15, 2018.

FAOSTAT. **Crops and livestock products**. Disponível em: <<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>>. Acesso em: 7 jul. 2022.

FARAG, M. A.; PORZEL, A.; SCHMIDT, J.; WESSEJOHANN, L. A. Metabolite profiling and fingerprinting of comercial cultivars of *Humulus lupulus* L. (hop): A comparison of MS and NMR methods in metabolics. **Metabolics**, v. 8, p. 492–507, 2012. DOI: 10.1007/s11306-011-0335-y.

FORSTER, A.; SCHÜLL, F. The impact of climate change on hops. **Brauwelt International**, v. 3, 2020. Disponível em: < <https://cms.hvg-germany.de/wp-content/uploads/30.2-The-impact-of-climate-change-on-hops-Brauwelt-International-2020.pdf>>. Acesso em: 27 fevereiro 2023.

GOMES, F. O.; GUIMARÃES, B. P.; CEOLA, D.; GHESTI, G. F. Advances in dry hopping for industrial brewing: a review. **Food Sci. Technol**, v. 42, n. 60620, 2022. DOI: 10.1590/fst.60620

GOMES, J. B. V.; WREGGE, M. S. **Municípios formadores da Bacia do Paraná 3 e Palotina**: estudos de clima, solos e aptidão das terras para o cultivo do eucalipto. Colombo: Embrapa Florestas, 2020. ISBN 978-65-86056-27-3.

GONSAGA, R. F. Desenvolvimento de híbridos de lúpulo adaptados às condições tropicais. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2021. Disponível em: < https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/213747/gonsaga_rf_dr_jabo_sub.pdf?sequence=11&isAllowed=y>. Acesso em: 7 jul. 2022.

GRESSER, A. **Il Manuale del Birraio Pratico**: Teoria e Pratica della Preparazione del Malto e Fabbricazione della Birra. Nürnberg: Fachverlang Hans Carl, 2010. ISBN 13: 9783418008035.

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

GUIMARÃES, J. J. Comportamento agrônômico do lúpulo (*Humulus lupulus L.*) em cultivo protegido submetido a irrigações com diferentes faixas de pH da água na região de Botucatu – SP. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2020. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/192238#:~:text=As%20irriga%C3%A7%C3%B5es%20com%20as%20diferentes,de%20mat%C3%A9ria%20seca%20do%20caule>>. Acesso em: 13 out. 2022.

HALL, J.; BHATTARAI, S. P.; MIDMORE, D. J. Review of flowering control in industrial hemp. **J. Natural Fibers**, v. 9, p. 23–36, 2012. DOI: 10.1080/15440478.2012.651848

HALL, J.; BHATTARAI, S. P.; MIDMORE, D. J. The Effects of Photoperiod on Phenological Development and Yields of Industrial Hemp. **Journal of Natural Fibers**, v. 11, 2014. DOI: 10.1080/15440478.2013.846840

HAUNOLD, A.; NICKERSON, G. B.; LIKENS, S. T. Yield and Quality Potential of Hop, *Humulus Lupulus L.* **Journal of the American Society of Brewing Chemists**, v. 41, 1983. DOI: 10.1094/ASBCJ-41-0060

HEALEY, J. **The Hop List**. Australia: Publicação própria, 2016. Disponível em: <<https://pdfcoffee.com/the-hop-listpdf-pdf-free.html>>. Acesso em: 19 jan. 2022.

HIERONYMUS, S. **For The Love of Hops: The Practical Guide to Aroma, Bitterness and the Culture of Hops**. Colorado: Brewers Publications, 2012. ISBN 978-1-938469-01-5

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Industrial Anual – Produto**. 2020.

IHGC - International Hop Growers' Convention. **Economic Commission - Summary reports**. Disponível em: <http://www.hmelj-giz.si/ihgcdoc/2021_JUN_IHGC_%20EC_SummaryTable.pdf>. Acesso em: 7 jul. 2022.

ISKRA, A. E.; LAFONTAINE, S. R.; TRIPPE, K. M.; MASSIE, S. T.; PHILLIPS, C. L.; TWOMEY, M. C. Influence of Nitrogen Fertility Practices on Hop Cone Quality. **J. Am. Soc. Brew. Chem.** v. 77, p. 199-209, 2019. DOI:10.1080/03610470.2019.1616276.

JASTROMBEK, J. M.; FAGUERAZZI, M. M.; DE CÁSSIO PIEREZAN, H.; RUFATO, L.; SATO, A. J.; DA SILVA RICCE, W.; MARQUES, V. V.; LELES, N. R.; ROBERTO, S. R. Hop: An Emerging Crop in Subtropical Areas in Brazil. **Horticulturae**, v. 8, n. 393, 2022. DOI: 10.3390/horticulturae805039.

KAMPF, A.N. **Produção comercial de plantas ornamentais**. Guaíba, RS: Agrolivros, 2005. 256p.

KARABIN, M.; HUDCOVÁ, T.; JELÍNEK, L.; DOSTÁLEK, P. Biotransformations and biological activities of hop flavonoids. **Biotechnol. Adv.** v. 33, p. 1063-1090, 2015. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2015.02.009.

KLIMCZAK, K.; CIOCH-SKONECZNY, M. Changes in beer bitterness level during the beer production process. **European Food Research and Technology**, v. 249, 2023, p. 13–22. DOI: 10.1007/s00217-022-04154-0

KOFRANEK, A. A. Cut chrysanthemums. *In*: LARSON, R. A., ed. **Introduction to floriculture: 2ed.** San Diego: California Academic Press, 1992. p. 5-42.

KRAMER, B.; THIELMANN, J.; HICKISCH, A.; MURANYI, P.; WUNDERLICH, J.; HAUSER, C. Antimicrobial activity of hop extracts against foodborne pathogens for meat applications. **J. Appl. Microbiol.** v. 118, 2015. DOI: 10.1111/jam.12717.

KREBS, C. Hops: A viable alternative crop for the Central/Southern plains? **Crops and Soils**. v. 52, p. 4-6, 2019. DOI: 10.2134/cs2019.52.0405.

LEE, M.; REGU, M.; SELESHE, S. Uniqueness of Ethiopian traditional alcoholic beverage of plant origin, tella. **J. Ethn. Food**, v. 2, p. 110-114, 2015. DOI:10.1016/j.jef.2015.08.002.

LEYSER, O.; DAY, S. **Mechanisms in plant development.** Blackwell Science Ltd. Blackwell Publishing Company, 2003. 241p.

LIZOTTE, E.; SIRRINE, R. **Michigan hop management guide 2020.** Michigan: Michigan State University Extension, 2020. Disponível em: <<https://www.canr.msu.edu/hops/uploads/files/Michigan%20Hop%20Management%20Guide%202020.pdf>>.

LOHNBIER. **Green Belly - A cerveja com lúpulos catarinenses.** Disponível em: <<https://www.lohnbier.com.br/blog/green-belly-a-cerveja-com-lupulos-catarinenses>>. Acesso em: 7 jul. 2022.

MACHADO, J. C.; FARIA, M. A.; FERREIRA, I. M. P. L. V. O. Hops: new perspectives for an old beer ingredient. **Natural Beverages**, v. 13, 2019. DOI: 10.1016/B978-0-12-816689-5.00010-9.

MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Anuário da Cerveja 2020.** Brasília: Secretaria de Defesa Agropecuária, 2021.

MARCEDDU, R.; CARRUBBA, A.; SARNO, M. Cultivation trials of hop (*Humulus lupulus* L.) in semiarid environments. **Heliyon**, v. 6, 2020. DOI: 10.1016/j.heliyon.2020.e05114.

MCADAM, E. L.; FREEMAN, J. S.; WHITTOCK, S. P.; BUCK, E. J.; JAKSE, J.; CERENAK, A.; KOUTOULIS, A. Quantitative trait loci in the hop (*Humulus lupulus* L.) reveal complex genetic architecture underlying variation in sex, yield and cone chemistry. **BMC Genomics**, v. 14, n. 1, p. 1-27, 2013. DOI: 10.1186/1471-2164-14-360

MCADAM, E. L.; VAILLANCOURT, R. E.; KOUTOULIS, A.; WHITTOCK, S. P. Quantitative genetic parameters for yield, plant growth and cone chemical traits in hop (*Humulus lupulus* L.). **BMC Genetics**, v. 15, n. 22, 2014. DOI: 10.1186/1471-2156-15-22

MORROW, R. C. LED Lighting in Horticulture. **HortScience**, v. 43, p. 1947–1950, 2008. DOI: 10.21273/HORTSCI.43.7.1947.

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

MÜLLER, C. V.; MARCUSSO, E. F. **Mapa Informa: as cervejarias continuam a crescer**. Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2018. Disponível em: < <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/publicacoes/as-cervejas-continuam-a-crescer-pdf.pdf>>. Acesso em: 19 jan. 2022.

MULLER, L. S. Estudo comparativo das propriedades da cerveja artesanal produzida com e sem o óleo essencial do lúpulo. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais) – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

NEVE, R. A. **Hops**. London: Chapman and Hall, 1991. ISBN 0-412-30330-2.

PALMER, J. **How to brew: everything you need to know to brew great beer every time**. Brewers Publications, 2017. n. 4, 582 p. ISBN-10: 1938469356.

PAVLOVIC, V.; PAVLOVIC, M.; CERENAK, A.; KOSIR, I. J.; CEH, B.; ROZMAN, C.; TURK, J.; PAZEK, K.; KROFTA, K.; GREGORIC, G. Environment and weather influence on quality and market value of hops. **Plant Soil Environ**. v. 58, p. 155–160, 2012. DOI: 10.17221/499/2011-PSE.

RETTBERG, N.; BIENDL, M.; GARBE, L. Hop Aroma and Hoppy Beer Flavor: Chemical Backgrounds and Analytical Tools - A Review. **Journal of the American Society of Brewing Chemists**. v. 76, n. 1, p. 1-20, 2018.

ROBBAUER, V. G.; BUHR, L. HACK, H.; HAUPTMANN, S.; KLOSE, R.; MEIER, U.; STAUB, R.; WEBER, E. Phanologische Entwicklungsstadien von Kultur-Hopfen (*Humulus lupulus* L.). **Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd.**, v. 47, n. 10, p. 249-253, 1995, ISSN 0027-7479.

RODOLFI, M.; CHIANCONE, B.; LIBERATORE, C.M.; FABBRI, A.; CIRLINI, M.; GANINO, T. Changes in chemical profile of Cascade hop cones according to the growing area. **J. Sci. Food Agric.**, v. 99, p. 6011-6019, 2019. DOI: 10.1002/jsfa.9876.

RODRIGUES, M. A.; MORAIS, J. S.; CASTRO, J. P. O lúpulo: da cultura ao extrato. Técnica cultural tradicional. *In*: Jornadas de lúpulo e cerveja, **Anais [...]**. Bragança: 2015. Disponível em: < <https://bibliotecadigital.ipb.pt/bitstream/10198/11625/3/LivroDeActas.pdf>>. Acesso em: 21 jan. 2022.

RODRIGUEZ-MORRISON, V.; LLEWELLYN, D.; ZHENG, Y. Cannabis Yield, Potency, and Leaf Photosynthesis Respond Differently to Increasing Light Levels in an Indoor Environment. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, n. 646020, 2021. DOI: 10.3389/fpls.2021.646020

ROSSINI, F.; LORETI, P.; PROVENZANO, M. E.; SANTIS, D.; RUGGERI, R. Agronomic performance and beer quality assessment of twenty hop cultivars grown in Central Italy. **Italian Journal of Agronomy**, v. 11, n. 3, p. 180–187, 2016. DOI: 10.4081/ija.2016.746

ROSSINI, F.; VIRGA, G.; LORETI, P.; IACUZZI, N.; RUGGERI, R.; PROVENZANO, M. E. Hops (*Humulus lupulus* L.) as a Novel Multipurpose Crop for the Mediterranean Region of Europe: Challenges and Opportunities of Their Cultivation. **Agriculture**, v. 11, n. 6, 2021. DOI: 10.3390/agriculture11060484.

RUFATO, L.; FAGHERAZZI, M. M. **Aspectos técnicos da cultura do lúpulo**. Florianópolis: UDESC, 2019. (Série plantas úteis)

RUGGERI, R.; LORETI, P.; ROSSINI, F. Exploring the potential of hop as a dual purpose crop in the Mediterranean environment: shoot and cone yield from nine commercial cultivars. **European Journal of Agronomy**, v. 93, p. 11-17, 2018. DOI: 10.1016/j.eja.2017.10.011

RUTNIK, K.; HRNČIČ, M. K.; KOŠIR, I. J. Hop Essential Oil: Chemical Composition, Extraction, Analysis, and Applications. **Food Reviews International**, 2021, p. 529-551. DOI: 10.1080/87559129.2021.1874413

SANTOS, A. S.; ALVES, S. M.; FIGUEIRÊDO, F. J. C.; ROCHA NETO, O. G. **Descrição de Sistema e de Métodos de Extração de Óleos Essenciais e Determinação de Umidade de Biomassa em Laboratório**. Belém: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2004. 6 p. ISSN 1517-2244. (Comunicado Técnico, 99).

SANTOS, F. C. Variabilidade fenotípica de alfa ácido de lúpulo (*Humulus lupulus* L.) cultivados nas regiões do Brasil. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2020. Disponível em: <https://www.udesc.br/arquivos/cav/id_cpmenu/2431/correta_ultima_gran_finale_16076278106002_2431.pdf>. Acesso em: 13 out. 2022.

SANTOS, F. C.; SANTOS, M.; HUEZSMANN, R. D.; CEOLA, D.; SOUZA, E. M. D.; SANTOS JUNIOR, C. F.; GUIDOLIN, A. F.; COIMBRA, J. L. M. Phenotypic Variability in the Induction of Alpha Acids in Hops (*Humulus lupulus* L.) in Brazil. **Journal of Agricultural Science**, v. 14, n. 6, p. 198-205, 2022.

SEEFELDT, S. S.; JENSEN, J. E.; FUERST, E. P. Log-Logistic Analysis of Herbicide Dose-Response Relationships. **Weed Technology**, v. 9, p. 218-227, 1995.

SIMIÉLI, B. M.; GAZOLA, R. P. D.; PAGLIARINI, M. K.; VARGAS, P. F.; CASTILHO, R. M. M. Development and production of hop in a high temperature region. **Research, Society and Development**. v. 10, n. 13, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i13.20863.

SIRRINE, R. Growing Hops. **Michigan State University Extension**, E3210, 2014. Disponível em: <[https://www.canr.msu.edu/uploads/resources/pdfs/growing_hops_\(e3210\).pdf](https://www.canr.msu.edu/uploads/resources/pdfs/growing_hops_(e3210).pdf)>. Acesso em: 18 abril 2022.

SKOMRA, U.; BOCIANOWSKI, J.; AGACKA, M. Agro-morphological differentiation between European hop (*Humulus lupulus* L.) cultivars in relation to their origin. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, v. 11, p. 1123 – 1128, 2013.

SPÓSITO, M. B.; ISMAEL, R. V.; BARBOSA, C. M. A.; TAGLIAFERRO, A. L. **A cultura do lúpulo**. Piracicaba: ESALQ, 2019. n. 68. ISSN 1414-4530.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. Tradução de: MASTROBERTI, A. A. et al. 6a ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

TESTA, H.; TROCHINE, A.; BERGAMINI, H. Overview on Mapuche, Trafal and Nahuel, local hop varieties cultivated in Patagonia, Argentina. *In*: International Hop Growers' Convention I.H.G.C.: Proceedings of the Scientific-Technical Commission, **Proceedings [...]**. Bischoffsheim: 2019.

THOMAS, G. G., SCHWABE, W. W. Factors Controlling Flowering in the Hop (*Humulus lupulus* L.). **Ann. Bot.** v. 33, p. 781–793, 1969.

TRANCOSO, I.; SOUZA, G. A. R.; SANTOS, P. R.; SANTOS, K. D.; MIRANDA, R. M. S. N.; SILVA, A. L. P. M.; ZSOLT SANTOS, D.; GARCÍA-TEJERO, I. F.; CAMPOSTRINI, E. Cannabis sativa L.: Crop Management and Abiotic Factors That Affect Phytocannabinoid Production. **Agronomy** v. 12, n. 1492, 2022. DOI: 2.10.3390/agronomy12071492

VAREJÃO-SILVA, M.A. **Meteorologia e climatologia**, versão digital 2; INMET: Recife, Brazil, 2006.

WOODSKE, D. **Hop Variety Handbook**: Learn more about hops...craft better beer. London: CreateSpace Independent Publishing Platform, 2012. ISBN 13: 9781475265057.

ZANDONADI, A. S. Luz artificial no controle do florescimento de crisântemo de corte. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2021. Disponível em: <<https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/29563/1/texto%20completo.pdf>>. Acesso em: 13 out. 2022.

ZANOTELLI, M. F. Avaliação do dispositivo LED no controle do florescimento de crisântemo (*Dendranthema grandiflora* Tzvelev.) 'Yoko Ono'. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009. Disponível em: <<https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/4510/1/texto%20completo.pdf>>. Acesso em: 27 fev. 2023.

ZHANG, M.; ANDERSON, S. L.; BRYM, Z. T.; PEARSON, B. J. Photoperiodic Flowering Response of Essential Oil, Grain, and Fiber Hemp (*Cannabis sativa* L.) Cultivars. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, n. 694153, 2021. DOI: 10.3389/fpls.2021.694153