

# ASPECTOS AGRONÔMICOS DE VARIEDADES DE LÚPULO CONDUZIDAS COM SUPLEMENTAÇÃO ARTIFICIAL DO FOTOPERÍODO EM REGIÕES SUBTROPICAIS

ARALDI, Laura Baiocco<sup>1</sup>  
SATO, Alessandro Jefferson<sup>2</sup>  
MORENO, Giovane<sup>3</sup>  
ROBERTO, Sergio Ruffo<sup>4</sup>

## RESUMO

O estudo teve como objetivo avaliar o período de floração, rendimento e qualidade de variedades de lúpulo sob iluminação suplementar em clima subtropical. A pesquisa foi realizada em Palotina-PR, entre as safras de 2021 a 2023. As plantas foram cultivadas com iluminação LED durante o crescimento vegetativo. Foram avaliadas as médias de três variedades de lúpulo ('Hallertau Mittelfrüher', 'Mapuche' e 'Spalter'), sendo analisado as seguintes variáveis: iniciação do ciclo reprodutivo, número de ramos laterais e de cones por planta, produção, produtividade e teor de alfa e beta ácido e teor de óleos essenciais. A floração teve início entre 72 e 87 dias, indicando a eficácia do LED em retardar a floração precoce. 'Spalter' exibiu os ramos laterais mais altos (112), enquanto o 'Mapuche' superou em cones (1670) e produção (0,6 kg). 'Mapuche' alcançou maior produtividade (2038 kg ha<sup>-1</sup>) e 'Hallertau Mittelfrüher' demonstrou médias mais baixas, provavelmente devido à diversidade genética limitada. Todas as variedades atingiram as médias esperadas de alfa-ácido e óleo essencial. Apenas 'Spalter' atingiu o teor de beta-ácido especificado na literatura (2,4%). O desvio padrão entre as safras observadas na produtividade para 'Mapuche' e qualidade para 'Spalter' (2.2) sugerem um aumento do composto ao longo das safras. Os resultados demonstram que, com auxílio das luzes LED para manipulação do fotoperíodo, as variedades deste estudo apresentaram médias próximas ao referenciado em produtores tradicionais.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Humulus lupulus* L. Adaptabilidade. Fatores Climáticos. Tecnologia de Cultivo. Subtropicais.

## AGRONOMIC ASPECTS OF HOP VARIETIES CONDUCTED WITH ARTIFICIAL PHOTOPERIOD EXTENSION IN SUBTROPICAL REGIONS

## ABSTRACT

The study aimed to evaluate the flowering time, yield and quality of hop varieties under supplementary lighting in a subtropical climate. The research was carried out in Palotina-PR, between the 2021 and 2023 harvests. The plants were grown with LED lighting during vegetative growth. The averages of three hop varieties were evaluated ('Hallertau Mittelfrüher', 'Mapuche' and 'Spalter'), analyzing the following variables: initiation of the reproductive cycle, number of lateral branches and cones per plant, production, productivity and content of alpha and beta acid and essential oil content. Flowering began between 72 and 87 days, indicating the effectiveness of LED in delaying early flowering. 'Spalter' exhibited the highest lateral branches (112), while 'Mapuche' surpassed it in cones (1670) and production (0.6 kg). 'Mapuche' achieved higher productivity (2038 kg ha<sup>-1</sup>) and 'Hallertau Mittelfrüher' demonstrated lower averages, probably due to limited genetic diversity. All varieties reached the expected averages for alpha acid and essential oil. Only 'Spalter' reached the beta-acid content specified in the literature (2.4%). The standard deviation between harvests observed in productivity for 'Mapuche' and quality for 'Spalter' (2.2) suggests an increase in the compound throughout the harvests. The results demonstrate that, with the help of LED lights to manipulate the photoperiod, the varieties in this study presented averages close to those referenced in traditional producers.

**KEYWORDS:** *Humulus lupulus* L. Adaptability. Climatic Factors. Cultivation Technology. Subtropics.

<sup>1</sup> Engenheira agrônoma Mestranda. E-mail: [laura.baioccoaraldi@uel.br](mailto:laura.baioccoaraldi@uel.br)

<sup>2</sup> Engenheiro agrônomo Mestre. E-mail: [moreno.giovane@ufpr.br](mailto:moreno.giovane@ufpr.br)

<sup>3</sup> Engenheiro agrônomo Doutor. E-mail: [asato@ufpr.br](mailto:asato@ufpr.br)

<sup>4</sup> Engenheiro agrônomo Doutor. E-mail: [sroberto@uel.br](mailto:sroberto@uel.br)

## **1. INTRODUÇÃO**

O lúpulo (*Humulus lupulus* L.) é uma planta herbácea perene pertencente à família Cannabaceae. As flores femininas, denominadas cones, apresentam uma quantidade significativa de tricomas glandulares, que são responsáveis pela secreção de lupulinas (ROSSINI et al., 2016). Os principais constituintes das lupulinas são as resinas chamados alfa-ácidos, beta-ácidos e óleos essenciais (ALMAGUER et al., 2014). Na indústria cervejeira, esses constituintes são utilizados para conferir amargor e aroma às cervejas, tornando o lúpulo um ingrediente indispensável na produção de bebidas (DURELLO; SILVA; BOGUSZ JUNIOR, 2019).

O lúpulo é uma planta de dia curto, cujo florescimento é desencadeado quando a duração do dia cai abaixo do fotoperíodo crítico, que varia entre 15 e 16 h de luz solar (ACOSTA-RANGEL et al. 2021; NEVE, 1991). 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 (DONNER et al., 2020). Dentro desta faixa, estão distribuídos os maiores produtores de lúpulo: Os Estados Unidos e a Alemanha, que juntos representam 75% da produção mundial. Em 2022, EUA produziu aproximadamente 47.601 t e Alemanha 41.234 t, desse total, o Brasil importou 4.700 t, correspondendo a quase 98% do lúpulo utilizado para fabricação de cerveja brasileira (BARTHHAAS, 2024; MAPA, 2024).

Ascensão global da indústria de cerveja artesanal motivou os produtores a produzir lúpulo em áreas não tradicionais. No entanto, em latitudes baixo de 35°, as condições de duração do dia não são ideais e seu desempenho é fortemente limitado pela duração inadequada do dia (RUGGERI et al., 2024). A floração mais precoce e o menor rendimento ocorrem à medida que a latitude se afasta de 45° em direção ao equador (ACOSTA-RANGEL et al., 2021). Com isso, tecnologias modernas estão sendo adotadas para modificar as condições do microclima (BAUERLE, 2019). Uma prática comum em muitas plantas de dia curto é o uso de iluminação suplementar com lâmpadas LED (light-emitting diode) para aumentar o fotoperíodo e inibir a floração precoce das plantas (ACOSTA-RANGEL; AGEHARA; RECHCIGL, 2024).

Partindo dessas informações o objetivo do trabalho foi avaliar o período de florescimento, o rendimento e a qualidade de variedades de lúpulo cultivadas sob iluminação suplementar em região de clima subtropical.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 O CULTIVO DO LÚPULO

O lúpulo (*Humulus lupulus* L.) é uma planta pertencente à família Cannabaceae de antiga domesticação encontrada na natureza em quase todas as regiões de clima temperado. É uma trepadeira de crescimento rápido, podendo atingir até nove metros de altura (SPOSITO et al., 2019). O lúpulo tem característica perene, produzindo anualmente inflorescências ao longo de um ciclo que dura de quatro a seis meses (BAUERLE, 2019).

A parte subterrânea é composta de raízes especializadas na acumulação de reservas e raízes anuais que podem atingir 1,5 a 2,0 metros. A partir do rizoma, surgem brotos que se transformam em guias trepadoras, com forte dominância apical e um crescimento indefinido podendo atingir de seis a oito metros de altura em menos de três meses (FAGHERAZZI, 2020). Na fase inicial esses guias são de consistência herbácea e se enrolam nos tutores no sentido horário, devido a presença dos tricomas (JASTROMBEK et al., 2022). As folhas surgem de forma oposta aos nós, pecioladas, cordiformes, com três ou cinco lóbulos, com margens serreadas e ásperas (SPÓSITO et al., 2019).

No terço superior da planta, os ramos laterais se formam a partir de gemas localizadas nas axilas das folhas. Destes ramos laterais, as flores se desenvolvem (SPOSITO et al., 2019). Os cones, como são chamadas as flores de lúpulo, apresentam um eixo central, brácteas e bractéolas. Na base de cada bractéola são formados tricomas glandulares (ROSSINI et al., 2021). Por apresentar característica reprodutiva dioica, as flores femininas quando não fertilizadas, apresentam uma quantidade significativa de tricomas glandulares, que são responsáveis pela secreção de lupulinas (TING; RYDER, 2017).

As lupulinas secretam células e biossintetizam vários tipos de metabólitos secundários bioativos, como flavonoides prenilados, ácidos amargos (alfa-ácido e beta-ácidos) e óleos essenciais (ALMAGUER et al., 2015). Os metabólitos secundários derivados do cone de lúpulo beneficiam não apenas a fabricação de cerveja, mas também contém vários compostos bioativos com potencial farmacológico estabelecido e valor medicinal, como efeitos anti-inflamatórios, antimicrobianos, antivirais, antioxidantes, estrogênicos e sedativos/hipnóticos (ANO et al., 2017). Nos últimos anos, os extratos de lúpulo demonstraram eficácia na doença de Alzheimer (HIRAKAWA; TANNO, 2022), atividade anticancerígena multifuncional (JIANG et al., 2018) e propriedades anticoronavírus (BOUBACK et al., 2023).

A concentração destes compostos na lupulina pode variar dependendo da cultivar, idade da planta, condições climáticas e de cultivo (HEALEY, 2021). As cultivares são distintas entre lúpulos

aromáticos, cultivados principalmente por apresentarem maiores quantidades de óleo essencial, e variedades que apresentam maiores concentrações de alfa-ácido, denominadas de lúpulo de amargor (ROSSINI et al., 2016). A qualidade das flores de lúpulo é avaliada pela concentração padrão de compostos estipulada para cada genótipo (BAUERLE, 2024). A quantidade destes compostos, particularmente o teor de alfa-ácido, está intrinsecamente ligado à qualidade do lúpulo e ao valor comercial, uma vez que estes conferem amargor, aroma e preservação à cerveja (ZHANG et al., 2021).

A demanda por lúpulos de alta qualidade aumentou com a diversificação da indústria cervejeira e as preferências por cerveja (HIRAKAWA; TANNO, 2022). 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). Embora seja usado em quantidades relativamente pequenas nas cervejarias, o lúpulo representa uma grande porcentagem do custo de produção (KRAMER et al., 2015).

Atualmente, os maiores produtores de cerveja do mundo são a China, Estados Unidos e Brasil (BARTHHAAS, 2024), e a demanda por uma gama diversificada de lúpulos de qualidade vem crescendo nas indústrias ao redor do mundo. Em 2023, a produção de cerveja no Brasil foi de aproximadamente 15,3 bilhões de litros, representando 2% do PIB nacional, com faturamento de R\$ 277,4 bilhões, sendo um dos setores mais importantes da economia brasileira (MAPA, 2024). No entanto, o Brasil importa quase a totalidade do lúpulo utilizado na produção de cerveja. Em 2023, cerca de 4,7 mil toneladas de lúpulo foram importadas pela indústria cervejeira nacional, principalmente dos Estados Unidos e da Alemanha, totalizando US\$ 62 milhões (BRASIL, 2024).

O lúpulo é produzido comercialmente em mais de 20 países, principalmente nas regiões de clima temperado entre as latitudes 35° e 55° N ou S do Equador, juntas as regiões de Hallertau na Alemanha e Yakima nos Estados Unidos representam 75% da produção mundial. Em 2023, a produção mundial de lúpulo foi de 118 mil t em uma área de 60.641 ha. Os Estados Unidos se destacam como o maior produtor mundial, produzindo aproximadamente 47.601 toneladas de lúpulo em 22.545 ha, gerando um valor de US\$ 618 milhões. A Alemanha é o segundo maior produtor, e em 2022 produziu cerca de 41.234 t de lúpulo em 20.629 ha, gerando um valor de 216 milhões de euros (BARTHHAAS, 2024).

Entretanto, 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 (RUFATO; FAGHERAZZI, 2019). No Brasil, o cultivo de lúpulo é relativamente novo, no entanto, no ano de 2023, a área total cultivada teve um aumento notável de 133% em comparação com 2022 (111,8 ha versus 48,5 ha, respectivamente), com volume total de produção de 88 toneladas. Ao todo,

13 estados brasileiros estão envolvidos na produção de lúpulo, sendo Santa Catarina o estado com o maior volume de produção, totalizando 21,8 t, em uma área de 34 ha, seguido pelos estados de São Paulo e Minas Gerais (MAPA DO LÚPULO BRASILEIRO, 2023).

No Brasil existe uma alta variedade edafoclimática, havendo regiões que satisfazem as necessidades climáticas exigidas pelo lúpulo, podendo expressar seu potencial produtivo e qualitativo (BIZOTTO, 2019). Explorar o lúpulo como cultura alternativa nessas regiões pode proporcionar novas perspectivas econômicas e de mercado para produtores e cervejeiros artesanais (ACOSTA-RANGEL et al., 2021). Além disso, a interação entre genótipo e ambiente pode gerar novos *terroirs* com perfis de aroma e sabores únicos, resultando em cervejas típicas, com identidades regionais (FAGHERAZZI, 2020).

## 2.2 CARACTERÍSTICAS EDAFOCLIMÁTICAS

As condições climáticas desempenham um papel decisivo no cultivo, sendo a temperatura do ar, disponibilidade hídrica e fotoperíodo os principais elementos (JASTROMBEK et al., 2022). No período vegetativo da planta, os ramos e folhas se desenvolvem quando os dias são mais longos e a temperatura média do ambiente é mais alta. Quando o fotoperíodo começa a diminuir, a planta cessa o crescimento vertical e inicia a diferenciação das gemas nas axilas das folhas, emitindo ramos laterais e iniciando o período reprodutivo (SPOSITO et al., 2019). A floração é um evento fenológico importante para o lúpulo, pois seu momento, taxa e uniformidade determinam o rendimento e a qualidade potencial da cultura (GUTIÉRREZ et al., 2024).

A faixa ideal de temperatura para o crescimento do lúpulo está entre 16° a 20,5 °C, as quais estimulam seu desenvolvimento. Em temperaturas abaixo de 5°C e acima de 35°C a planta tem seu crescimento paralisado (RYBACEK, 1991; ACOSTA-RANGEL et al., 2021). Em um estudo realizado por Mozny et al. (2009) observou-se que o ciclo precoce das fases fenológicas e crescimento vegetativo acelerado estão associados aos aumentos de temperatura. Além disso, o aumento da temperatura do ar tem um impacto negativo no acúmulo de alfa-ácidos no lúpulo, principalmente se esta condição coincidir com a fase de floração do lúpulo (DE KEUKELEIRE et al., 2007; LELES et al., 2023).

As plantas de lúpulo são sensíveis à escassez de água, mas tolerantes à seca; estações com falta de chuva levam à redução de rendimentos e perdas econômicas (PAGUET et al., 2022). A necessidade 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). A precipitação

média necessária é de 500 a 600 mm durante a safra de lúpulo (RODRIGUES; MORAIS; CASTRO, 2015; ALBA et al., 2021).

O estresse hídrico em fases que as plantas absorvem grandes quantidades de nutrientes e água como a floração, desenvolvimento e maturação do cone, diminuem significativamente a quantidade de alfa-ácidos, mas principalmente, o rendimento da planta (DE KEUKELEIRE et al., 2007; DONNER et al., 2020). Durante as estações mais quentes do ano, a necessidade hídrica é maior e a precipitação pode ser insuficiente, podendo ser compensado por sistemas de irrigação, como irrigação por gotejamento ou microaspersão, que aumentam os rendimentos e não afetam a qualidade dos cones, ao mesmo tempo em que aumentam o acúmulo fotossintético de energia liberada (HEJNÁK; HNILIČKOVÁ; HNILIČKA, 2015).

Uma pesquisa conduzida por Svoboda; Hniličková; Hnilička. (2008) estabeleceu que a implementação de práticas de irrigação aumenta os rendimentos agrícolas em cerca de 20 a 26% em comparação com as plantas não irrigadas. Por outro lado, Donner et al. (2020) observaram que certos genótipos exibiram resiliência à escassez de água sem efeitos prejudiciais na produtividade; no entanto, uma correlação benéfica foi identificada entre os níveis de irrigação e o aumento da produtividade, enquanto tal associação não foi verificada para a concentração de alfa-ácido. O gerenciamento da irrigação é uma variável crítica, pois o uso de irrigação quando a demanda de água é menor pode resultar no alagamento do solo e proporcionar condições favoráveis para a ocorrência de doenças, especialmente no sistema radicular (KREBS, 2019; LELES et al., 2023).

O fotoperíodo é um fator climático de extrema importância para o desenvolvimento do lúpulo determinando 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. 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 (TAIZ et al., 2017).

O lúpulo é uma planta de dia curto, cujo florescimento é desencadeado quando a duração do dia cai abaixo do fotoperíodo crítico, que varia entre 15 e 16 h de luz solar (KREBS, 2019; NEVE, 1991). Quando a duração da luz do dia é superior a 15 h, apenas o crescimento vegetativo é estimulado. À medida que o ciclo avança e a duração do dia diminui, o processo de floração é iniciado. Além disso, se o lúpulo for submetido a fotoperíodo extremamente curto, como abaixo de 8 h, seu crescimento vegetativo cessará completamente (THOMAS; SCHWABE, 1969).

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). A duração do dia está diretamente relacionada à latitude, e a faixa de latitude geralmente aceita para a produção de lúpulo é de 35° a 55° N ou S do equador (DODDS, 2017). Por exemplo, a principal região produtora de lúpulo é o Vale Yakima (EUA), localizado a 46,6°N (ACOSTA-RANGEL et al., 2021). Em regiões com latitudes inferiores a 35° e uma duração máxima do dia inferior a 15h, as plantas não completam a fase vegetativa e tendem a florescer prematuramente, como consequência, apresentam número insuficiente de nós, reduzindo a produção de cones (THOMAS; SCHWABE, 1969).

Investigações sobre a fenologia, rendimento e qualidade do lúpulo em um clima subtropical, bem como a integração de novas tecnologias e práticas de manejo, são necessárias e estão em andamento para fornecer uma alternativa amplamente aplicável para a produção de lúpulo.

## 2.3 CICLO FENOLÓGICO DO LÚPULO

Durante o ciclo de desenvolvimento do lúpulo, a planta passa por fases vegetativas e reprodutivas, que podem durar de 4 a 6 meses (BAUERLE, 2019). Os principais estádios conforme definidos pela escala fenológica BBCH são: brotação, desenvolvimento foliar, alongamento dos ramos, formação de ramos laterais, emergência de inflorescência, floração, desenvolvimento dos cones e maturação dos cones (ROSSBAUER, 1995).

No início da fase vegetativa, as brotações surgem e iniciam seu crescimento vertical (SPOSITO et al., 2019). O lúpulo tem forte dominância apical e crescimento indefinido, com um pico de crescimento de até 25 cm por dia, podem atingir de seis a oito metros de comprimento (FAGHERAZZI, 2020). Devido ao seu comportamento trepador, as plantas de lúpulo necessitam de um sistema de condução, sendo tutorados em torno de fios de sisal ou algodão no sentido horário para estimular o crescimento vertical (LELES et al., 2023). A estrutura de sustentação mais utilizada para a produção de lúpulo é o de treliça alta em V, mas também podem ser utilizados o sistema de espaldeira e a treliça baixa em formato latada (SOARES, 2022).

O espaçamento do sistema de condução varia de acordo com a variedade e o método de colheita pretendido, pode-se adotar de 2 a 4 metros entre fileiras e 0,6 a 1,7 metros entre plantas, com o objetivo de direcionar o crescimento dos ramos laterais no sentido vertical e evitar sombreamento (AQUINO, 2022). A incidência de luz solar direta nas folhas e nas gemas é um dos fatores importantes na formação e rendimento da cultura. A partir do ramo principal, as gemas axilares das folhas se diferenciam emitindo os ramos laterais mistos, com folhas e inflorescências (SPOSITO et

al., 2019). Características como o número e comprimento de ramos laterais causam efeito direto no rendimento de cones (MCADAM et al., 2014).

À medida que a duração dos dias diminui, a floração é induzida e o crescimento vegetativo é cessado, dando início a fase reprodutiva. Aproximadamente 20 nós visíveis devem se desenvolver para que a planta de lúpulo faça a transição de juvenil para adulta (BAUERLE, 2021; THOMAS; SCHWABE, 1969). Os cones são formados com o murchamento dos estigmas e se desenvolvem até o ponto de colheita (SPOSITO et al., 2019). Durante o desenvolvimento dos cones, os alfa e beta-ácidos e os óleos essenciais produzidos pelas glândulas de lupulina nos cones, atingem seu pico de qualidade e quantidade (ALMAGUER et al., 2014).

Em altas latitudes, onde o fotoperíodo da região é acima de 15 horas de luz, o crescimento vegetativo dura em torno de 13 semanas (90 dias após a brotação) e o reprodutivo permanece cerca de 63 dias até a colheita (LIZOTTE e SIRRINE, 2020). Após a colheita, as plantas de lúpulo permanecem inativas, entrando em um período de dormência de 24 semanas (168 dias inativas) (ACOSTA-RANGEL; AGEHARA; RECHCIGL, 2024).

## 2.4 PRODUÇÃO DE LÚPULO EM CLIMAS SUBTROPICAIS

Uma das principais causas do insucesso do cultivo de lúpulo em regiões subtropicais é o fotoperíodo, uma vez que em latitudes fora de 35° e 55°, a planta não recebe as 17 h diárias na fase de desenvolvimento vegetativo e a fase reprodutiva ocorre simultaneamente a fase vegetativa (ACOSTA-RANGEL et al., 2021; GUTIÉRREZ et al., 2024). Avaliando a fenologia de lúpulo no centro-oeste da Flórida (27 °N), Acosta-Rangel et al., (2021) relataram um ciclo vegetativo de 73 dias com início da floração após 26 dias após a brotação, além disso, verificou-se um período reprodutivo de 61 dias, sendo três vezes mais que o período típico do cultivo temperado.

Visto que algumas regiões não atendem aos requisitos mínimos de fotoperíodo específicas das regiões entre as latitudes 35° e 55° Norte ou Sul do Equador e a crescente demanda de lúpulo pela indústria cervejeira, iniciou-se a busca por tecnologias de cultivo adaptadas. 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 (AGEHARA, 2020).

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 forma vermelha distante é a que inibe a floração em plantas de dias curtos, ou seja, a manutenção de dias longos, seja por luz solar ou artificial, promove o crescimento vegetativo das plantas de dia curto (TAIZ; ZEIGER, 2017; ZANDONADI, 2021).

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 intensidade luminosa necessária para o controle da floração é diferente entre as espécies de plantas, podendo variar de 1 a 300  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  em espécies de dia curto, como crisântemo (*Chrysanthemum morifolium*), cânhamo (*Cannabis sativa*) e arroz (*Oryza sativa*) (SHARATHKUMAR et al., 2021; ZANDONADI, 2021). Os fotorreceptores de lúpulo exibem uma alta sensibilidade à luz, sendo necessário 0,47  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  de intensidade luminosa para controlar a floração (ACOSTA-RANGEL; AGEHARA; RECHCIGL, 2024).

A utilização de LED para suplementação do fotoperíodo em ambientes subtropicais é recente, porém, um estudo realizado por Acosta-Rangel; Agehara; Rechcigl. (2024) demonstrou que o lúpulo 'Cascade' exibe alta plasticidade fenológica e capacidade de aclimação às condições climáticas subtropicais, comprovando que a manipulação do fotoperíodo é altamente eficaz no controle da floração em 'Cascade'. Além disso, plantas cultivadas em ambiente controlado com iluminação artificial, apresentaram um aumento de 23% na produção de flores e 43% do rendimento (BAUERLE, 2024).

Por muito tempo acreditou-se que a produção de lúpulo estava limitada às regiões temperadas, no entanto, estudos em ambiente controlado realizadas por Bauerle (2019) demonstraram que a dormência é apenas uma resposta da planta aos dias frios dessas regiões, mas não é uma necessidade, visto que as plantas do estudo, produziram por quatro ciclos ininterruptos, sem diferenças significativas de produção e qualidade em cada safra. Quando analisado o genoma do lúpulo, Márquez Gutiérrez et al. (2022) complementaram o argumento, demonstrando que o gene repressor de floração relacionado à vernalização, FLOWERING ortólogos LOCUS C (FLC), não está presente no genoma do lúpulo.

As pesquisas não só desmistificaram a necessidade de dias frios, como demonstraram uma vantagem das regiões com temperaturas mais amenas. Sem os períodos que induzissem a dormência da planta, seria possível um novo ciclo fenológico no mesmo ano, desde que o fotoperíodo seja suplementado artificialmente durante os dois ciclos.

Na Flórida, EUA (27 °N), o uso de suplementação luminosa e as temperaturas mais quentes do clima subtropical tem permitido um rápido desenvolvimento das plantas e ciclos fenológicos mais curtos, iniciando os estudos com dupla safra anual. O ciclo vegetativo encerra com 77 dias após a brotação na safra da primavera (fev/jul) e 91 dias na safra de outono (jul/dez). A floração pode ser

induzida logo após o término da formação dos ramos laterais e o desenvolvimento das flores em cones maduros ocorre rapidamente, levando apenas 42 na primavera e 47 dias no outono (ACOSTA-RANGEL; AGEHARA; RECHCIGL, 2024). Embora a produção e a qualidade do lúpulo tenham sido reduzidas na safra extemporânea (outono), o aumento da produção anual torna esse investimento atraente para os produtores.

### **3. METODOLOGIA**

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 três variedades de lúpulo: a) Hallertau Mittelfrüher; b) Mapuche; c) Spalter; conduzidas sob suplementação artificial de luz durante as safras de 2021, 2022 e 2023. As mudas constituídas de plantas femininas foram 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. Foi instalado um sistema de irrigação por gotejamento por mangueiras de fila dupla.

Em ambos os anos de cultivo a poda de produção (rente ao solo), 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.

Por ser o lúpulo uma planta de dia-curto, na área experimental foi instalado um sistema de suplementação luminosa com lâmpadas LED afim de 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. As lâmpadas de bulbo LED empregadas foram Philips GreenPower DR/W 10W com espectro desenvolvido para inibir a floração de plantas de dias curtos, contendo fluxo de fótons de 25 mol.s<sup>-1</sup>, com espectro luz predominante de 450 nm (azul) e pico de 650 nm (vermelho).

As lâmpadas foram instaladas no topo das treliças na linha de plantio espaçadas a cada 10 m. O sistema de acionamento dessas lâmpadas LED era 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. 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.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com três tratamentos (variedades de lúpulo), quatro repetições e quatro plantas por parcela. Foram avaliadas as médias dos três anos de cultivo, sendo as variáveis: Início do ciclo reprodutivo (dias após brotação); número de ramos laterais e número de cones por planta; produção (kg/planta); produtividade (kg ha<sup>-1</sup>); teor de alfa-ácido (%); teor de beta-ácido (%); e teor de óleos essenciais (mL.100g<sup>-1</sup>).

As médias da indução do florescimento das variedades de lúpulo foi determinada a partir da avaliação de quatro ramos por parcela experimental (um ramo por planta) por meio de observações visuais. De acordo com a escala BBCH, o estágio de floração é iniciado quando cerca de 10% das flores da planta estejam abertas (ROBBAUER et al., 1995) (Figura 1).

O número de ramos laterais por planta foi obtido na colheita, através da contagem. O número de cones por planta foi determinado utilizando a fórmula:  $\frac{(x \times 100)}{y}$ , em que: x = produção por planta, e y = massa de 100 cones. 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 (kg ha<sup>-1</sup>) foi determinada utilizando a fórmula:  $x \times \left(\frac{1000}{y}\right)$ , em que: x = produção de cones fresco por planta, e y = área que cada planta ocupa (3 m<sup>2</sup>).

Figura 1 - Estágio de floração segundo a escala BBCH, Palotina – PR



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° C) até atingirem umidade de 10%. Posteriormente foram armazenadas a vácuo até o momento das avaliações.

As variáveis alfa-ácido e beta-ácido foram determinados pela extração de ácidos de amostras de lúpulo, seguido de análise espectrofotométrica em três comprimentos de onda (EGTS, 2012), utilizando a fórmula para obter o teor de alfa-ácido  $[(-51,56 \cdot A_{355nm}) + (73,79 \cdot A_{325nm}) - (19,07 \cdot A_{275nm})]$  e para obter teor de beta-ácido  $[(55,27 \cdot A_{355nm}) - (47,59 \cdot A_{325nm}) + (5,1 \cdot A_{275nm})]$ , em que A refere-se à absorbância de cada comprimento de onda lido.

A concentração de óleos essenciais será determinada pelo método de destilação a vapor d'água em extrator de circuito fechado tipo Clevenger com período de extração de 4 h (SANTOS et al., 2004). Para tanto, será empregada a fórmula: Concentração de óleo essencial (mL.100g<sup>-1</sup>) =  $(V_o B_m - B_m \cdot U \cdot 100) \cdot 100$ , em que:  $V_o$  = volume de óleo extraído (mL);  $B_m$  = biomassa vegetal (g); e  $U$  = umidade presente na biomassa.

Para a análise dos dados, foram calculados as médias e os desvios padrão das três safras avaliadas (2021, 2022 e 2023). Esses cálculos permitiram comparar as variedades de lúpulo ('Mapuche', 'Spalter' e 'Hallertau Mittelfruer') de forma descritiva, sem a aplicação de análises estatísticas.

#### **4. ANÁLISES E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

Embora o início da brotação das plantas tenha sido semelhante entre as variedades ao longo dos anos, observou-se que 'Mapuche' e 'Spalter' atingiram a fase de floração mais precocemente, em média aos 72 e 77 dias após o início do desenvolvimento vegetativo, respectivamente. A variedade 'Hallertau Mittelfruer', em média, iniciou a floração aos 87 dias. Segundo Healey (2021), 'Hallertau Mittelfruer' é descrita como uma variedade intermediária com relação a sua maturidade, enquanto 'Mapuche' e 'Spalter' tem ciclos fenológicos precoces.

Em relação ao controle do florescimento pela luz LED, foi observado resultados positivos durante os três anos, uma vez que o fotoperíodo das regiões subtropicais é insuficiente e as plantas apresentam floração com apenas 26 dias após a brotação, sem desenvolver altura e ramos laterais suficientes para uma produção desejável (ACOSTA-RANGEL et al., 2021). Os resultados observados corroboram com os descritos por Acosta-Rangel, Agehara e Rechcigl (2024) para a variedade 'Cascade' cultivada em clima subtropical sob iluminação artificial, com o início do ciclo reprodutivo ocorrendo 77 dias após a brotação.

Tabela 1 – Médias de número de ramos laterais e número de cones por planta de variedades de lúpulo durante três safras em Palotina-PR.

Variedades	Nº de ramos laterais	Nº de cones por planta	Produção por planta (Kg)
H. Mittelfrüher	80,6	540,1	0,2
Mapuche	104,7	1670,1	0,6
Spalter	112,3	1398,8	0,5

As variedades ‘Mapuche’ e ‘Spalter’ apresentaram as maiores médias quanto ao número de ramos laterais por planta, enquanto ‘Hallertau Mittelfrüher’ apresentou a menor média. As variedades que emitem o maior número de ramos laterais por planta geralmente apresentam o melhor desempenho para produção de cones, isso porque o número de cones produzidos é proporcional ao número de ramos laterais férteis e o seu comprimento (FAGHERAZZI et al., 2023; GONSAGA, 2021).

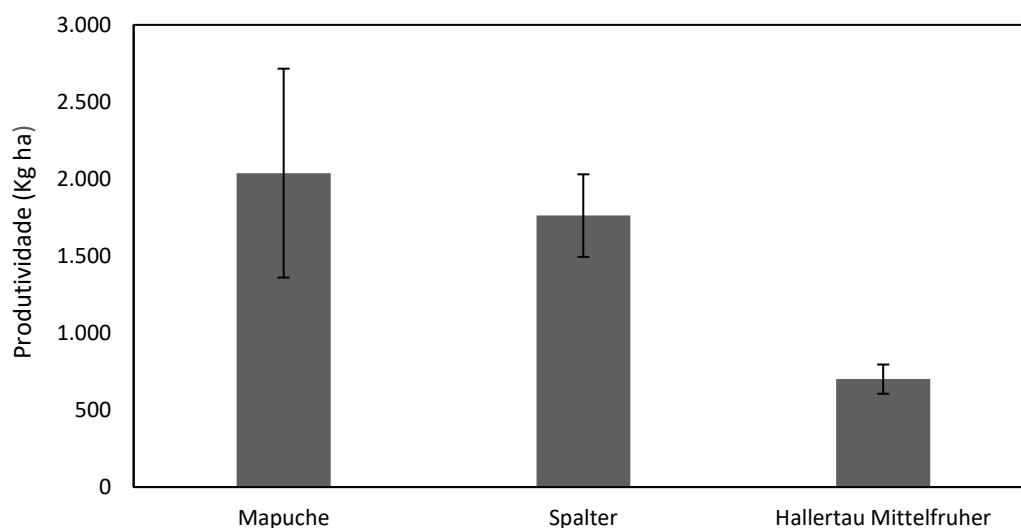
No entanto, os resultados deste estudo mostraram algumas divergências. Embora a variedade ‘Spalter’ tenha apresentado a maior quantidade de ramos laterais, a maior média de número de cones por planta (1670,1) e produção de cones (0,6) foi observada na variedade ‘Mapuche’. Apesar da diferença mínima entre as médias das duas variedades, esse resultado sugere que a simples produção de um maior número de ramos laterais não garante, necessariamente, uma produção mais elevada de inflorescências e, conseqüentemente, de cones.

As discrepâncias entre a produção de cones por planta entre as duas maiores médias, indica que outros fatores, além do número de ramos laterais, podem influenciar a eficiência na produção de cones. Possivelmente, fatores como o comprimento dos ramos laterais, o período vegetativo completo e conseqüentemente, o controle da floração pelas lâmpadas, a adaptação da variedade às condições climáticas, podem ter afetado a produção de cones, inclusive as menores médias para as três variáveis apresentada por ‘Hallertau Mittelfrüher’ (80,6 ramos laterais, 540,1 cones por planta e 0,2 Kg por planta).

Em um estudo realizado por Fagherazzi (2020) avaliando três variedades em três regiões, demonstrou que a altura de inserção do primeiro ramo lateral com cone foi diferente não só entre as variedades, mas também entre as regiões, ou seja, os fatores climáticos do ambiente influenciaram na altura dos ramos e possivelmente na quantidade de ramos laterais. Essas observações ressaltam a complexidade associada ao manejo das variedades de lúpulo e a necessidade de considerar múltiplas variáveis ao avaliar o potencial produtivo de cada variedade. A produção de ramos laterais, deve ser acompanhada por uma análise mais abrangente, que considere não apenas a quantidade, mas também

a altura de inserção do primeiro ramo lateral, o comprimento e a capacidade de cada ramo lateral de produzir inflorescências viáveis.

Figura 1 – Produtividade média de cones de lúpulo e desvio padrão entre as safras de 2021, 2022 e 2023 em Palotina, PR.



Durante as três safras avaliadas, foi verificada uma produtividade média de 2037,9 kg/ha para a variedade ‘Mapuche’, superior em relação a ‘Hallertau Mittelfruher’, a cultivar com 700,5 Kg de cone fresco por hectare. Tornando-se assim, ‘Mapuche’ e ‘Spalter’ (1762,1 kg/ha) as cultivares mais produtivas e ‘Hallertau Mittelfruher’ a menos produtiva durante os três ciclos de avaliação.

Segundo literatura, a produtividade esperada para ‘Mapuche’ é de 1800 a 2000 kg/ha, para ‘Spalter’ é de 1120kg/ha e entre 800 a 1100 kg/ha para ‘Hallertau Mittelfruher’ (HEALEY, 2021; JASTROMBEK et al., 2022). Portanto, a média das três safras alcançou valores superiores para as duas primeiras variedades e médias próximas ao esperado para ‘Hallertau Mittelfruher’.

Como citado anteriormente, o desempenho produtivo é diretamente influenciado por diversos fatores, dentre eles estão os fatores climáticos, como o fotoperíodo, a temperatura e a disponibilidade hídrica (DE KEUKELEIRE et al., 2007), bem como o genótipo, o ciclo fenológico e o crescimento das plantas (ROBERTS; KRONSTAD; HAUNOLD, 1980). Assim como, fatores de manejo da área agrícola, incluindo irrigação, altura do sistema de condução, adubação e a suplementação do fotoperíodo, sendo o último um manejo recente que tem demonstrado eficácia (AGEHARA et al., 2020).

Considerando que plantas de lúpulo cultivadas sem iluminação artificial em regiões subtropicais até então não atingiam o topo da treliça, resultando em um número limitado de entrenós, e conseqüentemente, quantidades reduzidas de ramos laterais e cones, a suplementação do fotoperíodo de 17h, pode estar relacionado a elevada produtividade observada neste trabalho.

Em relação aos genótipos de lúpulo, os resultados apresentados por Acosta-Rangel et al. (2021) indicaram uma tendência de cultivares de raça nativa americana produzirem maiores resultados em comparação a cultivares de raça nativa europeia quando cultivadas em climas subtropicais. No estudo, as três cultivares de maior rendimento eram exclusivamente cultivares nativa americana ('Cascade', 'CTZ', 'Nugget'), enquanto variedades nativas europeias, como 'Saaz', não apresentaram boa adaptabilidade às condições climáticas subtropicais.

O 'Hallertauer Mittelfrührer' é um genótipo original alemão, datado a mais de 100 anos e é um dos quatro lúpulos "nobres" originais. Apesar de ser muito popular, sua produção tem diminuído principalmente como resultado da grave suscetibilidade à murcha de verticillium e baixos rendimentos. A 'Spalter' foi criada em Hüll, Alemanha, em um esforço para aumentar o potencial de rendimento e resistência a doenças. O resultado bem-sucedido de um cruzamento de Spalt e Hallertau Mittelfrührer foi lançado em 1993 (HEALEY, 2021). A cultivar Mapuche tem origem na Argentina. Desenvolvida no programa de melhoramento da Quilmes, iniciado em 1984. 'Mapuche' tem como parental feminino 'Cascade', sendo lançada em 1992 (GONSAGA, 2021).

A baixa diversidade genética de cultivares europeias, principalmente da 'Hallertauer Mittelfrührer', pode explicar seu baixo desempenho e aclimação às condições climáticas subtropicais neste estudo. Demonstrando a necessidade e a importância do melhoramento genético na cultura do lúpulo, afim de obter variedades com alta diversidade e adaptação ao clima subtropical.

Quando avaliado o desvio padrão durante as safras, a variedade 'Mapuche' apresentou o maior valor (677,9), indicando uma variação mais significativa na produtividade entre as safras. Por outro lado, 'Spalter' e 'Hallertau Mittelfrührer' apresentaram desvios padrões menores, 268,1 e 95, respectivamente, sugerindo uma maior uniformidade na produção dentro dessas variedades.

Apesar do desvio padrão alto sugerir uma produção menos consistente, vale lembrar que neste experimento foram avaliadas plantas em seus primeiros anos produtivos. Por ser uma planta perene, o lúpulo leva pelo menos dois anos para amadurecer e assim produzir uma colheita satisfatória, ou seja, a produtividade aumenta até o terceiro ano de vida das plantas, quando tendem a se estabilizar (DONNER et al., 2020; FAGHERAZZI et al., 2023). Portanto, o alto desvio padrão encontrado na variedade 'Mapuche' pode demonstrar o aumento de produção durante os primeiros ciclos.

Com relação a qualidade dos cones, foram observadas diferenças entre as médias das cultivares (Tabela 2). Observou-se que os teores de alfa-ácido de 'Mapuche' e 'Spalter' são semelhantes e os teores de beta-ácido são maiores na cultivar 'Spalter' (3,3%). A concentração de óleos essenciais foi considerada mais alta, 1,0 mL.100g, na variedade 'Mapuche', apesar de ser semelhante as demais.

O desvio padrão analisado entre as três safras para alfa-ácido demonstrou ser maior em Spalter (2,2) e semelhante para 'Mapuche' e Hallertau', 1,2 e 1,6, respectivamente. Para o teor de beta-ácidos,

o maior desvio padrão foi de 2,4, da variedade ‘Spalter’ e semelhante para ‘Mapuche’ e Hallertau’, 0,9 e 0,7, respectivamente. Quanto ao óleo essencial, as três variedades apresentaram desvio padrão de 0,2 durante as três safras.

Tabela 2 – Médias dos teores de alfa- e beta-ácidos, e concentração de óleos essenciais em cones de variedades lúpulo durante 3 safras.

Variedades	Alfa-ácido (%)	Beta-ácido (%)	Óleos essenciais (mL.100g <sup>-1</sup> )
Hallertau Mittelfrüher	3,6	1,1	0,8
Mapuche	6,2	2,8	1,0
Spalter	6,2	3,3	0,9

De acordo a literatura os teores de alfa e beta-ácidos para as cultivares são, respectivamente: entre 5,8% a 6,4% e 4,1% a 4,8% para a ‘Mapuche’ (JASTROMBEK et al., 2022), 3,5 a 5,5% e 3,5 a 4,5% para a ‘Hallertau Mittelfrüher’, entre 3,0 a 6,5% e 2,0 a 5,0% para a ‘Spalter’ (HEALEY, 2021). Pode-se observar que todas as variedades apresentaram médias de alfa-ácido dentro da faixa esperada. Enquanto para beta-ácidos, apenas ‘Spalter’ atingiu o teor citado em literatura.

As variações na concentração desses compostos dependem de fatores como cultivar, idade da planta, solo, clima, manejo da colheita e do processamento, época da colheita e armazenamento (ACOSTA-RANGEL; AGEHARA; RECHCIGL, 2024). A complexa interação entre genótipo e ambiente se deve à capacidade do ambiente de ativar ou suprimir certos genes (MCADAM et al., 2013). Sendo assim, a influência do ambiente pode ser o fator principal para as médias reduzidas de beta-ácido das variedades ‘Mapuche’ e ‘Hallertau Mittelfrüher’. No entanto, as variedades apresentaram médias de alfa-ácido, o composto mais apreciado pela indústria cervejeira, dentro do padrão.

Ao analisar o desvio padrão entre as três safras, observa-se que os teores de alfa e beta-ácidos sofreram maiores oscilações, principalmente para a variedade ‘Spalter’ (2,2 e 2,4, respectivamente). Assim como a produtividade, a qualidade das plantas de lúpulo aumenta até o terceiro ano de vida das plantas, quando tendem a se estabilizar (DONNER et al., 2020). Esses resultados ressaltam a elevação dos compostos químicos durante os anos de formação das plantas ‘Spalter’.

Os níveis previstos de óleos essenciais em cones de lúpulo para cultivares analisadas estão na faixa de e 1,0 a 1,2 mL 100g<sup>-1</sup> para 'Mapuche' (JASTROMBEK et al., 2022), 0,6 a 1,2 mL.100 g<sup>-1</sup> para 'Hallertau Mittelfrüher', entre 0,5 e 1,2 mL.100 g<sup>-1</sup> para 'Spalter' (HEALEY, 2021). Todas as variedades apresentaram concentrações médias de óleo essencial dentro do esperado. As variedades presentes nesta investigação são classificadas como aromáticas devido às suas elevadas concentrações de óleos essenciais, que contribuem com propriedades aromáticas para a cerveja. Sendo este, o



possível motivo para as três variedades apresentarem concentrações consistentes com as expectativas e desvio padrão mínimo entre as três safras.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de suplementação luminosa através da luz LED mostrou eficiência no controle do florescimento, evitando o início precoce da floração e a consequente redução do potencial produtivo em regiões subtropicais. A média de ramos laterais da 'Spalter' mostrou-se superior, enquanto o número de cones por planta e produção de cones foram maiores nas médias registradas da variedade 'Mapuche'. Ambas as cultivares apresentaram-se mais produtivas. 'Hallertau Mittelfruher' exibiu médias ligeiramente inferiores ao esperado, possivelmente devido à sua baixa diversidade genética, afetando a sua adaptação às condições subtropicais presente durante o estudo. Quanto a qualidade, todas as variedades apresentaram médias de alfa-ácido e de óleo essencial consistentes com o esperado. Para beta-ácidos, apenas 'Spalter' atingiu o teor citado em literatura. Salienta-se que os resultados deste trabalho foram obtidos de plantas de lúpulo em seus primeiros anos produtivos, justificando os altos desvios padrão entre as safras, tanto para produtividade da variedade 'Mapuche', quanto para qualidade da 'Spalter'.

Por fim os dados ressaltam a importância da pesquisa em novas tecnologias e do melhoramento genético para adaptar o lúpulo às condições subtropicais.

## REFERÊNCIAS

- ACOSTA-RANGEL, A. et al. Hop (*Humulus lupulus* L.) phenology, growth, and yield under subtropical climatic conditions: Effects of cultivars and crop management. **Australian Journal of Crop Science**, v. 15 n. 05, p. 2021, p. 764–772, 10 maio 2021.
- ACOSTA-RANGEL, A.; AGEHARA, S.; REHCIGL, J. *Produção de lúpulo (Humulus lupulus L.) em dupla temporada com manipulação de fotoperíodo em clima subtropical*. **Scientia Horticulturae**, v. 332, p. 113177, 1 jun. 2024.
- AGEHARA, S. et al. Hop Yard Establishment and Trellis Construction in Florida: HS1354, 2/2020. **EDIS**, v. 2020, n. 1, p. 7–7, 8 jan. 2020.
- ALMAGUER, C. et al. *Humulus lupulus – a story that begs to be told. A review*. **Journal of the Institute of Brewing**, v. 120, n. 4, p. 289–314, 2014.
- ALMAGUER, C. et al. Comparative Study of the Contribution of Hop (*Humulus Lupulus* L.) Hard Resins Extracted from Different Hop Varieties to Beer Quality Parameters. **Journal of the American Society of Brewing Chemists**, v. 73, n. 2, p. 115–123, 1 abr. 2015.

ANO, Y. et al. Iso- $\alpha$ -acids, Bitter Components of Beer, Prevent Inflammation and Cognitive Decline Induced in a Mouse Model of Alzheimer's Disease \*. **Journal of Biological Chemistry**, v. 292, n. 9, p. 3720–3728, 3 mar. 2017.

AQUINO, A. M. DE. **Produção de lúpulo na Região Serrana Fluminense: manual de boas práticas**. Nova Friburgo, RJ: Associacao Comercial Industrial E Agricola De Nova Friburgo, 2022.

BAUERLE, W. L. Disentangling photoperiod from hop vernalization and dormancy for global production and speed breeding. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 16003, 5 nov. 2019.

BAUERLE, W. L. Interações de CO<sub>2</sub> e luz intracanopy no ganho líquido de carbono do dossel de *Humulus lupulus* L. sob concentrações atmosféricas atuais e futuras de CO<sub>2</sub>. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 310, p. 108621, 15 nov. 2021.

BAUERLE, W. L. Separate and Combined Effects of Supplemental CO<sub>2</sub>, Gibberellic Acid, and Light on Hop Quality and Yield. **Plants**, v. 13, n. 12, p. 1670, jan. 2024.

BOUBACK, T. A. et al. Antiviral activity of *Humulus lupulus* (HOP) aqueous extract against MERS-CoV and SARS-CoV-2: in-vitro and in-silico study. **Biotechnology & Biotechnological Equipment**, v. 37, n. 1, p. 167–179, 31 dez. 2023.

DE KEUKELEIRE, J. et al. Relevance of Organic Farming and Effect of Climatological Conditions on the Formation of  $\alpha$ -Acids,  $\beta$ -Acids, Desmethyloxanthohumol, and Xanthohumol in Hop (*Humulus lupulus* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 55, n. 1, p. 61–66, 1 jan. 2007.

DONNER, P. et al. Influence of weather conditions, irrigation and plant age on yield and alpha-acids content of Czech hop (*Humulus lupulus* L.) cultivars. **Plant, Soil and Environment**, v. 66, n. 1, p. 41–46, 31 jan. 2020.

DURELLO, R. DA S.; SILVA, L. M.; BOGUSZ JUNIOR, S. Química do Lúpulo. **Química Nova**, v. 42, n. 8, p. 900–919, 2019.

FAGHERAZZI, M. M. **Adaptabilidade de cultivares de lúpulo na região do Planalto Sul Catarinense**. Doutorado em Produção Vegetal—Lages: Universidade Estadual de Santa Catarina, 2020.

FAGHERAZZI, M. M. et al. Climatological conditions of the southern Santa Catarina state highlands for hop production. **Revista Ceres**, v. 70, n. 4, p. 1–7, ago. 2023.

GONSAGA, R. F. [UNESP. Desenvolvimento de híbridos de lúpulo adaptados às condições tropicais. 4 jun. 2021.

GUTIÉRREZ, R. M. et al. Unveiling the phenology and associated floral regulatory pathways of *Humulus lupulus* L. in subtropical conditions. **Planta**, v. 259, n. 6, p. 150, 10 maio 2024.

HEJNÁK, V.; HNILIČKOVÁ, H.; HNILIČKA, F. Physiological response of juvenile hop plants to water deficit. **Plant, Soil and Environment**, v. 61, n. 7, p. 332–338, 31 jul. 2015.

HIRAKAWA, T.; TANNO, S. In Vitro Propagation of *Humulus lupulus* through the Induction of Axillary Bud Development. **Plants**, v. 11, n. 8, p. 1066, jan. 2022.

JASTROMBEK, J. M. et al. Hop: An Emerging Crop in Subtropical Areas in Brazil. **Horticulturae**, v. 8, n. 5, p. 393, maio 2022.

JIANG, C.-H. et al. Anticancer Activity and Mechanism of Xanthohumol: A Prenylated Flavonoid From Hops (*Humulus lupulus* L.). **Frontiers in Pharmacology**, v. 9, p. 530, 2018.

KREBS, C. Hops: A viable alternative crop for the Central/Southern Plains? **Crops & Soils**, v. 52, n. 4, p. 4–6, 2019.

LELES, N. R. et al. Performance of Hop Cultivars Grown with Artificial Lighting under Subtropical Conditions. **Plants**, v. 12, n. 10, p. 1971, jan. 2023.

MCADAM, E. L. et al. Quantitative genetic parameters for yield, plant growth and cone chemical traits in hop (*Humulus lupulus* L.). **BMC genetics**, v. 15, p. 22, 13 fev. 2014.

MOZNY, M. et al. The impact of climate change on the yield and quality of Saaz hops in the Czech Republic. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 149, n. 6, p. 913–919, 15 jun. 2009.

NEVE, R. A. **Hops**. 1. ed ed. London: Chapman and Hall, 1991.

PAGUET, A. S. et al. Agronomic, genetic and chemical tools for hop cultivation and breeding. **Phytochemistry Reviews**, v. 21, n. 2, p. 667–708, 1 abr. 2022.

ROBERTS, D. D.; KRONSTAD, W. E.; HAUNOLD, A. Genetic Variability and Association of Maturity, Yield, and Quality Characteristics of Female Hops. **Crop Science**, v. 20, n. 4, p. crops1980.0011183X002000040026x, 1980.

ROSSINI, F. et al. 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, 10 ago. 2016.

RUGGERI, R. et al. Development of hop cultivation in new growing areas: The state of the art and the way forward. **European Journal of Agronomy**, v. 161, p. 127335, 1 nov. 2024.

SHARATHKUMAR, M. et al. Floral Induction in the Short-Day Plant Chrysanthemum Under Blue and Red Extended Long-Days. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, 25 jan. 2021.

SOARES, E. M. **Lúpulo no Brasil: perspectivas e realidades**. Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2022.

SPOSITO, M. B. et al. A cultura do lúpulo. 2019.

SVOBODA, P.; HNILIČKOVÁ, H.; HNILIČKA, F. Changes in Yield and Quality of Hop Depending on the Irrigation. **Cereal Research Communications**, v. 36, p. 891–894, 2008.

TAIZ, L. et al. (EDS.). **Plant physiology and development**. Sixth edition ed. Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates, Inc., Publishers, 2017.

THOMAS, G. G.; SCHWABE, W. W. Factors Controlling Flowering in the Hop (*Humulus lupulus* L.). **Annals of Botany**, v. 33, n. 132, p. 781–793, 1969.

ZANDONADI, A. S. Luz artificial no controle do florescimento de crisântemo de corte. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2021. Acesso em: 13 jun. 2024.