

CRESCIMENTO INICIAL DE MUDAS DE LÚPULO (*Humulus lupulus*
L.) POR MINIESTAQUIA EM DIFERENTES TEMPOS DE RETIRADA
DE CÂMARA DE NEBULIZAÇÃO E USO DE AIB (ÁCIDO
INDOLBUTÍRICO)

JULIANA PACHECO VENTURA

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY
RIBEIRO

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
FEVEREIRO – 2022

CRESCIMENTO INICIAL DE MUDAS DE LÚPULO (*Humulus lupulus*
L.) POR MINIESTAQUIA EM DIFERENTES TEMPOS DE RETIRADA
DE CÂMARA DE NEBULIZAÇÃO E USO DE AIB (ÁCIDO
INDOLBUTÍRICO)

JULIANA PACHECO VENTURA

“Dissertação apresentada ao Centro de
Ciências e Tecnologias Agropecuárias da
Universidade Estadual do Norte Fluminense
Darcy Ribeiro, como parte das exigências
para obtenção do título de Mestre em
Produção Vegetal”

Orientador: Prof. D.Sc. Silvério de Paiva Freitas

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ

FEVEREIRO – 2022– RJ

FICHA CATALOGRÁFICA

UENF - Bibliotecas

Elaborada com os dados fornecidos pela autora.

V468

Ventura, Juliana Pacheco.

CRESCIMENTO INICIAL DE MUDAS DE LÚPULO (*Humulus lupulus* L.) POR MINIESTAQUIA EM DIFERENTES TEMPOS DE RETIRADA DE CÂMARA DE NEBULIZAÇÃO E USO DE AIB (ÁCIDO INDOLBUTÍRICO) / Juliana Pacheco Ventura. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2022.

65 f. : il.

Inclui bibliografia.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2022.

Orientador: Silverio de Paiva Freitas.

1. Enraizamento. 2. Saaz. 3. Cascade. 4. Chinook. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD - 630

CRESCIMENTO INICIAL DE MUDAS DE LÚPULO (*Humulus lupulus*
L.) POR MINIESTAQUIA EM DIFERENTES TEMPOS DE RETIRADA
DE CÂMARA DE NEBULIZAÇÃO E USO DE AIB (ÁCIDO
INDOLBUTÍRICO)

JULIANA PACHECO VENTURA

Dissertação apresentado ao Centro de
Ciências e Tecnologias Agropecuárias da
Universidade Estadual do Norte Fluminense
Darcy Ribeiro, como parte das exigências
para obtenção do título de Mestrado em
Produção Vegetal

Aprovado em 25 de fevereiro de 2022.

Comissão Examinadora

Professora Cláudia Lopes Prins (D.Sc., Produção Vegetal) – UENF

Professor Reynaldo Tancredo Amim (D.Sc., Produção Vegetal) – IFF

Professor Sílvio de Jesus Freitas (D.Sc., Produção Vegetal) – UENF

Prof. Silvério de Paiva Freitas (D.Sc., Fitotecnia) – UENF
(Orientador)

A Deus.
Aos meus queridos pais, Leonardo e Luzia.
DEDICO

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas graças a Deus, não sou o que era antes”.
Marthin Luther King

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu bom Deus por Sua infinita bondade, eterna fidelidade e por fazer por mim e por minha família coisas inefáveis; Em Deus podemos todas as coisas; Agradeço aos meus pais, Luzia e Leonardo, pelo amor e apoio incondicionais. Deus me deu pais indescritíveis e inigualáveis;

Agradeço aos meus irmãos, Sara, Filipe e Isabel, meus eternos companheiros de vida, de lutas e de vitórias;

Agradeço aos meus avós, Maria e Alécio, minha fonte de inspiração e de amor e que sempre intercedem a Deus por minha vida;

À minha igreja, Assembleia de Deus – Ministério de Castelo em Monte Alegre, que me sustém em oração e que soube compreender minha ausência nesse período;

À Giovanna (minha querida coorientadora informal), Maria Clara, Waldinei (meu adorável e valioso consultor), Renata e Rachel, meus valiosos amigos de laboratório e trabalho. Pessoas das quais Deus me apresentou e que têm sido bênçãos na minha vida. Vocês tornaram esse fardo mais leve e suportável; sem a preciosa ajuda, incentivo e suporte de vocês, eu teria desistido e não chegaria aqui;

À Luana, Israel e Samira, pela grande ajuda no processo seletivo para o mestrado e adaptação à UENF;

À Daniele e Isis Naryele, pela boa amizade e por terem chegado para somar comigo em 2021 e em 2022, se Deus assim permitir;

Ao Rafael “Cabral”, por sua essencial ajuda em minhas análises estatísticas;

Ao engenheiro agrônomo, Herval, pela amizade, por todo apoio, paciência, ensinamentos e broncas;

Ao meu orientador, professor Silvério de Paiva Freitas, pela orientação e apoio;

À professora Cláudia, por ter me ouvido quando mais precisei falar;

À professora Deborah e professor Almy, por terem cedido seus laboratórios e equipamentos para que eu pudesse realizar minhas análises;

À Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, pela oportunidade de aprendizado e pela bolsa de fomento, que apoiou e tornou possível a realização de minha pesquisa;

E a todos que aqui não foram citados, mas que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Sou grata a Deus por suas vidas.

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO GERAL	5
2.1 Objetivos Específicos	5
3. REVISÃO DE LITERATURA	6
3.1 Lúpulo: origem e sua chegada no Brasil	6
3.2 Aspectos Fisiológicos da Espécie	8
3.3 Aspectos Fitotécnicos da Espécie	10
3.4 Características da Variedade Utilizadas	13
3.5 Propagação Vegetativa do Lúpulo	15
3.6 Uso de Reguladores Vegetais na Propagação Vegetativa	18
4. METODOLOGIA	20
4.1 Experimento 1: Produção inicial de mudas de três variedades de lúpulo por miniestaquia com uso de AIB	20
4.2 Experimento 2: Tempo de permanência de miniestacas de lúpulo (variedade Saaz) em câmara de nebulização	23
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
5.1 Resultados do Experimento 1	26
5.2 Resultados do Experimento 2	34
6. RESUMOS E CONCLUSÕES	41

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43
APÊNDICE	52

RESUMO

VENTURA, JULIANA PACHECO; M.Sc; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Fevereiro 2022. Crescimento inicial de mudas de lúpulo (*Humulus lupulus* L.) por miniestaquia em diferentes tempos de retirada de câmara de nebulização e uso de AIB (Ácido Indolbutírico). Orientador: Prof. Dr. Silvério de Paiva Freitas

O lúpulo (*Humulus lupulus* L.) é uma planta pertencente à família Cannabaceae e à ordem Rosales. O lúpulo é cultivado há vários séculos em algumas regiões do mundo e, apesar de ser uma planta com finalidades medicinais, seu principal uso é para a fabricação de cerveja. Devido às exigências de clima para o cultivo, acreditava-se que não havia possibilidade de cultivá-lo no território brasileiro, porém, recentes iniciativas em diferentes cidades das Regiões Sul, Sudeste, Norte e Nordeste do Brasil têm mostrado que o seu cultivo é possível. Deste modo, objetivou-se, com o presente trabalho, avaliar o enraizamento de dois tipos de miniestacas herbáceas (basal e intermediária) de três variedades de lúpulo (Cascade, Saaz e Chinook) sob a influência do hormônio ácido indolbutírico (AIB) bem como avaliar o tempo necessário para o enraizamento de miniestacas de lúpulo em câmara de nebulização em condições de clima tropical. Para isso, foram realizados dois experimentos. O primeiro foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial 3x2x2, utilizando-se três variedades de lúpulo (V1 - Chinook, V2- Saaz e V3 - Cascade) com cinco repetições

de dez plantas, dois tipos de miniestacas (basal e intermediária) e duas concentrações de AIB (0 e 6000 ppm). Após preparo de miniestacas e estaqueamento, aos 30 dias, na saída da câmara de nebulização, foi avaliado o percentual de sobrevivência, o percentual de enraizamento, massa seca da parte aérea e da raiz, além das variáveis biométricas comprimento total da raiz, diâmetro de raiz, área superficial e volume de raiz utilizando o *software* WihRHIZO. O segundo experimento foi conduzido em DIC com miniestacas (intermediárias) da variedade Saaz, utilizando-se cinco tempos de permanência das miniestacas em câmara de nebulização (10, 15, 20, 25 e 30 dias), com cinco repetições de oito plantas. Após preparo de miniestacas e estaqueamento, na saída da câmara de nebulização, foi avaliado o percentual de sobrevivência, o percentual de enraizamento, massa seca da parte aérea e da raiz, além das variáveis biométricas comprimento total da raiz, diâmetro de raiz, área superficial e volume de raiz utilizando o *software* WihRHIZO. Não foi observada diferença significativa nas variáveis analisadas no experimento 1 que justificasse o uso do AIB para o enraizamento de miniestacas de lúpulo das variedades Sazz, Chinook e Cascade. Miniestacas intermediárias das três variedades de lúpulo sem uso de AIB apresentaram os melhores resultados para massa seca da raiz, comprimento total de raiz, área superficial e volume de raiz. Com relação ao experimento 2, pode-se estimar que o número ótimo de dias para atingir o máximo enraizamento de miniestacas intermediárias de lúpulo da variedade Saaz é de aproximadamente 22 dias.

Palavras-chave: Enraizamento, Saaz, Cascade, Chinook.

ABSTRACT

VENTURA, JULIANA PACHECO; M.Sc; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. February 2022. Initial growth of hops seedlings (*Humulus lupulus* L.) by mini-cuttings in different nebulization chamber removal times and use of IBA (Indolbutyric Acid). Supervisor: Prof. Dr. Silvério de Paiva Freitas.

Hops (*Humulus lupulus* L.) is a plant belonging to the Cannabaceae family and Rosales order. Hops have been cultivated for several centuries in some regions of the world and, despite being a plant with medicinal purposes, its main use is for brewing beer. Due to certain climatic requirements for cultivation, it was believed that there was no possibility of cultivating it in Brazilian territory, however, recent initiatives in different cities in the South, Southeast, North and Northeast regions of Brazil have shown that its cultivation is possible. Thus, the objective of the present work was to evaluate the rooting of two types of herbaceous minicuttings (basal and intermediate) of three hop varieties (Cascade, Saaz and Chinook) under the influence of the hormone indolebutyric acid (IBA) as well as to evaluate the time required for rooting of hop minicuttings in a mist chamber under tropical climate conditions. For this, two experiments were carried out. The first was carried out in a completely randomized design (CRD) in a 3x2x2 factorial scheme, using three hop varieties (V1 - Chinook, V2- Saaz and V3 - Cascade) with five replications of ten plants, two types of minicuttings (basal and intermediate) and two concentrations of

IBA (0 and 6000 ppm). After minicutting preparation and staking, at 30 days, at the exit of the mist chamber, the survival percentage, rooting percentage, shoot and root dry mass, in addition to the biometric variables total root length, root diameter, were evaluated. root, surface area and root volume using the WihRHIZO software. The second experiment was carried out in CRD with mini-cuttings (intermediate) of the Saaz variety, using five times of permanence of the mini-cuttings in a mist chamber (10, 15, 20, 25 and 30 days), with five repetitions of eight plants. After minicutting preparation and staking, at the exit of the spray chamber, the survival percentage, rooting percentage, shoot and root dry mass, in addition to the biometric variables total root length, root diameter, surface area was evaluated. and root volume using the WihRHIZO software. There was no significant difference in the variables analyzed in experiment 1 that justified the use of IBA for rooting mini-cuttings of hop varieties Sazz, Chinook and Cascade. Intermediate mini-cuttings of the three hop varieties without the use of IBA showed the best results for root dry mass, total root length, surface area and root volume. Regarding experiment 2, it can be estimated that the optimal number of days to reach maximum rooting of intermediate hop minicuttings of the Saaz variety is approximately 22 days.

Keywords: Rooting, Saaz, Cascade, Chinook.

1. INTRODUÇÃO

O lúpulo (*Humulus lupulus* L.) é uma planta pertencente à família Cannabaceae e à ordem Rosales. O gênero é formado por três espécies, *H. lupulus*, *H. japonicus* e *H. yunnanensis*. Todavia, somente o *H. lupulus* e o *H. japonicus* são cultivados em escala com fim comercial no setor cervejeiro e no setor ornamental, respectivamente (Durello *et al.*, 2019; Souza *et al.*, 2022).

É caracterizado como uma planta perene, herbácea, dioica, anemófila, rizomatosa, trepadeira, que produz inflorescências, que estando maduras são denominadas cones. Na área basal dos cones, existem glândulas responsáveis pela secreção de um pó amarelo (denominado de lupulina), que contém compostos, como resinas (alfa e beta-ácidos) e óleos essenciais (compostos aromáticos), considerados uma importante matéria-prima para as indústrias alimentícias e farmacêuticas (Guimarães, 2020; Durello *et al.*, 2019).

Já no século I, o escritor romano Plínio (ano 24-79 d.C.), em seus livros “Naturalis História”, deu ao lúpulo o nome de lúpus salictarius (lobo dos salgueiros), pelo fato de a planta apresentar hábito trepador e por crescer sobre salgueiros e em outras árvores quando em seu habitat natural. O escritor descreveu ainda o lúpulo como uma planta de jardins e hortícola bastante comum, usada na culinária da mesma forma que os aspargos (Lahnel; Fagherazzi, 2019).

O lúpulo pode ser propagado através de sementes, rizomas, estaquia (ou miniestaquia) e micropropagação. A propagação com o uso de sementes é

realizada objetivando a obtenção de indivíduos destinados à seleção e melhoramento genético. Da semente nascem plantas femininas e masculinas contendo características genéticas variadas (Fagherazzi *et al.*, 2018).

Plantas masculinas de lúpulo produzem cones com cerca de 10 a 15 glândulas de lupulina, enquanto as plantas femininas produzem cones com aproximadamente 10000 ou mais glândulas de lupulina. Em razão disso, apenas cones produzidos por plantas femininas despertam o interesse econômico do setor cervejeiro. Para a conservação das características morfológicas da planta mãe, a multiplicação é feita via propagação vegetativa. Esta propagação por estacas (ou miniestacas) enraizadas, além de abreviar a fase juvenil da planta, acelerando a produção, possibilita a obtenção de plantas uniformes, com características idênticas às da planta mãe (Fagherazzi *et al.*, 2018).

A propagação vegetativa por estacas e miniestacas herbáceas é um dos principais métodos utilizados em lúpulos. Os propágulos podem ser coletados em momentos diferentes ao do crescimento vegetativo da planta, todavia, os que tendem a apresentar maior enraizamento são os coletados entre o final da primavera e o início do verão – período que antecede o início da floração. Em apenas um ramo herbáceo de lúpulo, de uma minicepa, pode-se retirar diversas miniestacas. Porém, os ramos utilizados para tal devem ser os que possuem gemas axilares de folhas bem desenvolvidas (Spósito *et al.*, 2019).

Para que as mudas de lúpulo, via miniestaquia, sejam formadas, as miniestacas devem ser colocadas em recipientes individuais – preferencialmente tubetes – ou em bandejas contendo substrato que seja adequado (areia esterilizada, turfa, fibra de coco, vermiculita, bem como espuma fenólica, entre outros). Uma vez fixadas nos substratos, as miniestacas devem ser conservadas sob nebulização para que a umidade do substrato seja mantida. Este processo é necessário para a obtenção de energia para o enraizamento. (Spósito *et al.*, 2019; Crippa, 2020).

Outro valioso ponto para que se obtenha sucesso no enraizamento e formação de raízes adventícias, fatores importantes na formação de uma boa muda, é a presença de certos níveis de substâncias de crescimento natural na planta. De ocorrência natural nas plantas, o ácido indolbutírico (AIB) é um composto frequentemente utilizado na horticultura para a promoção do

enraizamento de estacas. Além disso, o AIB serve como fonte natural de auxina para processos inerentes ao desenvolvimento (Pereira, 2018; Taiz *et al.*, 2017).

Grande parte da produção mundial de lúpulo, cerca de 75-80%, vem de países como a Alemanha, que é detentora da maior área de plantio contínuo de lúpulo do mundo, localizada na região de Hallertau, dos Estados Unidos, a qual tem os plantios concentrados nos estados de Washington, Oregon e Idaho e da República Tcheca. Isto se deve às condições que estes locais oferecem sendo propícios para o cultivo do lúpulo, tais como: solos profundos e de fácil drenagem (o sistema radicular da planta pode atingir mais de dois metros de profundidade) e alta exposição à luz, pois durante a fase de crescimento da planta são necessárias aproximadamente 15 a 18 horas de sol por dia (Durello *et al.*, 2019; Rossini *et al.*, 2021).

Devido à exigência de um longo fotoperíodo diário para o cultivo, acreditava-se que não havia possibilidade de cultivo do lúpulo no território brasileiro, uma vez que a fenologia, as exigências da cultura e o manejo do lúpulo podem ser muito diferentes daqueles conhecidos e aplicados nas terras tradicionais de lúpulo (Rossini *et al.*, 2021). No entanto, existem algumas iniciativas para a produção da planta em diferentes cidades das Regiões Sul, Sudeste, Norte e Nordeste do Brasil, que acabaram derrubando o mito da impossibilidade de se cultivar e produzir lúpulo no país (Durello *et al.*, 2019).

Apesar de a área plantada de lúpulo no país ser relativamente pequena, com aproximadamente 50 hectares e produção de cerca de 24 toneladas (Aprolúpulo, 2021), estas iniciativas, que visam a produção de lúpulo no Brasil, têm provocado uma boa expectativa para que o país siga para a autossuficiência da produção desta importante matéria-prima para a indústria cervejeira, apesar de ainda ser longo o caminho a ser percorrido. Para se ter uma base da demanda de lúpulo no Brasil, é necessário que se considere que o setor cervejeiro anualmente produz cerca de 14 bilhões de litros de cerveja e, em razão disso, o país ocupa a terceira posição de maior importador de lúpulo no planeta. No ano de 2021, de acordo com dados revelados pela Secretaria Especial de Comércio Exterior e Assuntos Internacionais, o Brasil importou 4721 toneladas de lúpulo com um custo de pouco mais de US\$ 82 milhões (Durello *et al.*, 2019; Brasil, 2022).

Além da variedade brasileira – Mantiqueira –, outras variedades de lúpulo de diferentes nacionalidades estão disponíveis no mercado nacional, todavia, apesar da qualidade comprovada por meio de análises químicas, não detêm a total ambientação ao clima tropical, fotoperíodos encontrados no país, além do fato de muitas cultivares não estarem mais sendo utilizadas e não aguçarem mais o interesse dos cervejeiros (Gonsaga, 2021).

Apesar de o cultivo para fins comerciais ser relativamente novo no país, a cultura do lúpulo está em crescente expansão no Brasil, assim, é essencial a pesquisa na produção de mudas e por cultivares que sejam adaptadas ao clima tropical, que sejam capazes de gerar alta produtividade e qualidade para que o cultivo brasileiro não dependa de fatores como iluminação artificial, e que ponham o Brasil entre os maiores produtores mundiais de lúpulo.

2. OBJETIVOS

Objetivou-se, com o presente trabalho, avaliar o crescimento inicial de miniestacas herbáceas de três variedades de lúpulo em função do uso do hormônio ácido indolbutírico, do tipo de miniestacas, bem como avaliar a influência do tempo necessário para a obtenção do enraizamento em câmara de nebulização, em condições de clima tropical.

2.1 Objetivos Específicos

- ✓ Avaliar o efeito do hormônio AIB (Ácido Indolbutírico) no enraizamento de miniestacas de três variedades de lúpulo;
- ✓ Avaliar se há diferença no enraizamento de miniestacas basais e miniestacas intermediárias;
- ✓ Avaliar a influência do tempo de permanência de miniestacas de lúpulo em câmara de nebulização sobre o enraizamento das miniestacas.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Lúpulo: origem e sua chegada no Brasil

Apesar de o primeiro registro do cultivo ter sido feito na Europa, o lúpulo provavelmente tem sua origem na China, onde todas as três espécies do gênero *Humulus* (*lupulus*, *japonicus* e *yannanensis*) ocorrem de forma natural e onde estão reconhecidas na FOC (*Flora of China* – Flora da China em tradução livre), sendo posteriormente transportado para a Europa e América do Norte, onde hoje aparecem naturalmente (Boutain, 2014; Gonsaga, 2021).

Outra hipótese de origem é a de que os lúpulos cultivados atualmente são nativos da Europa, Ásia e América do Norte. O lúpulo silvestre nativo da Europa pertence à subespécie *H. lupulus* subsp. *lupulus*. Já o lúpulo silvestre japonês pertence à subespécie *H. lupulus* subsp. *cordifolius*. E os lúpulos silvestres norte-americanos pertencem à subespécie *H. lupulus* subsp. *neomexicanus*, *H. lupulus* subsp. *pubescens* e *H. lupulus* subsp. *lupuloides*. Essencialmente, a diferenciação entre essas subespécies relaciona-se, basicamente, às características morfológicas das folhas e das inflorescências das plantas femininas, denominadas estróbilos ou “cones” (Teixeira, 2019).

Embora o primeiro registro do uso do lúpulo na fabricação de cerveja tenha sido documentado somente em 1079 existem indícios de que esse uso era comum nas cervejas produzidas pelos Celtas, uma vez que a evidência mais antiga de uso do lúpulo em cerveja vem desses povos. Os celtas foram grandes

guerreiros que dominaram a Europa Central de 2500 a 3000 anos atrás (Marcusso; Müller, 2016).

De acordo com Izu (2013), o lúpulo começou a ser usado na produção de cerveja devido às suas propriedades antissépticas que possibilitavam conservar a mesma por mais tempo, mantendo sua qualidade. Na verdade, no passado, as cervejas possuíam teores de lúpulo muito mais elevados. Porém, hoje, graças as melhores condições higiênicas e sanitárias que o processo industrial apresenta, o lúpulo desempenha um papel mais importante devido ao caráter sensorial que confere à cerveja. Outro papel de grande relevância desempenhado pelo lúpulo é o de fornecer espuma bem como o de eliminar substâncias proteicas do mosto.

Os romanos faziam uso do lúpulo por seus efeitos sedativos e tonificantes. Assim, utilizavam travesseiros com lúpulo em seu interior para ajudar no sono e infusões tonificantes e calmantes. Suas propriedades medicinais são amplamente conhecidas, com seus efeitos sedativos, antimicrobianos, anti-inflamatórios, anticancerígenos e antiobesidade (Izu, 2013).

No Brasil, os primórdios do cultivo do lúpulo se misturam ao início da agricultura na cidade do Rio de Janeiro, então capital do Império, por volta do ano de 1856. Todavia, não há um registro oficial da plantação de fato nesta data. Apenas em 1869, quando publicou-se a Revista Agrícola do Imperial Instituto Fluminense de Agricultura, um grande marco para a história da agricultura no Brasil, é que ocorre o registro do cultivo dessa cultura, onde também já se noticiava que seriam indispensáveis pesquisas para que o lúpulo pudesse se estabelecer no Brasil e, especificamente, no Rio de Janeiro (Aquino *et al.*, 2019).

Embora as tentativas tenham sido iniciadas durante o século XIX, apenas recentemente o cultivo do lúpulo no Brasil tem se apresentado viável em várias regiões do país. Sua produção tem gerado interesse em muitos produtores de cerveja, haja vista que a qualidade da bebida se torna diferenciada, principalmente seu aroma, quando as flores frescas, ou até mesmo desidratadas, são usadas, conservando melhor assim suas propriedades originais, diferentemente do que acontece com o uso tradicional na forma peletizada (Aquino *et al.*, 2019).

Atualmente, se cultiva, basicamente, uma única espécie de lúpulo (*H. lupulus*), porém, de inúmeras variedades (Tabela 1), classificadas de acordo com

sua contribuição específica a cada tipo de cerveja: aroma, amargor ou de amargor e aroma. É válido dizer ainda que é de acordo também com os óleos essenciais e α -ácidos, que se dá a utilização do lúpulo pelos cervejeiros (Pinto, 2018).

Tabela 1: Exemplos de variedades de lúpulo (*Humulus lupulus* L.) cultivadas no Brasil

Variedade	Características
Mantiqueira; Saaz; Mapuche; Tahoma; Styran Golding; Cascade	Aroma
Nugget; Victória; Columbus; Sterling; Chinook	Dupla Aptidão (Aroma + Amargor)
Bullion; Admiral; Magnum	Amargor

Fonte: Spósito *et al.* (2019) e Gonsaga (2021).

3.2 Aspectos Fisiológicos da Espécie

A luz é um requisito absoluto para o crescimento e desenvolvimento das plantas. A incidência de luz direta nas folhas é um dos fatores primordiais para que se possa formar uma cultura de lúpulo, uma vez que se trata de uma planta de pleno sol. Geralmente, folhas de plantas que com alta atividade fotossintética dispõem de muitos estômatos, uma densa ramificação de nervuras e um parênquima paliçádico com vários estratos. Em regiões de clima temperado, as folhas de lúpulo apresentam características semelhantes a estas, entretanto, as folhas apresentam apenas uma camada de células (Beverley, 2015; Spósito *et al.*, 2019).

As plantas têm diferentes requisitos ótimos e intensidades de luz excessivas são prejudiciais. Considerando que em dias de céu totalmente aberto, próximo ao meio dia, a intensidade de luz que incide nas plantas está na ordem de 438 a 526 W m⁻² (2014 a 2500 $\mu\text{m m}^2 \text{s}^{-1}$), e que o ponto de saturação lumínica do lúpulo, ponto a partir do qual as plantas não respondem mais ao aumento da quantidade de luz, de acordo com pesquisas desenvolvidas em região de clima temperado, apresenta variação entre 400 a 430 W m⁻², é possível inferir que as plantas de lúpulo apresentam uma redução na capacidade fotossintética (Beverley, 2015; Spósito *et al.*, 2019; Campagnol *et al.*, 2020; Casaroli *et al.*, 2007).

A taxa fotossintética de variedades nativas da América do Norte e da República Tcheca apresenta em média valores de $16,2 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, podendo variar entre $9,0$ e $22,3 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. A variedade Saaz, por exemplo, tem uma taxa fotossintética média de $13,7 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. A condutância estomática média entre as variedades é de $320 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, podendo variar entre 173 e $477 \text{ mm H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Folhas que recebem incidência solar direta apresentam condutância estomática 60% maior que as folhas que estão em áreas de sombra. As folhas com expansão acima de 75% do seu tamanho final têm maior taxa fotossintética. Há uma associação positiva expressiva entre a taxa fotossintética, o tempo do ciclo da cultura e a produtividade nas variedades de lúpulo. Sendo assim, é imprescindível que o espaçamento adotado em plantações de lúpulo não possibilite a ocorrência de sombreamento entre as plantas (Spósito *et al.*, 2019).

O processo fotossintético tem início no lúpulo, quando as plantas começam a brotar e a formar as primeiras folhas. Todavia, nesse período as folhas ainda são consideradas drenos, ou seja, não são capazes ainda de produzir fotoassimilados suficientes para sua própria manutenção e exportação de carboidratos para outros órgãos que estão em crescimento. Nesta fase, pelo fato de as folhas serem ainda muito jovens e possuírem uma área foliar diminuta, a possibilidade de capturar grandes quantidades de radiação é reduzida, além disso, possuem pouca clorofila e respiram mais intensamente (Pokorný *et al.*, 2011; Spósito *et al.*, 2019).

Dessa forma, o desenvolvimento das folhas, nessa fase inicial, acontece com a utilização das reservas de carboidratos existentes no sistema radicular, nos rizomas, que foram armazenados durante o outono, antes que a planta entrasse em dormência. Com o crescimento e desenvolvimento das folhas, a taxa fotossintética aumenta gradativamente. Com isso, o equilíbrio ativo dos processos de fotossíntese e respiração facilitam o crescimento de alongamento e espessamento de cada órgão da planta de lúpulo (Spósito *et al.*, 2019; Pokorný *et al.*, 2011).

Para Dodds (2017), a dormência no lúpulo ocorre em duas fases: no início da dormência e na quebra da dormência. Com o encurtamento dos dias no final do verão/início do outono, as plantas de lúpulo passam por uma fase de repouso, caracterizada pela morte gradual de brotos e raízes finas e uma

transferência de reservas de alimentos para que possam ser armazenados nas raízes. Esse é o início da dormência.

Até não muito tempo presumia-se que o processo de vernalização e dormência eram necessários para que o lúpulo se desenvolvesse, no entanto, o cultivo se consolidou em áreas antes consideradas como improváveis, como Nova Zelândia, África do Sul e Brasil. Porém, vale salientar que fatores como a resposta da planta, a duração do dia, e a exigência de frio do inverno, são parcialmente determinados pela genética. Desta forma, algumas variedades de lúpulo crescerão e produzirão comercialmente onde outras não podem. Sendo assim, vale a pena experimentar uma seleção de variedades no local em que se cultivará o lúpulo para que se possa encontrar aquelas que melhor se adaptam à latitude e condições sazonais do local (Gonsaga, 2021; Beverley, 2015; Dodds, 2017).

3.3 Aspectos Fitotécnicos da Espécie

Pelo fato de o lúpulo desenvolver-se bem em solos ricos em húmus, alguns autores acreditam que o nome da planta (*Humulus*) possa derivar da palavra húmus, que é uma mistura rica em matéria orgânica, na qual a planta se desenvolve. Já em relação ao epíteto específico, pensa-se que se originou na palavra latina *Lupus* (lobo) porque, no seu rápido crescimento à luz, o lúpulo envolve e sufoca outras plantas, de modo análogo aos ataques dos lobos aos rebanhos de ovelhas (Sousa, 2005).

Tentativas de cultivo do lúpulo no Brasil datam desde a época em que o país tinha um imperador como seu chefe de Estado. Na década de 1870 começaram os primeiros ensaios com a cultura e, esperava-se na época, bons resultados desse ensaio. Acreditava-se que poderia haver duas colheitas de cones por ano, ou pelo menos três colheitas em dois anos, na então Província do Rio de Janeiro e nas outras que tinham um clima uniforme como esta, e apenas uma colheita nas províncias meridionais (Glasl, 1870).

Experiências com o cultivo do lúpulo no Brasil têm mostrado que, embora o país não esteja nas latitudes consideradas ideais para a cultura (latitude 35° e 55° Norte e Sul), o manejo adequado e a seleção de variedades adaptadas aos ambientes tropicais têm viabilizado, com relativo sucesso, essas iniciativas no país

(Aquino *et al.*, 2019; Gonsaga, 2021). Pois ainda que o mercado consumidor de lúpulo no Brasil seja grande, a produção nacional dessa cultura é ainda incipiente, assim como são insuficientes as informações a respeito da adaptabilidade da planta, e de suas variedades e cultivares, às condições ambientais e de solo do país (Silva *et al.*, 2019).

Sobre o cultivo de lúpulo no Brasil, Arruda *et al.* (2019) afirmam que “há quem diga que assim como as uvas, é necessário encontrar um manejo de cultivo, especificações de composição do solo e forma de adubação”. A cultura do lúpulo se desenvolve bem em diversos tipos de solo, indo desde os argilosos até os arenosos, contanto que sejam férteis, que sejam capazes de reter a umidade, mas que não possibilitem alagamentos. Todavia, a cultura tem melhor desenvolvimento em solos de textura média, que não sejam encharcados e que apresentem boa fertilidade. Solos francos, desde os leves aos pesados, são os preferíveis. E, dentro destes, o mais recomendado é um solo franco arenoso profundo. Solos com drenagem ruim, fortemente alcalinos ou salinos devem ser evitados (Rossini *et al.*, 2021; Burgerss, 1964; Carter *et al.*, 1990).

De acordo com Santos (2018), o lúpulo desenvolve-se melhor em solos bem drenados, ricos em húmus e com um pH variando entre 6,0 e 6,5. O lúpulo é uma planta trepadeira que pode chegar a uma altura de aproximadamente 4-6 metros e precisa de uma área aproximada em 8 m² por planta, para se desenvolver.

Para a cultura do lúpulo é recomendável que a preparação do solo seja feita após a realização de uma análise de solo. De maneira geral, indica-se uma adubação orgânica, com fonte de fácil acesso nas proximidades da plantação, bem como esterco bem curtidos e compostagem (Lahnel e Fagherazzi, 2019; Spósito *et al.*, 2019).

Segundo Sousa (2005), a distribuição do lúpulo (Figura 1) está, essencialmente, atrelada ao clima e às características edafoclimáticas necessárias para o seu desenvolvimento, destacando-se a profundidade, a constituição do solo e um número alto de horas de sol e altas temperaturas no verão. Ainda de acordo com o autor, para que a floração ocorra, são necessários pelo menos 120 dias de calor com fotoperíodo diário de aproximadamente 15 horas.



Figura 1: Faixa de distribuição dos 15 principais países produtores de lúpulo em 2020 (Beer Maverick, 2020).

Os melhores rendimentos de lúpulo são alcançados quando há boa precipitação; em seu ciclo, a demanda anual por água fica entre 500 e 600 mm e *déficits* menores de 300 mm causam sérios prejuízos à produtividade da cultura. É de grande importância que o provimento de água, seja ele por meio de chuva ou por irrigação, seja bem distribuído, não ultrapassando as necessidades da planta e que esteja apropriado à capacidade de absorção do solo sobre o qual a cultura que se desenvolve oferece. Esse é um dos motivos pelos quais o trabalho em relação ao lúpulo precisa ser intenso, visto que se trata de um fator fundamental que demanda dosagens adequadas conforme as fases do ciclo anual dessas plantas (Dagostim, 2019; Bizotto, 2019).

Com temperaturas variando entre 21 e 39°C, as plantas de lúpulo atingem a assimilação máxima de carbono quando há água suficiente. Temperaturas acima de 41°C provocam a redução da assimilação de carbono, o que pode influenciar na floração, visto que o clima excepcionalmente quente pode acarretar um crescimento excessivo dos ramos que, por sua vez, poderão enfraquecer o desenvolvimento das primeiras flores, enfraquecendo a sua produção (Dagostim, 2019; Gonsaga, 2021).

O lúpulo é uma planta exigente com relação à luz; a intensidade e tempo de exposição são aspectos significativos para o desenvolvimento das plantas, e esses aspectos devem ser considerados na localização do plantio da cultura. Por ser uma planta sensível à falta de luz, a duração do dia pode afetar o lúpulo de diversas formas, todavia, a mais importante é a sua resposta ao início da floração, uma vez que a baixa luminosidade nesse período pode resultar em uma menor quantidade de flores (Fagherazzi, 2020; Dagostim, 2019).

Lúpulos de qualidade normalmente demandam de 1800 a 2000 horas de radiação solar durante o ano, das quais 1300 a 1500 horas precisam ocorrer no período vegetativo, pois a planta precisa de mais energia para que a biomassa seja formada. O Brasil não possui uma localização geográfica em que a incidência solar atinja o período que a planta necessita (aproximadamente 15 horas). Sendo assim, também é uma variável que precisa ser controlada, além das altas temperaturas (Arruda *et al.*, 2019; Fagherazzi, 2020).

Em regiões propícias aos ventos fortes, é importante que esse seja controlado de forma que chegue na planta como as quebras de vento realizadas naturalmente pelas árvores, haja vista que o vento pode causar danos às folhas e aos cones da planta (Arruda *et al.*, 2019).

Estudos com a cultura do lúpulo vêm apresentando crescimento no Brasil, originando uma variedade adaptada ao clima brasileiro, a 'Mantiqueira', desenvolvida e lançada pelo viveiro Frutopia localizado no município de São Bento do Sapucaí, interior do estado de São Paulo. Apesar dos avanços que o país vem mostrando em relação às áreas de plantio e à introdução de novas variedades, quase todo o lúpulo utilizado pela indústria cervejeira brasileira é importado, principalmente dos Estados Unidos e da Alemanha (Spósito *et al.*, 2019).

Pelo fato de o lúpulo ter sua origem em regiões de clima temperado, praticamente todo o conhecimento e manejo da cultura estudado e aplicado na atualidade têm como base pesquisas desenvolvidas em regiões com clima similar ao seu centro de origem, sendo escassos as pesquisas com essa cultura em regiões de clima subtropical ou tropical (Spósito *et al.*, 2019). O campo para desenvolvimento de estudos nessa área é vasto e de grande importância para que no Brasil haja novas áreas de plantio de lúpulo, buscando cultivares adaptadas ao clima tropical que apresentem boa produtividade e qualidade.

3.4 Características das Variedades Utilizadas

3.4.1 Saaz

A Saaz é uma das poucas cultivares tradicionais de lúpulo europeu e ainda que sua ancestralidade seja desconhecida, existem indícios de que esteja relacionada às cultivares *Hersbrucker* e *Spalter*. A Saaz é uma das variedades mais populares e replicadas no mundo por seu altamente valorizado aroma clássico de

ervas, terra e especiarias. Além disso, é uma das quatro variedades de lúpulo consideradas como nobres e acredita-se que tenha sido a cultivar básica para os cervejeiros há mais de 700 anos (Alberts, 2020; Sasso, 2021; Spósito *et al.*, 2019).

A Saaz apresenta uma concentração de baixo teor de alfa-ácidos, variando de 3 a 4%, sendo 23 a 28% de cohumulona (um dos alfa-ácidos responsáveis por conferir amargor à cerveja), e beta-ácidos em um nível de 4 a 7%. O teor de óleos essenciais também é baixo, apresentando apenas de 0,4 a 0,8 mL/100g (Alberts, 2020; Sasso, 2021; Spósito *et al.*, 2019; Durello *et al.*, 2019).

O cultivo da Saaz é realizado no mundo todo, especialmente na Nova Zelândia, onde foi utilizada no melhoramento para novas variedades como a *Motueka* e *Riwaka*. Possui um potencial de produtividade de 800 a 1200 kg ha⁻¹ e apresenta suscetibilidade moderada ao míldio e oídio (Spósito *et al.*, 2019; Sasso, 2021).

3.4.2 Cascade

O lúpulo Cascade tem sua origem nos Estados Unidos e foi obtido por polinização aberta entre as variedades 'Fuglle' e 'Serebrianka'. Lançada em 1972, foi a primeira variedade de lúpulo comercial desenvolvida pelo programa de melhoramento do Serviço de Pesquisa Agrícola do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA-ARS). Devido às suas características aromáticas, é uma das variedades mais populares entre os cervejeiros por suas notas cítricas, frutadas, florais e de especiarias (Marchesan, 2020; Spósito *et al.*, 2019).

Nos Estados Unidos, a Cascade possui uma representatividade de 10% de todo o lúpulo produzido no país, sendo a variedade mais popular na fabricação de cervejas artesanais americanas. Possui um potencial produtivo de 2017 a 2465 kg ha⁻¹ e resistência ao míldio. Os cones produzidos pela Cascade apresentam de 4,5 a 7% de alfa-ácidos, classe de moléculas insolúveis em água, sendo 33 a 40% de cohumulona, 4,5 a 7% de beta-ácidos, outra classe de moléculas insolúveis em água, e 0,8 a 1,5 mL de óleos essenciais/100g (Spósito *et al.*, 2019; Guimarães, 2021).

3.4.3 Chinook

Lançada em 1985, a variedade Chinook tem sua origem nos Estados Unidos e recebeu o nome de uma tribo de indígenas nativos americanos oriundos de uma região próxima à Washington. Foi desenvolvida através do cruzamento entre a variedade '*Petham Golding*' e uma planta masculina do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) com alto teor de alfa-ácidos. Seu potencial produtivo gira em torno de 2000 a 2400 kg ha⁻¹ e é moderadamente resistente ao míldio (Sasso, 2021; Spósito *et al.*, 2019).

A concentração de alfa-ácidos presente na variedade varia entre 12 a 14%, sendo 29 a 34% de cohumulona, 3 a 4% de beta-ácidos e 1,5 a 2,5 mL de óleos essenciais/100g. Apesar de ter sido desenvolvida e lançada como uma cultivar de alta quantidade de alfa-ácidos, a Chinook mostra um equilíbrio de aromas fazendo com que seu uso seja frequente em *dry hopping* (adição de lúpulo ao mosto em qualquer tempo posterior ao resfriamento) com resultados de aromas defumados (Spósito *et al.*, 2019; Sasso, 2021).

3.5 Propagação Vegetativa do Lúpulo

Para que se possa iniciar um cultivo de lúpulo, primeiramente é necessário que se obtenha as mudas. Estas podem vir de diferentes partes da planta e através da propagação vegetativa ou via seminal (Lahnel e Fagherazzi, 2019). A propagação clonal ou vegetativa, de acordo com Freitas (2012), traduz-se na produção de novos indivíduos, a partir de uma planta doadora, utilizando-se, para isso, propágulos vegetativos, como caules, folhas e raízes. Além de multiplicar o número de plantas, a propagação vegetativa tem também como propósito, assegurar a manutenção das características agronômicas fundamentais das cultivares (Fachinello *et al.*, 2005).

A produção de mudas via seminal não se mostra como uma alternativa viável para o lúpulo cervejeiro, haja vista que as plantas masculinas não são capazes de produzir cones, que é a parte da planta em que essa indústria tem interesse. Já na propagação vegetativa, fazendo uso de propágulos enraizados, é possível conservar as características morfológicas da planta mãe, gerar plantas uniformes,

abreviar a fase juvenil da planta e acelerar a produção de cones (Guerreiro e Reis, 2019).

Como anteriormente mencionado, apenas as plantas femininas são desejáveis pela indústria cervejeira, principal mercado consumidor de lúpulo, de maneira que as sementes são desfavoráveis e indesejáveis e somente indivíduos femininos são cultivados em campos de lúpulo, impedindo assim a polinização (Arruda *et al.*, 2019).

Quanto às mudas obtidas a partir da germinação de sementes, essas se mostram como uma opção pouco viável para o produtor rural; sendo destinadas ao melhoramento genético, uma vez que plantas originadas de sementes serão organismos geneticamente distintos da planta mãe, podendo inclusive ser macho ou fêmea, característica essa que só poderá ser notada no segundo ano da planta, haja vista que as plantas provenientes de sementes demoram até dois anos para florir. Dessa maneira, o produtor pode perder muito tempo e dinheiro, visto que, além de tudo, as flores fêmeas oriundas desta nova variedade, podem desenvolver aromas muito bons assim como aromas não adequados (Lahnel e Fagherazzi, 2019).

As mudas podem ser produzidas utilizando diversas técnicas. As provenientes de rizomas são retiradas de uma planta já adulta, com pelo menos três anos de idade, provenientes de uma parte do sistema rizomatoso, que são as raízes que ficam na parte superior do solo e que são responsáveis na natureza por alastrar a planta de lúpulo pelo entorno (Lahnel e Fagherazzi, 2019).

Essas mudas apresentam maior vigor e grande tolerância ao estresse, uma vez que já possuem uma reserva energética maior dentro do rizoma, de maneira que podem ser colhidas e replantadas no mesmo dia direto da lavoura. Em contrapartida, são mudas difíceis de serem retiradas da planta matriz e que não podem ser coletadas em grande número, haja vista que a planta matriz poderá sofrer com as lesões ocasionadas pelos cortes e se tornar vulnerável à entrada de fungos fitopatogênicos (Lahnel e Fagherazzi, 2019).

Na produção de mudas provenientes de estaquia e miniestaquia, utilizam-se propágulos vegetativos de tamanho variável, contendo um ou mais pares de folhas seccionadas na transversal, a cerca de um terço de seu comprimento. Os propágulos vegetativos retirados de ramos podem ser apicais, intermediários ou

basais, dependendo da posição de coleta no ramo (Pizzato *et al.*, 2011; Freitas, 2012).

O tamanho das estacas tem correlação com seu estado nutricional e espécie, sendo a quantidade de reservas e o número de gemas variáveis de acordo com o comprimento usado. Estacas lenhosas podem ter comprimento médio entre 20 a 30 cm; estacas semilenhosas, de 7,5 a 15 cm e estacas herbáceas podem ser ainda menores que essas (Pizzato *et al.*, 2011; Fachinello *et al.*, 1995).

Geralmente, estacas com maior comprimento são capazes de apresentar um teor mais elevado de carboidratos e de auxinas endógenas. Todavia, esse teor pode sofrer variação conforme a época do ano: em ramos de crescimento ativo (primavera e verão), o teor é mais baixo; em ramos mais maduros e lignificados (outono e inverno) o teor de carboidratos tende a ser mais alto. Em suma, a determinação do comprimento adequado da estaca pode ser feita baseando-se na facilidade de enraizamento da espécie, no padrão de muda pretendida e, ainda, de acordo com a infraestrutura física, técnica, pessoal e orçamentária (Pizzato *et al.*, 2011; Fachinello *et al.*, 2005; Pimentel, 2020).

Estacas de consistência herbácea, como as do lúpulo, devem ser mantidas sob nebulização a fim de que a umidade do substrato seja mantida e, também, para auxiliar no processo da fotossíntese da folha remanescente, imprescindível para a obtenção de energia para o enraizamento (Spósito *et al.*, 2019). Ademais, a nebulização auxilia ainda na redução da temperatura do ar bem como da taxa de transpiração ao manter uma película de água sobre as estacas (Gomes *et al.*, 2018).

Em relação ao local de retirada dos propágulos vegetativos, como a formação química do tecido pode variar ao longo do ramo, estacas provenientes de diferentes dos seus segmentos têm tendência a apresentarem diferenças quanto ao enraizamento. A posição do ramo, cujo a miniestaca será retirada, será capaz de exercer influência na qualidade da muda, na sobrevivência e no percentual de enraizamento. Miniestacas herbáceas, desenvolvidas em áreas mais juvenis das plantas, têm maior capacidade para a produção de raízes. Todavia, a capacidade de enraizamento de estacas apicais, intermediárias e basais não são uma constante nos processos de propagação vegetativa, podendo variar entre as espécies e a técnica utilizada (Lima *et al.*, 2007; Castro, 2011; Freitas, 2012).

A micropropagação é uma técnica em que pequenas partes ou células isoladas da planta são usadas, sendo o cultivo feito de forma controlada, ou seja, oferecendo a esses tecidos ou células, os componentes encarregados pelo controle do crescimento e desenvolvimento vegetal (Fachinello *et al.*, 2005).

A micropropagação tem grande importância dado o seu significativo papel na obtenção de clones de plantas em nível comercial e na conservação de espécies; é fundamental para o melhoramento genético, além de possibilitar a interatividade de fatores bióticos e abióticos, podendo trazer como resultado plantas vigorosas e saudáveis (Souza, 2020).

O ponto mais considerável da micropropagação está diretamente no grau de controle passível de ser empreendido sobre quase todos os estágios de desenvolvimento, da implantação até a multiplicação e enraizamento da planta. Todavia, todo esse processo precisa ser realizado em laboratório específico, o que pode ser, por consequência, um alto custo para a produção de mudas. Dessa forma, a micropropagação torna-se mais onerosa quando comparadas às outras técnicas de propagação (Fachinello *et al.*, 2005; Lahnel e Fagherazzi, 2019).

Por fim, mudas de lúpulo, independente do processo propagativo utilizado para obtê-las, apresentam um alto custo (entre 60 a 80 reais a unidade) e são pouquíssimos os fornecedores certificados destas no Brasil. Além disso, possivelmente são insuficientes para atender à crescente demanda da planta no país, uma vez que para a implantação de um hectare de lúpulo são necessárias cerca de 2200 plantas (Souza, 2020; Souza *et al.*, 2022).

3.6 Uso de Reguladores na Propagação Vegetativa

A adoção do uso de reguladores vegetais é uma das maneiras de auxiliar o sucesso da propagação vegetativa. Dentre os fitormônios que podem causar efeito na formação de raízes em estacas, as auxinas ganham destaque por seu desempenho na formação de raízes adventícias, no estímulo das células do câmbio e na efetivação do desenvolvimento das plantas, além de induzirem a inibição das gemas laterais e a abscisão de folhas e frutos, fatores relacionados diretamente ao aumento da produtividade (Smarsi *et al.*, 2008; Fachinello *et al.*, 2005; Binsfeld *et al.*, 2019).

É importante que haja equilíbrio entre os diversos fitormônios para o sucesso do enraizamento de estacas, especialmente entre as auxinas, giberelinas e

citocinas. Uma das maneiras mais habituais de contribuir no balanço hormonal, para o enraizamento, é a aplicação exógena de fitorreguladores sintéticos como o AIB, o ANA (Ácido Naftaleno-acético) e o AIA (Ácido Indolacético), que aumentam o teor de auxinas no tecido (Fachinello *et al.*, 2005).

Na estaquia, a auxina é produzida endogenamente nas regiões de crescimento, como ápices caulinares, gemas e folhas, entretanto, fatores como condição fisiológica e genética da estaca, assim como a época do ano de propagação, podem influenciar na abundância, escassez ou até mesmo na ausência dessa substância indutora da formação de raízes (Crippa, 2020).

Um acréscimo na concentração de auxina exógena aplicada em estacas, pode gerar um efeito estimulador de raízes. Quando a auxina é aplicada, há um crescimento de sua concentração na base da estaca e, caso as demais demandas fisiológicas sejam satisfeitas, há o desenvolvimento do calo, decorrente da ativação das células do câmbio e das raízes adventícias (Fachinello *et al.*, 2005).

O ácido indolbutírico (AIB), regulador vegetal, é a auxina mais comumente utilizada por, comprovadamente, estimular a iniciação radicular promovendo o crescimento do percentual de estacas enraizadas e a homogeneidade do enraizamento, atributos que permitem a diminuição do tempo de permanência das estacas na fase de produção de mudas. Ademais, trata-se de uma substância fotoestável, de ação localizada e com menor sensibilidade à degradação biológica, quando comparado às demais auxinas sintéticas (Smarsi *et al.*, 2008; Binsfeld *et al.*, 2019; Taiz *et al.*, 2017).

Todavia, para o produtor de mudas de lúpulo ou de outras espécies de plantas, o uso do AIB apresenta um custo elevado e seu acesso pode ser dificultado, principalmente em locais afastados dos grandes centros (Binsfeld *et al.*, 2019). Finalmente, os resultados de aplicações de reguladores de crescimento e enraizamento podem variar entre as espécies. É importante o desenvolvimento de testes que apontem o comportamento da espécie na propagação vegetativa com o uso de fitorreguladores, especialmente quando a disponibilidade de informações é escassa (Castro, 2011), como no caso do lúpulo.

4. METODOLOGIA

Foram conduzidos dois experimentos, em ambiente protegido na Unidade de Apoio à Pesquisa (UAP), da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), localizada no município de Campos dos Goytacazes – Rio de Janeiro, latitude sul 21°45'42" e longitude oeste 41°17'12".

No decorrer dos experimentos foi realizado o monitoramento da temperatura e umidade relativa do ar em casa de vegetação, utilizando-se *data Logger* modelo RHT10 da *Extech Instruments*, com programação de leitura a cada uma hora.

4.1 Experimento 1: Produção inicial de mudas de três variedades de lúpulo por miniestaquia com uso de AIB

O experimento foi realizado em agosto de 2021 e conduzido em Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) em esquema fatorial 3x2x2 com cinco repetições. Os fatores avaliados foram três variedades (V) de lúpulo, doadas pelo produtor Waldinei Souza da Silva, (V1 - Chinook, V2- Saaz e V3 - Cascade), dois tipos de miniestacas herbáceas (basal e intermediária) e duas concentrações (0 e 6.000 ppm) do hormônio químico AIB (ácido indolbutírico). Cada parcela dos tratamentos (variedade x tipo de estaca x concentração) foi composta por dez miniestacas, totalizando 600 miniestacas para a realização deste experimento.

As miniestacas utilizadas no experimento foram obtidas em um minijardim clonal estabelecido em março de 2021 em casa de vegetação na Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, onde foram coletados ramos para a confecção de miniestacas basais e intermediárias. O minijardim foi composto de 24 plantas alocadas em vasos individuais de 10 L, os quais foram preenchidos com mistura de composto orgânico GR® e substrato comercial Basaplant®, na proporção de 2:1 (v/v). As matrizes ficaram sob irrigação diária com cinco intervalos de cinco minutos, utilizando aspersores com vazão de $0,4 \text{ mm min}^{-1}$.

Foram retiradas miniestacas basais e intermediárias de ramos jovens do matrizeiro. Foi considerada miniestaca basal, aquela retirada a partir do colo da planta até um (1) metro de altura; intermediária, aquela retirada a partir de um (1) até dois (2) metros de altura; e o ápice foi considerado a partir de dois (2) até três (3) metros de altura. As miniestacas foram preparadas com cinco (5) cm de comprimento, sendo mantida uma folha em cada lado, com redução de 50% de sua área foliar, a fim de prevenir o efeito “guarda-chuva”.

Para a retirada dos ramos e preparo das miniestacas, foi utilizada uma tesoura de poda, sendo feito um corte acima do par de folhas e outro corte cinco centímetros abaixo do par de folhas – descrita por Spósito *et al.* (2019) como a região onde não há presença de gemas axilares.

Logo após seu preparo, as miniestacas submetidas aos tratamentos com AIB tiveram sua base impregnada ao talco na concentração de 6.000 ppm do hormônio; nos tratamentos sem AIB (0 ppm), as miniestacas tiveram sua base imersa em água deionizada. Em seguida, foram estaqueadas em tubetes de polipropileno com capacidade de 120 cm^3 contendo substrato comercial Basaplant®.

Na sequência, as miniestacas foram encaminhadas para setor de enraizamento em câmara de nebulização (Figura 2) mantidas sob nebulização de 15 segundos, a cada 20 minutos, para o controle da umidade, durante 30 dias.



Figura 2: Estaqueamento de três variedades de lúpulo no setor de nebulização.

Após este período, foi avaliado o percentual de sobrevivência das miniestacas por meio da contagem dos propágulos vivos e mortos. Foram consideradas miniestacas vivas aquelas que apresentaram no momento da avaliação folhas e/ou caule com coloração verde. Miniestacas com coloração escura e/ou com presença de sinais de apodrecimento foram consideradas mortas. Com relação ao sistema radicular, foi avaliado o percentual de enraizamento, por meio da contagem de miniestacas enraizadas, e para a obtenção dos parâmetros comprimento total de raiz (cm), diâmetro de raiz (mm), área superficial (cm²) e volume de raiz (cm³), o *Software* WinRHIZO™ (Figura 3) foi utilizado, onde as raízes foram escaneadas após terem sido destacadas das miniestacas e cuidadosamente lavadas em água corrente para a eliminação do substrato aderido.

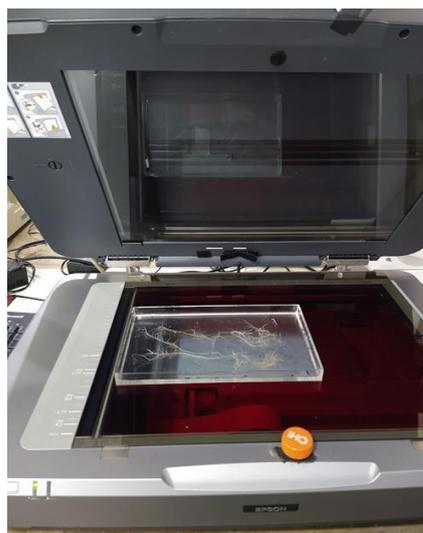


Figura 3: *Software* WinRHIZO™ utilizado nas análises das raízes de lúpulo.

Feito isso, as raízes foram acondicionadas em sacos de papel e postas para secar em estufa de circulação forçada de ar com temperatura de 65°C durante 72 horas sendo, então, pesadas para a determinação da massa seca de raiz (MSR),

em balança analítica modelo Gehaka AG 200, com pesagem máxima de 210g e pesagem mínima de 0,0020g.

Folhas e o caule também foram acondicionados em sacos de papel e colocados em estufa com circulação de ar forçada a 65°C durante 72 horas para posterior determinação da massa seca da parte aérea (MSPA), utilizando a mesma balança analítica.

Os dados foram inicialmente submetidos à análise de normalidade de resíduos pelo teste de Shapiro-Wilk e a análise de homogeneidade de variâncias pelo teste de Onneil e Mathews. Atendidos estes dois pressupostos, foi então conduzida a análise de variância considerando o modelo estatístico para o delineamento inteiramente casualizado em arranjo fatorial triplo (3x2x2). Quando identificada a existência de diferenças significativas entre os tratamentos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. As análises foram conduzidas com auxílio do *Software R* (R CORE TEAM, 2017), a partir das funções disponíveis no pacote “ExpDes.pt” (Ferreira *et al.*, 2021).

4.2 Experimento 2: Tempo de permanência de miniestacas de lúpulo (variedade Saaz) em câmara de nebulização

O segundo experimento foi realizado em dezembro de 2021 e conduzido em Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) com miniestacas (intermediárias) da variedade Saaz, utilizando-se cinco tempos de permanência das miniestacas em câmara de nebulização (10, 15, 20, 25 e 30 dias), com cinco (5) repetições de oito (8) plantas.

As miniestacas utilizadas no experimento foram obtidas em um minijardim estabelecido em março de 2021, onde foram coletados ramos para a confecção de miniestacas intermediárias. O minijardim foi composto de 24 plantas alocadas em vasos individuais de 10 L, os quais foram preenchidos com mistura de composto orgânico GR® e substrato comercial Basaplant®, na proporção de 2:1 (v/v). As matrizes ficaram sob irrigação diária com cinco intervalos de cinco minutos, utilizando aspersores com uma vazão de 0,4 mm/min.

Após observação visual de sintomas de deficiência nutricional no matrizeiro, foi realizada a partir de outubro adubações quinzenais usando 1g de cloreto de

potássio (KCl) e 1g de ureia para sanar a deficiência e promover um melhor desenvolvimento da planta de acordo com Spósito *et al.* (2019).

As miniestacas foram preparadas com cinco (5) centímetros, sendo mantido um par de folhas, com redução de 50% de sua área foliar. Foram estaqueadas em tubetes de polipropileno com capacidade de 120 cm³ contendo substrato comercial Basaplant®.

Em seguida, as miniestacas foram encaminhadas para setor de enraizamento em câmara de nebulização (Figura 4), mantidas sob nebulização intermitente de 15 segundos, a cada 20 minutos para o controle da umidade durante os dias de permanência (10, 15, 20, 25 e 30 dias). Após este período, foi avaliado o percentual de sobrevivência das miniestacas por meio da contagem dos propágulos vivos e mortos. Foram consideradas miniestacas vivas aquelas que apresentaram, no momento da avaliação, folhas e/ou caule com coloração verde. Miniestacas com coloração escura e/ou com presença de sinais de apodrecimento foram consideradas mortas.



Figura 4: Miniestacas de lúpulo da variedade Saaz após serem estaqueadas e já acondicionadas no setor de nebulização.

Em relação ao sistema radicular, foi avaliado o percentual de enraizamento, por meio da contagem de miniestacas enraizadas, e para a obtenção dos parâmetros comprimento total de raiz (cm), diâmetro de raiz (mm), área superficial (cm²) e volume de raiz (cm³), o *Software* WhiRHIZO™ (Figura 3) foi utilizado, onde as raízes foram escaneadas após terem sido destacadas das miniestacas e cuidadosamente lavadas em água corrente para a eliminação do substrato aderido às raízes, folhas e caules foram acondicionadas em sacos de papel e postas para

secar em estufa de circulação forçada de ar com temperatura de 65°C durante 72 horas, sendo então, pesadas para a determinação da massa seca de raiz (MSR) e da massa seca da parte aérea (MSPA), em balança analítica modelo Gehaka AG 200, com pesagem máxima de 210g e pesagem mínima de 0,0020g.

Os dados foram inicialmente submetidos à análise de normalidade de resíduos pelo teste de Shapiro-Wilk e à análise de homogeneidade de variâncias pelo teste de Onneil e Mathews. Atendidos estes dois pressupostos, foi então conduzida a análise de variância, considerando o modelo estatístico para o delineamento inteiramente casualizado. Quando identificada a existência de diferenças significativas entre os tratamentos, foram testados os modelos de regressão linear do primeiro e segundo grau para cada variável. As análises foram conduzidas com auxílio do *Software R* (R CORE TEAM, 2017), a partir das funções disponíveis no pacote “ExpDes.pt” (Ferreira *et al.*, 2021).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O monitoramento da temperatura e umidade relativa do ar, realizado na casa de vegetação em que os experimentos foram instalados, revelou que durante o Experimento 1, realizado no mês de agosto de 2021, a média de umidade relativa obtida foi de 96,36% e a média de temperatura de 22,29°C. Já no Experimento 2, realizado no mês de dezembro do respectivo ano, a média de umidade relativa obtida foi de 84,18% e a média de temperatura foi de 29,18°C.

5.1 Resultados do Experimento 1

A análise do primeiro experimento apontou que não existiu diferença entre os tratamentos com e sem o uso de AIB (Apêndice 1). Dessa forma, as comparações foram realizadas dentro de cada grupo apenas entre as cultivares e entre os tipos de estaca.

Quanto à variável sobrevivência (SOB) (Tabela 2), houve diferença significativa apenas para os tratamentos sem AIB com miniestacas basais e intermediárias da variedade Saaz, pois o não uso do hormônio causou redução na sobrevivência destas miniestacas (84% e 80% de sobrevivência, respectivamente). Lone *et al.* (2010) observaram que o AIB ganha destaque entre as auxinas sintéticas de uso geral por não apresentar efeito tóxico para a maioria das plantas, ainda que aplicado em doses altas, corroborando os dados obtidos neste estudo.

Tabela 2 – Sobrevivência (SOB) de miniestacas basais e intermediárias de três variedades de lúpulo no Experimento 1

Variedade	SOB (%)			
	Basal		Intermediária	
	Com AIB	Sem AIB	Com AIB	Sem AIB
CASCADE	90,00 Aa	98,00 Aa	96,00 Aa	100,00 Aa
CHINOOK	96,00 Aa	100,00 Aa	96,00 Aa	98,00 Aa
SAAZ	96,00 Aa	84,00 Ba	96,00 Aa	80,00 Ba

A linha vertical indica os grupos desdobrados. Letras maiúsculas iguais na linha e letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si a $p < 5\%$.

Em seu trabalho de produção de mudas de lúpulo via estaquia com concentrações mais baixas de AIB (500 e 1.500 ppm) que as utilizadas nesse presente estudo (6.000 ppm), Paulus *et al.* (2020) também observaram bons índices de sobrevivência (100%). O que mostra que o AIB não exerceu efeito tóxico que causasse a morte de miniestacas do lúpulo em altas e baixas doses do hormônio. Por outro lado, outros fatores como permanência prolongada na câmara de nebulização e/ou excesso de umidade (Lone *et al.*, 2010) podem ter influenciado na morte dessas miniestacas da variedade Saaz.

Para o índice de enraizamento (ENR) não foi encontrada diferença significativa para os tratamentos com e sem AIB, nos dois tipos de miniestacas das três variedades de lúpulo (Tabela 3). Os altos níveis de sobrevivência e enraizamento podem estar relacionados à juvenilidade do material propagativo empregado (Fagherazzi *et al.*, 2018).

Tabela 3 – Enraizamento (ENR) de miniestacas basais e intermediárias de três variedades de lúpulo no Experimento 1

Variedade	ENR (%)			
	Basal		Intermediária	
	Com AIB	Sem AIB	Com AIB	Sem AIB
CASCADE	100,00 Aa	97,78 Aa	96,00 Aa	94,00 Aa
CHINOOK	100,00 Aa	100,00 Aa	97,78 Aa	94,00 Aa
SAAZ	100,00 Aa	100,00 Aa	100,00 Aa	100,00 Aa

A linha vertical indica os grupos desdobrados. Letras maiúsculas iguais na linha e letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si a $p < 5\%$.

Resultados semelhantes a esse foram encontrados por Paulus *et al.* (2020) que em sua pesquisa com estacas de lúpulo e diferentes concentrações de AIB (0, 500 e 1.500 ppm) obtiveram 100% de enraizamento para todos os tratamentos avaliados. Já o estudo de Fagherazzi *et al.* (2018), com diferentes tipos de

substratos e sem uso de AIB, revelou as melhores taxas de enraizamento de estacas de lúpulo quando foi utilizado o substrato com maior capacidade de retenção de água, no caso a turfa, mas também com suficiente porosidade, utilizando a casca de arroz para que houvesse boa drenagem.

Fachinello *et al.* (2005) acreditam que algumas espécies enraízam melhor no início da primavera até o início do outono, período em que esse estudo foi realizado. Todavia, Gonsaga (2021), em seu estudo, evidenciou que o mito de que o lúpulo necessitava de passar pelo processo de vernalização foi derrubado, com a espécie podendo se desenvolver em qualquer época do ano em lugares antes tidos como improváveis. Sendo assim, é importante que se realizem pesquisas visando a avaliação do enraizamento de miniestacas de lúpulo no período de inverno nas condições climáticas de Campos dos Goytacazes.

Ademais, dentre os fatores que podem influenciar o enraizamento adventício de estacas caulinares, a presença de folhas é um dos mais básicos, uma vez que provoca o efeito promotor no início da formação e desenvolvimento das raízes. Em plantas de lúpulo, o sucesso no enraizamento de estacas folhosas está possivelmente relacionado à capacidade de acumular carboidratos durante o período de enraizamento por meio da fotossíntese (Gomes *et al.*, 2018).

Em relação à massa seca da parte aérea (MSPA), forte indicador do vigor da muda (Lima *et al.*, 2006), dos tratamentos com uso de AIB, não houve diferença estatística entre os tipos de miniestacas. Entretanto, foi possível notar diferença entre as variedades. A variedade Saaz apresentou maior MSPA quando comparada à variedade Cascade, todavia, esta última não diferiu da variedade Chinook (Tabela 4).

Tabela 4 – Massa seca da parte aérea (MSPA) de miniestacas basais e intermediárias de três variedades de lúpulo no Experimento 1

Variedade	MSPA (g)			
	Com AIB		Sem AIB	
	Basal	Intermed.	Basal	Intermed.
CASCADE	0,14 Ab	0,12 Ab	0,16 Ab	0,23 Ab
CHINOOK	0,22 Aab	0,24 Aab	0,18 Ab	0,27 Ab
SAAZ	0,30 Aa	0,33 Aa	0,35 Aa	0,38 Aa

A linha vertical indica os grupos desdobrados. Letras maiúsculas iguais na linha e letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si a $p < 5\%$.

Resultado semelhante foi observado para as miniestacas dos tratamentos sem uso de AIB (Tabela 4), contudo, a variedade Saaz apresentou maior MSPA em relação às outras variedades.

Ferreira *et al.* (2009), bem como Paulus *et al.* (2016), acreditam que doses elevadas de AIB podem provocar o amarelecimento e queda das folhas, prejudicando o desenvolvimento da estaca e, por consequência, gerar uma menor MSPA. Já em estacas de lúpulo com 5 cm de comprimento tratadas com concentrações mais baixas de AIB (500 e 1.500 ppm), Paulus *et al.* (2020) não observaram diferença significativa na MSPA quando comparadas às que não receberam tratamento com AIB.

Diante disso, a dose de AIB utilizada pode ter prejudicado o desenvolvimento da parte aérea das três variedades e dos dois tipos de miniestacas de lúpulo utilizadas neste presente estudo. Gomes *et al.* (2018) ressaltam a importância na parte aérea em estacas de lúpulo, uma vez que esta garante enraizamento e brotação, que por sua vez, resulta em maior massa fresca e, por consequência, maior massa, em função dos fotoassimilados produzidos nas folhas.

Os dados da massa seca da raiz (MSR), que contribuem para a qualificação do vigor da muda (Lima *et al.*, 2006), mostraram que para os tratamentos com uso de AIB não houve diferença estatística entre os tipos de miniestacas e entre as variedades. Contudo, para os tratamentos sem uso do hormônio foi observada diferença significativa entre os tipos de miniestacas, com destaque para as intermediárias que apresentaram maior MSR nas três variedades (Tabela 5).

Tabela 5: Massa seca da raiz (MSR) de miniestacas basais e intermediárias de três variedades de lúpulo no Experimento 1

Variedade	MSR (g)			
	Com AIB		Sem AIB	
	Basal	Intermed.	Basal	Intermed.
CASCADE	0,03 Aa	0,03 Aa	0,04 Ba	0,05 Aa
CHINOOK	0,04 Aa	0,05 Aa	0,03 Ba	0,06 Aa
SAAZ	0,04 Aa	0,05 Aa	0,05 Ba	0,06 Aa

A linha vertical indica os grupos desdobrados. Letras maiúsculas iguais na linha e letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si a $p < 5\%$.

Tal resultado de ausência de significância pode ser, ao que tudo indica, justificado pela presença de auxinas endógenas nas miniestacas em níveis satisfatórios para que haja formação de raízes (Souza *et al.*, 2015). Assim, é possível inferir que o uso do AIB não influenciou positivamente como esperado no

desenvolvimento do sistema radicular das miniestacas das três variedades de lúpulo.

Os resultados encontrados neste estudo são semelhantes aos resultados encontrados por Paulus *et al.* (2020), que ao avaliarem a MSR de estacas de lúpulo com 5 cm de comprimento sob diferentes dosagens de AIB (0, 500, 1.500 ppm), não encontraram diferenças significativas que justificassem o uso deste hormônio para tais estacas. Evidenciando, mais uma vez, que dosagens mais altas e mais baixas de AIB não causaram efeito significativo para estacas de lúpulo de 5 cm de comprimento.

Resultados análogos a esses foram verificados por Nunes *et al.* (2016) ao analisarem o enraizamento de estacas herbáceas de lavanda (*Lavandula dentata*) sob diferentes concentrações de AIB. Os autores não observaram diferenças significativas do hormônio para a MSR e, também, para outras variáveis analisadas (número de estacas brotadas e enraizadas, porcentagem de estacas brotadas e enraizadas, massa verde da parte aérea, massa verde da parte radicular, massa seca da parte aérea e comprimento de raiz), recomendando a dispensa do uso de AIB para o enraizamento desta espécie.

Souza *et al.* (2015), ao pesquisarem sobre os efeitos do uso de diferentes concentrações de AIB (0, 1.000, 3.000 e 5.000 ppm) em diferentes tipos de estacas (basal, intermediária e apical) de hibisco (*Hibiscus rosa-sinensis* L. (cv. Snow Queen)), notaram também que não houve diferença significativa da interação entre os diferentes tipos de estacas e concentrações de AIB para a MSR e para as outras variáveis analisadas (SOB; ENR, número de brotos por estaca, número de folhas e comprimento médio da raiz e MSPA).

Todavia, os autores encontraram efeito significativo entre os tipos de estaca em todas as variáveis avaliadas, com as estacas basais, apresentando os melhores resultados, inclusive para a MSR, devido ao elevado volume de raízes que foram emitidas nesse tipo de estaca (Souza *et al.*, 2015). O conteúdo de carboidratos e de substâncias que promovem e inibem o enraizamento nos tecidos pode apresentar variação ao longo do ramo. Desta forma, estacas utilizadas para experimentação coletadas em diferentes porções do ramo estão propensas a apresentar diferentes potenciais de enraizamento (Fachinello *et al.*, 1995).

Com os dados do comprimento total da raiz (CTR) (Tabela 6), foi possível observar que não houve diferença estatística entre os tipos de miniestacas tratadas

com AIB, no entanto, as variedades Chinook e Saaz apresentaram maior CTR. Já para o tratamento sem uso de AIB, diferença significativa foi encontrada entre os tipos de miniestacas (Tabela 6 e Figura 5), com as intermediárias apresentando maior comprimento, porém não foi observada diferença significativa entre o CTR entre as variedades.

Tabela 6: Comprimento total da raiz (CTR) de miniestacas basais e intermediárias de três variedades de lúpulo no Experimento 1

Variedade	CTR (cm)			
	Com AIB		Sem AIB	
	Basal	Intermed.	Basal	Intermed.
CASCADE	625,58 Ab	602,52 Ab	681,79 Ba	820,30 Aa
CHINOOK	856,62 Aa	1001,45 Aa	794,30 Ba	1216,82 Aa
SAAZ	780,28 Aa	969,59 Aa	841,26 Ba	858,79 Aa

A linha vertical indica os grupos desdobrados. Letras maiúsculas iguais na linha e letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si a $p < 5\%$.



Figura 5: Miniestacas intermediárias de lúpulo da variedade Chinook sem uso de AIB (A) e miniestacas basais de lúpulo da variedade Cascade com uso de AIB (B), ambas aos 30 dias.

Parajara (2015), em seu estudo sobre propagação vegetativa e desenvolvimento de estacas herbáceas de *Maytenus. evonymoides* sob diferentes concentrações de AIB (0, 3.000 e 6.000 ppm) também não encontrou diferença significativa que justificasse o uso do hormônio visando um melhor enraizamento da espécie.

Ao realizarem análises biométricas do sistema radicular de estacas basais de lúpulo da variedade Cascade tratadas com diferentes concentrações de AIB, Paulus *et al.* (2020) observaram que as melhores taxas foram obtidas sob a concentração de 1.500 ppm do hormônio. Já os piores resultados foram observados quando se utilizou a dose zero de hormônio. Resultados que diferem dos encontrados no presente estudo, haja vista as taxas aqui obtidas, pois os melhores

dados biométricos concernentes ao sistema radicular foram encontrados quando da dose zero de AIB.

Quanto à variável área superficial (AS) das raízes, não houve diferença estatística entre os tipos de miniestacas e entre as variedades, nos tratamentos com uso de AIB (Tabela 7). Já para os tratamentos que não tiveram uso de AIB, o resultado foi semelhante ao observado para a variável CTR (Tabela 6 e 7).

Tabela 7: Área superficial (AS) das raízes de miniestacas basais e intermediárias de três variedades de lúpulo no Experimento 1

Variedade	AS (cm ²)			
	Com AIB		Sem AIB	
	Basal	Intermed.	Basal	Intermed.
CASCADE	56,28 Aa	51,75 Aa	61,12 Ba	76,71 Aa
CHINOOK	73,02 Aa	82,16 Aa	65,93 Ba	104,88 Aa
SAAZ	69,95 Aa	78,29 Aa	78,90 Ba	86,03 Aa

A linha vertical indica os grupos desdobrados. Letras maiúsculas iguais na linha e letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si a $p < 5\%$.

Devido à escassez de trabalhos envolvendo variedades de plantas de lúpulo que fizessem análises da variável AS em condições semelhantes às que foram realizadas neste estudo, não foi possível concluir com exatidão as razões que levaram as raízes dos tratamentos com AIB apresentarem uma menor área superficial. Se foi em razão da alta dosagem de AIB ou se foram motivos ambientais ou fisiológicos.

Para a variável diâmetro da raiz (DR), não foi observada diferença significativa entre os tipos de miniestacas. Porém, as variedades Cascade e Saaz apresentaram maior DR quando foram tratadas com AIB, tanto para basal quanto intermediária (Tabela 8). Com relação aos tratamentos sem uso de AIB, a variedade Saaz apresentou maior DR em relação à variedade Chinook, todavia, não diferiu da variedade Cascade.

Tabela 8: Diâmetro da raiz (DR) de miniestacas basais e intermediárias de três variedades de lúpulo no Experimento 1

Variedade	DR (mm)			
	Com AIB		Sem AIB	
	Basal	Intermed.	Basal	Intermed.
CASCADE	0,30 Aa	0,28 Aa	0,29 Aab	0,29 Aab
CHINOOK	0,27 Ab	0,26 Ab	0,26 Ab	0,27 Ab
SAAZ	0,29 Aa	0,30 Aa	0,30 Aa	0,33 Aa

A linha vertical indica os grupos desdobrados. Letras maiúsculas iguais na linha e letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si a $p < 5\%$.

Sem terem feito uso de AIB ou de outro regulador de crescimento, Gomes *et al.* (2018) atribuíram o sucesso para que se possa alcançar boas taxas biométricas em estacas herbáceas de lúpulo da variedade Chinook, à somente o uso de nebulização intermitente no ambiente de enraizamento, pois possibilita um maior vigor do sistema radicular.

Com relação à variável volume da raiz (VR), verifica-se que houve diferença estatística apenas entre os tipos de miniestacas nos tratamentos em que não foi feito uso de AIB, onde as miniestacas intermediárias das três variedades analisadas apresentaram maior VR quando comparadas às miniestacas basais (Tabela 9). Foi possível depreender que, em termos gerais, o uso do AIB não favoreceu o desenvolvimento das raízes das três variedades de lúpulo utilizadas no experimento.

Tabela 9: Volume da raiz (VR) de miniestacas basais e intermediárias de três variedades de lúpulo no Experimento 1

Variedade	VR (cm ³)			
	Com AIB		Sem AIB	
	Basal	Intermed.	Basal	Intermed.
CASCADE	0,41 Aa	0,36 Aa	0,44 Ba	0,50 Aa
CHINOOK	0,50 Aa	0,54 Aa	0,44 Ba	0,73 Aa
SAAZ	0,50 Aa	0,60 Aa	0,60 Ba	0,70 Aa

A linha vertical indica os grupos desdobrados. Letras maiúsculas iguais na linha e letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si a $p < 5\%$.

Variáveis biométricas relacionadas ao sistema radicular são as mais relevantes para a produção de mudas. Para a sobrevivência de mudas procedentes da propagação vegetativa, variáveis como número de raízes, diâmetro e volume da raiz têm mais relevância do que o comprimento das raízes, uma vez que nesse caso, a área de absorção de água e nutrientes se torna bem maior. Ademais, propágulos vegetativos com raízes maiores apresentam maior chance de perda ou danos na transposição de mudas para outros recipientes (Lima *et al.*, 2018).

Assim como Paulus *et al* (2020), que não observaram efeitos significativos no enraizamento de estacas herbáceas de 5 cm de lúpulo da variedade Cascade sob diferentes concentrações de AIB para a maioria das variedades biométricas analisadas, também não se observou no presente estudo diferença significativa na maior parte das variáveis biométricas analisadas que justificassem o uso do AIB.

Uma vez que a adição de AIB nos diferentes tipos de miniestaca e nas suas variedades não apresentou estímulos significativos em um âmbito geral, tais

resultados podem estar ligados aos fatores ambientais, ao tempo de avaliação da produção das mudas, à qualidade da planta matriz ou até mesmo à concentração da dose do fitorregulador utilizado, que pode não ter sido ideal para essa espécie (Pereira *et al.*, 2021).

5.2 Resultados do Experimento 2

Com relação ao enraizamento, a variável apresentou comportamento quadrático (Figura 6 A). Derivando as equações de regressão, pode-se estimar que o número ótimo de dias para atingir o máximo enraizamento das miniestacas intermediárias de lúpulo da variedade Saaz é de 22,26 dias. Já para o índice de sobrevivência, em alguns tratamentos não se observou variância, dessa forma, os dados foram apresentados em um gráfico de médias com os respectivos desvios padrão (Figura 6 B).

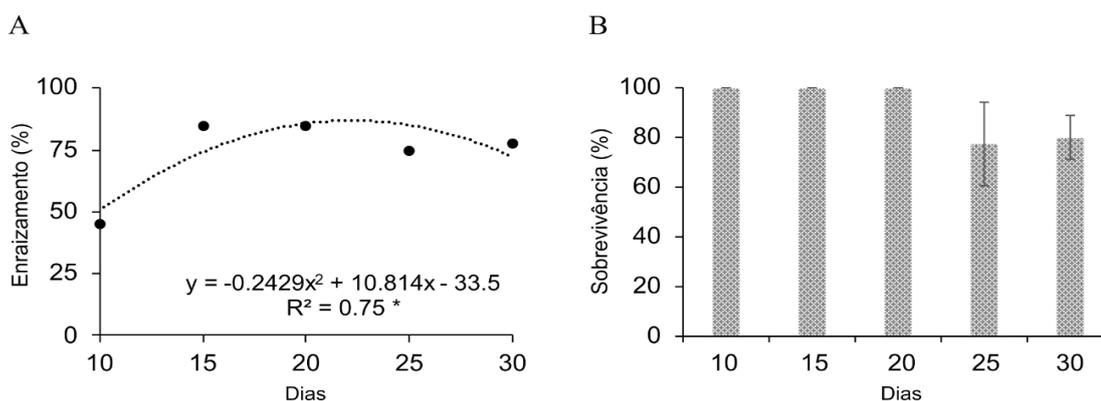


Figura 6: (A) Enraizamento e (B) Sobrevivência de lúpulo variedade Saaz em câmara de nebulização aos 10, 15, 20, 25 e 30 dias.

Entretanto, é preciso considerar que logo após os 20 dias de instalação do experimento no setor de nebulização para enraizamento, foi observado o aparecimento de manchas nas folhas das miniestacas que estavam nesse setor. Essas manchas rapidamente escureceram e observou-se uma rápida proliferação fúngica (Figura 7).



Figura 7 A e B: Miniestacas de lúpulo da variedade Saaz prejudicadas por infestação fúngica após 20 dias em câmara de nebulização.

Assim como Silva *et al.* (2019) e Melo *et al.* (2019), acredita-se que a alta temperatura e alta umidade da câmara de nebulização tornaram o ambiente favorável à proliferação de fungos e, em virtude disso, grande parte das miniestacas que ainda estavam na câmara de nebulização foram acometidas pelo patógeno e perderam suas folhas e/ou morreram. Em razão disso, é possível se observar que o índice de sobrevivência e enraizamento sofreram um declínio a partir dos 20 dias (Figura 6).

De acordo com Lima *et al.* (2018), a morte de estacas no decorrer do processo de enraizamento em câmara de nebulização, frequentemente está relacionada à ocorrência de agentes patogênicos causadores de podridões, especialmente fungos, e à não formação de raízes, fazendo com que aconteça um esgotamento das reservas de nutrientes das estacas.

Ademais, no dia 27 de dezembro, 18 dias após o estaqueamento, quando a média de temperatura do dia foi de 31,83°C e a de umidade relativa foi de 76,27% (Figura 8), houve um problema no encanamento do sistema de nebulização e as miniestacas ficaram por quase 24 horas sem receber nebulização, o que também pode ter contribuído para esse decréscimo na sobrevivência e no enraizamento, uma vez que o lúpulo é uma planta que necessita de boa disponibilidade hídrica para se desenvolver além de ser sensível aos estresses hídricos (Spósito *et al.*, 2019).

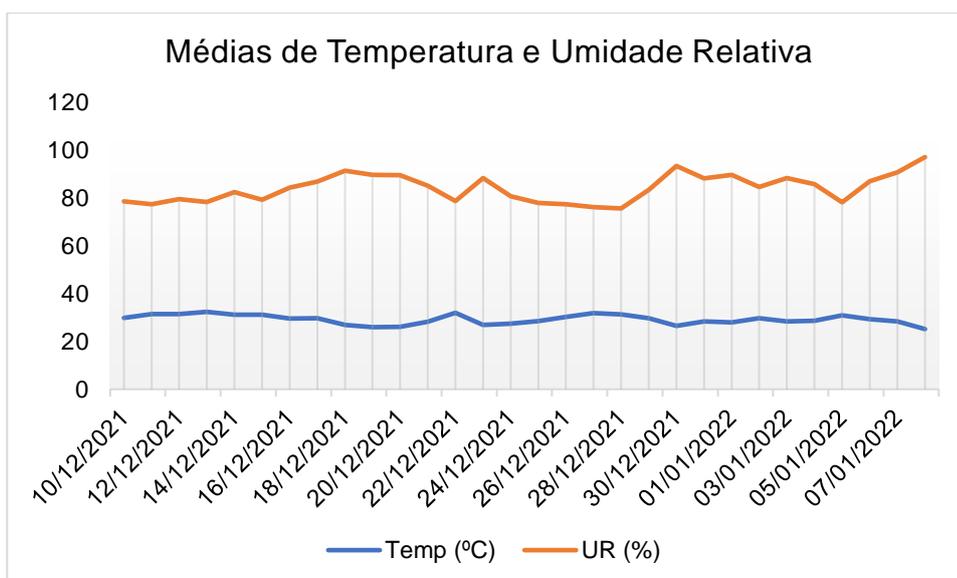


Figura 8: Médias diárias de temperatura (°C) e umidade relativa (%) encontradas na câmara de nebulização no período de 10/12/2021 a 07/01/2022.

É importante salientar que a temperatura e umidade relativa do ar são fatores significativos para a propagação vegetativa por estaquia. Ainda que altas temperaturas, comumente observadas nos meses do verão brasileiro, sejam capazes de elevar o metabolismo, induzindo a diferenciação celular e o desenvolvimento das raízes, podem também colaborar para a perda de água por meio das folhas (Souza *et al.*, 2015).

Gomes *et al.* (2018), ao avaliarem a área foliar de estacas herbáceas de lúpulo da variedade Chinook que permaneceram 30 dias em câmara de nebulização para enraizamento, obtiveram 90% de sobrevivência e enraizamento para as estacas preparadas e cultivadas em condições análogas às realizadas nesse presente estudo e não relataram problemas com proliferação de fungos nas estacas que estavam no setor de nebulização. Os melhores resultados para as variáveis sobrevivência (97,5%) e enraizamento (97,5%) foram observados pelos respectivos autores em estacas preparadas com apenas uma folha inteira.

Vale ressaltar que, apesar de seus benefícios, dentre os principais está a prevenção do efeito “guarda-chuva” (Gomes *et al.*, 2018), a redução foliar também acarreta risco para as miniestacas, visto que pode causar estresse e facilitar a ocorrência de doenças foliares causadas por contaminação por fungos e outros microrganismos que se propagam com maior facilidade no ambiente quente e úmido da nebulização (Fernandes *et al.*, 2018).

Rossini *et al.* (2021), quando estudaram o manejo do lúpulo sob as condições climáticas mediterrâneas da Itália, observaram que patógenos de mofo, pulgões e ácaros eram doenças e pragas regulares e mais complexas que podem afetar a produção do lúpulo. Os autores relataram ainda ser escassa a disponibilidade de produtos fitofarmacêuticos registrados para a cultura do lúpulo, o que limita fortemente as estratégias de controle de pragas e doenças na agricultura orgânica e convencional. Dessa forma, é importante que o manejo de proteção do lúpulo seja concentrado nas práticas agrônômicas apropriadas, intervenção preventiva, bem como no uso de bioestimulantes de resistência das plantas (Rossini *et al.*, 2021).

Em relação aos 10 dias de permanência das miniestacas em câmara de nebulização, foram avaliadas as variáveis sobrevivência e enraizamento (Figura 9) devido ao baixo número de miniestacas enraizadas e pelo fato de estas, quando enraizadas, apresentarem raízes com comprimento deveras diminuto (Figura 9).



Figura 9: Miniestacas de lúpulo variedade Saaz após 10 dias em câmara de nebulização.

Sobre os dados referentes às variáveis massa seca da parte aérea (MSPA), volume da raiz (VR) e massa seca da raiz (MSR) das miniestacas, não houve diferença significativa a partir dos 15 dias entre os tempos de permanência das miniestacas em câmara de nebulização (Figura 10 A, B e C).

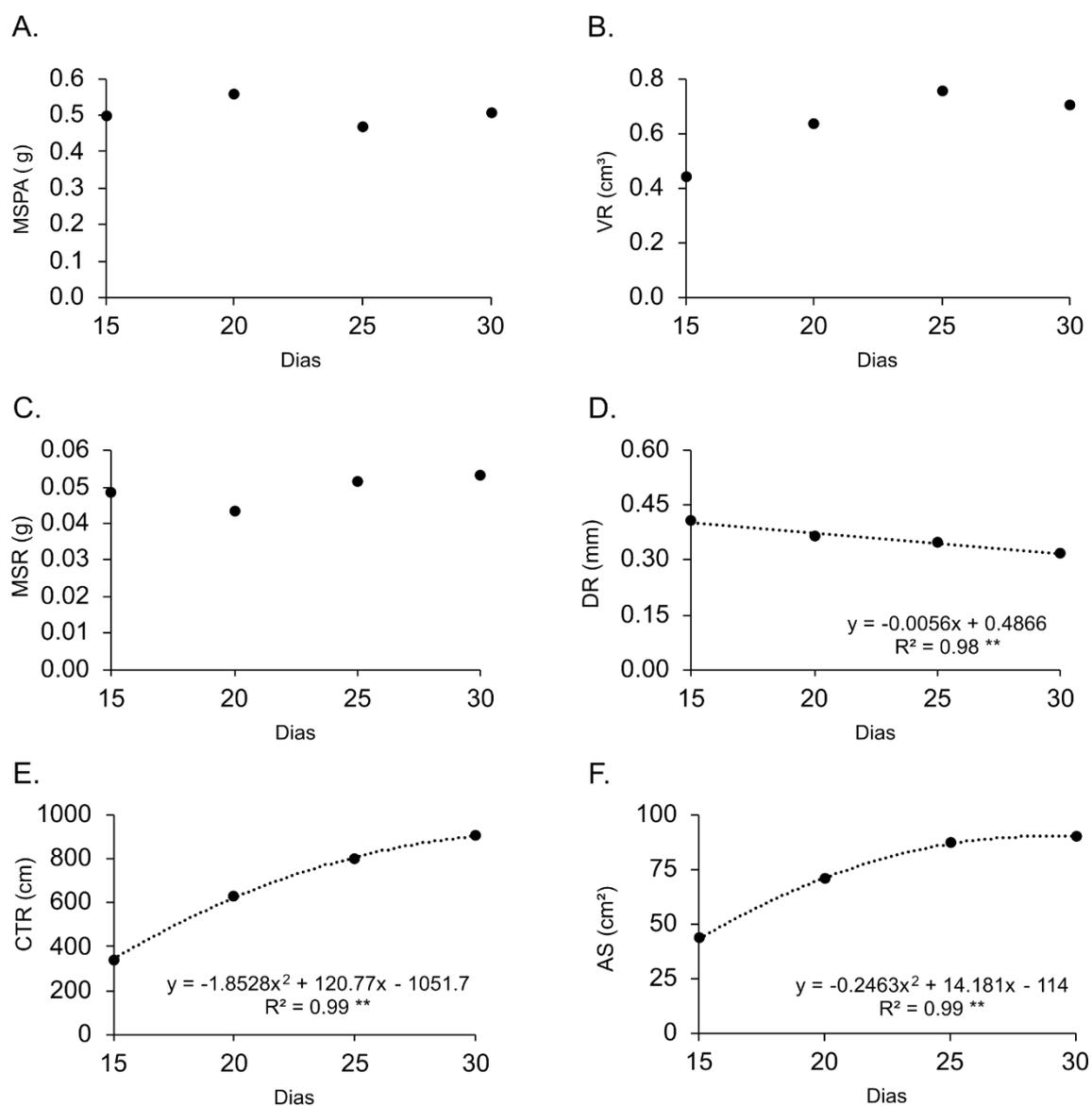


Figura 10: Massa seca da parte aérea (MSPA) (A), volume da raiz (VR) (B), massa seca da raiz (MSR) (C), diâmetro da raiz (DR) (D), comprimento total da raiz (CTR) (E), área superficial da raiz (AS) (F) de miniestacas herbáceas de lúpulo da variedade Saaz aos 15, 20, 25 e 30 dias de permanência em câmara de nebulização.

Para a variável diâmetro da raiz (DR), notou-se um comportamento linear decrescente a partir dos 15 dias de permanência das miniestacas em câmara de nebulização (Figura 10 D). Possivelmente, raízes mais finas poderiam estar sendo formadas para que a planta pudesse absorver mais nutrientes e água para seu próprio crescimento e desenvolvimento.

Sabe-se que o crescimento das plantas, tanto da parte aérea quanto do sistema radicular, deve-se às estratégias por parte do indivíduo em explorar o ambiente, sujeitando-se antes de tudo ao desenvolvimento de raízes finas (Basílio, 2021). São as raízes de menor diâmetro (raízes finas) que possibilitam a exploração

de grande volume no solo e compõem boa parte da biomassa radicular total. Raízes com maior diâmetro desempenham papéis mais especializados, como o de fixação da planta ao solo. Já as raízes mais finas, têm como maior incumbência a ciclagem de nutrientes e obtenção destes e absorção de água para as plantas (Silva, 2019; Basílio, 2021).

Ao final do experimento, o comprimento total (CTR) e a área superficial (AS) da raiz apresentaram comportamento quadrático (Figura 10 E e F). Quando as equações de regressão foram derivadas, foi possível estimar que o número ótimo de dias para que o maior CTR seja atingido é de 32,52 dias. Já para a maior AS, o número ótimo de dias estimado é de 28,77 dias. Os dados corroboram o valor máximo de dias (30) de permanência em câmara de nebulização adotado na metodologia deste presente estudo, pois a esse tempo o sistema radicular cresceu em comprimento e em número (Figura 10 E e F).

Todavia, é preciso considerar que, produtivamente, o número ótimo de dias encontrado para o máximo enraizamento das miniestacas de lúpulo foi de 22,26 dias. Após esse período de emissão das raízes, os ganhos biométricos no sistema radicular poderiam ser feitos também fora do setor de nebulização, o que contribuiria para uma economia com os gastos gerados no funcionamento da câmara de nebulização e menor risco de ocorrência de doenças.

A avaliação do sistema radicular das culturas é de grande valia pois possibilita um melhor entendimento dos efeitos da nutrição das plantas e do manejo de nutrientes no solo (Name, 2019). Sousa *et al* (2014) entendem que plantas eficientes, geralmente, apresentam maior relação de massa seca da raiz e da parte aérea e maior comprimento da raiz, bem como um menor diâmetro radicular que, por sua vez, gera uma maior área superficial do sistema radicular.

Ao analisar os resultados, é possível observar que no decorrer do experimento houve aumento do comprimento e da área superficial bem como a redução do diâmetro das raízes. Tal resultado é esperado quando há aumento do sistema radicular, uma vez que ao passo que as miniestacas se desenvolvem, dá-se o aparecimento de raízes laterais e adventícias, que proporcionam o aumento da área superficial e reduzem o diâmetro (Sousa *et al.*, 2014).

A modificação na estrutura e na arquitetura da raiz aumentam a eficiência da absorção de nutrientes, em razão disso, as plantas aumentam a relação raiz-parte

aérea, a área superficial das raízes, diminuem o diâmetro radicular e desenvolvem raízes laterais mais dispersas (Lynch, 2007; Souza *et al.*, 2014).

6. RESUMO E CONCLUSÕES

Não foi observada diferença significativa nas variáveis analisadas no Experimento 1 que justificassem o uso do AIB para o enraizamento de miniestacas basais e intermediárias de lúpulo das variedades Saaz, Chinook e Cascade. As três variedades de lúpulo apresentaram resultados semelhantes, denotando que a produção inicial de mudas por miniestaquia das variedades Saaz, Chinook e Cascade é viável nas condições de clima tropical.

Miniestacas intermediárias das três variedades de lúpulo sem uso de AIB apresentaram os melhores resultados para MSR, CTR, AS e VR. Todavia, recomenda-se que mais trabalhos envolvendo a propagação por miniestaquia de variedades de lúpulo sejam realizados em condições de clima tropical e no Brasil, testando a aplicação de AIB em outras condições experimentais e em outras doses, pois desta forma, será de fato concluído ou não que a utilização deste fitorregulador não é recomendada para a cultura.

Em relação ao Experimento 2, através das análises de regressão, pode-se estimar que o número ótimo de dias para atingir o máximo enraizamento das miniestacas intermediárias de lúpulo da variedade Saaz é de aproximadamente 22 dias; aproximadamente 32 dias para que o maior CTR seja atingido; aproximadamente 28 dias para a maior AS. Assim, o tempo ótimo para que miniestacas de lúpulo da variedade Saaz permaneçam enraizando em câmara de nebulização nas condições climáticas de Campos dos Goytacazes – RJ é de

aproximadamente 22 dias, podendo realizar os demais ganhos para o sistema radicular fora dela. O que representa economia para o produtor.

Tratamentos fitossanitários preventivos devem ser realizados nas miniestacas de lúpulo antes destas serem encaminhadas para o setor de enraizamento na câmara de nebulização a fim de que se evite possíveis proliferações de fungos e doenças.

Pesquisas publicadas sobre o cultivo e manejo da cultura do lúpulo no Brasil são escassas e relativamente recentes; poucos também são os trabalhos publicados sobre o cultivo do lúpulo em regiões tropicais. Em virtude disso, recomenda-se a promoção do incentivo à pesquisa dessa cultura, evitando que haja estagnação no cultivo do lúpulo por falta de dados confiáveis para o clima tropical brasileiro. O fortalecimento da cultura do lúpulo pode favorecer, além do setor cervejeiro, a indústria farmacêutica e alimentícia, devido aos possíveis diferentes usos da planta e gerar renda para um maior número de agricultores brasileiros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alberts, L. (2020) Zatec, cradle of saaz hops and landmark of comercial hop cultivation. *Brewery History*, Stratford-upon-Avon, 181: 43-50.
- Aprolúpulo. (2021) *Conheça as regiões produtoras, Santa Catarina*. Disponível em: <<http://aprolupulo.com.br/>>. Acesso em: 17 jan. 2022.
- Aquino, A. M., Assis, R. L., Cordeiro (in memorian), P. R. C., Teixeira, A. J., Silva, L. L., Samary, F. T., Oliveira, S. L. P., Ozassa, T. Y., Silva, M. L. P., Machado, C. R. L. Rede para o Fomento à Cultura do Lúpulo na Região Serrana Fluminense. *In: Aquino, A. M., Teixeira, A. J., Assis, R. L. (ed. téc.). (2019) Referencial Teórico de Atratividade Agropecuária – Lúpulo*. Nova Friburgo: Embrapa. 70p.
- Arruda, M. M., Freitas, N. P., Cunha, M. T. L. (2019) Cultivo de Lúpulo no Brasil: Dificuldades a Serem Vencidas. *In: I Encontro Brasileiro de Pesquisadores e Produtores de Lúpulo, 1, Botucatu. Anais eletrônicos...* Botucatu: UNESP. Disponível em: http://lupulo.fca.unesp.br/lupulo/ocs/index.php/SIMLUP/ENBRA_LUPULO2019/paper/viewFile/87/52. Acesso em: 29 set. 2020.
- Basílio, J. J. N. (2021) *Raízes finas em plantações de eucalipto: Efeitos genéticos e edafoclimáticos*. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Botucatu – SP, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual de São Paulo. 76p.

- Beer Maverick. (2020) *The top 15 hop producing countries in 2020*. Disponível em: <<https://beermaverick.com/between-the-35th-and-55th-parallels-worlds-hop-production/>>. Acesso em: 18 jan. 2022.
- Beverley, A. J. (2015) *The effect of timing of stripping on hop production under south african conditions*. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Stellenbosch, Department of Agronomy, University Of Stellenbosch, 82p.
- Binsfeld, M. C., Schwab, N. T., Both, V., Buffon, P. A., Führ, A., Rampazzo, J. C., Dal Picio, M. (2019) Enraizadores alternativos na propagação vegetativa de pitaya. *Magistra*, Cruz das Almas, 30: 251-258.
- Bizotto, D. (2019) *Lúpulo nos Campos de Cima da Serra: Potencialidades climáticas*. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geografia) – Porto Alegre – RS, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 78p.
- Boutain, J. (2014) *On the Origin of Hops: Genetic variability, phylogenetic relationships, and ecological plasticity of Humulus (Cannabaceae)*. Tese (Doutorado em Botânica) – University of Hawaii, Manoa, 196p.
- Brasil, Secretaria Especial de Comércio Exterior e Assuntos Internacionais / Ministério da Economia. (2022) *Comexstat*. Disponível em: <<http://comexstat.mdic.gov.br/pt/geral/39550>>. Acesso em: 17 mar. 2022.
- Burgerss, A. H. (1964) *Hops, botany, cultivation and utilization*. New York: Interscience Publishers Inc, 320p.
- Campagnol, R., Genuncio, G. C., Nascimento, E. C. (2020) A importância da luz no cultivo protegido. *Campo & Negócios Online*, Uberlândia. Disponível em: <<https://revistacampoenegocios.com.br/importancia-da-luz-no-cultivo-protegido/>>. Acesso em: 23 jan. 2022.
- Carter, P. R., Oelke, E. A., Kaminski, A. R., Hanson, C. V., Combs, S. M., Doll, J. D., Worf, G. L., Oplinger, E. S. (1990) *Alternative Field Crops Manual*. University of Wisconsin-Madison and University of Minnesota. Disponível em: <<http://corn.agronomy.wisc.edu/Crops/Hop.aspx>>. Acesso em: 18 jan. 2022.
- Casaroli, D., Fagan, E. B., Simon, J., Medeiros, S. P., Manfron, P. A., Dourado Neto, D., Van Lier, Q. J., Müller, L., Martin, T. N. (2007) Radiação solar e aspectos fisiológicos na cultura da soja – Uma revisão. *Revista da Faculdade de Zootecnia, Veterinária e Agronomia*, Uruguaiana, 14 (2): 102-120.

- Castro, W. H. (2011) *Propagação vegetativa do jequitibá-rosa (Cariniana estrellensis (Raddi) Kuntze) e do pau-jacaré (Piptadenia gonoacantha (Mart.) Macbr.) por estaquia*. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestal) – Viçosa – MG, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, 62p.
- Crippa, G. R. (2020) *Substratos e concentrações de AIB na estaquia foliar de rosa-de-pedra (Echeveria elegans Rose)*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Dourados – MG, Universidade Federal da Grande Dourados, 26p.
- Dagostim, M. D. (2019) *Crescimento do lúpulo (Humulus lupulus L.) em função da adubação nitrogenada e da aplicação de ácido giberélico foliar*. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) – Lages – SC, Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, 67p.
- Dodds, K. (2017) *Hops: A guide for new growers*. Tumut: NSW Department of Primary Industries. 44p.
- Durello, R. S., Silva, L. M., Bogusz Jr, S. (2019) Química do lúpulo. *Química Nova*, São Paulo, 42 (8): 900-919. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/qn/v42n8/0100-4042-qn-42-08-0900.pdf>>. Acesso em: 29 set. 2020.
- Fachinello, J. C., Hoffman, A., Costa, J. (2005) *Propagação de plantas frutíferas*. Brasília: Embrapa, 221p.
- Fachinello, J. C., Hoffmann, A., Nachtigal, J. C., Kersten, E., Fortes, G. R. (1995) *Propagação de plantas frutíferas de clima temperado*. 2. Ed. Pelotas: UFPEL. p. 41-125.
- Fagherazzi, M. M. (2020) *Adaptabilidade de cultivares de lúpulo na região do Planalto sul catarinense*. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Lages – SC, Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, 116p.
- Fagherazzi, M. M., Santos, M. F. S., Santos, K. V. T., Rufato, L., Moreira, M. A. (2018) Propagação de estacas de lúpulo sob diferentes substratos. *Congrega Urcamp*, Bagé, 15 (15): 1401-1409.
- Fernandes, S. J. D. O., Santana, R. C., Silva, E. D. B., Souza, C. M. P. D., Silva, C. T. D. (2018) Período de enraizamento de miniestacas de eucalipto provenientes

- de diferentes lâminas de irrigação em minijardim. *Ciência Florestal*, Santa Maria, 28: 591-600.
- Ferreira, B. G. A., Zufellato-Ribas, K. C., Carpanezzi, A. A., Tavares, F. R., Koehler H. S. (2009) Metodologias de aplicação de AIB no enraizamento de estacas semilenhosas de *Sapium glandulatum* (Vell.) Pax. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, Botucatu, 11 (2): 196-201.
- Ferreira, E. B., Cavalcanti, P. P., Nogueira, D. A. (2021) *ExpDes.pt: Pacote Experimental Designs* (Português). R package version 1.2.2.
- Freitas, T. P. (2012) *Propagação de ipê-roxo (Handroanthus heptaphyllus Mattos) por miniestaquia*. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes – RJ, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 71p.
- Glasl, C. (1870) Notícias sobre o lúpulo. *Revista Agrícola do Imperial Instituto Fluminense de Agricultura*, Rio de Janeiro, 4: 29-34.
- Gomes, E. M., Machado, M. P., Miola, J., Deschamps, C. (2018) Leaf area and intermittent misting on hop plants propagation by stem cuttings. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, Tunja, 12 (2): 508-513.
- Gonsaga, R. F. (2021) *Desenvolvimento de híbridos de lúpulo adaptados às condições tropicais*. Tese (Doutorado em Agronomia – Genética e Melhoramento de Plantas) – Jaboticabal – SP, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, 113p.
- Guerreiro, D., Reis, L. A. (2019) Avaliação da propagação de estacas de lúpulo (*Humulus lupulus* L.) submetidas a diferentes tipos de reguladores de crescimento. *In: I Encontro Brasileiro de Pesquisadores e Produtores de Lúpulo*, 1., Botucatu. *Anais eletrônicos...* Botucatu: UNESP. Disponível em: <<http://lupulo.fca.unesp.br/lupulo/OCS/index.php/SIMLUP/ENBRALUPULO2019/paper/viewFile/47/27>>. Acesso em: 08 nov. 2020.
- Guimarães, B. P. (2021) *Avaliação do lúpulo (Humulus lupulus L.) cultivado no Distrito Federal para uso cervejeiro*. Dissertação (Mestrado em Química) – Brasília – DF, Instituto de Química, Universidade de Brasília. 84p.
- Guimarães, J. J. (2020) *Comportamento agrônomico 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 –

- Irrigação e Drenagem) – Botucatu – SP, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”, 105p.
- Izu, F. B. (2013) *Plantación de Lúpulo de 2,04 ha en Mabegondo (A Coruña)*. Proyecto Fin de Carrera (Departamento de Producción Vegetal: Fitotecnia) – Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid, 29p.
- Lahnel, N., M., Fagherazzi, M. M. (2019) *Manual de Boas Práticas para o Cultivo de Lúpulo*. Lages: Associação Brasileira de Produtores de Lúpulo. Disponível em: < <https://www.aprolupulo.com.br/pdf/manual.pdf>>. Acesso em: 27 out. 2020.
- Lima, C. C., Ohashi, S. T., Silveira, A. S. (2018) Efeito de diferentes concentrações de AIB e procedências geográficas no enraizamento de estacas de paricá. *Ciência Florestal*, Santa Maria, 28 (3): 1282-1292.
- Lima, R. L. S., Siqueira, D. L., Weber, O. B., Cazetta, J. O. (2006) Comprimento de estacas e parte do ramo na formação de mudas de acerola. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, 25 (1): 83-86.
- Lima, Y. O. U., Ritter, M., Alcântara, G. B., Lima, D. M., Fogaça, L. A., Quoirin, M., Cuquel, F. L., Biasi, L. A. (2007) Tipos de estacas e substratos no enraizamento de jambolão. Nota científica. *Scientia Agraria*, Curitiba, 8 (4): 449-453.
- Lone, A. B., López, E. L., Rovaris, S. R. S., Klesener, D. F., Higashibara, L., Ataíde, L. T., Roberto, S. R. (2010) Efeito do AIB no enraizamento de estacas herbáceas do porta-enxerto de videira VR 43-43 em diferentes substratos. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, 31 (3): 599-604.
- Lynch, J. P. (2007) Roots of the Second Green Revolution. *Australian Journal of Botany*, Victória, 55 (5): 493-512.
- Marchesan, T. A. (2020) *Potencial químico e tecnológico do lúpulo brasileiro*. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia dos Alimentos) – Santa Maria – RS, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, 82p.
- Marcusso, E. F., Müller, C. V. (2016) *A Economia e o Território do Lúpulo: A história, análise mercadológica e o desenvolvimento do lúpulo no Brasil e no mundo*. Monografia (Especialização) – Curso de Geografia, Brasília – DF, Universidade de Brasília. Cap. 6. 54p.

- Melo, M. N. V., Silva, V. H. D., Perdoná, M. J. (2019) Ambientes para produção de mudas de nogueira-macadâmia por estaquia. *Revista Científica ANAP Brasil*, Tupã, 12(27): 88-97.
- Name, M. H. (2019) Método para calcular a área superficial de raízes por processamento digital de imagens. *In: Congresso Latino-Americano de Software Livre e Tecnologias Abertas (LATINOWARE)*, 16., 2019, Foz do Iguaçu. *Anais...* Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, p. 139-141.
- Nunes, P. R. S., Ulrich, A. M., Bitencout, L. L., Kohn, R. A. G. (2016) Enraizamento de estacas herbáceas de *Lavandula dentata* com diferentes concentrações de ácido Indolbutírico. *In: Congrega*, v. 1, Bagé. *Anais...* Bagé: Ediurcamp.
- Parajara, F. C. (2015) *Propagação vegetativa e desenvolvimento de mudas de espécies nativas por estaquia de ramos herbáceos*. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade e Meio Ambiente) – São Paulo – SP, Instituto de Botânica, Secretaria de Estado do Meio Ambiente. 71p.
- Paulus, D., Agnol, M. D., Becker, D., Moura, C. A. (2020) Comprimento de estacas e doses de ácido indolbutírico na produção de mudas de lúpulo em hidroponia. *VIII Congresso Virtual de Agronomia*, Fortaleza. Disponível em: <https://convibra.org/congresso/res/uploads/pdf/artigo13591_4_2020.pdf>. Acesso em: 29 jan. 2022.
- Paulus, D., Valmorbida, R., Paulus, E. (2016) Ácido indolbutírico na propagação vegetativa de alecrim. *Horticultura Brasileira*, Recife, 34 (4): 520-528.
- Pereira, M. C., Silva, L. S., Mello, D. F. G., Castro, T. A. V. T., Gonçalves, R. G. M., Silva, H. F. O., Oliveira, D. F., Bucher, C. A. (2021) Produção de mudas de alfazema-do-Brasil (*Aloysia gratissima*) por estaquia sob aplicação de ácido indolbutírico (AIB). *Nature and Conservation*, Aracaju, 14 (1): 116-122.
- Pereira, M. O. (2018) *Resgate, propagação vegetativa e crescimento inicial de Sequoia sempervirens (D. Don.) Endl.* Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Curitiba – PR, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. 225p.
- Pimentel, N. (2020) *Enraizamento de miniestacas e qualidade de mudas de Ilex paraguariensis A. St.- Hil.* Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Santa Maria – RS, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria. 143p.

- Pinto, M. B. C. (2018) *Isomerização de ácidos amargos de lúpulo cascade cultivado no Brasil e seu desempenho durante a fermentação da cerveja*. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Campinas – SP, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, 82p.
- Pizzatto, M., Wagner Júnior, A., Luckmann, D., Pirola, K., Cassol, D. A., Mazaro, S. M. (2011) Influência do AIB, época de coleta e tamanho de estaca na propagação vegetativa de hibisco por estaquia. *Revista Ceres*, Viçosa, 58 (4): 487-492.
- Pokorný, J., Pulkrábek, J., Štranc, P., Bečka, D. (2011) Photosynthetic activity of selected genotypes of hops (*Humulus lupulus* L.) in critical periods for yield formation. *Plant Soil Environ*, Amsterdam, 57 (6): 264-270.
- R Core Team. (2017) *R: A language and environment for statistical computing*. Viena: R Foundation for Statistical Computing.
- Rossini, F., Virga, G., Loreti, P., Iacuzzi, N., Ruggeri, R., Provenzano, M. E. (2021) Hops (*Humulus lupulus* L.) as a novel multipurpose crop for the Mediterranean Region of Europe: Challenges and opportunities of their cultivation. *Agriculture*, Basel, 11 (6): 1-21.
- Santos, V. A. (2018) *Estudo fotoquímico e atividade antioxidante do extrato e frações das folhas de Humulus lupulus L. (Cannabaceae)*. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Farmácia) – Ouro Preto – MG, Escola de Farmácia, Universidade Federal de Ouro Preto, 46p.
- Sasso, A. S. (2021) *Caracterização de cultivares de lúpulo (Humulus lupulus L.), nos dois primeiros ciclos produtivos, em Curitiba, SC*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Curitiba – SC, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Catarina, 58p.
- Silva, E. F., Carvalho Filho, A., Macedo, J. R., Lumbreras, J. F., Dart, R. O. Zoneamento Agroecológico Preliminar para a Cultura do Lúpulo no Estado do Rio de Janeiro. In: Aquino, A. M., Teixeira, A. J., Assis, R. L. (ed. téc.). (2019) *Referencial Teórico de Atratividade Agropecuária – Lúpulo*. Nova Friburgo: Embrapa. 70p.
- Silva, I. R. (2019) *Biomassa de raízes finas em áreas mineradas submetidas à recuperação florestal*. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Paragominas – PA, Universidade Federal Rural da Amazônia. 37p.

- S, V. H. D., Sobierajski, G. R., Melo, M. N. V., Perdoná, M. J. (2019) Tecnologia de produção de mudas de macadâmia. *In: 13º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica, Campinas. Anais...* Campinas. p. 1-9.
- Smarsi, R. C., Chagas, E. A., Reis, L. L., Oliveira, G. F., Mendonça, V., Tropaldi, L., Pio, R., Scarpate Filho, J. A. (2008) Concentrações de ácido indolbutírico e tipos de substratos na propagação vegetativa de lichia. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, 30(1): 7-11.
- Sousa, M. J. A. C. (2005) *Obtenção de plantas de Humulus lupulus L. resistentes a vírus*. Tese (Doutorado em Biotecnologia Vegetal) – Lisboa, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, 200p.
- Sousa, S. M., Oliveira, B., Hipólito, L., Abreu, M. G., Bona, F. D. (2014) Avaliação do sistema radicular de genótipos de trigo em solução nutritiva. *Circular Técnica n. 28 (INFOTECA-E)*, Embrapa Trigo, set. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/125648/1/2014-circular-tecnica-online-28.pdf>>. Acesso em: 04 fev. 2022.
- Souza, R. (2020) *Estabelecimento in vitro, micropropagação e variação somacional de lúpulo (Humulus lupulus L.)*. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Lages – SC, Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, 80p.
- Souza, R., Adams, C. R., Melo Guidolin, A. F., Michel, A., Coimbra, J. L. M. (2022) Growth regulators and their reflection on different hop genotypes cultivated under in vitro conditions. *Brazilian Journal of Biology*, São Carlos, 82: 1-8. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/bjb/a/VF4RzknQb3Pg63YkvFdc4tx/?lang=en&format=pdf>>. Acesso em: 27 jan. 2022.
- Souza, S. R., Cavalcante, M. Z. B., Lima, M. P. D., Alixandre, T. F., Nascimento, R. T. (2015). Propagação vegetativa de hibisco com diferentes tipos de estacas e concentrações de ácido indolbutírico. *Comunicata Scientiae*, Bom Jesus, 6 (3): 291-296.
- Spósito, M. B., Ismael, R. V., Barbosa, C. M. A., Tagliaferro, A. L. (2019) *A cultura do lúpulo*. Piracicaba: ESALQ – Divisão de Biblioteca. 81 p. Série Produtor Rural, n. 68.
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., Murphy, A. (2017) *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 858p.

Teixeira, A. J. Características da Planta Lúpulo. *In*: Aquino, A. M., Teixeira, A. J., Assis, R. L. (ed. téc.). (2019) *Referencial Teórico de Atratividade Agropecuária – Lúpulo*. Nova Friburgo: Embrapa. 70p.

APÊNDICE

Tabela 1A: ns, * e ** = Não significativo, significativo a 5% e significativo a 1% de probabilidade, respectivamente, de acordo com o teste F. MSPA: massa seca da parte aérea. MSRR: massa seca do sistema radicular. CTR: comprimento total de raiz. AS: área superficial. DR: diâmetro de raiz. VR: volume de raiz. SOB: sobrevivência. ENR: enraizamento.

		MSPA	MSSR	CTR	AS
	G.L.	Quadrados Médios			
Variedade (V)	2	0.121 **	0.0009 ^{ns}	414806.40 **	2316.05 ^{ns}
Estaca (E)	1	0.009 ^{ns}	0.0015 *	329770.93 *	2318.72 **
AIB (A)	1	0.008 ^{ns}	0.0008 ^{ns}	59293.81 ^{ns}	1608.37 ^{ns}
V*E	1	0.006 ^{ns}	0.0002 ^{ns}	71360.42 ^{ns}	511.51 ^{ns}
V*A	2	0.006 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	33463.94 ^{ns}	77.79 ^{ns}
E*A	1	0.003 ^{ns}	0.0009 ^{ns}	29810.99 *	989.29 *
V*E*A	2	0.011 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	68047.02 ^{ns}	314.95 ^{ns}
Resíduo	48	0.008	0.0003	71789.54	614.48
		DR	VR	SOB	ENR
	G.L.	Quadrados Médios			
Variedade (V)	2	0.0091 **	0.1254 ^{ns}	411.67 ^{ns}	48.52 ^{ns}
Estaca (E)	1	0.0002 ^{ns}	0.1563 *	1.67 ^{ns}	106.67 ^{ns}
AIB (A)	1	0.0019 ^{ns}	0.1449 ^{ns}	41.66 ^{ns}	26.67 ^{ns}
V*E	1	0.0007 ^{ns}	0.0172 ^{ns}	51.67 ^{ns}	26.73 ^{ns}
V*A	2	0.0005 ^{ns}	0.0055 ^{ns}	581.66 *	6.72 ^{ns}
E*A	1	0.0006 ^{ns}	0.0872 *	41.67 ^{ns}	5.28 ^{ns}
V*E*A	2	0.0001 ^{ns}	0.0191 ^{ns}	1.67 ^{ns}	6.32 ^{ns}
Resíduo	48	0.0009	0.0416	139.17	28.27

Apêndice 1: Análise de variância do experimento 1.