

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**DESENVOLVIMENTO DE HÍBRIDOS DE LÚPULO ADAPTADOS ÀS CONDIÇÕES
TROPICAIS**

**Renan Furlan Gonsaga
Engenheiro Agrônomo**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**DESENVOLVIMENTO DE HÍBRIDOS DE LÚPULO ADAPTADOS ÀS CONDIÇÕES
TROPICAIS**

Discente: Renan Furlan Gonsaga

Orientadora: Profa. Dra. Leila Trevisan Braz

Coorientador: Prof. Dr. Stanislau Bogusz Junior

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do Título de Doutor em Agronomia (Genética e Melhoramento de Plantas).

2021

G639d Gonsaga, Renan Furlan
Desenvolvimento de híbridos de lúpulo adaptados às
condições tropicais / Renan Furlan Gonsaga. -- Jaboticabal,
2021
113 p. : tabs., fotos

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal
Orientadora: Leila Trevisan Braz
Coorientador: Stanislau Bogusz Junior

1. Genética Vegetal. 2. Plantas aromáticas, Óleos. 3.
Cerveja Aroma. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo
autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

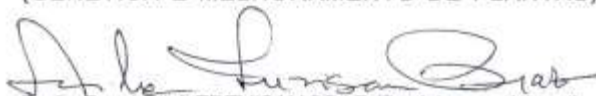
TÍTULO DA TESE: DESENVOLVIMENTO DE HÍBRIDOS DE LÚPULO, ADAPTADOS ÀS CONDIÇÕES TROPICAIS

AUTOR: RENAN FURLAN GONSAGA

ORIENTADORA: LEILA TREVISAN BRAZ

COORIENTADOR: STANISLAU BOGUSZ JUNIOR

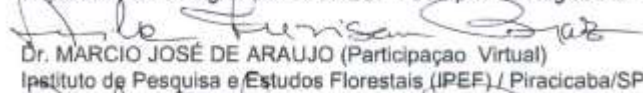
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA (GENÉTICA E MELHORAMENTO DE PLANTAS), pela Comissão Examinadora:



Profa. Dra. LEILA TREVISAN BRAZ (Participação Virtual)
Departamento de Ciências da Produção Agrícola (Produção Vegetal) / FCAV / UNESP - Jaboticabal



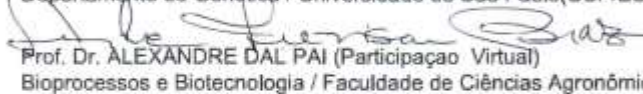
Prof. Dr. PABLO FORLAN VARGAS (Participação Virtual)
Departamento de Agronomia / UNESP - Câmpus de Registro/SP



Dr. MARCIO JOSÉ DE ARAUJO (Participação Virtual)
Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais (IPEF) / Piracicaba/SP



Prof. Dr. JOSÉ BALDIN PINHEIRO (Participação Virtual)
Departamento de Genética / Universidade de São Paulo(USP/ESALQ) - Piracicaba/SP



Prof. Dr. ALEXANDRE DAL PAI (Participação Virtual)
Bioprocessos e Biotecnologia / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu - UNESP

Jaboticabal, 04 de junho de 2021

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

RENAN FURLAN GONSAGA - nascido em 24 de janeiro de 1988 em Bocaina – SP, é Engenheiro Agrônomo, graduado no curso de Agronomia pela Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV), de Jaboticabal - SP em 2007, concluindo o curso em dezembro de 2012. Realizou estágio no Herbae - Consultoria e Projetos Agrícolas Ltda., em Jaboticabal/SP de 2012 a 2013. Em 2013 a 2014, foi cooperado na UNICAMPO, em Maringá/PR, prestando serviço à Bayer Cropscience, realizando palestras sobre o uso correto dos EPI'S e qualidade da tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas. Concluiu o Mestrado em 2017 no Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Genética e Melhoramento de Plantas), da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Unesp, Campus de Jaboticabal, desenvolvendo a pesquisa Produção de madeira e eficiência de utilização de nutrientes em clones de eucaliptos em diferentes idades, como bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Ingressou em 2017 no Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Genética e Melhoramento de Plantas), da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Unesp, Campus de Jaboticabal, desenvolvendo a pesquisa apresentada nesta tese, como bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Em 2018 foi premiado no Barth Haas Grants como um dos melhores jovens pesquisadores de Lúpulo no mundo, este promovido pela Barth Haas. No ano de 2019 fundou a empresa Lúpulo Tropical – Consultoria e Pesquisa Ltda, onde realiza pesquisa e desenvolvimento de lúpulo e atua também como consultor técnico.

Email: renanfurlan@gmail.com

*“Quem diz que não pode ser feito nunca deve interromper aquele que está
fazendo”*

Monkey D. Luffy

À minha avó Ladir, por todo o carinho, educação,
conselhos e por sempre acreditar
e torcer por mim.

DEDICO

Ao meu filho Marcos, meu maior presente, minha felicidade e motivação diária.

À minha esposa Maria Laura, por sempre me apoiar, me incentivar, estar ao
meu lado em todos os momentos e por iluminar minha vida.

À minha mãe Marinete por sempre acreditar no meu potencial, não medir
esforços para eu ser quem eu sou hoje e apesar da distância, sempre estar
presente.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Ao meu filho Marcos Augusto Furlan, com toda a sua inocência torna todos os nossos dias mais leves, nos enchendo de carinho e paz. Por trazer mais sentido a minha vida e me mostrar que eu não sou o centro do meu universo.

À minha esposa Maria Laura Viola Augusto, por todos esses anos de companheirismo, amor e carinho. Por acreditar em mim, mais que eu mesmo, por sempre apoiar minhas invenções, como o lúpulo e porque sem você eu não seria tão feliz como sou.

À minha mãe, Marinete Furlan, que sempre se dedicou a fazer de mim a melhor pessoa que eu posso ser, por me mostrar que a vida não é fácil, mas que sempre podemos estar juntos, mesmo por muitas vezes distantes. Por todo o amor dedicado e os ensinamentos.

À minha Avó Ladir (*in memoriam*), por cada minuto que cuidou, orientou, orou e pensou por mim, grande parte do que sou hoje é parte de você. Queria muito que tivesse aqui para ver o Marquinho crescer, mas sei que está cuidando de nós. Obrigado por tudo e saudades que não cabem em mim.

Aos meus sogros Nair e Rubens, por me adotarem em sua família e por tudo o que fizeram por mim e por nós. Sem vocês talvez essa tese fosse impossível. Marquinho tem os melhores avós e eu os melhores sogros.

Às nossas "fias" Malu e Nina, por preencherem nossa casa de vida.

Aos meus tios, Aguinaldo Furlan, por todo o companheirismo, ensinamentos e por sempre me ajudar sempre que precisei e Reinaldo Furlan, sua esposa Alessandra, e seus filhos, meu afilhado Gabriel e seus irmãos Guilherme, Gabriely e Giuliana, por todo o carinho, auxílio e confiança.

À minha Irmã Nabile e seu marido Lucas e filho Samuel, por estarem presentes em minha vida e por serem mais que parentes, por serem amigos e confidentes.

Ao meu padrasto Maito, por sempre me incentivar e mostrar em cada fase da minha vida que o mundo é maior e mais complexo do que aparenta ser.

Ao meu Avô Biagio por toda a sabedoria passada e por tantas histórias contadas.

À Profa. Dra. Leila Trevisan Braz, por aceitar essa loucura de projeto, pela orientação, ensinamentos, compreensão, paciência e confiança no desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu coorientador Dr. Stanislau Bogusz Junior, por sempre ser solícito e abraçar o projeto.

Aos funcionários do setor de Olericultura e Plantas Aromático e Medicinais por todo o suporte ao projeto, em especial ao Inauro e Tilápia, sem os quais nada do projeto seria possível.

Aos tantos companheiros de Neom, que ao longo desses anos sempre estiveram dispostos a me ajudar, conversar e ensinar.

Aos meus amigos que apesar da distância e correria do dia a dia, são fundamentais em minha vida, saudades de sentar, tomar umas e lembrar dos causos. Em especial Márcio Araújo, a quem torço muito pelo sucesso e sem o qual eu não teria terminado essa pesquisa.

Ao meu grande amigo Jawhar (*in memoriam*), que continua em minhas memórias e a saudade não diminui, desde que você se foi seu tricolor desandou e o verdão embalou, algo que parecia possível em nossa juventude.

Aos amigos e companheiros que fiz graças a cultura do lúpulo, nesses quatro anos conheci e aprendi muito com inúmeras pessoas, que fica até difícil de nomear aqui, mas gostaria de citar Max Rafaelle, que me ajudou com as plantas masculinas quando eu estava sem saber para aonde ir.

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

Agradeço a Deus, que todo dia nos proporciona a vida e há quem confio todas as pessoas que amo.

SUMÁRIO

RESUMO	iii
CAPÍTULO 1 – Revisão Bibliográfica	1
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1 Origem, evolução e taxonomia	2
2.2 Morfologia	4
2.3 Exigências	7
2.3.1 Clima	8
2.3.2 Temperatura	9
2.3.3 Precipitação e irrigação	10
2.3.4. Fotoperíodo	11
2.3.5 Vento	13
2.3.6 Granizo	14
2.3.7 Altitude	14
2.3.8 Solos	15
2.4 Composição química das inflorescências femininas	16
2.4.1 Resinas	17
2.4.2 Óleos essenciais	18
2.5 Melhoramento genético de lúpulo	19
2.6 Aspectos econômicos	21
2.7 Aplicações do lúpulo	22
2.7.1 Indústria cervejeira	22
2.7.2 Medicina	23
2.7.3 Alimentação	25
2.7.4 Higiene pessoal, perfumaria e cosméticos	26
2.7.5. Outras utilizações	26
2.8 Lúpulo no Brasil	27
3 REFERÊNCIAS	29
CAPÍTULO 2 - Desempenho agrônômico de cultivares de lúpulo no clima tropical	45
RESUMO	45
ABSTRACT	46
1 INTRODUÇÃO	47
2 MATERIAL E MÉTODOS	49
2.1 Informações da área experimental	49
2.2 Dados meteorológicos	50
2.3 Delineamento experimental	51
2.4 Características avaliadas	51
2.4.1 Fenologia	51
2.4.2 Características vegetativas	52
2.4.3 Características produtivas	53
2.5 Análise estatística	53
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
3.1 Fenologia	54
3.1.1 Acumulo de energia em graus-dia de desenvolvimento para as fases de desenvolvimento vegetativo, floração, desenvolvimento de cones e maturação dos cones	54
3.2 Características vegetativas	57
3.4 Correlação de Pearson	63

4 CONCLUSÕES	64
5. REFERÊNCIAS.....	64
CAPÍTULO 3 – Seleção de híbridos de lúpulo em clima tropical.....	69
RESUMO	69
ABSTRACT	70
1 INTRODUÇÃO	71
2 MATERIAL E MÉTODOS	73
2.1 Localização	73
2.2 Dados meteorológicos	75
2.3 Delineamento experimental	75
2.4 Cultivares utilizadas	76
2.4.1 ‘Bullion’ – Lúpulo de Amargor	76
2.4.2 ‘Columbus’ – Lúpulo de Amargor e Aroma.....	76
2.4.3 ‘Mantiqueira’ – Lúpulo de Aroma.....	76
2.4.4 ‘Mapuche’ – Lúpulo de Aroma.....	77
2.4.5 ‘Nugget’ – Lúpulo de Amargor e Aroma	77
2.4.6 ‘Saaz’ – Lúpulo de aroma.....	78
2.4.7 ‘Sterling’ – Lúpulo de Amargor e Aroma.....	78
2.4.8 ‘Styrian Golding’ – Lúpulo de Aroma	78
2.4.9 ‘Tahoma’ – Lúpulo de Aroma	79
2.4.10 ‘Vitória’ – Lúpulo de Amargor e Aroma.....	79
2.4.11 ‘M1/2018’.....	79
2.4.12 ‘M2/2018’.....	80
2.4.13 ‘M3/2018’	80
2.5 Características avaliadas	80
2.5.1 Avaliações vegetativas.....	80
2.5.2 Avaliações produtivas	81
2.5.3 Índice de Seleção.....	83
2.5.4 Análise de alfa-ácidos e beta-ácidos do Lúpulo por HPLC e Índice de Estocagem (HSI).....	84
2.6 Análise Estatística	84
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	85
3.1 Capacidade Geral de Combinação dos Pais (CGC)	85
3.2 Capacidade Específica de Combinação (CEC)	87
3.3 Avaliações vegetativas e produtivas dos híbridos	89
3.4 Seleção dos melhores híbridos	92
3.5 Análise Qualitativa dos Híbridos	101
5 CONCLUSÕES	104
6 REFERÊNCIAS.....	105
CAPÍTULO 4 - Considerações finais	112

DESENVOLVIMENTO DE HÍBRIDOS DE LÚPULO ADAPTADOS ÀS CONDIÇÕES TROPICAIS

RESUMO – O lúpulo é uma planta utilizada na medicina popular a muitos séculos, porém seu maior destaque no cenário mundial é sua utilização na fabricação de cerveja, aonde é um dos ingredientes fundamentais. Cerca de 98% do lúpulo produzido no mundo é utilizado no mercado cervejeiro, sendo a imensa maioria produzida nos EUA e Alemanha. Por ser uma planta de clima temperado e normalmente cultivada apenas nas faixas de latitude entre 35 e 55° Norte ou Sul. No Brasil o cultivo de lúpulo vem ganhando destaque nos últimos anos, apesar de somente se produzir cultivares que não possuem patentes, sendo assim, a maioria dos lúpulos produzidos no país não são aqueles mais consumidos no mundo atualmente. O lúpulo é extremamente influenciado pelo fotoperíodo, o que afeta sua produtividade e uniformidade da produção, devido às baixas latitudes nacionais, o fotoperíodo brasileiro é mais curto do que as principais regiões produtoras no mundo, assim é importante procurar híbridos que possam produzir lúpulos com boa qualidade e grande produtividade. Avaliou-se em um ensaio o desempenho de nove cultivares comerciais em várias características, visando avaliar seu ciclo, desenvolvimento e produção. Em outro ensaio, foram realizados cruzamentos entre 10 cultivares femininas e 3 masculinas a fim de avaliar os híbridos em clima tropical. Os experimentos foram realizados em delineamento em blocos casualizados e avaliados semanalmente. Dentre as cultivares a 'Mantiqueira' apresentou os melhores resultados para todas as características avaliadas, assim como o maior ciclo. Entre os híbridos, destacam-se JAB1303-13 e JAB1403-12 como as melhores progênies no conjunto das características avaliadas. Na análise qualitativa, destacam-se para alfa-ácido o JAB1503-04 com 12,57% e o JAB1403-39 com 9,84% de beta-ácido.

Palavras-chave: *Humulus lupulus*, Brasil, melhoramento genético de plantas, seleção de progênies.

DEVELOPMENT OF HOPS HYBRIDS ADAPTED TO TROPICAL CONDITIONS

ABSTRACT - Hops is a plant used in folk medicine for many centuries, but its biggest highlight on the world stage is its use in the manufacture of beer, where it is one of the fundamental ingredients. About 98% of the hops produced in the world are used in the beer market, with the vast majority being produced in the USA and Germany. For being a temperate climate plant and normally cultivated only in the latitude ranges between 35 and 55° North or South. In Brazil, the cultivation of hops has been gaining prominence in recent years, despite only producing cultivars that do not have patents, thus, most of the hops produced in the country are not those most consumed in the world today. Hops is extremely influenced by the photoperiod, which affects its productivity and production uniformity. Due to low national latitudes, the Brazilian photoperiod is shorter than the main producing regions in the world, so it is important to look for hybrids that can produce hops with good quality and great productivity. The performance of nine commercial cultivars in various traits was evaluated in a trial, aiming to evaluate their cycle, development and production. In another trial, crosses between 10 female and 3 male cultivars were performed in order to evaluate the hybrids in a tropical climate. The experiments were carried out in a randomized block design and evaluated weekly. Among the cultivars 'Mantiqueira' showed the best results for all evaluated characteristics, as well as the longest cycle. Among the hybrids, JAB1303-13 and JAB1403-12 stand out as the best progenies in the set of evaluated characteristics. In the qualitative analysis, JAB1503-04 with 12.57% and JAB1403-39 with 9.84% of beta-acids stand out for alpha-acids.

Keywords: *Humulus lupulus*, Brazil, plant breeding, progeny selection.

CAPÍTULO 1 – Revisão Bibliográfica

1 INTRODUÇÃO

O *Humulus lupulus* L., popularmente conhecido como lúpulo, é uma espécie dioica, perene e apenas as inflorescências femininas são usadas na fabricação de cerveja. Na cerveja o lúpulo é usado para conferir amargor, sabor, aroma e propriedades bacteriostáticas (Padgitt-Cobb et al., 2021).

O gênero *Humulus* consiste em três espécies, *H. lupulus*, *H. japonicus* e *H. yunnanensis* (Small, 1978; Neve, 1991). As variedades botânicas diferem em características morfológicas e genéticas. Os lúpulos selvagens norte-americanos e japoneses se assemelham morfolologicamente, sugerindo uma relação geneticamente próxima, embora difiram amplamente dos lúpulos europeus (Tembrock et al., 2016).

A produção comercial de lúpulo é focada na planta feminina, pois a masculina não apresenta os compostos de interesse em quantidades satisfatórias, portanto servindo basicamente para o melhoramento genético (Cerenak et al., 2019). Cultivares de lúpulo podem ser classificadas de várias formas, como, um grupo consistindo de variedades europeias, selecionadas naturalmente ao longo de vários séculos, chamadas de Lúpulos Nobres, e o outro grupo, de lúpulos oriundos de programas de melhoramento são denominadas de Lúpulos Modernos (Seefelder et al., 2000; Stajner et al., 2007). A classificação mais utilizada atualmente é com base no alfa-ácido (%) em sua utilização na produção de cerveja, portanto, classificados como os lúpulos de Amargor, Aroma e Uso Duplo (Kostelecky, 2009).

Os principais países produtores estão localizados no hemisfério norte, devido a ocorrência natural das plantas e fatores climáticos favoráveis, como o fotoperíodo, que proporcionam as melhores condições de desenvolvimento para a cultura (Bauerle, 2019). Até alguns anos atrás acreditava-se que era impossível produzir lúpulo no Brasil, o que na verdade era mais lenda do que realidade, atualmente há cerca de 50 hectares plantados no país (APROLÚPULO, 2021). Outro fato propagado era que o lúpulo nacional não apresentaria qualidade, fato que muitas vezes foi embasado por produtores que tentaram comercializar seus

lúpulos sem qualidade, não devido à planta, mas a fatores como erros no ponto de colheita, secagem e armazenamento. Atualmente já estão disponíveis no mercado brasileiro lúpulos de outras nacionalidades, mas que apesar da qualidade comprovada por análises químicas, não possuem a total adaptação ao clima tropical, fotoperíodos encontrados em nosso país e além, muitas são cultivares que caíram em desuso e não despertam interesse dos cervejeiros. Sendo assim, é necessária a busca por cultivares que sejam adaptados ao clima tropical, visando altos rendimentos e qualidade superior para que o cultivo nacional não dependa de fatores como iluminação artificial, e que coloquem o Brasil no cenário mundial de grandes produtores de lúpulo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Origem, evolução e taxonomia

Atualmente o gênero *Humulus* está classificado dentro do reino *Plantae*, ordem *Rosales* e família *Cannabaceae*. A família *Cannabaceae* possui apenas quatro gêneros, sendo um o *Cannabis*, onde se encontra a popular Maconha (*Cannabis sativa*) (ITIS, 2021).

O gênero *Humulus* pertence à família *Cannabaceae*, nativo do hemisfério norte e de clima temperado, é composto por três espécies, *H. lupulus*, *H. japonicus* e *H. yunnanensis* (Skomra et al., 2013; Ling e Zhang, 2019; Kobus-Cisowska et al., 2019). Provavelmente é originário da China onde todas as três espécies ocorrem de forma natural, posteriormente foi levado para a Europa e América do Norte, aonde hoje ocorrem de forma natural (Figura 1).



Figura 1. Países que cultivam lúpulo (Beermaverick, 2020).

Dentre as três espécies, o *H. yunnanensis* é nativo da China e foi a última a ser identificada, sendo por muito tempo classificada como *H. lupulus*, ela não apresenta valor comercial, seja na indústria cervejeira ou farmacêutica. O *H. japonicus* é nativo do Japão, Taiwan e China, pode ser utilizado com planta ornamental, embora muitas vezes se apresente como planta daninha graças ao seu crescimento agressivo (DeNoma, 2000).

Dentre as três espécies, a *H. lupulus* é de maior importância, sendo utilizada pela humanidade há séculos. As primeiras cultivares de lúpulo foram obtidas por meio de seleção massal em populações selvagens europeias, para características qualitativas de mais interesse aos cervejeiros (Skomra et al., 2013). São identificadas cinco variedades botânicas de *H. lupulus*, todas elas apresentando uso comercial e produzindo híbridos férteis entre si (Tabela 1) (Small, 1978).

Tabela 1. Variedades botânicas e região de ocorrência de *Humulus lupulus*.

Nome	Região de Ocorrência
<i>H. lupulus</i> var. <i>humulus</i>	Europa e Ásia
<i>H. lupulus</i> var. <i>cordifolius</i>	Leste da Ásia e Japão
<i>H. lupulus</i> var. <i>neomexicanus</i>	América do Norte
<i>H. lupulus</i> var. <i>pubescens</i>	América do Norte
<i>H. lupulus</i> var. <i>lupuloides</i>	América do Norte

A classificação taxonômica passa por constantes revisões em nível de espécie e/ou subespécie, com a utilização de filogenética molecular (Murakami et al., 2006; Bassil et al., 2008; Townsend e Henning, 2009; Patzak et al., 2010), características fisiológicas e morfológicas (Small, 1978; Tembrock et al., 2016), quimiotaxométrica (Hampton et al., 2002; Hummer et al., 2005; Vasek et al., 2013), e descobertas paleobotânicas (MacGinitie, 1953; Manchester, 2001). Entre os estudiosos há um consenso de que as variedades botânicas de lúpulo da América do Norte e da Europa estão separadas por mais de um milhão de anos de evolução de seu último ancestral comum (Murakami et al., 2006; McCallum et al., 2019).

2.2 Morfologia

O lúpulo é planta trepadeira, herbácea, perene e dioica, que pode chegar a mais de 10 metros de altura em poucos meses. As hastes se apoiam em um tutor e crescem no sentido dextrogiro, ou seja, da direita para a esquerda. Estas hastes possuem tricomas que servem como garras e se apoiam no tutor (Figura 2).

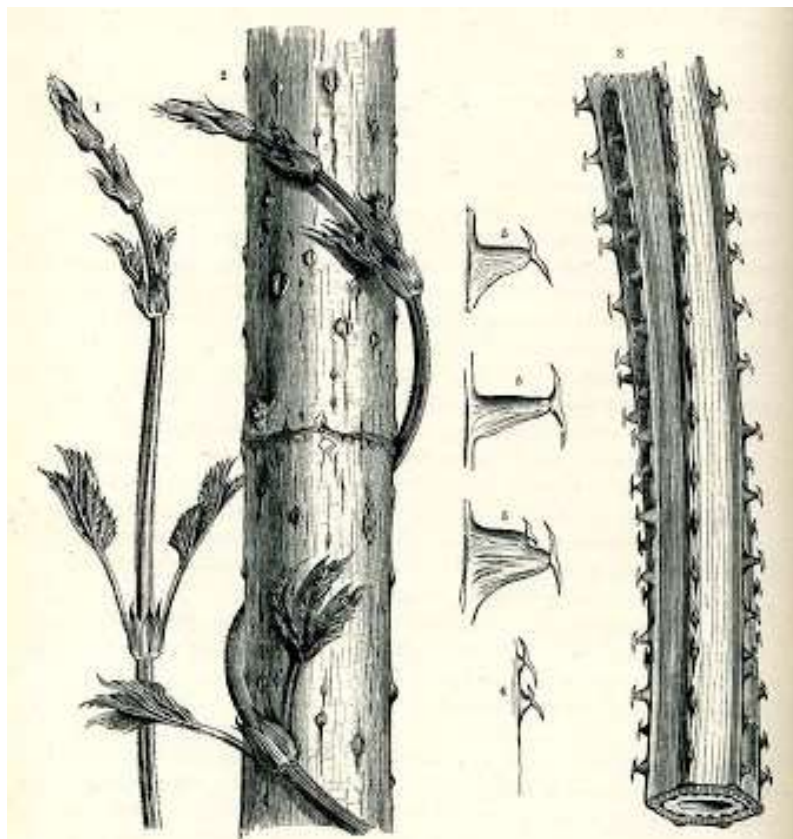


Figura 2. Detalhes do caule de lúpulo (Hiller et al., 1996).

O lúpulo na parte aérea, ou seja, acima do solo comporta-se como planta anual, encerrando seu ciclo após a senescência dos cones, fato esse, que não é comum nos campos de produção, pois toda a parte aérea é levada do campo para os galpões de beneficiamento após a colheita. A rebrota ocorre a cada estação, pois a parte abaixo do solo é perene, a coroa, que nada mais é que a base da planta que senesceu ou foi podada, é bem desenvolvida, possuindo raízes, rizomas e brotações (Small, 2016). As raízes podem atingir mais de 1,5 metros, possuindo raízes de acumulação de reservas e absorção de nutrientes,

são também responsáveis por emitirem gemas que serão as brotações na próxima safra (Sposito et al., 2019).

As folhas são inseridas de forma oposta aos nós, pecioladas, cordiformes, palmatilobadas, variando de três, cinco e sete lóbulos, podendo ocorrer mais de uma forma na mesma planta, são ásperas com ápice em ponta e bordas serradas (Rocha, 2005).

O lúpulo é uma planta dioica e as inflorescências se encontram separadas em plantas femininas (Figura 3A) e masculinas (Figura 3B). Não é possível diferenciar visualmente as plantas, somente no período de formação das inflorescências, sendo possível distinguir somente após a formação das mesmas ou através de marcadores moleculares (Polley et al., 1997; Seefelder et al., 2000; Patzak et al., 2002; Patzak e Matoušek, 2009; Mizia et al., 2016; Danilova; Karlov, 2017; Li et al., 2017; Cerenak et al., 2019).

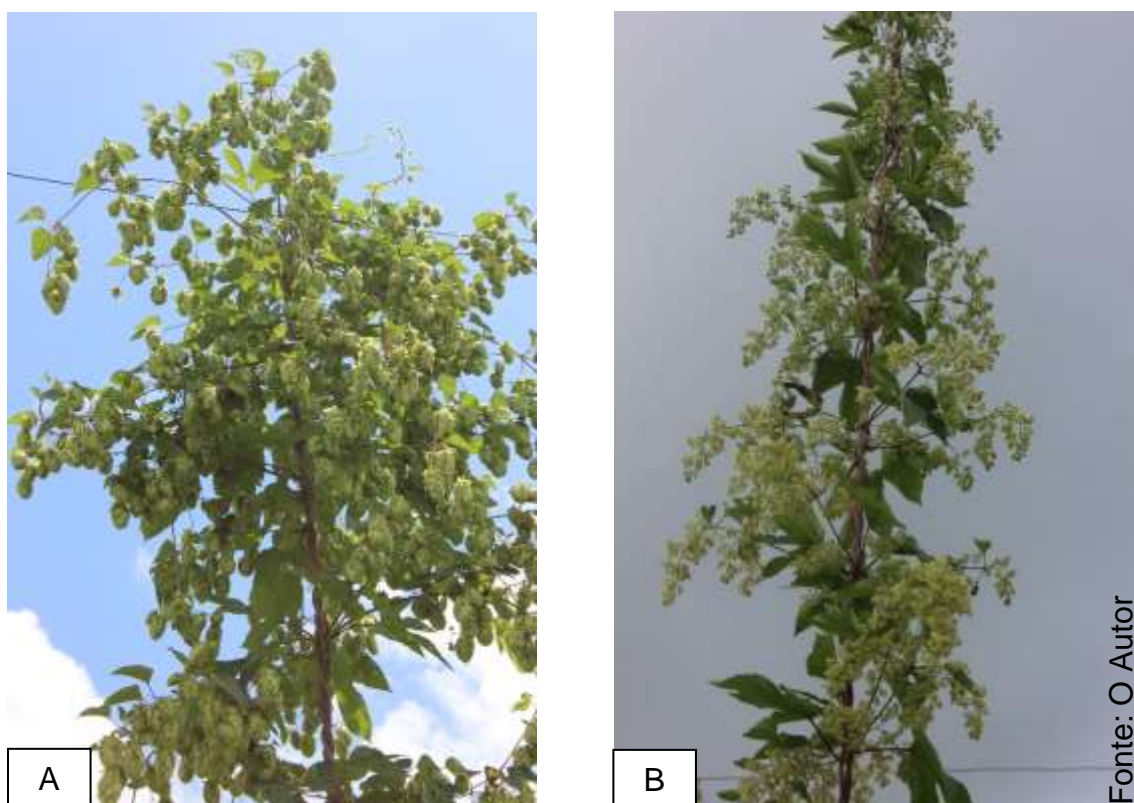


Figura 3. A - Planta com inflorescências femininas. B - Planta com inflorescências masculinas.

As flores da planta masculina são formadas por um perianto de filamento curto, formado por cinco pétalas e cinco estames que carregam longas anteras, elas se agrupam em panículas axilares, envolvidas por brácteas, ao longo de um pedicelo muito ramificado, entretanto, é longo e fino permitindo a agitação pelo

vento (Figura 4). As anteras possuem um sulco onde as glândulas de resinas estão armazenadas (Rocha, 2005; Marcos et al., 2011). No sulco presente nas anteras é possível encontrar resinas, mas numa quantidade insignificante em relação a flor feminina (Burgess, 1964). Na época da floração as flores masculinas abrem-se espontaneamente, assim libertando as anteras, possibilitando que o vento leve o pólen à longas distâncias. Por ser uma planta que apresenta polinização anemófila apenas um macho já é suficiente para fecundar centenas de plantas femininas e comprometer um cultivo comercial, já que a formação de sementes é indesejável para o uso cervejeiro, pois as sementes apresentam altos níveis de ácidos graxos que afetam negativamente a estabilidade do sabor da cerveja (Burgess, 1964; Linke, 1958, Serrine, 2018).



Figura 4. Flor de lúpulo masculina (Fonte: Google, 2021).

As flores femininas apresentam um perianto em forma de taça, rodeado por pequenas brácteas, que protegem a base dos estigmas. Os estigmas (Figura 5A) são proeminentes, com papilas adaptadas para captura do pólen, proveniente da planta masculina (Burgess, 1964; Linke, 1958). O ovário tem cerca de 1 mm de comprimento. Os estigmas têm cerca de 3 mm de comprimento, e perdem a viabilidade em poucos dias, eles continuam a alongar-se e senescem rapidamente, sendo ou não polinizados. A ráquis começa

alongar-se e engrossar-se, as brácteas vão se desenvolvendo e a inflorescência torna-se num estróbilo, geralmente denominado de cone (Figura 5B), devido à sua aparência (Burgess, 1964). Ao mesmo tempo, os tricomas glandulares, chamados de lupulina, que estavam presentes na forma rudimentar na pequena inflorescência, desenvolvem-se rapidamente e aceleram as suas secreções de resinas e de óleos essenciais (Burgess, 1964). As glândulas que secretam lupulina possuem a capacidade de armazenar e também sintetizar compostos como, óleos essenciais, ricos em terpenos fenólicos e polifenóis, entre outros compostos (Faray e Wessjohann, 2012). São esses compostos que irão fornecer as características de amargor, aroma e sabor na fabricação da cerveja.

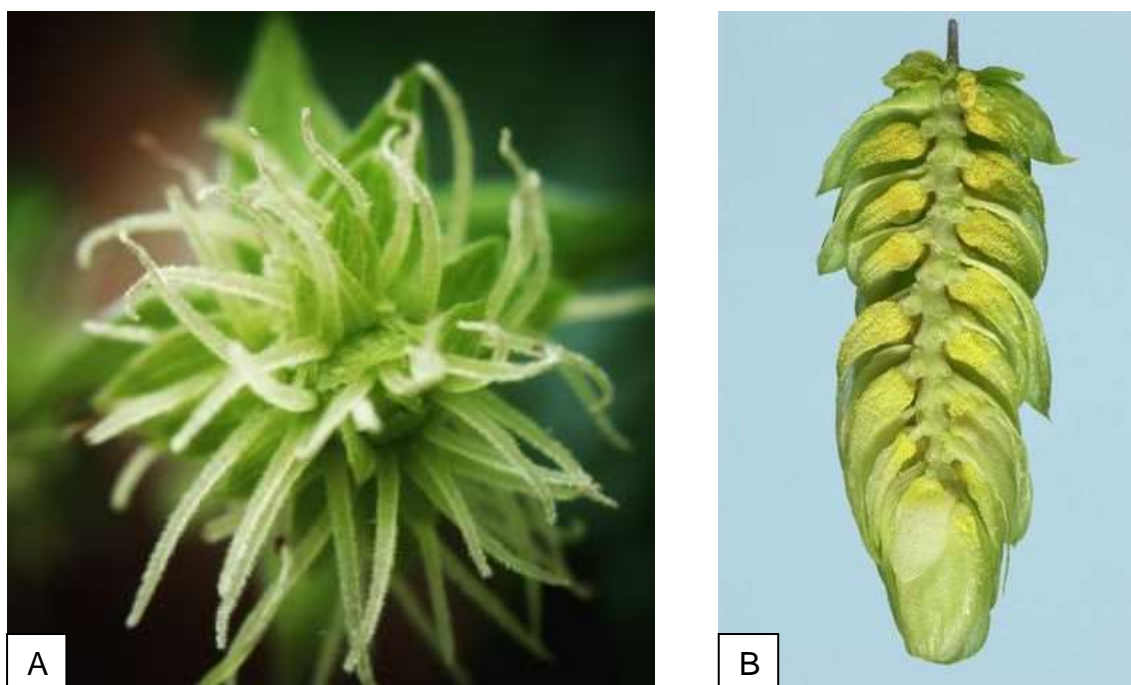


Figura 5. Flor feminina de lúpulo. A - Estigmas proeminentes. B - Cone partido ao meio (Fonte: Google, 2021).

Os rendimentos vão aumentando até o terceiro ano, quando tendem a se estabilizar, nos dois primeiros anos a produtividade é muito menor, assim como a qualidade, em muitos casos, os cones de primeiro ano, que são chamados de “baby hops”, acabam nem sendo colhidos (Park et al., 1988; Donner et al., 2020; Rossini et al., 2020).

2.3 Exigências

2.3.1 Clima

Dentro dos fatores climáticos, estão as principais causas que afetam e limitam a produção de flores de lúpulo no mundo, convencionalmente as áreas produtoras estão dentro da latitude 35° e 55° Norte e Sul (Figura 6.) (Tournois, 1912; Mozny et al., 2009). O fotoperíodo foi a primeira restrição climática para cultivo de lúpulo a ser reconhecida. Por muito tempo acreditou-se que o fotoperíodo, juntamente com a temperatura restringiam a produção de lúpulo há apenas alguns microclimas selecionados (Vale de Yakima, EUA; Hallertau, Alemanha e Zatec, República Tcheca).

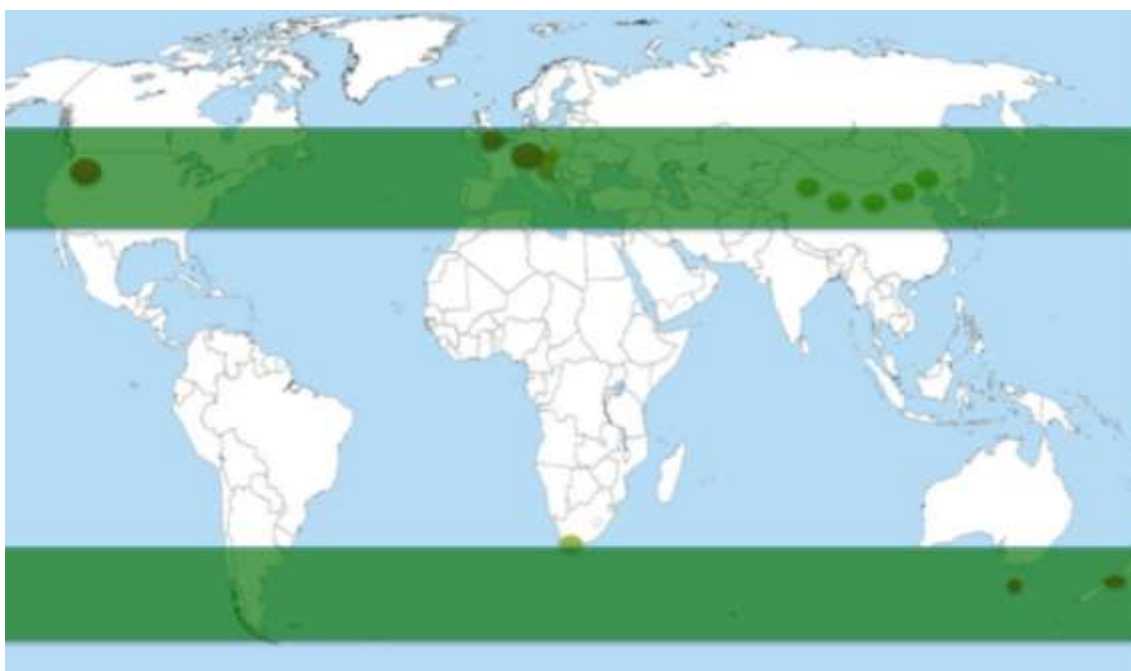


Figura 6. Faixas de latitude ideais para o lúpulo e as principais regiões produtoras (Capper, 2014).

O clima do outono e inverno em muitos locais é um impeditivo para o cultivo do lúpulo, abaixo de 10°C, a planta diminui suas atividades metabólicas e entra em dormência (Darby, 2017). A neve se encarrega de matar as brotações que ainda restam (Ruth, 2018). No campo, com o início da primavera, temperaturas mais quentes e fotoperíodos mais longos, o lúpulo sai da dormência. Conforme a temperatura aumenta durante o verão, ocorrem mudanças na planta, que passa do estágio juvenil para o reprodutivo (Darby, 2017).

Até pouco tempo acreditava-se que o lúpulo necessitava de vernalização e dormência para se desenvolver, entretanto o cultivo se estabeleceu em locais antes tido como improváveis, como Nova Zelândia, África do Sul e mais recentemente o Brasil (Beatson et al., 2003; Beverley, 2015).

A partir de relatos e estudos antigos sobre resfriamento e dormência, criou a convicção de que o lúpulo requer vernalização e/ou dormência para que o meristema mude do estado vegetativo para floral. Embora a vernalização e a dormência tenham sido aceitas como pré-requisitos para a indução floral do lúpulo, tal fato não foi provado cientificamente. Bauerle (2019) mostrou que antes tido como fundamentais para o florescimento do lúpulo, a vernalização e dormência não influenciam na floração, tanto na produtividade, quanto na qualidade dos cones, diferentemente do fotoperíodo, esse sim com comprovação de sua grande influência no florescimento.

As plantas também podem apresentar diferenças relevantes quando a mesma cultivar é produzida em diferentes regiões que possuem diferentes condições de solo e clima, essa situação é conhecida como Terroir. Além disso, mesmo quando plantado nas mesmas condições edafoclimáticas, o lúpulo pode apresentar resultados diferentes em cada safra devido às variações climáticas. Assim, é muito importante, e uma prática comum após cada colheita, realizar a caracterização química dos cones (Machado et al., 2019).

2.3.2 Temperatura

Apesar do lúpulo apresentar sensibilidade ao frio, as médias anuais de temperatura não têm grande importância, pois o que realmente é decisivo, são as temperaturas nos meses de crescimento vegetativo (Linke, 1958). As exigências térmicas do lúpulo, são em média de 2.900 a 3.000°C e a duração de insolação, que está estritamente ligada com a quantidade de calor varia de 1.600 a 1.700 horas anuais (Linke, 1958).

A temperatura média aumenta gradualmente à medida que a estação avança, como fator determinante de crescimento a cultura necessita de um início de primavera com tempo seco e fresco e, posteriormente, um verão mais quente e chuvoso (Dodds, 2017).

É durante a época de floração e da transformação da flor em cone, que se verifica a maior exigência em calor. Obtêm-se os melhores rendimentos quando chove suficientemente, com temperaturas entre 21 e 39°C, as plantas de lúpulo alcançam a assimilação máxima de carbono em nessas temperaturas, quando há água suficiente. Em temperaturas superiores a 41°C, a assimilação de carbono é reduzida (Eriksen et al., 2020). Os autores verificaram que as cultivares 'Cascade', 'Willamette' e 'Southern Brewer' podem ser as opções para cultivo em climas quentes, porque todas apresentaram altas taxas de assimilação de carbono em altas temperaturas, já a cultivar 'Chinook' pareceu suscetível a estresse extremo pelo calor e exibiu evidências de danos irreparáveis aos 45°C (Eriksen et al., 2020). Altas temperaturas aliadas ao déficit hídrico durante a fase de crescimento, comprometem o rendimento e os níveis de alfa-ácido dos cones (Srecec et al., 2004; Mozny et al., 2009; Donner et al., 2020; Eriksen et al., 2021).

2.3.3 Precipitação e irrigação

O lúpulo é uma cultura com grande necessidade hídrica, em locais nos quais a precipitação é baixa durante o período de cultivo ou apresenta períodos de seca, é necessário que o cultivo seja irrigado, na maioria das vezes utilizando o sistema de gotejamento. O fornecimento adequado de água é um dos principais requisitos para o sucesso da cultura do lúpulo (Burgess, 1964).

A falta de água, acarretando no estresse hídrico durante o desenvolvimento da cultura causa perdas em produtividade irreversíveis, dessa forma, fornecer níveis adequados de água nos diferentes estádios de desenvolvimento do lúpulo (Hnilickova e Novak, 2000; Keukeleire et al., 2007; Srecec et al., 2008; Donner et al., 2020). Resultados encontrados por Nakawuka et al. (2017), mostram que plantas de lúpulo sobre efeito do estresse hídrico de 60% da irrigação, em comparação com o nível de irrigação de 100%, apresentam redução da produção até 33%. O estresse hídrico durante a floração, desenvolvimento do cone e maturação do cone, diminuem significativamente a produtividade e a quantidade de alfa-ácidos (Hnilickova e Novak, 2000; Keukeleire et al., 2007; Srecec et al., 2008; Donner et al., 2020).

A maior região produtora de lúpulo dos EUA está concentrada na região do Vale do Yakima (Darling et al., 2021). Trata-se de uma região com pouca chuva ao longo do ano, o que exige irrigação para a produção de lúpulo. A exigência hídrica das cultivares na região, em sua maioria é de aproximadamente 610 - 712 mm de água por ano (George, 2001; Evans, 2003; Nakawura et al., 2017).

Quando cultivado em solos profundos, observa-se que o lúpulo é bem tolerante à seca, resultado das raízes que atingem cerca de 2,4 metros ou mais (Evans, 2003). Ressalta-se a necessidade de manter drenagem eficiente nas camadas superiores do solo, para que haja umidade, mas que não ocorra de forma excessiva, para evitar o apodrecimento de raízes e rizomas, assim como, aumentar a chance de doenças fúngicas (Dodds, 2017; Guimarães, 2020).

Guimarães et al. (2021) avaliaram o efeito da irrigação no desenvolvimento agrônomico do lúpulo, em casa de vegetação, na cultivar Cascade, com diferentes faixas de pH da água. Concluíram que a faixa de pH da água 6,5 a 7 promoveram maior produtividade de cones por planta e que os teores de alfa e beta-ácidos apresentaram maiores valores nas plantas submetidas a faixa de pH da água 6 a 6,5.

2.3.4. Fotoperíodo

Muitas plantas usam a duração do dia como fator ambiental para controlar o período de floração (Carré et al., 2018). Essas plantas são classificadas como plantas de dia curto ou de dia longo, dependendo se florescem quando a duração do dia se torna menor ou maior do que um número específico de horas, referido como duração crítica do dia. O lúpulo é conhecido como uma planta de dia curto (Thomas e Schwabe, 1969) porque floresce quando a duração do dia cai abaixo desse limite. O momento da floração é um fator determinante da produtividade. As plantas de lúpulo são mais produtivas quando o crescimento vegetativo é alcançado por longos dias antes que a floração seja induzida. A quantidade de luz disponível está ligada a latitude, e a faixa de latitude geralmente aceita para a produção comercial de lúpulo é de 35 ° a 55 ° ao norte ou ao sul do equador. (Dodds, 2017).

Para grandes produtividades, o lúpulo necessita de muitas horas de luminosidade, em geral, a duração do dia para o lúpulo para uma boa produtividade é de 15 a 16 horas nas estações da primavera e verão (Krebs 2019; Neve 1991). A falta de luminosidade pode resultar em floração pouco abundante, uma vez que os ramos laterais não se desenvolvem, além de formação imperfeita dos cones. Estes aparecerão sem o tamanho natural, leves, pouco densos e de cor pálida, por falta de clorofila (Linke, 1958). Os ramos laterais não se desenvolverão, produzindo apenas um cone por nó, o que resulta em baixa produtividade.

A condução das hastes no sentido vertical ou transversal em relação ao solo contribui essencialmente para uma melhor penetração da luz no lúpulo, assim como para o crescimento em altura. Para compensar a deficiência de tempo de exposição a luz solar, algumas áreas no Brasil, Austrália e até mesmo Estados como a Flórida/EUA tem recorrido a iluminação artificial (Figura 7) (Agehara, 2020).



Figura 7. Iluminação artificial em lúpulo na Flórida – EUA (Agehara, 2020).

No Estado de São Paulo, a latitude está abaixo de 25°S e a duração máxima do dia é de menos de 14 horas. Plantas de lúpulo cultivadas sob esta condição de duração do dia tendem a florescer prematuramente e, portanto, têm crescimento limitado da haste e produção de cones. Existem outras alternativas

para contornar a necessidade do fotoperíodo, por meio do melhoramento genético. A África do Sul desenvolveu cultivares de lúpulo que não dependem do fotoperíodo para atingir grandes produtividades, ou seja, não dependem de grande quantidade de luz para apresentar boa produtividade (Beverley, 2015; Eriksen et al., 2020). Outra alternativa é através do balanço hormonal, com aplicações de hormônios exógenos, é possível retardar o florescimento (Zimmermann et al., 1964).

2.3.5 Vento

Vento leve não é problema, desde que não causem danos nos ponteiros, ramos laterais, folhas e cones, pois o desenvolvimento e produtividade seriam prejudicados. A planta suporta bem ventos moderados, mas é importante sempre verificar a região antes da implantação da área e se necessário utilizar quebra-vento. O vento forte pode ser devastador na cultura do lúpulo, principalmente no final do estágio vegetativo em diante, quando as plantas fecham as ruas e parecem paredes verdes (Figura 8). Nesse momento, um vento de frente a esse paredão pode por toda a safra a perder, caso a estrutura de sustentação não seja bem construída e não resista a tensão causada (Dodds, 2017).



Figura 8. Estrutura de lúpulo que não resistiu a tempestade de vento na Alemanha (Runge, 2013).

2.3.6 Granizo

O granizo provoca danos físicos no lúpulo e a severidade dos danos terá relação com o estágio de desenvolvimento que o lúpulo está no momento do dano (Figura 9). Quando no início da safra, os danos são mais brandos, injuriando ponteiros, brotações e folhas. Entretanto, se o granizo atingir a planta quando estiver em pleno desenvolvimento, pode danificar os ramos laterais, principais responsáveis pela produtividade, lesionar folhas e reduzir muito a atividade fotossintética (Kind e Kaiser, 2020; O'Connell, 2021). Quando o granizo atinge a planta com os cones já formados, as perdas podem ser irreparáveis, comprometendo a quantidade e qualidade dos cones. As injúrias causadas pelo granizo em qualquer etapa, podem servir de entrada para patógenos maléficos nas plantas, como o *Peronospora humuli*, o míldio do Lúpulo (Kind e Kaiser, 2020).



Figura 9. Tempestade de granizo devasta plantação de lúpulo na Nova Zelândia (O'Connell, 2021).

2.3.7 Altitude

Estudos mostram que não há influência significativa nos rendimentos em diferentes altitudes, apesar de não haver muitos estudos, aparentemente este

não é um fator determinante para o cultivo de *H. lupulus* (Park et al., 1988). Há cultivos, como em Hesperus, Colorado com 2300 m e Chesapeake, Virgínia ao nível do mar. Vale do Yakima e Hallertau são os principais centros produtores do mundo e estão a 325 m e 513 m, respectivamente (LaShell, 2017; Sidersky, 2019).

2.3.8 Solos

O lúpulo desenvolve-se bem em vários tipos de solo, desde argilosos até arenosos, contanto que sejam férteis e consigam reter a umidade, mas que não ocorram encharcamentos. No entanto, desenvolve-se melhor em solos de textura média, que não apresentam encharcamentos e que tenham boas fertilidades. Os solos francos, desde os leves aos pesados, são os melhores. E, dentro destes, o melhor é um solo franco arenoso profundo (Carter et al., 1990; Burgess, 1964). Um solo arenoso precisa de maiores cuidados com a umidade e irrigação, já um solo argiloso necessita de atenção na drenagem (Neve, 1991).

O pH mais favorável é de 6,0 a 6,5 (Carrilho, 1981; Linke, 1958). Solos deficientemente drenados, solos fortemente alcalinos ou salinos devem ser evitados (Carter et al., 1990), bem como solos pedregosos (Vasconcelos, 1949).

Em agricultura, um solo é classificado como profundo quando a profundidade é de 1 a 2 metros (Lepsch et al., 2015). A tendência natural do lúpulo é produzir extensivo sistema de raízes que possibilite desenvolvimento equilibrado da planta. O bom desenvolvimento da raiz vai permitir, à planta, abundante e contínuo fornecimento de água e de nutrientes, que esta necessita para o seu rápido e normal crescimento, bem como a absorção de grande quantidade de água equivalente à que é transpirada através das folhas. Ao explorar um grande volume de solo, um bom sistema de raízes permite também à planta suportar temporariamente deficiências ligeiras de água ou nutrientes sem que ocorram danos, ajudando-a assim a prevenir interrupções no crescimento, que têm efeito adverso no lúpulo (Burgess, 1964). Por tudo isto, é importante que se reúnam as condições apropriadas para que a planta possa desenvolver sistema radicular que esteja equilibrado com a sua exuberante parte aérea.

Há muitas terras férteis, com boas constituições físicas e químicas, que não servem para o lúpulo porque não há profundidade suficiente. É preciso considerar a constituição não só do solo, como também do subsolo. É necessário determinar se o terreno é permeável, se as camadas intermediárias e argila não provocam umidade estagnante, ou se o aparecimento da rocha não impede o desenvolvimento das raízes (Carrilho, 1981; Linke, 1958).

Em solos bem drenados, as raízes do lúpulo conseguem penetrar em profundidade, mas, se a drenagem natural do solo for pobre, devem ser colocados tubos de drenagem, tão profundos quanto possível. O objetivo principal da drenagem é aerar o solo e não apenas livrá-lo da água. A água, ao infiltrar no solo, vai transportando o ar pelos canais e poros do solo, aerando assim o solo e fornecendo o oxigênio que é essencial para a respiração das raízes. Em solos encharcados, onde se acumula água à superfície, o oxigênio dissolvido na água estagnada não chegará às raízes da planta que acabarão por apodrecerem (Burgess, 1964).

Uma das mais importantes características para que o solo seja considerado adequado para o lúpulo é a sua capacidade em fornecer umidade suficiente durante toda a estação de crescimento ativo. Um solo franco pesado com um bom poder de retenção de água é, conseqüentemente, o mais apropriado. Mas a conveniência de qualquer tipo de solo é modificada se possuir a capacidade de fornecer umidade natural através do subsolo durante os meses de verão. Desta forma, nas regiões com uma pluviosidade razoável, os lúpulos podem crescer bem nos solos francos leves e, através da irrigação, é possível estender a cultura a outros tipos de solo (Dodds, 2017).

2.4 Composição química das inflorescências femininas

Os compostos produzidos pelas flores do lúpulo podem ser classificados, agrupando os metabólitos secundários em frações menores (Baxter e Hughes, 2001; Almaguer et al., 2014, Ting e Ryder, 2017; Durello et al., 2019). Na Tabela 2, são apresentadas as principais classes de compostos encontrados nas flores (Durello et al., 2019).

Tabela 2. Principais constituintes encontrados em flores secas de lúpulo.

Constituinte	Quantidade % (m/m)
Resinas totais	15-30
Óleos essenciais	0,5-3
Proteínas	15
Monossacarídeos	2
Polifenóis	4
Pectinas	2
Aminoácidos	0,1
Ceras e esteroides	Traços-25
Cinza	8
Água	10
Celulose/lignina	43

Durello et al., 2019.

As resinas e óleos essenciais são característicos de cada cultivar, podendo variar além desse fator, mas também pelo clima, solo, manejo, momento de colheita, operações de pós-colheita, peletização, modo de embalagem, armazenamento e tempo de armazenamento (Durello et al., 2019).

2.4.1 Resinas

As resinas são consideravelmente afetadas pelas condições culturais, entretanto as composições individuais dos constituintes é essencialmente um fator varietal (Howard, 1964). Dependendo da cultivar e das condições de crescimento, o lúpulo pode conter resinas que variam entre 0,3% e 23%, como as cultivares Relax e Polaris, respectivamente (Healey, 2021).

As resinas classificam-se em dois grupos: as resinas macias e as resinas duras. As resinas macias subdividem-se em alfa-ácidos, que são insolúveis em hexano e fração beta que é solúvel. A fração beta, se divide em beta-ácidos e resinas brandas não categorizadas (Houghs et al., 1982). Os beta-ácidos, dependendo da cultivar e das condições de crescimento, são responsáveis por cerca de 3 a 9% do peso seco dos cones de lúpulo (Howard, 1964). Existem ainda outras resinas, algumas das quais são produtos de oxidação dos alfa-ácidos e dos beta-ácidos (Duke, 1983).

Os alfa-ácidos são considerados os compostos mais importantes do lúpulo, é representado pela humulona e seus homólogos (humulona,

cohumulona, adhumulona, prehumulona e poshumulona) e correspondem a mais de 50% das resinas macias (Parkes, 2002). Os níveis de alfa-ácidos nos lúpulos começam a diminuir imediatamente após a colheita e continuam a diminuir no armazenamento (Mikyska e Krofta, 2012). Além disso, altas temperaturas, exposição ao oxigênio e luminosidade apressam a perda dos alfa-ácidos, motivo pelo qual os lúpulos devem ser colocados em embalagens multilaminadas seladas a vácuo e armazenados em câmaras frias, assim, aguentando até 12 meses sem perder suas características (Canbas et al., 2001; Srecec et al., 2009).

2.4.2 Óleos essenciais

Cerca de 0,5 a 3% dos cones de lúpulo secos são óleos essenciais, os quais apresentam os ativos de aroma e sabor, que possuem várias classes químicas presentes, como terpenos, álcoois, ésteres, aldeídos e cetonas (Dietz et al., 2020).

Já foram identificados mais de 1.000 compostos diferentes nos óleos essenciais de lúpulo (Eyres e Dufour, 2009; Dietz et al., 2020). Dentro da fração dos óleos essenciais, existem três classes de compostos: hidrocarbonetos, hidrocarbonetos oxigenados e hidrocarbonetos que contêm enxofre. Os hidrocarbonetos, são os compostos que existem em maior quantidade (75%) nos óleos essenciais de lúpulos frescos. Os hidrocarbonetos oxigenados contribuem com cerca de 23% e os hidrocarbonetos que contêm enxofre representam cerca de 1% (Parkes, 2002).

Os hidrocarbonetos constituem uma classe de óleos essenciais quimicamente conhecidos por terpenos: monoterpenos como o mirceno; diterpenos como o dimirceno; e sesquiterpenos como o farneseno, o humuleno, o cariofileno, o selenino e o limoneno (Parkes, 2002). O mirceno, juntamente com humuleno, cariofileno e o farneseno correspondem a aproximadamente 80% do total dos óleos essenciais, encontrados nos lúpulos frescos (Parkes, 2002).

O mirceno em muitas cultivares é o componente mais abundante dos óleos essenciais, podendo representar entre 20 a 65%. O mirceno é responsável por aromas herbáceos e verde fresco, lembrando o aroma de lúpulo verde,

fresco. O humuleno, em termos de conteúdo em algumas cultivares, pode até mesmo exceder a quantidade de mirceno, mas, no entanto, cerca de 15% é a sua composição. Esse composto é responsável pelas notas amadeiradas. O cariofileno fica responsável por 5 a 15% dos óleos essenciais e é responsável pelas notas amadeiradas e de especiarias. Já o farnaseno, dependendo da cultivar, a sua fração correspondente pode chegar a menos de 1%, mas pode corresponder até 20%. O farneseno corresponde as notas de cítrico, doces e amadeiradas (Almaguer et al., 2014; Bocquet et al., 2017; Durello et al., 2019).

As proporções dos constituintes na composição de óleos essenciais vão caracterizar cada cultivar, conseqüentemente influenciando no aroma do lúpulo. Um dos principais critérios para avaliar a qualidade do lúpulo é o aroma proveniente dos óleos essenciais (Parkes, 2002).

O armazenamento inadequado do lúpulo pode resultar em lúpulos que contenham cerca de 50% destes compostos. Estes compostos consistem em terpenos oxidados, em álcoois (linalol e geraniol), ésteres (acetato de geraniol), aldeídos e cetonas. Como são poderosos agentes aromáticos, alguns fabricantes de cerveja envelhecem deliberadamente o lúpulo, para realçar estas qualidades. Os hidrocarbonetos que contêm enxofre são encontrados em quantidades mínimas, mas podem ser potentes agentes aromatizantes (Parkes, 2002).

2.5 Melhoramento genético de lúpulo

Os primeiros cultivares de lúpulo foram selecionados na antiguidade por acaso, assim como muitas outras plantas, a seleção era através do fenótipo, ou seja, uma seleção massal (Borém, 1998). Algumas dessas cultivares são cultivadas até hoje, como o Saaz (Carr, 2016). Antigamente o melhoramento de lúpulo na Europa focava principalmente em lúpulos aromáticos, que têm menor conteúdo de alfa-ácidos e uma razão alfa/beta mais balanceada, variando entre 0,8 e 1,5. Nos EUA, os programas de melhoramento buscavam cultivares com maior amargor. Como resultado de um crescente número de microcervejarias, uma maior exigência por diferentes sabores e aromas mudou o foco dos programas de melhoramento, que passaram a lançar lúpulos com maior

versatilidade, que podem ser usados tanto para amargor, como aroma, conhecidos como lúpulos de uso duplo ((Nesvadba et al., 2017), Nesvadba et al., 2020)

Atualmente, grandes e pequenas cervejarias estão produzindo cervejas especiais, usando diferentes tipos de lúpulos, dos EUA (Amarillo, Simcoe, Cascade, Citra, Mosaic etc.), Alemanha (Mandarina Bavaria, Huell Melon, Polaris etc.), Austrália (Enigma, Galaxy etc.), Nova Zelândia (Motueka, Nelson Sauvin, etc). Atualmente, há um total de 295 cultivares de lúpulo registradas em todo o mundo (IHGC, 2020).

Graças ao melhoramento genético de lúpulo, é possível ganhar novos genótipos de lúpulo promissores com aromas diferentes. Numerosas hibridizações têm como objetivo o desenvolvimento de novos genótipos de lúpulo com alta intensidade de aromas específicos e alto amargor, entre outras características mais específicas, como baixa cohumulona (Nesvadba, 2018). A base para o melhoramento do lúpulo é uma coleção de recursos genéticos do lúpulo, formando um programa com ampla base genética, com variabilidade suficiente para gerar novos híbridos e explorar características de desejo.

O lúpulo apresenta um genoma considerado grande (2,8 Gb) (Zonneveld et al., 2005, Padgitt-Cobb et al., 2021). O desenvolvimento de novas cultivares de lúpulo usando métodos tradicionais de melhoramento é um processo demorado e caro, podendo chegar a 15 anos de desenvolvimento de uma cultivar até chegar ao mercado consumidor (Henning e Townsend, 2005). Novos meios para acelerar a seleção, bem como reduzir o número de mudas necessárias para observações in situ sob condições de campo, são necessários devido aos orçamentos reduzidos de pesquisa e ao aumento da demanda por cultivares de lúpulo novas e exclusivas (Henning et al., 2019). Na última década, houve um rápido desenvolvimento no uso de procedimentos computacionais avançados aplicados a estudos genéticos em programas de melhoramento de plantas. Um desses procedimentos é o uso das matrizes de parentesco e valores genéticos empíricos (eBV) por meio de modelagem de efeitos mistos usando máxima verossimilhança restrita (REML) (Patterson e Thompson, 1971). Os genótipos são ajustados como efeitos aleatórios e o eBV é estimado pelos melhor preditor linear não-viesado (BLUP) (Henderson, 1986). A análise do BLUP pode levar em

consideração os pedigrees dos parentes, permitindo assim que as informações dos parentes sejam incorporadas às estimativas, mesmo não padronizadas. Além disso, a abordagem de modelagem mista pode ser adaptada para levar em conta os efeitos de várias localidades e também para analisar ensaios multiambientais. A natureza dioica da espécie faz com que o procedimento REML/BLUP traga como vantagem a estimativa dos valores genéticos dos pais masculinos. O objetivo dos estudos BLUP, então, é utilizar todas as informações genéticas disponíveis para uma cultura específica (Piepho et al., 2008). A partir de análises BLUP multivariadas, matrizes de correlação genética podem ser derivadas junto com estimativas de herdabilidade para várias características medidas. A partir deles, é possível formular um índice de seleção para várias características, conforme estabelecido por Falconer (1981).

2.6 Aspectos econômicos

Mais de 20 países produzem lúpulo comercialmente, dentre os quais se destacam os EUA e a Alemanha como 1º e 2º maiores produtores do mundo, respectivamente. Em 2019, juntos representam cerca de 72% da área cultivada e aproximadamente 77% de toda a produção mundial. Houve um aumento de 2,5% de área cultivada e 3,3% de produção no mundo, em relação ao ano de 2018 (IHGC, 2020).

O consumo mundial de cerveja em 2020 foi de cerca de 200 bilhões de litros, sendo a bebida alcoólica mais consumida no planeta, e perdendo apenas para água, café e chá entre as bebidas mais consumidas no mundo (Lopes et al., 2020). Atualmente, quatro empresas controlam metade da produção mundial de cerveja, e a maior parte da cerveja restante é produzida por relativamente grandes empresas. No entanto, nas últimas décadas houve crescimento das microcervejarias, empresas de cerveja artesanal e 'brewpubs'. Estas menores operações oferecem produtos diferentes do que ofertado pelas cervejarias nacionais e multinacionais, principalmente para consumo local. Nos EUA existem agora cerca de 3.000 pequenas cervejarias locais, fornecendo 10% da cerveja do país, em contraste, o Brasil no ano de 2020 apresentava 1.383 cervejarias que fornecem aproximadamente 2,5% da cerveja no país, mostrando

um enorme potencial de crescimento (ABRACERVA, 2018; MAPA, 2021). O sabor do lúpulo é o principal fator de qualidade associado às cervejas locais, e como resultado, os cervejeiros locais estão buscando produtos caseiros e diferenciados. A previsão de crescimento do mercado de cerveja garante que também haverá mercado crescente para o lúpulo.

A crescente popularidade de microcervejarias está diretamente associada a cervejas que utilizam mais lúpulo em suas receitas, configurando assim mais oportunidade para a produção nacional atender parte da demanda.

2.7 Aplicações do lúpulo

O uso do lúpulo não se restringe somente ao mercado cervejeiro, existem muitas outras formas de utilização. Atualmente, cerca de 98% do lúpulo produzido em todo o mundo serve ao mercado cervejeiro, entretanto, os 2% restantes são utilizados na área medicinal, alimentícia, artesanal, de beleza, entre outros (Schoenbergen e Kostecky, 2011).

2.7.1 Indústria cervejeira

Do ponto de vista comercial, a produção de lúpulo continua a ser, principalmente, direcionada para a indústria da cerveja, que consome 98% da sua produção mundial (Lopes et., 2020).

O lúpulo confere à cerveja algumas das suas características mais extraordinárias, como, amargor, seu aroma característico, estabilidade da espuma e ainda um poder de conservação e propriedades antissépticas (Linke, 1958; Howard, 1964; Duke, 1983; Polley et al., 1997). Na indústria da cerveja utilizam-se as inflorescências femininas, pois são nelas que estão as grandes concentrações de lupulina, podem ser utilizadas na forma fresca, seca ou peletizada.

Os alfa-ácidos da resina contribuem para o amargor (Carter et al., 1990; DeNoma, 2000; Duke, 1983; Howard, 1964; Linke, 1958; Neve, 1977; Ribeiro, 1995), são fundamentais para a formação e estabilidade da espuma (Linke, 1958; Parkes, 2002) e possuem ainda, assim como os beta-ácidos, uma ação

antisséptica, devido ao seu poder bacteriostático nos microrganismos Gram-positivos (Howard, 1964; Linke, 1958; Neve, 1977; Ribeiro, 1995). Os óleos essenciais são os responsáveis pelo aroma característico da cerveja (Carter et al., 1990; DeNoma, 2000; Duke, 1983; Howard, 1964; Linke, 1958; Neve, 1977). Os taninos exercem uma ação de conservação e de clarificação sobre a cerveja (Linke, 1958).

2.7.2 Medicina

A utilização do lúpulo na medicina é muito antiga. Com a evolução da ciência e tecnologia, a importância das suas capacidades terapêuticas estão sendo cada vez mais valorizadas. Nos últimos anos, têm-se conseguido identificar novos agentes terapêuticos, inclusive para a prevenção e tratamento de alguns tipos de câncer (Jiang et al., 2018).

Na medicina são utilizadas as inflorescências femininas e a lupulina contida nelas. A lupulina deve ser liofilizada ou acondicionada, pois durante a secagem, se não feita de forma correta, as propriedades podem ser perdidas por oxidação (Cunha et al., 2003).

Alguns dos usos farmacológicos dos componentes do lúpulo são os óleos essenciais e os alfa-ácidos da resina no combate à falta de apetite e têm ação sedativa e espasmolítica (Cunha et al., 2003). A humulona tem atividade anticancerígena (Yasukawa et al., 1995) e possui propriedades antibacterianas e antimicóticas (Howard, 1964). A lupulona possui propriedades antibacterianas (Howard, 1964). Os óleos essenciais, também possuem propriedades antibacterianas e antimicóticas (Langezaal et al., 1992). Os flavonoides têm atividade estrogênica (Milligan et al., 1999), anticancerígena (Henderson e Feigelson, 2000; Miranda et al., 1999) e ação diurética (Cunha et al., 2003). À lupulina, além de sedativo, são-lhe atribuídas propriedades anafrodisíacas, antibacterianas, antimicóticas (Cunha et al., 2003) e propriedades tuberculoestáticos (Duke, 1983).

Nos últimos anos, evidências crescentes sugeriram a atividade anticâncer de Xanthohumol, contra câncer de pulmão de células não pequenas (NSCLC), leucemia, carcinoma hepatocelular (HCC), câncer de mama, próstata, tireoide,

pâncreas, cólon, cervical e ovário, glioblastoma, melanoma, carcinoma de células escamosas da laringe (LSCC), Alzheimer e Parkinson (Jiang et al., 2018).

Os extratos de lúpulo possuem atividade antimicrobiana, devido aos alfa-ácidos, especialmente a lupulona e a humulona (Duke, 1983). A lupulona inibe o crescimento de muitos microrganismos, incluindo espécies patogênicas como *Staphylococcus aureus*, *Mycobacterium tuberculosis* e *Mycobacterium phlei*, e a humulona, além de apresentar propriedades antibacterianas, também inibe o crescimento de certos fungos (Howard, 1964). Langezaal et al., (1992) desenvolveram um estudo sobre a atividade antimicrobiana dos óleos essenciais e extratos de lúpulo silvestre e cultivado. Os resultados indicaram que os óleos e os extratos demonstraram atividade contra as bactérias Gram-positivas *Bacillus subtilis* e *Staphylococcus aureus* e contra o fungo *Trichophyton mentagrophytes* var. *interdigitale*, mas quase não houve atividade contra as bactérias Gram-negativas *Escherichia coli* e a levedura *Candida albicans* (Rocha, 2005).

Dadas às suas propriedades terapêuticas: sedativo, antálgico, espasmolítico, antisséptico, aperitivo, digestivo, diurético, tônico, estomático, anti-inflamatório, hipnótico, anafrodisíaco, hormonal, sudorífico, vermífugo e aromático, o lúpulo é muito utilizado na medicina tradicional para: angústia, ansiedade, anorexia, depressão, insônia, perda de apetite, tosse, dores de cabeça, dores de ouvidos, estresse, delírio, histeria, menstruações difíceis ou dolorosas, perturbações da menopausa, ejaculação precoce, cistites, dispepsia, febre, taquicardia nervosa, tensão nervosa e distúrbios gastrointestinais. Externamente, é utilizado para o tratamento de feridas, abscessos, úlceras, eczemas e herpes. As flores secas são utilizadas para encher almofadões e almofadas para combater a insônia (Chadwick et al., 2006).

Na China, várias dosagens de extratos alcoólicos de lúpulo foram testadas em testes clínicos, no tratamento de algumas formas de lepra, tuberculose pulmonar e desintéria bacteriana aguda (Duke, 1983). Externamente, é utilizado em inflamações cutâneas. É, principalmente, indicado para: síndrome antidepressiva, insônia e anorexia. É contraindicado no caso de: gravidez, aleitação, hiperestrogenismo (Cunha et al., 2003). Por outro lado, pode produzir

um efeito estrogênio, quando isolado, foi identificado um potente fitoestrogênio, o 8-prenylnaringenin, estruturalmente relacionado com os flavonoides, que possui atividade estrogênica mais elevada do que a de outros estrogênios vegetais já estudados. Os autores referem que a presença de 8-prenylnaringenin no lúpulo pode ajudar a explicar os discretos distúrbios menstruais em mulheres que trabalham com lúpulo. Os autores referem ainda que este fito estrogênio também pode ser detectado na cerveja, mas em níveis baixos (Milligan et al., 1999; Cunha et al., 2003).

2.7.3 Alimentação

O lúpulo possui uma longa história de usos na antiguidade, incluindo o culinário (Rossini, 2020). Seus brotos também são conhecidos como aspargos de lúpulo. O broto é muito procurado na maioria dos países europeus (Neve, 1991). Após a fervura, os brotos jovens apresentam baixo teor de gordura, valor energético e teor de sódio, sendo boa fonte de fibra alimentar e vitamina B9 (Morales, 2011; Sanchez-Mata et al., 2012; García, 2014). Além disso, os brotos do lúpulo selvagem apresentam altos níveis de vitamina C e, portanto, são fonte potencial de novos ingredientes funcionais no desenvolvimento de novos alimentos (Sanchez-Mata et al., 2012). Os brotos quando frescos apresentam vida útil curta, portanto, devem ser consumidos logo após a colheita ou processados para armazená-los com segurança por período mais longo, por exemplo em conserva (Rossini, 2020).

Em relação à produção dos brotos de lúpulo, em plantas de segunda safra em diante, eles emergem do solo dos rizomas. A orientação do crescimento dos brotos é uma etapa crítica para otimizar a produção de cones, após orientação do crescimento os brotos excedentes podem ser podados. Para produtores e cervejeiros, os brotos excedentes são um produto sem valor para o lúpulo, mas para os gastrônomos estão entre os vegetais mais caros do mundo. O seu valor comercial notável deve-se a se tratar de um produto sazonal, podendo alcançar patamares exorbitantes, chegando a custar até 1.000 euros o quilograma (Duggins, 2015). Na Inglaterra, os brotos verdes jovens são consumidos, mas não é um prato comum, enquanto na Bélgica os brotos de lúpulo são

considerados uma iguaria, cortados muito finamente e barrados com manteiga ou creme são excelentes (Neve, 1991). Na região do Mediterrâneo o uso do lúpulo selvagem como hortaliça é popular, e seus brotos são cozidos de acordo com receitas tradicionais (Tardio et al., 2006; Hadjichambis et al., 2008; Morales, 2011; Di Tizio et al., 2012; Sanchez-Mata et al., 2012; García, 2014).

As folhas jovens, as pontas dos rebentos e as flores masculinas constituem uma boa adição em saladas e sopas (Rocha, 2005). Os extratos e os óleos essenciais são usados para dar sabor às bebidas não alcoólicas, sobremesas geladas à base de leite, bombons, gelatinas, pudins e doces cozidos (Duke, 1983). Os óleos essenciais são também utilizados nas bebidas de cereais e em águas minerais (Duke, 1983). No Brasil o consumo de produtos alimentícios com utilização de lúpulo vem crescendo, hoje já é possível encontrar, café aromatizado, água com gás, maioneses e molhos de pimenta.

2.7.4 Higiene pessoal, perfumaria e cosméticos

Os extratos de lúpulo são frequentemente utilizados em produtos cosméticos através de perfumes, xampus, loções e cremes. Os cones de lúpulo são incorporados em formulações, e graças as propriedades antifúngicas, para o tratamento da oleosidade e da caspa nos cabelos (Chaves, et al., 2020). A aplicação de lúpulo na forma de gel serve como agente de antienvhecimento para aliviar os sinais da idade na pele. O composto xanthohumol, resultou de forma eficaz na melhoria da estrutura e firmeza da pele (Arruda et al., 2021).

2.7.5. Outras utilizações

Algumas cultivares de lúpulo acabaram sendo selecionadas por suas qualidades decorativas, normalmente àquelas que apresentam folhagem mais clara, quase amarela. As plantas femininas são mais atraentes do que as masculinas e geralmente são cultivadas. Apoiados em estruturas, as plantas podem formar bonitas decorações (Small, 2016).

Os óleos essenciais do lúpulo podem ser utilizados na indústria do tabaco, como aromatizante (Rocha, 2005). O caule rico em fibras, é útil em artesanato,

sendo utilizado na elaboração de cestos e artigos de vime e também na produção de biomassa (Rocha, 2005; Small, 2016).

2.8 Lúpulo no Brasil

Atualmente o Brasil é um dos principais produtores de cerveja do mundo, alcançando a terceira colocação mundial, com cerca de 14 bilhões de litros anuais, o que corresponde a 1,6% do PIB do país (CERVBRASIL, 2020). O Brasil importa praticamente 100% do lúpulo utilizado, cerca 3,2 mil toneladas, ao custo de US\$ 56 milhões, sendo a Alemanha e os Estados Unidos os maiores exportadores para o país (COMEX, 2021).

O Brasil não possui lúpulo crescendo de forma espontânea e a introdução e avaliação de acessos é um dos primeiros passos para a adaptação da cultura no país e para tornar-se economicamente viável para os produtores assim fornecer ao mercado produto de qualidade (Machado et al., 2018).

A história do lúpulo no Brasil remete aos tempos do império, há relatos de que o Imperador Dom Pedro II adquiriu alguns exemplares e que foram colados no Jardim Botânico do Rio de Janeiro. O primeiro documento técnico mencionando lúpulo em nossos solos que se tem relato, foi a Revista Agrícola do Instituto Fluminense de Agricultura, em 1885. Existem relatos do cultivo no Paraná, no ano de 1869, através de mudas trazidas por imigrantes poloneses. Posteriormente, por volta do ano de 1953, na região de Nova Petrópolis-RS, um imigrante austríaco foi designado para conduzir um cultivo na região, essa área chegou a representar cerca de 15 hectares. O cultivo não prosperou quando as pequenas cervejarias que consumiam a produção, foram adquiridas por um grupo maior, que passou apenas a importar lúpulo (BeerArt, 2019; Baierle, 2020). Após várias décadas esquecido, o cultivo de lúpulo renasceu no país na última década. A cultivar 'Mantiqueira', recebeu a denominação da serra onde a planta foi cultivada desde 2005, pelo Engenheiro Agrônomo Rodrigo Veraldi, que recebeu sementes de lúpulo de um amigo do Canadá e tentou cultivá-las, não obtendo êxito, todas as plantas foram descartadas. Desse descarte após algum tempo, uma planta acabou crescendo, se desenvolvendo e completando o ciclo produtivo. Rodrigo propagou vegetativamente essa cultivar e após relativo

sucesso, o cultivo ganhou notoriedade e impulsionou um movimento que estava engatinhando em várias localidades (Araújo, 2016).

Atualmente o Brasil possui 48 cultivares no Registro Nacional de Cultivares, sendo que todas livres de patentes (RNC, 2021). Apesar das dificuldades naturais de um novo cultivo se estabelecendo, em 2018 foi fundada a Associação Brasileira dos Produtores de Lúpulo (APROLÚPULO), que conta atualmente com quase 150 associados, presentes em nove Estados e o Distrito Federal (Figura 10). Segundo dados, o Brasil atualmente possui cerca de 50 hectares de lúpulo, com produção estimada em 20 toneladas (APROLÚPULO, 2021).

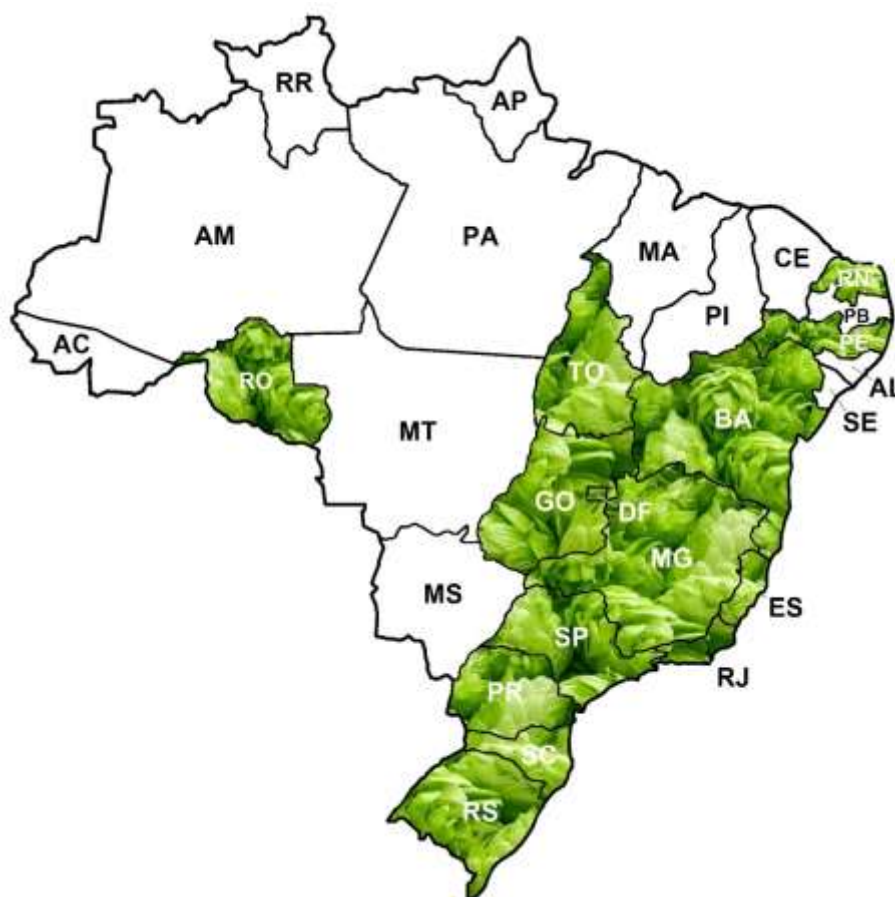


Figura 10. Estados com produtores de lúpulo no último levantamento da APROLÚPULO.

Na área de pesquisa, o número de pesquisas e pesquisadores vem aumentando ano a ano, já é possível consultar literatura nacional em diversas áreas como: adaptabilidade (Fagherazzi, 2020); adubação (Dagostim, 2019);

doenças e pragas (Nascimento et al., 2020; Gonsaga et al., 2021; Fagherazzi et al., 2021); estudos econômicos e de viabilidade (Nakasone et al., 2017; Sarnighausen e Sarnighausen, 2017; Fagherazzi e Rufato, 2018; Marcusso e Muller, 2018; Zanoello et al., 2018); genética (Bernert, 2018); irrigação (Guimarães et al., 2021); qualidade e composição (Pinto, 2018; Durello, 2018; Almeida et al., 2019; Durello et al., 2019; Silva, 2019; Almeida, 2020; Arruda et al., 2021) manejo (Fagherazzi et al., 2018; Machado et al., 2018).

O cultivo de lúpulo no país está em franca expansão, mas ainda é pequeno, devido às várias décadas sem testes e áreas comerciais. Com a demanda existente pelo produto e a possibilidade de cultivo no país, são necessárias pesquisas de desenvolvimento, pois se trata de cultura nova no país e com elevado potencial econômico. A busca por cultivares adaptadas ao clima tropical, sem dependência de fotoperíodo e que apresentem boa produção e qualidade é de interesse para o estado de São Paulo e para o Brasil.

3 REFERÊNCIAS

ABRACERVA - Associação Brasileira de Cerveja Artesanal (2018). Mercado da Cerveja 2018. 24 p.

Agehara, S (2020) Using Supplemental Lighting to Control Flowering of Hops in Florida. **IFAS Extension HS1365**.

Almaguer C, Schonberger C, Gastl M, Arendt EK, Becker TJ (2014). **The Institute of Brewing & Distilling** 120: 289–314.

Almeida ADR, Maciel MVDOB, Machado MH, Bazzo GC, De Armas RD, Vitorino VB, Vitali L.; Block, JM, Barreto PLM (2019) Bioactive compounds and antioxidant activities of Brazilian hop (*Humulus lupulus* L.) extracts. **International Journal of Food Science & Technology** 55:340-347.

Almeida JM (2020) **Análise do óleo essencial de variedades de lúpulo (*Humulus lupulus* L.) cultivadas no Brasil por cromatografia gasosa uni e bidimensional**. 60 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia (Horticultura) – Unesp, Botucatu.

Aprolúpulo (2021) **Conheça as regiões produtoras, Santa Catarina.** Disponível em: <<http://aprolupulo.com.br/>>. Acesso em: 28 mar. 2021.

Araújo N (2016) Variedade brasileira de lúpulo é descoberta na Serra da Mantiqueira. Disponível em: <http://g1.globo.com/economia/agronegocios/noticia/2016/05/variedade-brasileira-de-lupulo-e-descoberta-na-serrada-mantiqueira.html> Acesso em: 05 de julho de 2020.

Arruda TR, Pinheiro PF, Silva PI, Bernardes PC (2021) A new perspective of a well-recognized raw material: Phenolic content, antioxidant and antimicrobial activities and α - and β -acids profile of Brazilian hop (*Humulus lupulus* L.) extracts. **LWT** 141:110905.

Baierle RE (2020) Cultivo de Lúpulo no Brasil. p. 79.

Bassil NV, Gilmore B, Oliphant JM, Hummer KE, Henning JA (2008) Genic SSRs for European and North American hop (*Humulus lupulus* L.) **Genetic Resources and Crop Evolution** 55:959-969.

Bauerle WL (2019) Disentangling photoperiod from hop vernalization and dormancy for global production and speed breeding. **Scientific Reports** 9:16003.

Baxter ED, Hughes PS (2001) Beer: quality, safety and nutritional aspects, 1st ed., RSC Paperbacks: Cambridge. p. 138.

Beard FH, (1943) Root studies X. The root-systems of hops on different soil types. **Hort. Sci** 20:147-154.

Beatson RA, Ansell KA, Graham LT (2003) Breeding, development, and characteristics of the hop (*Humulus lupulus*) cultivar 'Nelson Sauvin', New Zealand. **Journal of Crop and Horticultural Science** 31(4):303-309.

Beerart (2019) Lançamento da Edelbrau recupera história do lúpulo no RS. Disponível em: <<https://revistabeerart.com/news/edelbrau-lupulo>>. Acesso em: 04 abr. 2021.

Bernert AF (2018) **Diversidade genética de acessos via ISSR e identificação do sexo de “seedlings” de lúpulo**. 46 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia 'Produção Vegetal') – UFPR, Curitiba.

Beverley AJ (2015) **The effect of timing of stripping on hop production under south african conditions**. 82 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - University Of Stellenbosch, Stellenbosch.

Bocquet L, Sahpaz S, Rivière C (2018) An Overview of the Antimicrobial Properties of Hop. In: Mérillon J.M., Rivière C., editors. **Natural Antimicrobial Agents** 19:31–54.

Borém A (1998) Melhoramento de plantas. 2. ed. Vicosa (MG): UFC 453p.

Burgess AH (1964) Hops, botany, cultivation and utilization. (ed. Polunin, N.). Interscience Publishers Inc. Nova Iorque. 320 p.

Canbas A, Erten H, Ozşahin F (2001) The effects of storage temperature on the chemical composition of hop pellets. **Process Biochemistry** 36:1053-1058.

Carr N (2016) How to Grow & Brew Saaz Hops. Disponível em: <https://learn.kegerator.com/saaz-hops/> Acesso em: 05 de maio de 2021.

Carré I, Coupland G, Putterill J (2018) Photoperiodic Responses and the Regulation of Flowering. **Annual Plant Reviews online** 21:167–190.

Carrilho F (1981) Necessidades do lúpulo do ponto de vista – clima e trabalhos culturais. In: 1ª JORNADAS TÉCNICAS SOBRE A CULTURA DO LÚPULO. Resumos... Portugal: Braga.

Carter PR, Oelke EA, Kaminski AR, Hanson CV, Combs SM, Doll JD, Worf GL Oplinger ES (1990) Alternative Field Crops Manual. University of Wisconsin-Madison, WI 53706 and University of Minnesota, St. Paul, MN 55108. Disponível em: <http://newcrop.hort.purdue.edu/newcrop/atcm/Hop.html>. Acesso em: 21 Abri. 2021.

Cerenak A, Kolenc Z, Sehur P, Whittock SP, Koutoulis A, Beatson R, Buck E, Javornik B, Škof S, Jakše J (2019) New Male Specific Markers for Hop and Application in Breeding Program. *Scientific reports* 9:14223.

Cervbrasil (2020) Dados do Setor. Disponível em: <http://www.cervbrasil.org.br/novo_site/dados-do-setor>. Acesso em: 05 jul. 2020.

Chadwick LR, Pauli GF, Farnsworth NF (2006) The pharmacognosy of *Humulus lupulus* L. (hops) with an emphasis on estrogenic properties. **Phytomedicine** 13:119-131.

Chaves N, Santiago A, Alías JC (2020). Quantification of the antioxidant activity of plant extracts: Analysis of sensitivity and hierarchization based on the method used. **Antioxidants**, 9(1)1–14.

Comex, – Portal do comércio exterior do Brasil, 2021. Exportação e Importação geral. Disponível em: <<http://comexstat.mdic.gov.br/pt/geral/15604>>. Acesso em: 14 nov. 2021.

Cunha AP, Silva AP, Roque OR (2003) Plantas e produtos vegetais em fitoterapia. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian. 701 p.

Dagostim MD (2019) **Crescimento do lúpulo (*Humulus lupulus* L.) em função da adubação nitrogenada e da aplicação de ácido giberélico foliar**. 67 f. Dissertação (Ciência do Solo) – Udesc, Lages.

Danilova TV, Karlov GI (2017) Application of inter simple sequence repeat (ISSR) polymorphism for detection of sex-specific molecular markers in hop (*Humulus lupulus* L.). **Euphytica** 151:15–21.

Darby H (2017) **Hops Producion, University Vermont**. Disponível em: <https://www.canr.msu.edu/uploads/234/78941/Hops_Producion_-_Heather_Darby.pdf>. Acesso em: 05 jul. 2020.

E. Darling E, Pu J, Cole E, Christian R, Warner F, Zasada I, Chung H, Quintanilla M (2021) First Report of the Hop Cyst Nematode, *Heterodera humuli*, in Two Counties of the Yakima Valley Region, WA, U.S.A. **Plant Disease** 105:(4)1228-1228.

De Keukeleire J, Ooms G, Heyerick A, Roldan-Ruiz I, Van Bockstaele E, De Keukeleire D (2007) Relevance of organic farming and effect of climatological conditions on the formation of alpha-acids beta-acids desmethylxanthohumol and

xanthohumol in hop (*Humulus lupulus* L). **Journal of agricultural and food chemistry** 5:61–66.

DeNoma JS (2000) *Humulus Genetic Resources*. Hop. USDA ARS National Clonal Germplasm Repository, Corvallis, Oregon. Disponível em: <<http://www.arsgrin.gov/ars/PacWest/Corvallis/ncgr/humulus/huminfo.html>>. Acesso em: 4 abr. 2021.

Di Tizio A, Łuczaj ŁJ, Quave CL, Redžić S, Pieroni A (2012) Traditional food and herbal uses of wild plants in the ancient South-Slavic diaspora of Mundimitar/Montemitro (Southern Italy). *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 8:1–10.

Dietz C, Cook D, Huisman M, Wilson M, Ford R (2020) The multisensory perception of hop essential oil: a review. *Journal of the Institute Brewing* 126:320–342.

Dodds K (2017) **Hops – a guide for new growers**. Disponível em: <<https://www.wildabout hops.nz/assets/files/hops-guide-for-new-growers.pdf>>. Acesso em: 05 jul. 2020.

Donner P, Pokorný J, Ježek J, Krofta K, Patzak J, Pulkrábek J (2020) Influence of weather conditions, irrigation and plant age on yield and alpha-acids content of Czech hop (*Humulus lupulus* L.) cultivars. **Plant, Soil and Environment** 1:41–46.

Duggins A (2015) It's like eating a hedgerow': why do hop shoots cost €1,000 a kilo? *The Guardian* Disponível em: <<https://www.theguardian.com/lifeandstyle/wordofmouth/2015/may/18/its-like-eating-a-hedgerow-why-do-hop-shoots-cost-1000-a-kilo>>. Acesso em: 4 abr. 2021.

Duke, JA (1983). *Humulus lupulus* L. Handbook of Energy Crops. Disponível em: <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/Humulus_lupulus.html>. Acesso em: 21 abr. 2021.

Durello RS (2018) Química do sabor de cervejas: detalhes moleculares de lúpulos (*Humulus lupulus*) cultivados no Brasil no processo cervejeiro. 92 f. Dissertação (Mestrado em Ciências 'Química Analítica e Inorgânica') – USP, São Carlos.

Durello RS, Silva LM, Bogusz Jr S (2019) Química do lúpulo. **Química Nova** 42(8)900-919.

Eriksen R, Rutto L, Dombrowski J, Henning J (2020) Photosynthetic Activity of Six Hop (*Humulus lupulus* L.) Cultivars under Different Temperature Treatments. **HortScience** 55:1-7.

Eriksen RL, Padgitt-Cobb LK, Townsend MS et al (2021) Gene expression for secondary metabolite biosynthesis in hop (*Humulus lupulus* L.) leaf lupulin glands exposed to heat and low-water stress. **Scientific reports** 11:5138.

Evans JR (2013) Improving Photosynthesis. **Plant Physiology** 162(4):1780–1793.

Eyres G, Dufour J (2009) 22 - Hop Essential Oil: Analysis, Chemical Composition and Odor Characteristics. **Beer in Health and Disease Prevention**. Academic Press. p. 239-254.

Fagherazi MM (2020) Adaptabilidade de cultivares de lúpulo na região do planalto sul catarinense. 116 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – UDESC Lages.

Fagherazzi MM, Pereira FS, Nerbass FR, Zacca EF, Sommer VB, Gonçalves MJ, Rufato L, Casa RT, Bogo A, Silva FN (2021) First report of *Podosphaera macularis* causing hop (*Humulus lupulus*) powdery mildew in Brazil. **Plant Disease**.

Fagherazzi MM, Rufato L (2018) Produzir lúpulo no Brasil, utopia ou realidade? **Revista Agronomia Brasileira** 2.

Fagherazzi MM, Santos MFS, Santos KVT, Rufato L, Moreira MA (2018) Propagação de estacas de lúpulo sob diferentes substratos. **Revista da Jornada da Pós-graduação e Pesquisa** 15(15):1400-1409.

Falconer DS (1981) Introduction to Quantitative Genetics, 2nd edition. Longman, London.

Farag MA, Wessjohann LA (2012) Cytotoxic effect of commercial *Humulus lupulus* L. (hop) preparations: In comparison to its metabolomic fingerprint. Cairo: **Journal of Advanced Research**.

García HP (2014) **Plantas silvestres de consumo tradicional en España: caracterización de su valor nutricional y estimación de su actividad antifúngica**. 266 f. Tese Universidad Complutense de Madrid, Madrid, Spain.

George EA (2001) Crop profiles for hops in Washington. <http://www.ipmcenters.org/cropprofiles/docs/wahops.html>. Acesso em 06 de dezembro de 2021.

Gonsaga RF, Pollo AS, Nascimento DD, Ferreira RJ, Braz LT, Soares PLM (2021) First report of *Meloidogyne incognita* infeting *Humulus lupulus* L. **Journal of Nematology** 53:1-4.

Guimarães JJ (2020) Comportamento agrônômico do lúpulo (*Humulus lupulus* L.) em cultivo protegido submetido a irrigações com diferentes faixas de ph da água na região de Botucatu - SP. 105 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Irrigação e Drenagem) – FCA/UNESP, Botucatu.

Guimarães JJ, Sousa FGG, Román RMS, Pai AD, Rodrigues SA, Valéria Sarnighausen CRS (2021) Effect of irrigation water pH on the agronomic development of hops in protected cultivation. **Agricultural Water Management** 253:106924.

Hadjichambis AC, Paraskeva-hadjichambi D, Della A, Elena Giusti M, DE Pasquale C, Lenzarini C, Censorii E, Reyes Gonzales-tejero, M, Patricia Sanchez-rojas C, Ramiro-gutierrez JM, Skoula M, Johnson C, Sarpaki A, Hmamouchi M, Jorhi S, El-demerdash M, El-zayat M, Pieroni A, Ch Hadjichambis A (2008) Wild and semi-domesticated food plant consumption in seven circum-Mediterranean areas. **International Journal of Food Sciences and Nutrition** 59:383–414.

Hampton R, Nickerson G, Whitney P, Haunold A (2002) Comparative chemical attributes of native North American hop, *Humulus lupulus* var. *lupuloides* E. Small. **Phytochemistry** 61:855-862.

Healey J (2021) Disponível em: <<http://www.hopslist.com/hops/>>. Acesso em: 01 abr. 2021.

Henderson BE, Feigelson HS (2000) Hormonal carcinogenesis. **Carcinogenesis**, 21:427-433.

Henderson CR (1986). Statistical methods in animal improvement: Historical overview. In: D. Gianola and K. Hammond (eds.), *Advances in Statistical Methods for Genetic Improvement of Livestock*. Springer p.2-14.

Hiller S, Gale G, Alfred H (1996) *Growing Hops, in the Home Garden* 19.

Hnilickova H, Novak V (2000) Changes in energy content in vegetative and generative hop organs (*Humulus lupulus* L.) during vegetation. **Scientia Agriculturae Bohemica** 31(4):241-248.

Houghs JS, Briggs DE, Stevens R, Young TW (1982) *Malting and Brewing Science: Hopped Wort and Beer*, 2nd ed., Chapman and Hall: New York.

Howard GA (1964) The Constituents and brewing Behaviour of Hops. In: *Hops, botany, cultivation and utilization*. Interscience Publishers Inc.: New York.

Hummer KE, Oliphant JM, Taylor AW, Deinzer ML, Smith JM (2005) Xanthogalenol and 4'-O-methylxanthohumol content in some American *Humulus*. **Acta horticulturae** 668:229-232.

IHGC – International Hop Growers Convention (2020). Disponível em: <www.usahops.org>. Acesso em: 20 abr. 2021.

ITIS - Integrated Taxonomic Information System (2021). Disponível em: <https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=19118#null>. Acesso em: 22 mar. 2021.

Jiang CH, Sun TL, Xiang DX, Wei SS, Li WQ (2018) Anticancer Activity and Mechanism of Xanthohumol: A Prenylated Flavonoid From Hops (*Humulus lupulus* L.). **Frontiers in pharmacology** 22(9):530.

Keukeleire JD, Janssens I, Heyerick A, Ghekiere G, Cambie J, Roldan-Ruiz I, Bockstaele EV, Keukeleire DD (2007) Relevance of organic farming and effect of climatological conditions on the formation of α -acids, β -acids, desmethylxanthohumol, and xanthohumol in hop (*Humulus lupulus* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 55:61–66.

Kind C, Kaiser T (2020) Heat, Hops, Hallertau: Exploring Implications of Climate Change for the German Beer Sector. **The Geography of Beer** 103-111.

Kobus-Cisowska J, Szymanowska-Powalowska D, Szczepaniak O, Kmiecik D, Przeor M, Gramza-Michałowska A, Cielecka-Piontek J, Smuga-Kogut M, Szulc P (2019) Composition and in vitro effects of cultivars of *Humulus lupulus* L. Hops on Cholinesterase Activity and Microbial Growth. **Nutrients** 11(6):1377.

Koie K, Myoda T, Yoshida H, Itoh H (2018). Quantitative evaluation of the hop (*Humulus lupulus* L.) root system based on wall profile method. **Plant Root** 12:11-15.

Kostelecky T. A Guide to the Varieties of Hops and Hop Products (2009). Yakima, USA: Barth-Haas Hops Companion.

Krebs C (2019) Hops: A Viable Alternative Crop for the Central/Southern Plains? **Crops and Soils** 52:4-6.

Langezaal CR, Chandra A, Scheffer JJ (1992). Antimicrobial screening of essential oils and extracts of some *Humulus lupulus* L. cultivars. **Pharmaceutisch Weekblad Scientific Edition** 4:353–356.

Lara, C (2019). Conheça o Yakima Valley: a maior região produtora de lúpulo dos EUA. Disponível em: <https://www.hominilupulo.com.br/yakima-valley/>. Acesso em: 14 de novembro de 2021.

LaShell, B (2017) Evaluating high altitude production of hops varieties and creating grower alliances to assist with production and marketing. Disponível em: https://www.fortlewis.edu/Portals/1/Old%20Fort/Docs/Current%20Projects/2017/FinalPerformanceReport_FortLewisHops.pdf Acesso em: 01 de maio de 2021.

Lepsch IF, Espíndola CR, Vischi-Filho OJ, Hernani LC, Siqueira DS (2015) Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo 170p.

Li SF, Wang LJ, Deng CL, Gao WJ (2017) Identification of male-specific AFLP and SCAR markers in the dioecious plant *Humulus scandens*. **Molecular and Cellular Probes** 34:68-70.

Ling L, Zhang S (2019) The complete chloroplast genome of *Humulus yunnanensis* and phylogenetic analysis of the genus *Humulus*. **Mitochondrial DNA Part B** 4(2):2681-2682.

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

Lopes PRM, Morales EM, Montagnolli RN, Roberto MM (2020) Agroindustrial technology in brazilian awakening to craft beers. **International Journal of Development Research**. 10(03):34154-34161.

MacGinitie HD (1953). Fossil plants of the Florissant beds of Colorado. Carnegie Institute of Washington, D.C., **Contributions to Paleontology** 1-198.

Machado Jr JC, Faria MA, Ferreira IMPLVO (2019) Hops: New Perspectives for an Old Beer Ingredient. *Natural Beverages* 13:267-301.

Machado MP, Gomes EM, Francisco F, Bernert AF, Filho JCB, Deschamps C (2018) Micropropagation and Establishment of *Humulus lupulus* L. Plantlets Under Field Conditions at Southern Brazil. **The Journal of agricultural science** 10(7).

Manchester SR (2001) Update on the megafossil flora of Florissant, Colorado. *Denver Museum of Nature & Science* 4:137-161.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Anuário da cerveja: 2020 (2021). Secretaria de Defesa Agropecuária. – Brasília: MAPA/SDA 24 p.

Marcos JAM, Nadal JLO, Andi3n JP, Alonso JV, Pedreira-Ramisquido JMG, Paz JF (2011) Guia del cultivo del lúpulo. 33 p.

Marcusso EF, Müller CV (2018) A Economia e o Territ3rio do Lúpulo: A hist3ria, análise mercadológica e o desenvolvimento do lúpulo no Brasil e no mundo. Disponível em: <https://www.faculdadeepica.com.br/adm/uploads/revista_artigo/61.pdf>. Acesso em: 05 jul. 2020.

McCallum JL, Nabuurs MH, Gallant ST, Kirby CW, Mills A (2019) Phytochemical Characterization of Wild Hops (*Humulus lupulus* ssp. *lupuloides*) Germplasm Resources From the Maritimes Region of Canada. **Frontiers in plant science** 10:1438.

Mikyska A, Krofta K (2012) Assessment of Changes in Hop Resins and Polyphenols During Long-Term Storage. **Journal of the Institute of Brewing** 118:269–279.

Milligan SR, Kalita JC, Heyerick A, Rong H, De Cooman L, De Keukeleire D (1999) Identification of a potent phytoestrogen in hops (*Humulus lupulus* L.) and beer. **The Journal of clinical endocrinology and metabolism** 84:2249–2252.

Miranda CL, Stevens JF, Helmrich A, Henderson MC, Rodriguez RJ, Yang YH, Deinzer ML, Barnes DW, Buhler DR (1999) Antiproliferative and cytotoxic effects of prenylated flavonoids from hops (*Humulus lupulus*) in human cancer cell lines. National Library of Medicine (NLM), PubMed, National Center for Biotechnology Information.

Mizia P, Cygan M, Denysenko M, Kwolek D, Chramiec-Głąbik A, Grabowska-Joachimiak A, Joachimiak A (2016) Development of a RAPD-Based Male-Specific Molecular Marker in Japanese Hop (*Humulus japonicus* Siebold & Zucc.). **Acta Biologica Cracoviensia series Botanica** 58(2):21-27.

Morales GP (2011) Vegetales Silvestres de uso Alimentario: Determinación de Compuestos Bioactivos y Valoración de la Capacidad Antioxidante. 262 f. Tese (Doutorado em Farmácia “Nutrição e Bromatologia”) - Universidad Complutense de Madrid, Madrid.

Mozny M, Tolasz R, Nekovar J, Sparks T, Trnka M, Zalud Z (2009) The impact of climate change on the yield and quality of Saaz hops in the Czech Republic. **Agricultural and Forest Meteorology** 149:913–919.

Murakami A, Darby P, Javornik B, Pais MSS, Seigner E, Lutz A, Svoboda P (2006) Molecular phylogeny of wild Hops, *Humulus lupulus* L. **Heredity** 97:66-74.

Nakasone FR, Novaes RH, Teixeira LL, Lenz LC, Sarnighausen VCR, Pai AD (2017) Panorama do plantio de lúpulo no Brasil. In: 6ª JORNADA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DA FATEC DE BOTUCATU, São Paulo.

Nascimento DD, Gonsaga RF, Pollo AS, Santos PSM, Rodrigues M, Ferreira RJ, Braz LT, Soares PLM (2020) First report of Root-Knot Nematode, *Meloidogyne javanica*, infecting *Humulus lupulus* L. in São Paulo, Brazil. **Plant Disease** 104(10):2740-2740.

Nesvadba V, Charvátová J, Štefanová L (2017). Development of new hop aroma varieties for Czech beer. In: Weihrauch, F. (ed.). Proceedings of the Scientific-

Technical Commission 25–29 June 2017, St. Stefan am Walde, Austria. Wolnzach: Scientific-Technical Commission of the International Hop Growers' Convention, 95p.

Nesvadba V (2018). Šlechtění chmele pro specifické vůně (eng. Hop breeding for a specific aroma). **Chmelařská ročenka** 2018:468–471.

Nesvadba, V, Charvátová, J, Trnková, S (2020). Breeding of flavour hops in the Czech Republic. **KVASNY PRUMYSL**. 66:366-371.

Neve RA (1991) Hops. Champman and Hall, Londres.

Neve RA, Lewis GK (1977) Annual Report. Departamento de pesquisa de Lúpulo.

O'Connell, T (2021) Hail storm fallout leaves hop crop down by up to 60 per cent. Disponível em: <<https://www.stuff.co.nz/business/farming/agribusiness/124614355/hail-storm-fallout-leaves-hop-crop-down-by-up-to-60-per-cent>>. Acesso em: 20 abr. 2021.

Padgitt-Cobb LK, Kingan SB, Wells J, Elser J, Kronmiller B, Moore D, Concepcion G, Peluso P, Rank D, Jaiswal P, Henning J, Hendrix DA (2021) A draft phased assembly of the diploid Cascade hop (*Humulus lupulus*) genome. **Plant Genome** 14(e):20072.

Park KY, Kwon SH, Ree DW, Min IK (1988) Influence of plant age and cultural altitude on cone yield in hop (*Humulus lupulus* L.). **Korean Journal of Crop Science** 33(2):157-160.

Parkes, S., (2002). Hop Chemistry: Homebrew Science. <http://www.byo.com/departments/884.html>

Patterson HD, Thompson R (1971) Recovery of interblock information when block sizes are unequal. **Biometrika** 31:100-109.

Patzak J, Matoušek J (2009) Gene specific molecular markers for hop (*Humulus lupulus* L.). **Acta Horticulturae** 848:73-80.

Patzak J, Nesvadba V, Krofta K, Henychová A, Marzoev AI, Richards K (2010) Evaluation of genetic variability of wild hops (*Humulus lupulus* L.) in Canada and the Caucasus region by chemical and molecular methods. **Genome** 53:545-557.

Patzak J, Vejl P, Skupinova S, Newadba V (2002) Identification of sex in F-1 progenies of hop (*Humulus lupulus* L.) by molecular marker. **Rostlinna Vyroba** 48:318-321

Piepho HP, Möhring J, Melchinger AE, Büchse, A (2008) BLUP for phenotypic selection in plant breeding and variety testing. **Euphytica** 161:209-228.

Pinto MBC (2018) Isomerização de ácidos amargos de lúpulo cascade cultivado no brasil e seu desempenho durante a fermentação da cerveja. 92 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – UNICAMP, Campinas.

Polley A, Ganai MW, Seigner E (1997) Identification of sex in hop (*Humulus lupulus*) using molecular markers. *Genome* 40(3):357-61.

Ribeiro E (1995) Plantas Medicinais e complementos bioterápicos. Livros de Vida. Editores, Lda. Mem Martins.

RNC, 2021 – Registro Nacional de Cultivares. http://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/cultivares_registradas.php

Rocha FAS (2005) Distribuição e ecologia do lúpulo (*Humulus lupulus* L. subsp *lupulus*) em Portugal. 173 p. Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente 'Qualidade Ambiental') - Universidade do Minho, Braga, Portugal.

Rossini F, Virga G, Loreti P, Provenzano ME, Danieli PP, Ruggeri R (2020) Beyond Beer: Hop shoot production and nutritional composition under mediterranean climatic conditions. **Agronomy** 10(10):1547.

Ruth P (2018) Evaluation of the properties of finnish hops 2018. Degree program in horticulture Lepaa 99p.

Sanchez-Mata MC, Cabrera LRD, Morales P, Fernandez-Ruiz V, Camara M, Diez MC, Pardo-de-Santayana, M, Tardio, J (2012) Wild vegetables of the Mediterranean area as valuable sources of bioactive compounds. *Genetic Resources and Crop Evolution* 59:431–443.

Sarnighausen P, Sarnighausen VCR, Pai, A.D. (2017) O Lúpulo e a oportunidade do agronegócio no Brasil. In: 6ª JORNADA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DA FATEC DE BOTUCATU, São Paulo.

Seefeldler S, Ehrmaier H, & Schweizer G, Seigner E (2000) Male and female genetic linkage map of hops, *Humulus lupulus*. **Plant Breeding** 119:249-255.

Sidersky, R. 2019. Disponível em: <https://www.pilotonline.com/business/consumer/article_0499f2a4-c03d-11e9-99c0-5361ef4a16a1.html>. Acesso em: 20 abr. 2021.

Silva, CTD (2019) Caracterizações químicas dos primeiros cultivares de lúpulo (*Humulus lupulus* L.) produzidos no Brasil. 92 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia Agroquímica) – UFES, Alegre.

Sirrine R (2018) Understanding the importance of the Hop Storage Index. Disponível em: <<https://www.canr.msu.edu/news/understanding-the-importance-of-the-hop-storage-index>>. Acesso em: 27 abr. 2021.

Skomra U, Bocianowski J, Agacka-Mołodoch M (2013) Agro-morphological differentiation between European hop (*Humulus lupulus* L.) cultivars in relation to their origin. **Journal of Food Agriculture and Environment** 11:1123-1128.

Small E (1978) A numerical and nomenclatural analysis of morphogeographic taxa of *Humulus*. *Monographs in Systematic Botany* 3:37-76.

Small E (2016) Hop (*Humulus lupulus*) – a bitter crop with sweet prospects, **Biodiversity** 17(3):115-127.

Sposito MB, Ismael RV, Barbosa CMA, Tagliaferro AL (2019). A Cultura do Lúpulo. Esalq, Piracicaba.

Srecec S, Kvaternjak I, Kaucic D, Mariæ V (2004) Dynamics of Hop Growth and Accumulation of α -acids in Normal and Extreme Climatic Conditions. **Agriculturae Conspectus Scientificus** 69:59–62.

Srecec S, Kvaternjak I, Kaucic D, Spoljar A, Erhatic R (2008) Influence of climatic conditions on accumulation of alpha-acids in hop cones. **Agric. Conspec. Sci.** 73:(3)161–166.

Srecec S, Rezić T, Šantek B, Marić V (2009) Hop pellets type 90: influence of manufacture and storage on losses of α -acids. **Acta Alimentaria** 38:141–147.

Stajner N, Šatovic Z, Cerenak A, Javornik B (2007) Genetic structure and differentiation in hop (*Humulus lupulus* L.) as inferred from microsatellites. **Euphytica** 161:301-311.

Stevens R. (1967). The chemistry of hops constituents. **Chem. Rev.** 67:19-71.

Tardio J, Pardo-de-Santayana M, Morales R (2006) Ethnobotanical review of wild edible plants in Spain. **Botanical Journal of the Linnean Society** 152:27–71

Tembrock L, McAleer J, Gilligan T (2016) A revision of native north american *Humulus* (cannabaceae). **Journal of the Botanical Research Institute of Texas** 10(1):11-30.

Thomas GG, Schwabe WW (1969) Factors Controlling Flowering in the Hop (*Humulus lupulus* L.). **Annals of Botany** 33:781-793.

Ting PL, Ryder DS (2017) The Bitter, Twisted Truth of the Hop: 50 Years of Hop Chemistry. **Journal of the American Society of Brewing Chemists** 75:161–180.

Tournois J (1912) Influence de la lumière sur la floraison du houblon japonais et du chanvre déterminées par des semis hâtifs. **Comptes rendus de l'Académie des Sciences** 155:297–300.

Townsend MS, Henning JA (2009) AFLP discrimination of native North American and cultivated hop. **Crop Science** 49:600-607.

Vasconcelos JC (1949) Plantas medicinais e Aromáticas. Elementos para o seu estudo. Série Estudos e Informação Técnica N.º 34. Serviço Editorial da Repartição de Estudos, Informação e Propaganda. Direcção Geral dos Serviços Agrícolas. Ministério da Economia, Lisboa.

Vasek J, Vejl P, Čílová D, Zeka D, Nesvadba V, Krofta K, Henychová A, Plončíková Z (2013) Comparative analysis of wild hop based on genetic, chemical and morphological data. **Acta Horticulturae** 1010:67-76.

Yasukawa K, Takeuchi M, Takido M (1995) Humulon, a bitter in the hop, inhibits tumor promotion by 12-0-tetradecanoylphorbol-13-acetate in two-stage carcinogenesis in mouse skin. **Oncology** 52(2):156-158.

Zanoello FF, Varizi A, Oliveira MG, Montini RMC, Silva WE (2018) Produção de Lúpulo no Brasil: um estudo sobre a viabilidade financeira. In: Simpósio Nacional em Tecnologia em Agronegócio – FATEC: Presidente Prudente.

Zimmermann CE, Brooks SN, Likens ST (1964) Gibberelin As-Induced Growth Responses of Fuggle Hops (*Humulus lupulus*). **Crop Science** 310-313.

Zonneveld, BJM, Leitch IJ, Bennett MD (2005). First nuclear DNA amounts in more than 300 angiosperms. **Annals of Botany** 96:229–244.

CAPÍTULO 2 - Desempenho agrônômico de cultivares de lúpulo no clima tropical

RESUMO – O mercado cervejeiro tem grande importância no Brasil e vem crescendo ano após ano. Um dos principais ingredientes utilizado na fabricação da cerveja, o lúpulo, até pouco tempo atrás era somente importado, realidade que vem mudando aos poucos, graças a iniciativas de produzir lúpulo no clima tropical. O lúpulo é uma cultura de clima temperado e assim, a identificação de cultivares com bom desempenho em clima tropical é, portanto, essencial para iniciar com sucesso o cultivo de lúpulo e a atividade de melhoramento nessa nova região de crescimento. O ensaio teve como objetivos avaliar características agrônômicas morfológicas e agrônômicas de diferentes genótipos no clima tropical. Para avaliar o desenvolvimento da cultura no clima tropical, foram avaliados nove genótipos femininos de lúpulo durante a safra de 2019-2020. Adotou-se o delineamento em blocos ao acaso, com nove tratamentos e 12 repetições. A fenologia, parâmetros vegetativos e produtivos das cultivares foram avaliadas para determinar quais eram as mais adequadas ao clima local. Todas as correlações foram significativas e positivas para todas as características estudadas, foi encontrada diversidade significativa entre as cultivares para todos os parâmetros investigados. ‘Mantiqueira’ mostrou o melhor desempenho em todas as variáveis avaliadas.

Palavras-chave: *Humulus lupulus*, Brasil, produtividade, ciclo produtivo, fases fenológicas.

CHAPTER 2 - AGRONOMIC PERFORMANCE OF HOP CULTIVARS IN TROPICAL CLIMATE

ABSTRACT – The beer market is of great importance in Brazil and has been growing year after year. One of the main ingredients used in the manufacture of beer, hops, until recently was only imported, a reality that has been gradually changing, thanks to initiatives to produce hops in the tropical climate. Hops are a temperate climate crop and, therefore, the identification of cultivars with good performance in tropical climate is, therefore, essential to successfully initiate hop cultivation and breeding activity in this new growing region. To assess the development of the crop in the tropical climate, nine females hop genotypes were evaluated during the 2019-2020 harvest. A randomized block design was adopted, with nine treatments and 12 repetitions. The phenology, vegetative and productive parameters of the cultivars were evaluated to determine which were the most suitable for the local climate. All correlations were significant and positive for all characteristics studied; significant diversity was found between cultivars for all investigated parameters. ‘Mantiqueira’ showed the best performance in all evaluated variables.

Keywords: *Humulus lupulus*, Brazil, productivity, production cycle, phenological phases.

1 INTRODUÇÃO

O lúpulo é uma planta trepadeira, perene e dioica, cultivada principalmente pelo interesse em suas inflorescências femininas, um estróbilo chamado popularmente de cone, que contém uma glândula chamada de lupulina, onde se encontram os alfa-ácidos, beta-ácidos e óleos essenciais responsáveis por fornecer aroma e sabor às cervejas, entre outras propriedades (Chadwick et al., 2006; Bocquet et al., 2018). Além da importância na indústria cervejeira, o lúpulo também é explorado pela área medicinal por possuir propriedades antibacterianas, antissépticas, ansiolíticas, sedativas, anticancerígenas, influência positiva no trato gastrointestinal e até mesmo em tratamentos experimentais contra o Alzheimer (Martins et al., 2016; Kryou et al., 2017; Lin et al., 2019).

O Brasil não é um país tradicionalmente produtor de lúpulo, até pouco tempo acreditava-se que a cultura não se desenvolvia no país, pois se encontra fora da faixa de latitude considerada ideal, que fica entre 35 ° e 55 ° N ou S do Equador (Dodds, 2017). Era difundida a ideia que para a boa produção de lúpulo eram necessários períodos de dormência e vernalização, causados pelo frio, fatos que foram contestados por Bauerle (2019). Um dos maiores problemas para a adaptação do lúpulo ao clima tropical é o fotoperíodo, quanto maior a latitude, maior é o tempo de luz ao longo do dia na época da primavera e verão. No Yakima Valley, nos EUA, a região com um dos maiores rendimentos de lúpulo no mundo, o fotoperíodo na época do crescimento vegetativo da planta se aproxima das 16 horas no verão (Neve, 1991; Krebs, 2019). Em função desses parâmetros, que não foram testados no Brasil, por muito tempo acreditou-se que não era possível o cultivo de lúpulo em solos brasileiros, contudo, ações em várias localidades espalhadas pelo país, mostraram que é sim possível produzir lúpulo no país.

Uma cultivar denominada 'Mantiqueira' ganhou notoriedade em 2016 por ser a primeira cultivar de lúpulo considerado brasileiro, apesar de nunca ter o registro publicado, mas foi responsável pela divulgação que a planta produz no país e a grande procura por pessoas interessadas em cultivar o próprio lúpulo (Araújo, 2016). Atualmente, o cultivo de lúpulo já é encontrado em pelo menos

dez estados, o aumento de áreas de lúpulo no Brasil tem acendido grande esperança de que o país avance para a consolidação na produção de uma das mais importantes matérias-primas na indústria cervejeira (Aprolúpulo, 2021).

A demanda de lúpulo no país vem crescendo com o aumento das cervejarias artesanais, o setor cervejeiro no ano de 2019 produziu aproximadamente 14 bilhões de litros de cerveja, o que corresponde a 1,6% do PIB brasileiro e, esses números colocam o país como o nono maior importador de lúpulo do planeta (Cervbrasil, 2021). Até o mês de novembro de 2021, o Brasil importou cerca de 4 mil toneladas de lúpulo ao custo de mais de R\$ 72 milhões de dólares (Comex, 2021).

Existem poucas pesquisas de impacto publicadas sobre lúpulo cultivado no Brasil, tornando a literatura nacional sobre o tema incipiente ainda, tanto científica, como técnica. Entender a duração de cada estágio de desenvolvimento de cultivares de lúpulo no clima tropical é de grande importância para o estabelecimento da cultura no Brasil (Mongeli et al., 2016; Rossini et al., 2016). A temperatura do ar e as condições hídricas são fatores fundamentais para o desenvolvimento e estabelecimento da cultura, mas em cultivos irrigados como é o caso do lúpulo, as condições térmicas apresentam maior importância, uma vez que a demanda hídrica é atendida pela irrigação (Mota, 1986). Para relacionar temperatura do ar e os estágios de desenvolvimento de uma cultura, existem métodos que abrangem essas situações, o mais empregado o das unidades térmicas ou graus-dia (Lima e Silva, 2008). Grau-dia é definido como o tempo termal, onde o acúmulo diário da energia ocorre quando a temperatura do ar está entre a condição mínima e máxima exigida pela planta (Ometto, 1981), é a energia necessária para a planta completar seu crescimento ou determinada fase fisiológica (Hamada; Pinto, 2001).

Este trabalho tem por objetivo verificar o desempenho agrônomico de cultivares de lúpulo no clima tropical, gerando informações sobre o ciclo, estágios fenológicos e adaptação, por meio de caracteres produtivos e morfológicos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Informações da área experimental

A área experimental está localizada no município de Jaboticabal - SP. O solo da área do experimento é Latossolo Vermelho distrófico típico, textura argilosa (Montanari et al., 2010). O clima da região é definido como tropical, e classificado, segundo Alvares et al. (2013), do tipo Aw com transição para Cwa. O índice pluviométrico do local é de 1.424,6 mm, caracterizado por distribuição de chuvas concentradas no verão e por inverno seco. Para o preparo do solo para plantio das matrizes, com base na análise química do solo (Tabela 1), foi realizada a calagem em área total visando atingir o pH 6,1, posteriormente foi realizada a gradagem e abertura de sulcos. A adubação de plantio foi realizada com 19 g planta⁻¹ de N (Ureia), 10 g planta⁻¹ de P (Superfosfato Simples), 15 g planta⁻¹ de K (KCl) e 1000 g planta⁻¹ de esterco bovino. A fertilização por hectare foi de 85N - 100P - 80K no primeiro ano e 150N - 50P - 120K no segundo ano. A área experimental possuía irrigação no sistema de gotejamento. Realizaram-se o manejo de plantas daninhas, pragas e patógenos, conforme a necessidade.

Tabela 1. Resultado da análise química do solo (0-20 cm), coletado na área experimental.

pH (CaCl ₂)	MO	P-resina	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al	Al ³⁺	SB	CTC	V
	(g dm ⁻³)	(mg dm ⁻³)				(mmol _c dm ⁻³)				%
5,5	18	44	3,8	24	11	17	0	39,4	56,4	70

MO - Matéria Orgânica; P resina - P determinado com um extrator de resina; SB - Soma de Bases; CTC - Capacidade de troca de Cátions; V - Saturação de Bases.

Foram utilizados nove cultivares femininas de lúpulo, 'Bullion', 'Chinook', 'Columbus', 'Mantiqueira', 'Mapuche', 'Nugget', 'Saaz', 'Victória' e 'Yakima Gold'. As plantas foram propagadas vegetativamente por meio de estaquia, em bandejas de poliestireno expandido com 128 células contendo o substrato Plantmax®, mantidas em casa de vegetação com umidade controlada, assim gerando clones. Após dois meses, os clones foram transferidos para vasos de 8 L, os quais continham uma mistura esterilizada de latossolo vermelho, areia e

esterco bovino, na proporção 2:1:1. Passados outros dois meses, transferiram-se as plantas para a área experimental em 10 de maio de 2019. As mudas apresentaram desuniformidade durante o desenvolvimento inicial, sendo realizada uma poda de uniformização em 24 de outubro de 2019 e as avaliações foram iniciadas em 13 de novembro de 2019.

O sistema de condução utilizado foi o padrão de treliça alta no sistema de condução simples, onde os fios foram apoiados 5 m acima do solo e plantas espaçadas em 3 m entrelinhas e 1 m entre plantas (Figura 1).



Figura 1. Demonstração do modelo de treliça utilizado no experimento.

2.2 Dados meteorológicos

Os dados meteorológicos foram coletados na Estação Agroclimatológica da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Câmpus de Jaboticabal a 250 m da área experimental (Estação Climatológica, 2021). Durante o período de crescimento, de 13 de novembro a 11 de março, a média das temperaturas mínimas e máximas foram 16,4°C e 34,8°C, respectivamente. A quantidade de chuva acumulada durante a realização do experimento foi de 904,8 mm.

2.3 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi de blocos casualizados com quatro repetições e cada parcela com três plantas.

2.4 Características avaliadas

2.4.1 Fenologia

Coletaram-se os dados fenológicos semanalmente desde a rebrota até a colheita, utilizando a escala BBCH adaptada, não se considerou as etapas detalhadas de cada estágio, apenas a última etapa de cada um (Rossbauer et al., 1995) (Tabela 2), avaliando-se os estádios fenológicos de crescimento (GS).

Tabela 2. Escala BBCH adaptada (Rossbauer et al., 1995), utilizada nas avaliações fisiológicas do lúpulo.

Estádio	Etapas	Código	Fase final
GS 3	Desenvolvimento e alongamento do caule	38	Plantas chegaram no topo
GS 6	Floração	69	Fim da floração
GS 7	Desenvolvimento dos cones	79	Cones desenvolvidos completamente
GS 8	Maturidade dos cones	89	Cones maduros para a colheita

Para estimar os graus-dia de desenvolvimento do lúpulo, utilizaram-se os dados de temperatura do ar e registros fenológicos coletados ao longo do experimento utilizando o método proposto por Ometto (1981).

$$(I) TB > TM > Tm > Tb \quad GDD = \left(\frac{TM - Tm}{2} \right) + Tm - Tb$$

$$(II) TB > TM > Tb > Tm \quad GDD = \frac{(TM - Tb)^2}{2(TM - Tm)}$$

$$(III) TB > Tb > TM > Tm \quad GDD = 0$$

$$(IV) \quad TM > TB > T_m > T_b \quad GDD = \frac{2(TM - T_m)(T_m - T_b) + (TM - T_m)^2 - (TM - TB)}{2(TM - T_m)}$$

$$(V) \quad TM > TB > T_b > T_m \quad GDD = \frac{1}{2} \frac{(TM - T_b)^2 - (TM - TB)^2}{TM - T_m}$$

Onde graus-dia de desenvolvimento (GDD) é a soma térmica, ou seja, o acúmulo de energia antes de uma determinada etapa ser concluída, (°GD); TM é a temperatura do ar máxima diária; T_m é a temperatura do ar mínima diária; TB é o limite superior de suporte energético da planta e T_b é a temperatura abaixo da qual a planta praticamente não se desenvolve (McMaster e Wilhelm, 1997). O valor de TB foi de 35°C e de T_b 10°C para o cálculo de GDD no presente estudo (Darby, 2017). Os graus-dia foram somados a partir de 13 de novembro de 2019 até 11 de março de 2020, já que não ocorreram temperaturas do ar inferiores a 10 °C e nem superiores a 35 °C.

2.4.2 Características vegetativas

- a) Altura de planta (m): análise com trena métrica, da base da planta até o ponteiro da maior haste;
- b) Altura de inserção do primeiro cone (m): análise com trena métrica, a partir da base da planta até o nó onde encontrava-se o primeiro cone;
- c) Comprimento do entrenó (cm): análise com trena métrica, da distância entre os nós no terço superior da planta;
- d) Comprimento dos ramos laterais (cm): análise com trena métrica, quando presente, no terço superior da planta, medição realizada a partir da haste principal até a ponta do ramo lateral.

2.4.3 Características produtivas

Em três plantas, foram avaliadas:

- a) Massa fresca das plantas (g): análise com balança eletrônica de alta precisão, pesando-se a planta toda sem os cones;
- b) Massa seca das plantas (g): análise com balança eletrônica de alta precisão, pesando-se a planta toda sem os cones, após secagem à 50°C até atingir massa constante;
- c) Massa fresca de cone/planta (g): análise com balança eletrônica de alta precisão, pesando-se todos os cones colhidos por planta;
- d) Rendimento de cones das plantas (kg ha⁻¹): estimativa pela massa dos cones por hectare (3300 plantas);
- e) Número de cones por planta (unidade): contagem de todos os cones colhidos por planta;
- f) Massa média dos cones (g cone⁻¹): massa total dos cones dividido pelo número de cones por planta;
- g) Comprimento do cone (cm): medição utilizando paquímetro digital. Essa variável foi comparada com a metodologia de classificação de tamanho de cones proposta pela American Society of Brewing Chemists (ASBC Hops - 2 adaptada), onde: Grande (> 5,1 cm), médio (3,2-5,1 cm) e pequeno (< 3,2 cm).

2.5 Análise estatística

Realizou-se o teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov. A significância dos efeitos do fator genético e das interações entre eles nas variáveis registradas, baseada na análise de variância (ANOVA) e a comparação

de médias, no teste de Tukey, ao nível de confiança de 0,95, com o software estatístico R (R Core Team, 2020). Uma matriz de correlação simples foi construída para medições de campo coletadas durante o estudo e cada par de variáveis foi correlacionado por meio do cálculo dos coeficientes de correlação de Pearson (valor r).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Fenologia

3.1.1 Acúmulo de energia em graus-dia de desenvolvimento para as fases de desenvolvimento vegetativo, floração, desenvolvimento de cones e maturação dos cones

A temperatura do ar média durante o ciclo produtivo das plantas foi de 24,7°C, com máxima de 34,8°C e mínima de 14,5°C. A variação entre as cultivares na fase de desenvolvimento foi de 534,3°GD (Tabela 3), sendo que a 'Nugget' precisou de 460,7°GD, enquanto a 'Columbus' precisou de 979,3°GD. A importância da quantificação dos graus-dia para o lúpulo é fundamental para entender seu ciclo produtivo no clima tropical e assim auxiliar o manejo (Gingrich et al., 2000). A fase de desenvolvimento vegetativo é onde a maior parte dos nutrientes devem ser fornecidos para a planta, para atingir o máximo potencial e assim, maiores rendimentos (Kim et al., 2006; Pérez-Plancarte et al., 2018). 'Nugget' precisou de apenas 23 dias para passar do crescimento vegetativo para o início da floração, resultando em plantas menores e menos produtivas.

Para a floração, a diferença entre a cultivar mais precoce e a mais tardia foi de 783,6°GD, com a 'Nugget' sendo a que precisou de menos graus de tempo térmico, com 603,1°GD e a 'Mantiqueira' sendo a que apresenta o maior valor, necessitando de 1.386,7°GD para completa floração. A partir dessa fase de desenvolvimento a 'Mantiqueira' se caracteriza como a mais tardia e a 'Nugget' como a mais precoce. O acúmulo energético da 'Nugget' foi 56% inferior em relação ao da 'Mantiqueira' para completar a floração. A precocidade nessa fase pode interferir diretamente no potencial produtivo, pois a planta tem o

desenvolvimento vegetativo quase que concomitantemente a floração e isso resulta em quantidade menor de flores e menor rendimento.

Quanto ao desenvolvimento dos cones a 'Mantiqueira' precisou de 1.721,4^oGD para completar esse estágio e apresentou diferença de 846,5^oGD para a 'Bullion', a mais precoce para chegar ao final do desenvolvimento dos cones, com 874,9^oGD. A diferença de acúmulo de energia entre as cultivares citadas para chegar ao final dessa etapa corresponde a aproximadamente 41 dias.

Para a fase de maturação dos cones, a 'Mantiqueira' apresentou o maior valor e a 'Nugget' o menor valor, com 2.220,2^oGD e 1.445,5^oGD, respectivamente. A diferença entre a mais precoce e a mais tardia foi de 774,7^oGD. Valores similares ao tempo termal gasto para completar o ciclo do lúpulo, da brotação até a maturação do cone, onde atinge a maturidade para a colheita foram relatados por Matsui et al. (2016) e Rossini et al. (2016). A repetição das avaliações de graus-dias acumulados para cada fase fenológica por vários anos pode fornecer diretrizes para culturas como o lúpulo, como momento certo de plantio, poda, adubação e colheita (Marques et al., 2014). O lúpulo é conhecido por ser uma cultura com tempo curto para colheita, pois a lupulina contida nos cones começa a degradar após o ponto ideal de colheita (Rossbauer et al., 1995), onde os cones começam a ficar marrons e o aroma se deteriora, nesse ponto, a perda de qualidade já é irreversível, portanto, entender o ciclo de cada cultivar ao longo de vários anos, permite estimar a época de colheita baseada no acúmulo de energia térmica.

O desenvolvimento do lúpulo no primeiro ano pode ser irregular, por esse motivo não foi avaliada a rebrota, realizando a poda em 24 de outubro de 2019, visando a maior uniformidade nas avaliações (Matsui et al., 2016). A dúvida sobre o desenvolvimento do lúpulo e se o mesmo completaria seu ciclo, na cidade de Jaboticabal-SP, foi sanada, chegando a ser possível a colheita dos cones ainda no primeiro ano de cultivo.

Tabela 3. Acúmulo de energia em graus-dia de desenvolvimento (GDD) para as fases de desenvolvimento vegetativo (DV), floração (F), desenvolvimento de cones (DC) e maturação dos cones (MC), em nove cultivares de lúpulo avaliadas em Jaboticabal – SP, 2019 – 2020.

Cultivar	GDD (°GD)							
	DV		F		DC		MC	
'Bullion'	575,9	b	815,8	c	1178,3	c	1948,9	bc
'Chinook'	899,1	ab	1088,8	ac	1411,6	ac	1951,2	ac
'Columbus'	979,3	a	1218,2	ab	1573,9	ab	2124,7	ab
'Mantiqueira'	825,0	ab	1329,8	a	1663,8	a	2169,8	a
'Mapuche'	975,9	a	1176,2	ab	1469,4	ac	1997,6	ab
'Nugget'	460,7	ab	603,1	bc	874,9	bc	1445,5	c
'Saaz'	736,9	ab	971,6	bc	1300,9	ac	1805,5	bc
'Victoria'	765,6	ab	1042,1	bc	1418,4	bc	1955,0	bc
'Yakima Gold'	755,3	ab	1003,4	bc	1392,0	bc	1976,0	bc
F	**		**		**		**	
DMS (%)	5,36		4,72		5,42		5,37	
CV (%)	26,67		16,87		14,98		10,68	

** - significativos ($p < 0,01$), pelo teste F.

Cada cultivar tem seu comprimento de ciclo próprio, seja ele precoce, médio ou tardio (Rossini et al., 2016; Lafontaine et al., 2019). É fundamental entender o comportamento de cada uma em cada área de cultivo (Marceddu et al., 2020), pois assim é possível determinar a época adequada de plantio, orientação de crescimento dos brotos, escalonamento da colheita e assim criar um cronograma próprio para cada cultivar (Figura 2).

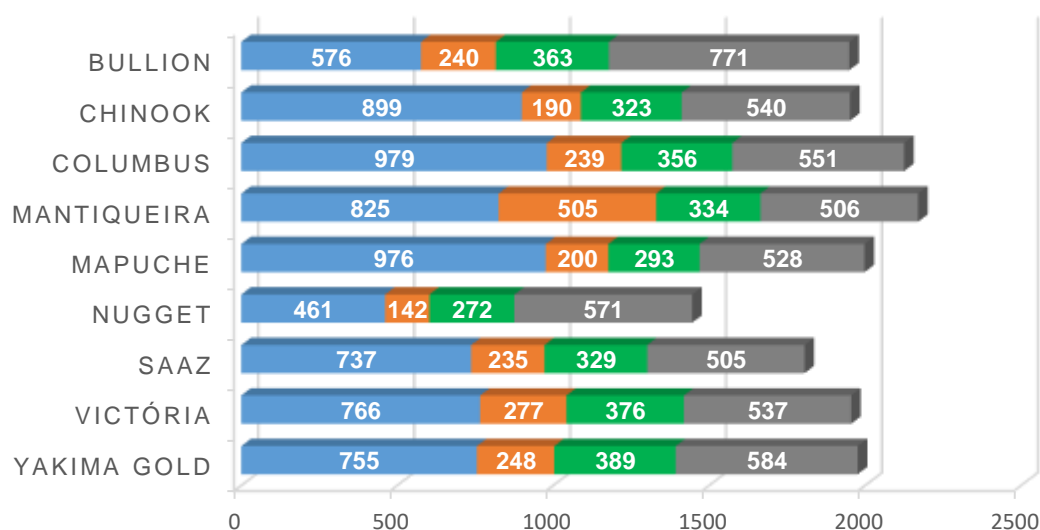


Figura 2. Ilustração do acúmulo de energia em graus-dia de desenvolvimento para as fases de desenvolvimento vegetativo (■ DV), floração (■ F), desenvolvimento de cones (■ DC) e maturação dos cones (■ MC), em cada estágio de desenvolvimento de nove cultivares de lúpulo em Jaboticabal – SP.

3.2 Características vegetativas

Um dos parâmetros mais importantes na cultura do lúpulo é a altura, a ‘Bullion’ se mostrou inferior a ‘Victória’ e a ‘Mantiqueira’ (Tabela 4). Assim como na produtividade, ‘Mantiqueira’ foi superior às demais cultivares avaliadas, com 10 plantas dessa cultivar atingindo o topo da altura da treliça. Nenhuma planta das cultivares ‘Mapuche’, ‘Bullion’ e ‘Nugget’ atingiram os 5 m de altura. Os valores para altura variaram dentro das cultivares como observado por Rossini et al. (2016). A altura média para a ‘Chinook’ e a ‘Columbus’ foram inferiores às observadas por Fagherazzi (2020).

Um grande problema enfrentado na área experimental, foi a presença de nematoides, sendo constatada a ocorrência de *Meloidogyne javanica* (Nascimento et al., 2020) e *Meloidogyne incognita* (Gonsaga et al., 2021) podendo ter interferido diretamente na baixa altura das plantas (Tabela 4), e conseqüentemente na produtividade na primeira safra.

Tabela 4. Média das características vegetativas: altura da planta (AP), altura de inserção do primeiro cone (AC), comprimento do entrenó (CE) e do comprimento dos ramos laterais (CR) de nove cultivares de lúpulo avaliadas em Jaboticabal - SP.

Cultivar	AP (m)		AC (cm)		CE (cm)		CR (cm)	
'Bullion'	3,13	c	35,88	c	13,49	b	0,00	b
'Chinook'	3,77	bc	71,28	bc	13,55	b	0,00	b
'Columbus'	3,95	bc	111,19	ab	12,79	b	0,00	b
'Mantiqueira'	5,85	a	144,56	a	19,31	a	5,85	a
'Mapuche'	3,17	bc	67,78	bc	10,30	b	0,00	b
'Nugget'	2,88	bc	76,80	abc	14,88	ab	0,00	b
'Saaz'	3,86	bc	115,05	ab	11,90	b	0,00	b
'Vitória'	4,26	b	102,71	ab	12,98	b	0,00	b
'Yakima Gold'	3,54	bc	77,16	bc	11,41	b	0,00	b
F	**		**		**		**	
CV (%)	17,06		36,58		17,91		30,40	

Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey ** - significativo ($p < 0,01$), pelo teste F.

A altura de inserção do primeiro cone no ramo lateral produtivo é um demonstrativo do quanto a planta pode produzir e auxiliar o manejo da cultura (Tabela 4). Essa característica está ligada diretamente ao desenvolvimento, arquitetura da planta e principalmente a produção de cones. Das nove cultivares avaliadas, somente a 'Mantiqueira' produziu ramos laterais produtivos, as demais cultivares soltaram os cones diretamente na haste principal, causando assim drástica queda de produtividade (Fagherazzi, 2020), pois cada ramo lateral apresenta vários cones, já quando os cones saem da haste principal, apenas dois ou quatro cones são produzidos por nó (Figura 3).



Figura 3. A - Cones inseridos na haste principal. B – Cones inseridos no ramo lateral (B) em plantas de lúpulo.

O comprimento dos entrenós é importante para entender a produtividade, pois acaba sendo a distância entre os ramos produtivos (Tabela 4). A cultivar 'Mantiqueira' apresentou entrenós maiores que todas as cultivares, com exceção da 'Nugget'. Com auxílio da altura (Tabela 4), a ordem estimada de maior número de entrenós por planta foi aproximadamente: 'Victoria' (32), 'Saaz' (32), 'Yakima Gold' (31), 'Mapuche' (30), 'Columbus' (30), 'Mantiqueira' (30), 'Chinook' (27), 'Bullion' (23), e 'Nugget' (19).

Quanto ao comprimento dos ramos laterais, somente a cultivar 'Mantiqueira' apresentou desenvolvimento, todas as demais cultivares apresentaram a inserção dos cones diretamente na haste principal (Tabela 4). O florescimento do lúpulo está diretamente ligado ao fotoperíodo e as diferenças de cultivares (Bauerle, 2019). A falta de emissão dos ramos laterais pode ser falta de adaptação ao clima local, a 'Mantiqueira' por ser uma cultivar desenvolvida desde a sua germinação no Brasil, provavelmente sofre menos influência do fotoperíodo que as demais cultivares que são provenientes dos Estados Unidos e Argentina, assim, emitindo os ramos laterais e completando o ciclo normalmente. Todo o manejo foi realizado nas nove cultivares nas mesmas datas, portanto é um fator de influência em seus desempenhos, já que o indicado é respeitar o manejo individual de cada cultivar, mas o objetivo do trabalho foi avaliar o desempenho de cada uma e para isso foi necessário igualar as atividades, espaçamentos, épocas de podas, adubação e orientação de crescimento das hastes principais, somente diferenciando a colheita pois o florescimento e maturação dos cones ocorreram em tempos distintos.

3.3 Características produtivas

Quanto a massa fresca das plantas (Tabela 5), a 'Mantiqueira' se mostrou superior às demais cultivares, com massa fresca média de 923 g planta. Esse valor resulta em 3.047 toneladas de massa fresca, estimando os valores para hectare. As demais cultivares não apresentaram diferenças entre si, sendo a 'Chinook', a cultivar que mais se aproxima da 'Mantiqueira', apresentando massa fresca 53% abaixo da 'Mantiqueira'. 'Bullion' apresentou menor massa fresca em

relação a 'Mantiqueira' em aproximadamente 68%, com produção de massa fresca estimada por hectare em 815 kg ha⁻¹.

No que diz respeito a massa seca das plantas, ocorreu o esperado com base nos resultados da massa fresca, somente a 'Mantiqueira' se mostrou superior às demais, não ocorrendo diferenças entre as nove demais cultivares (Tabela 5).

Quanto à massa fresca dos cones, a 'Mantiqueira' se mostrou superior às demais cultivares avaliadas, não havendo diferença entre as demais cultivares (Tabela 5). O rendimento da 'Mantiqueira' foi 967% superior a 'Saaz'. Em relação aos valores encontrados em outras localidades, o rendimento da 'Mantiqueira' para o primeiro ano está dentro do esperado, as demais cultivares apresentaram rendimentos abaixo do esperado (Trojak-Goluch e Skomra, 2018). Há que se ressaltar que o lúpulo apresenta aumento de produtividade nas safras seguintes, até alcançar a maturidade, o que ocorre por volta do terceiro ano (Dodds, 2017).

Para maior elucidação, a massa fresca dos cones de cada cultivar foi transformada em kg ha⁻¹ (Tabela 5), objetivando demonstrar o potencial produtivo das plantas por hectare no primeiro ano de produção para cada cultivar.

O número de cones em uma planta é importante pois é um dos principais fatores que influenciam na produtividade final. A 'Mantiqueira' foi superior às demais cultivares, apresentando produção de cones 1.871% superior à 'Mapuche' (Tabela 5).

A 'Mantiqueira' apresentou a maior massa fresca média de cones, diferenciando das demais cultivares, as quais não diferiram entre si (Tabela 5). , fato esse que pode ser explicado pela origem da planta, que é proveniente de um cruzamento desconhecido, mas que germinou e foi selecionado naturalmente no Brasil, sendo assim, já é mais adaptada ao clima nacional que as demais.

Tabela 5. Média das características vegetativas: massa fresca das plantas (MFP), massa seca das plantas (MSP), massa seca dos cones (MFC), rendimento de cones (RC), número de cones por planta (NCP), massa média dos cones (RC), massa médias dos cones individual (MCI) e comprimento dos cones (CC) de nove cultivares de lúpulo avaliadas em Jaboticabal - SP.

Cultivar	MFP (g planta ⁻¹)		MSP (g planta ⁻¹)		MFC (g planta ⁻¹)		RC (kg ha ⁻¹)		NCP (unidade)		MCI (g cone ⁻¹)		CC (cm)	
'Bullion'	298,40	b	85,05	b	59,71	b	197,04	b	114,54	b	0,52	b	2,94	b
'Chinook'	430,82	b	154,43	b	50,30	b	165,99	b	102,65	b	0,49	b	3,08	b
'Columbus'	402,26	b	144,79	b	80,49	b	265,61	b	65,03	b	0,54	b	3,13	b
'Mantiqueira'	923,59	a	429,85	a	499,32	a	1647,75	a	917,62	a	1,23	a	4,88	a
'Mapuche'	247,19	b	95,87	b	32,73	b	84,21	b	49,77	b	0,66	b	2,80	b
'Nugget'	344,93	b	101,12	b	46,67	b	147,08	b	65,03	b	0,70	b	2,82	b
'Saaz'	311,59	b	110,31	b	25,52	b	154,01	b	52,45	b	0,49	b	2,80	b
'Victória'	272,57	b	99,14	b	40,43	b	108,01	b	74,95	b	0,54	b	3,28	b
'Yakima Gold'	315,40	b	114,45	b	44,57	b	133,42	b	60,34	b	0,74	b	2,79	b
F	**		**		**		**		**		**		**	
CV (%)	45,40		41,00		25,30		32,28		25,98		26,47		16,07	

Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey ** - significativo ($p < 0,01$), pelo teste F.

Em relação ao comprimento dos cones, a 'Mantiqueira' apresentou comprimento de cones superior às demais cultivares (Tabela 5). Com base no método ASBC Hops – 2, apenas os cones da 'Mantiqueira' receberam a classificação como cones de tamanho grande, já as demais cultivares têm seus cones classificados como médios e pequenos. O tamanho dos cones variou entre 2,40 cm a 5,38 cm, sendo o menor valor da 'Nugget' e o maior da 'Mantiqueira'. Os valores encontrados estão próximos àqueles encontrados por Mongelli et al. (2016) e Raut et al., (2021). O tamanho dos cones é característica de cada cultivar, mas podem sofrer pequenas variações dentro das cultivares e em diferentes safras e locais. A importância do comprimento do cone está intimamente ligada à temperatura e tempo de secagem, processos fundamentais para manter a qualidade na pós-colheita (Raut et al., 2021).

Classificando o comprimento dos cones dentro das próprias cultivares, apenas a 'Mantiqueira' obteve cones do tamanho grande e também a única a não apresentar cones pequenos (Figura 4). Dentre todas, a 'Victória' foi a mais uniforme, com somente 11% dos cones do tamanho pequeno.

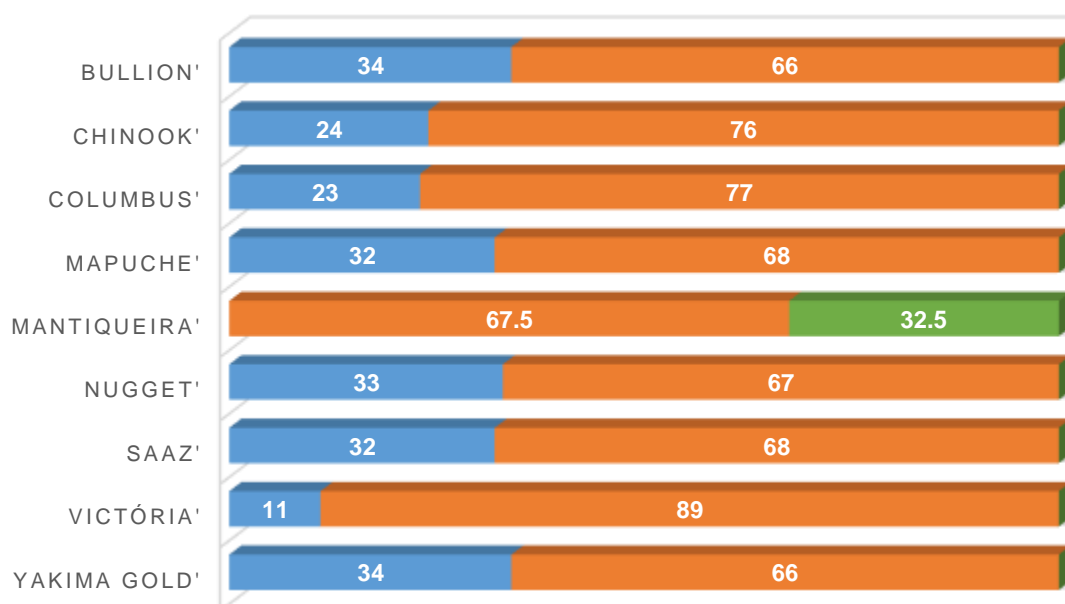


Figura 4. Classificação do tamanho de cones por cultivares de lúpulo.

■ : pequeno; ■ : médio; ■ : grande

3.4 Correlação de Pearson

Todas as correlações foram positivas (Tabela 6), com destaque para a correlação alta entre produtividade e altura de planta (Hopkins, 2000). Rossini et al. (2016), encontraram alta correlação positiva entre altura e produtividade. A forte correlação entre altura da planta e produtividade, tem relação com a arquitetura da planta, que atinge mais de cinco metros e apresenta os cones ao longo dessa extensão, principalmente no terço superior (Marcos et al., 2011; Pavlovic, 2014). De forma geral, o aumento no GDD a partir do florescimento influenciou positivamente a produtividade e a altura das plantas.

Correlações entre produtividade e GDD da fase vegetativa e entre GDD da maturação do cone e produtividade não foram significativas. Os resultados diferem das correlações já relatadas, apesar da correlação entre altura e produtividade positiva, as correlações entre floração, desenvolvimento e maturação dos cones para altura e produtividade foram negativas, mas sem significância (Rossini et al., 2016)

Tabela 6. Coeficientes de correlação de Pearson entre produtividade de cone, altura da planta e a soma térmica do desenvolvimento vegetativo (DV), floração (F), desenvolvimento de cones (DC) e maturação dos cones (MC) na cultura lúpulo em Jaboticabal - SP, 2019-2020.

Caracteres	Produt.	Altura	GDD				
			DV	F	DC	MC	
GDD	Produt.	1	0,848**	0,137	0,681*	0,701*	0,51
	Altura	-	1	0,326	0,749*	0,783*	0,699*
	DV	-	-	1	0,813**	0,782*	0,754*
	F	-	-	-	1	0,988**	0,846**
	DC	-	-	-	-	1	0,876**
	MC	-	-	-	-	-	1

* $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$, ns: não significativo.

As correlações entre os parâmetros vegetativos e produtivos foram todas positivas. Dentre todas as correlações, não foram significativas aquelas que envolveram a altura de inserção do primeiro cone, sendo, o número de cones, massa fresca dos cones, massa fresca da planta e distância dos entrenós (Tabela 7).

Altura apresentou correlação muito alta com todas as características avaliadas, com exceção da distância dos entrenós que a correlação foi forte. Com exceção das correlações que envolvem a distância dos entrenós, todas as correlações foram fortes ou muito fortes.

Tabela 7. Coeficientes de correlação de Pearson entre altura da planta (A), número de cones (NC), massa fresca dos cones (MFC), tamanho dos cones (TC), altura de inserção do primeiro cone (APC), massa fresca da planta (MFP), massa seca da planta (MSP) e distância dos entrenós (E), na altura do lúpulo em Jaboticabal – SP 2019-2020.

Caracteres	A	NC	MFC	TC	APC	MFP	MSP	E
A	1	0,85**	0,86**	0,95**	0,93**	0,85**	0,89**	0,70*
NC	-	1	0,99**	0,95**	0,60	0,96**	0,97**	0,87**
MFC	-	-	1	0,96**	0,63	0,97**	0,98**	0,87**
TC	-	-	-	1	0,78*	0,93**	0,95**	0,82**
APC	-	-	-	-	1	0,65	0,69*	0,5
MFP	-	-	-	-	-	1	0,99**	0,89**
MSP	-	-	-	-	-	-	1	0,84**
E	-	-	-	-	-	-	-	1

* $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$, ns: não significativa.

4 CONCLUSÕES

A ‘Mantiqueira’ apresentou os melhores resultados no clima tropical.

Todas as cultivares completaram o ciclo, produzindo cones.

Houve diferenças no comprimento do ciclo de cada cultivar, sendo a ‘Mantiqueira’ a cultivar de maior ciclo com 112 dias e a ‘Nugget’ com o menor ciclo, com 71 dias.

Todas as correlações de Pearson avaliadas, tanto para o acúmulo térmico, como para os índices vegetativos, foram positivas.

5. REFERÊNCIAS

Aprolúpulo (2021) Conheça as regiões produtoras, Santa Catarina. Disponível em: <<http://aprolupulo.com.br/>> Acesso em: 28 de março de 2021.

Araújo N (2016) Variedade brasileira de lúpulo é descoberta na Serra da Mantiqueira. Disponível em: <http://g1.globo.com/economia/agronegocios/noticia/2016/05/variedade->

[brasileira-de-lupulo-e-descoberta-na-serrada-mantiqueira.html](#) Acesso em: 05 de julho de 2020.

Bauerle WL (2019) Disentangling photoperiod from hop vernalization and dormancy for global production and speed breeding. **Sci Rep** 9:16003.

Bocquet L, Sahpaz S, Rivière C (2018) An overview of the antimicrobial properties of hop. **Natural Antimicrobial Agents** 19:31–54.

Chadwick LR (2006) The pharmacognosy of *Humulus lupulus* L. (hops) with an emphasis on estrogenic properties. **Phytomedicine** 13:119-131.

Cervbrasil (2020) Dados do Setor. Disponível em: <http://www.cervbrasil.org.br/novo_site/dados-do-setor>. Acesso em: 05 jul. de 2020.

Darby H (2017) Hops Production, University Vermont. Disponível em: https://www.canr.msu.edu/uploads/234/78941/Hops_Production_-_Heather_Darby.pdf. Acesso em: 05 jul. 2020.

Dodds K (2017) Hops – a guide for new growers. Disponível em: <<https://www.wildabout hops.nz/assets/files/hops-guide-for-new-growers.pdf>> Acesso em: 05 jul. 2020.

ESTAÇÃO AGROCLIMATOLÓGICA. Departamento de Ciências Exatas. Dados meteorológicos mensais dos anos de 2019 e 2020 em Jaboticabal. Disponível em: < <http://www.fcav.unesp.br/> >. Acesso em: 28 jan. 2021.

Fagherazi MM (2020) Adaptabilidade de cultivares de lúpulo na região do planalto sul catarinense. 116 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal – UDESC Lages, 2020).

Gonsaga RF, Pollo AS, Nascimento DD, Ferreira RJ, Braz LT, Soares PLM (2021) First report of *Meloidogyne incognita* infesting *Humulus lupulus* in São Paulo, Brazil. **Journal of Nematology** 53:1-4.

Gingrich C, Hart J, Christensen N (2000) Hops. Ferlizerguide. Disponível em: <https://catalog.extension.oregonstate.edu/sites/catalog/files/project/pdf/fq79.pdf> Acesso em: 05 July 2020.

Hamada E, Pinto HS (2001) Avaliação do Desenvolvimento do Trigo Utilizando Medidas Radiométricas em Função de Graus-Dia. In: Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto, 10., 2001, Foz do Iguaçu. Anais... São José Dos Campos: Inpe. 95-101.

Hopkins, WG (2000) Correlation coefficient: a new view of statistics. Disponível em: <<http://www.sportsci.org/resource/stats/correl.html>> Acesso em: 05 de junho de 2020.

Kim JG, Lee Y, Lee B, Kim H, Nam Jong-M., Kang H, Joo, E (2006) Growth Rate and Nutrient Content Changes of *Humulus japonicus*. **Journal of Ecology and Field Biology** 29:461-467.

Köppen W (1948) Climatologia: com un estudio de los climas de la tierra. México: Fondo de cultura económica. 478p.

Krebs, C (2019) Hops: A Viable Alternative Crop for the Central/Southern Plains?. **Crops and Soils** 52:4-6.

Kyrou I, Christou A, Panagiotakos D, Stefanaki C, Skenderi K, Katsana K, Tsigos C (2017) Effects of a hops (*Humulus lupulus* L.) dry extract supplement on self-reported depression, anxiety and stress levels in apparently healthy young adults: a randomized, placebo-controlled, double-blind, crossover pilot study. **Hormones**16(2):171-180.

Lafontaine S, Varnum S, Roland A, Delpech S, Dagan L, Vollmer D, Toru Kishimoto T, Shellhammer T (2019) Impact of harvest maturity on the aroma characteristics and chemistry of Cascade hops used for dry-hopping. **Food Chemistry** 278:228–239.

Lima EP, Silva, EL (2008) Temperatura base, coeficientes de cultura e graus-dia para cafeeiro arábica em fase de implantação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 12(3):266-273.

Lin M, Xiang D, Chen X, Huo H (2019) Role of Characteristic Components of *Humulus lupulus* in Promoting Human Health. **J Agric Food Chem** 67(30):8291-8302.

Marceddu R, Carrubba A, Sarno M (2020) Cultivation trials of hop (*Humulus lupulus* L.) in semi-arid environments. **Heliyon** 6(10):05114.

Marcos J, Nadal J, Andi3n J, Alonso J, Ramisquido J, Paz J (2011) Guia del cultivo del l3pulo 1-33.

Marques BS, Silva APP, Lima RSO, Machado ECR, Gonçalves MF, Carvalho, SJP (2014) Crescimento e desenvolvimento de capim-azedo com base em dias ou unidades t3rmicas. **Planta Daninha** 32(3)483-490.

Martins D, Lin H, Paula C (2016) Extracts Obtained of Plants as Potential Source for Treatment of Alzheimer's Disease. **Vis3o Acad3mica** 17(2).

Matsui H, Inui T, Oka K, Fukui N (2016) The influence of pruning and harvest timing on hop aroma, cone appearance, and yield. **Food Chem** 202:15-22.

Mcmaster GS, Wilhelm WW (1997) Growing degree-days: One equation, two interpretations. **Agricultural and Forest Meteorology** 87:291-300.

Mota FS (1986) Meteorologia Agr3cola. 7th ed. Nobel. S3o Paulo: Nobel.

Mongelli A, Rodolfi M, Ganino T, Marieschi M, Caligiani A, Dall'Asta C, Bruni R (2016) Are *Humulus lupulus* L. ecotypes and cultivars suitable for the cultivation of aromatic hop in Italy? A phytochemical approach. **Industrial Crops and Products** 83.

Montanari, R, J3nior JM, Campos MCC, Souza ZM, Camargo LA (2010) Caracteriza3o mineral3gica de Latossolos em diferentes fei3es do relevo na regi3o de Jaboticabal, SP. **Rev. Ci3nc. Agron** 41(2):191-199.

Nakawuka P, Peters TR, Kenny S, Walsh D (2017): Effect of deficit irrigation on yield quantity and quality, water productivity and economic returns of four cultivars of hops in the Yakima Valley, Washington State. **Industrial Crops and Products**, 98:82–92.

Nascimento DD, Gonsaga RF, Pollo AS, Santos PSM, Rodrigues M, Ferreira RJ, Braz LT, Soares PLM (2020) First report of Root-Knot Nematode, *Meloidogyne javanica*, infecting *Humulus lupulus* L. in S3o Paulo, Brazil. **Plant Disease** 1-4.

Neve RA (1991) Hops. Champan and Hall, Londres.

Ometto JC (1981) Bioclimatologia vegetal. **Agron3mica Ceres**. S3o Paulo. 440.

Pavlovic M (2014) Hop Industry. Quality Management Decision Support Modeling. Verlag. Hamburg.

Pérez-Plancarte R, Olvera-Ramírez R, Medina-Jaritz NB (2018) "Hydroponic hop crop (*Humulus lupulus* L.) under greenhouse conditions in Mexico City. **International Journal of Environmental and Agriculture Research** 4(8).

R Core Team. (2020) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <<https://www.R-project.org/>>.

Raut S, von Gersdorff GJ, Münsterer J, Kammhuber K, Hensel O, Sturm B (2021) Influence of pre-drying storage time on essential oil components in dried hops (*Humulus lupulus* L.). **J Sci Food Agric** 101:2247-2255.

Rossini F, Loreti P, Provenzano ME, Santis D (2016) Agronomic performance and beer quality assessment of twenty hop cultivars grown in Central Italy. **Italian Journal of Agronomy** 11:746.

Roszbauer G, et al. (1995) Phänologische Entwicklungsstadien von KulturHopfen (*Humulus lupulus* L.). Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes, Stuttgart 47(10)249-253.

Trojak-Goluch A, Skomra U (2018) Breeding of triploid common hop cultivars *Humulus lupulus* L. **Polish Journal of Agronomy** 34:3-10.

CAPÍTULO 3 – Seleção de híbridos de lúpulo em clima tropical

RESUMO – Para estabelecimento do lúpulo como uma cultura de sucesso no Brasil, o desenvolvimento de cultivares nacionais é fundamental, pois essas cultivares serão mais adaptadas aos diversos climas encontrados no país. O desenvolvimento de cultivares brasileiros, pode além de aumentar produtividades, melhorar o manejo, reduzir custos, ainda pode chamar a atenção internacionalmente, assim tornando o país um exportador de lúpulo. A metodologia REML/BLUP é adequada para programas de melhoramento de culturas perenes, onde os testes geralmente envolvem conjuntos de dados não balanceados. As matrizes utilizadas como parentais incluíram dez cultivares sendo elas de aroma, amargor ou uso duplo, cruzadas com três cultivares masculinas desenvolvidas no Brasil. As populações derivadas desses cruzamentos foram cultivadas nos anos de 2019 e 2020. O parental ‘M3/2018’ apresentou os melhores valores para a capacidade geral de combinação e o cruzamento entre este genitor e ‘Tahoma’ apresentou valores positivos para sete das nove características na capacidade específica de combinação, sendo a melhor combinação entre as testadas. Dentre os híbridos avaliados, JAB1303-13 e JAB1403-12 apresentaram as maiores notas entre as cultivares avaliadas em dois métodos de classificação utilizados. Na análise qualitativa, não houve diferenças entre os híbridos para os teores de alfa-ácidos, beta-ácidos e índice de estocagem, mas destaca-se o JAB1503-04 com 12,57% de alfa-ácido e o híbrido JAB1403-39 apresentou 9,84% de beta-ácido, confirmando que é possível cultivar lúpulo com boas produtividades e qualidade no clima tropical no Brasil.

Palavras-chave: *Humulus lupulus*, BLUP, melhoramento genético, Brasil, seleção de progênies.

CHAPTER 3 - Selection of hop hybrids in a tropical climate

ABSTRACT – For the establishment of hops as a successful crop in Brazil, the development of national cultivars is essential, as these cultivars will be better adapted to the different climates found in the country. The development of Brazilian cultivars can, in addition to increasing yields, improving management, reducing costs, can still draw international attention, thus making the country a hop exporter. The REML/BLUP methodology is suitable for perennial crop improvement programs where testing often involves unbalanced datasets. The matrices used as parental included ten cultivars, being them of aroma, bitterness or double use, crossed with three male cultivars developed in Brazil. The populations derived from these crosses were cultivated in the years 2019 and 2020. The parental 'M3/2018' showed the best values for the general combining ability and the cross between this parent and 'Tahoma' showed positive values for seven of the nine traits in the specific combination ability, being the best combination among those tested. Among the hybrids evaluated, JAB1303-13 and JAB1403-12 presented the highest scores among the cultivars evaluated in two classification methods used. In the qualitative analysis, there were no differences between the hybrids for alpha-acid, beta-acid and stocking index contents, but JAB1503-04 stands out with 12.57% of alpha-acid and the hybrid JAB1403-39 presented 9.84% beta-acid, confirming that it is possible to grow hops with good yields and quality in the tropical climate in Brazil.

Keywords: *Humulus lupulus*, BLUP, genetic breeding, Brazil, progeny selection.

1 INTRODUÇÃO

As técnicas atuais de obtenção de lúpulo geralmente envolvem esquemas simples com cruzamentos controlados entre várias plantas masculinas e várias plantas femininas ou linha experimental. As sementes são coletadas, germinadas e cultivadas em viveiros, onde normalmente genótipos femininos são selecionados. Normalmente, as fêmeas selecionadas serão lançadas como uma nova cultivar. Alguns dos descendentes machos desses cruzamentos são subsequentemente avaliados quanto à expressão fenotípica para várias características. A determinação de se usar um macho para fins de reprodução é quase sempre com base em dados fenotípicos, e não genotípicos (Henning et al., 2004).

Muitas características de importância econômica no lúpulo são controladas por uma combinação de efeitos genéticos aditivos e de dominância (Henning et al., 1997a; Henning et al., 1997b). Níveis significativos ($P < 0,01$) de capacidade específica de combinação foram observados para rendimento, níveis de alfa-ácidos, níveis de beta-ácido, conteúdo de cohumulona e capacidade de armazenamento de lúpulo (HSI) (Hennig et al., 1997a). Muito das pesquisas para melhoramento varietal no lúpulo utiliza efetivamente efeitos aditivos na seleção, no entanto, uma grande parte da expressão gênica, por causa de dominância ou heterose, permanece inexplorada no desenvolvimento de cultivares de lúpulo. A maioria das cultivares de lúpulo são obtidas de cruzamentos únicos, ao invés de esquemas de cruzamentos recorrentes ou esquemas de testes genotípicos (Henning et al., 2004; Padgitt-Cobb et al., 2021).

Métodos de melhoramento para obtenção de híbridos têm sido utilizados com eficiência para produzir genótipos com desempenho superior aos pais e atualmente são considerados a escolha ideal, devido ao efeito da heterose, uniformidade, combinação rápida de características e como uma forma de proteção à propriedade intelectual. Embora os mecanismos genéticos que causam heterose ainda sejam não completamente compreendidos nas plantas (Berlan, 2018; Miyaji e Fujimoto, 2018; Govindaraju, 2019; Rudolf-Pilih et al., 2019), vários métodos utilizados por melhoristas estão bem estabelecidos e estão focados na identificação de linhas com ótima capacidade de combinação

(Acquaah, 2012). A capacidade geral de combinação (CGC) reflete sobre o comportamento médio de um genótipo em um conjunto de cruzamentos, e a capacidade específica de combinação (CEC) é o quanto a média esperada de um genótipo difere do esperado, baseado em sua CGC (Borém e Miranda, 2013; Bueno, 2017; Rudolf-Pilih et al., 2019, Martins et al., 2016)

O uso de procedimentos computacionais avançados aplicados a estudos genéticos em programas de melhoramento de plantas tornou-se fundamental e indispensável, sendo cada vez mais comum o seu. Um desses procedimentos para auxiliar na predição de valores genéticos é o método de melhor preditor linear não-viesado (BLUP). A análise do REML/BLUP pode perfeitamente ser usada em experimentos não balanceados, além disso, através de uma abordagem de modelagem mista pode ser adaptada para levar em conta os efeitos espaciais e também para analisar ensaios multiambientais. Adotando-se a metodologia REML/BLUP, possibilita-se a maximização da acurácia seletiva, minimizando o erro de predição, ou seja, a diferença entre os valores genéticos preditos e os verdadeiros é minimizada, com isso, é maior a probabilidade de selecionar o melhor entre dois indivíduos quaisquer, ou o melhor entre vários indivíduos, e também possibilita que o ganho genético esperado por ciclo de seleção seja aumentado (Resende e Dias, 2000; Paiva et al., 2002; Mistro, 2015).

Em uma cultura dioica como o lúpulo observações diretas sobre os valores genéticos das características do cone de plantas masculinas não podem ser feitas. No entanto, a análise BLUP permite o valor genético dos pais do sexo masculino a ser estimado., então, é utilizar todas as informações genéticas disponíveis para uma cultura específica (Piepho et al., 2008).

Um dos maiores exemplos de sucesso na agricultura brasileira, a soja, através de processos de melhoramento genético, que resultaram na “tropicalização” da cultura, possibilitando que pela primeira vez na história, fosse possível cultivar soja em baixas latitudes, mais especificamente entre a Linha do Equador e o Trópico de Capricórnio. O sucesso foi tão grande que revolucionou a história mundial da soja e, graças aos esforços dos cientistas e pesquisadores brasileiros, o resultado pode ser notado pelo mercado no final da década de 1980 e que, atualmente possibilitou o Brasil a se tornar o maior produtor de soja do

mundo (EMBRAPA, 2021a; EMBRAPA, 2021b). Outro exemplo de sucesso de “tropicalização” brasileira ocorreu com a uva, através do Programa de Melhoramento Genético do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), referência no desenvolvimento de porta-enxertos para as condições de clima tropical (Leão, 2000; Kuhn et al., 2003; Guerra et al., 2006; Regina, 2006). Um exemplo de sucesso de um porta-enxerto é o ‘IAC 313’ ou também conhecido como ‘Tropical’, ele possibilitou o sucesso do cultivo de uva no Vale do São Francisco, região aonde é notável o cultivo da uva atualmente e que se destaca tanto por produzir uvas rústicas, mas também uvas finas, que proporciona vinhos de alta qualidade. Com o desenvolvimento de porta-enxertos com características para adaptação as condições tropicais brasileiras, houve um movimento de substituição dos porta-enxertos originalmente de regiões de clima temperado, esse é mais um dos exemplos que demonstram como o melhoramento genético pode contribuir com o cultivo em condições tropicais (EMBRAPA, 2010).

O desenvolvimento de cultivares de lúpulo adaptados às condições tropicais pode ser um marco para o cultivo no país, fato que por décadas foi considerado impossível e apesar de não ser, ainda apresenta muitas dificuldades. Portanto essa pesquisa tem por objetivo selecionar híbridos que sejam adaptados ao clima tropical, visando o cultivo de lúpulo com boa produtividade e qualidade em várias regiões do país.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização

O estudo foi localizado na área experimental do Setor de Olericultura e Plantas Aromático - Medicinais, na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (UNESP-FCAV), Câmpus de Jaboticabal, na latitude 21° 14' 05" S e longitude 48° 17' 09" W. Possui altitude média de 614 metros acima do nível do mar e o clima da região é considerado do tipo Aw, com transição para Cwa (Köppen, 1948), ou seja, clima tropical com estação seca no inverno e transição para clima subtropical, com chuvas no verão e relativamente seco no inverno. A pluviosidade anual do local é de 1.424,6 mm. O relevo é caracterizado como

suave ondulado e classificado com um Latossolo Vermelho distrófico típico de textura argilosa (Montanari et al., 2010). O preparo do solo para plantio das progênies foi realizado com base na análise química do solo (Tabela 1). Para elevar o pH do solo para 6,1 foi realizada calagem em área total, posteriormente foram realizadas as operações de gradagem e abertura de sulcos. A adubação de plantio foi realizada com 19 g planta⁻¹ de N (Ureia), 10 g planta⁻¹ de P (Superfosfato Simples), 15 g planta⁻¹ de K (KCl) e 1.000 g planta⁻¹ de esterco bovino por cova. A fertilização por hectare foi de 85N - 100P - 80K. O manejo hídrico foi realizado por meio de sistema de irrigação por gotejamento, com gotejadores espaçados 30 cm entre si. O manejo de plantas daninhas, pragas e patógenos, foi realizado de forma preventiva e conforme a necessidade.

Tabela 1. Resultado da análise química do solo (0-20 cm), coletado na área experimental.

pH (CaCl ₂)	MO (g dm ⁻³)	P-resina (mg dm ⁻³)	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al	Al ³⁺	SB	CTC	V
			(mmol _c dm ⁻³)							%
5,5	18	44	3,8	24	11	17	0	39,4	56,4	70

MO - Matéria Orgânica; P resina - P determinado com um extrator de resina; SB - Soma de Bases; CTC - Capacidade de troca de Cátions; V - Saturação de Bases.

O sistema de condução adotado foi o padrão de treliça alta no sistema de condução simples, onde os fios de condução foram apoiados 5 m acima do solo e plantas espaçadas em 3 m entrelinhas e 1 m entre plantas (Figura 1).



Figura 1. Vista geral do modelo de treliça utilizado no experimento.

2.2 Dados meteorológicos

Os dados meteorológicos foram obtidos na Estação Agroclimatológica da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Câmpus de Jaboticabal, localizada a aproximadamente 250 m da área experimental. Durante o período de crescimento, de 20 de novembro a 18 de março, a média das temperaturas mínimas e máximas foram 19,6 e 31,3°C, respectivamente. A quantidade de chuva acumulada durante a realização do experimento foi de 713,70 mm.

2.3 Delineamento experimental

O delineamento experimental das matrizes femininas foi de blocos casualizados com quatro repetições e cada parcela com três plantas. Seguindo a numeração das cultivares: 'Mantiqueira' (1), 'Nugget' (2), 'Bullion' (3), 'Victória' (4), 'Columbus' (5), 'Saaz' (6), 'Mapuche' (9), 'Sterling' (13), 'Tahoma' (14) e 'Styrian Golding' (15). Os três genótipos masculinos, M1/2018, M2/2018 e M3/2018 ficaram isolados em outra área experimental, longe das matrizes femininas afim de evitar polinização cruzada.

2.4 Cultivares utilizadas

2.4.1 ‘Bullion’ – Lúpulo de Amargor

O programa de melhoramento que resultou na criação do ‘Bullion’ teve início em 1917, procurando unir o maior amargor dos lúpulos americanos com o aroma dos lúpulos europeus. Desenvolvido na Inglaterra, seu lançamento somente ocorreu em 1938, posteriormente foi levado até a América do Norte. Na época de seu lançamento era a cultivar de maior alfa-ácido do mundo (BHA, 2021). É oriundo de polinização aberta em uma planta feminina selvagem de Manitoba, Canadá (Healey, 2016). Apresenta tolerância ao míldio, suscetibilidade ao oídio e viroses e resistência à murcha. Possui teores de alfa-ácidos que variam entre 6,7% e 12,9%, beta-ácidos entre 3,7% e 9,1% e óleos essenciais de 1,1 a 2,7 ml/100g. Seus aromas remetem a frutas vermelhas escuras, picante e especiarias (Healey, 2016; Hopsteiner, 2021; USDA, 2021).

2.4.2 ‘Columbus’ – Lúpulo de Amargor e Aroma

O ‘Columbus’ está envolvido em uma grande polêmica, o ‘Tomahawk’ é geneticamente idêntico ao ‘Columbus’, mas ambas foram registradas por empresas diferentes. Há também o ‘Zeus’, que pertence a uma terceira empresa e apresenta um genótipo praticamente idêntico as outras duas cultivares, sendo assim, os três são comercializados como parte do complexo conhecido como CTZ (‘Columbus’, ‘Tomahawk’ e ‘Zeus’) (Healey, 2016; Hopsteiner, 2021). Sua genética é um mistério, e apresenta suscetibilidade ao míldio e ao oídio e resistência à murcha-de-verticílio. Apresenta alfa-ácidos que variam entre 14% a 18%, beta-ácidos de 4,5% a 6,0% e teor de óleos essenciais de 1,5 a 4,5 mL 100 g⁻¹. Seus aromas e sabores remetem ao cítrico, pimenta-preta e cebola (Healey, 2016; Barth Haas, 2021; Freshops, 2021; Hopsteiner, 2021).

2.4.3 ‘Mantiqueira’ – Lúpulo de Aroma

Considerada por muitos como a primeira cultivar de lúpulo brasileiro, a 'Mantiqueira' foi descoberta acidentalmente por um engenheiro agrônomo que recebeu algumas sementes de um amigo, após a germinação as plantas não se desenvolveram e acabaram sendo descartadas. Algum tempo depois, nesse descarte uma planta havia se desenvolvido muito bem. A partir daí foi propagada vegetativamente, começando a se produzida comercialmente. A 'Mantiqueira' se tornou conhecida nacionalmente após uma reportagem do Globo Rural, onde foi contada a sua história e desenvolvimento (Araújo, 2016 Spósito et al., 2019). Apresentando 6% de alfa-ácido aproximadamente, pode ser classificada como um lúpulo de aroma. Algumas cervejas comerciais já foram produzidas utilizando a 'Mantiqueira', porém seu destaque vem diminuindo, seja por fatores de outras cultivares apresentarem qualidade, desenvolvimento e produção superiores, seja pelo fato de ela nunca ter sido registrada no Sistema Nacional de Proteção de Cultivares, o que a torna ilegal e impedindo os viveiros legalizados de a comercializarem, sendo assim, ainda não existe uma cultivar realmente brasileira legalizada (SNPC, 2021)

2.4.4 'Mapuche' – Lúpulo de Aroma

Desenvolvida na Argentina através do programa de melhoramento da Quilmes, iniciado em 1984, a 'Mapuche' tem como parental feminino 'Cascade', sendo lançada em 1992. Apresenta teores de alfa-ácidos que variam de 5,8% a 6,4%, beta-ácidos de 4,1% a 4,8% e teor de óleos essenciais de 1,1 mL 100 g⁻¹ (Testa et al., 2019).

2.4.5 'Nugget' – Lúpulo de Amargor e Aroma

Lúpulo norte-americano, desenvolvido a partir de um cruzamento entre uma planta feminina de Brewer's Gold e um genitor masculino de alto alfa-ácido e boas propriedades de armazenamento, sendo assim seu pedigree é composto por 5/8 de 'Brewer's Gold', '1/8 Early Green', '1/16 East Kent Golding', 1/32 'Bavarian' e 5/32 desconhecido (Freshops, 2021; Hopsteiner, 2021). O cruzamento foi realizado em 1970 e seu lançamento em 1982, pouco exigente

em relação à fertilidade do solo, se adapta facilmente a várias localidades. Resistente ao míldio, oídio e murcha-de-verticílio (Healey, 2016; Freshops, 2021). Apresenta teores de alfa-ácidos que variam entre 9,0% e 13,0%, beta-ácidos de 3,0% a 5,0% e teores de óleos essenciais de 0,9 a 1,3 mL 100g⁻¹. Possui aromas que remetem limão, lichia e abacaxi (Barth Haas, 2021).

2.4.6 ‘Saaz’ – Lúpulo de aroma

Um dos lúpulos comerciais mais antigos do mundo, selecionado naturalmente cultivado provavelmente na região da República Tcheca desde a idade média. Apresenta resistência à murcha-de-verticílio e tolerância ao oídio e míldio (Freshops, 2021; Hopsteiner, 2021). Seus teores de alfa-ácidos variam de 3,0% a 4,5%, beta-ácidos de 3,0 a 4,5% e os teores de óleos essenciais de 0,5 a 1,0 mL 100g⁻¹. Utilizado principalmente nas cervejas tipo Pilsen Tchechas, o ‘Saaz’ confere aromas e sabores amadeirados, herbais, gramíneos e resinosos (Healey, 2016; Barth Hass, 2021; Hopsteiner, 2021).

2.4.7 ‘Sterling’ – Lúpulo de Amargor e Aroma

Desenvolvido nos EUA, o programa de melhoramento que deu origem a sua criação iniciou-se em 1990 e o lançamento ocorreu em 1998 (Healey, 2016; Freshops, 2021). Em seu pedigree estão como progenitor feminino o ‘Saazer 38’ e masculino USDA 21361M (Freshops, 2021). Possui tolerância ao míldio e suscetibilidade ao oídio (Hopsteiner 2021). Seus teores de alfa-ácidos vão de 4,5% até 9,0%, beta-ácidos de 4,0% até 6,0% e apresenta óleos essenciais que vão de 0,6 a 1,9 mL 100 g⁻¹ (Healey, 2016). Os teores de óleos são incomuns, apresentando farneseno muito alto e cariofileno muito baixo. Isso cria um aroma cítrico delicadamente temperado com um toque floral e de ervas (Healey, 2016; Hopsteiner, 2021).

2.4.8 ‘Styrian Golding’ – Lúpulo de Aroma

Originária de uma região da antiga Iugoslávia, onde hoje é a Eslovênia, o ‘Styrian Golding’ originou-se a partir de seleção clonal de ‘Fuggle’, sendo assim, apresenta muitas semelhanças com a mesma. Foi selecionada na virada do século passado e se tornou a cultivar mais produzida em sua região nos anos de 1930. Apresenta resistência ao míldio e moderadamente suscetível à murcha-de-verticílio. Com alfa-ácidos entre 2,8% e 6,0%, beta-ácidos entre 2,0% e 3,0% e teores de óleos essenciais entre 0,5 a 1,0 mL 100 g⁻¹, essa cultivar proporciona aromas de especiarias, capim-limão e pimenta branca (Healey, 2016; Barth Haas, 2021; Freshops, 2021)

2.4.9 ‘Tahoma’ – Lúpulo de Aroma

Desenvolvida pela Washington State University e a USDA, lançada em 2013 e filha de ‘Glacier’. Não há informações sobre o comportamento frente as doenças. Quanto às características qualitativas, possui alfa-ácidos que varia entre 7,2% e 8,2%, beta-ácidos que variam entre 8,5% e 9,5% e teores de óleos essenciais de 1,0 a 2,0 mL 100 g⁻¹. ‘Tahoma’ confere sabores e aromas sutis, que remetem a limão, cítricos, laranja e amadeirado (Healey, 2016; Hopsteiner, 2021).

2.4.10 ‘Victória’ – Lúpulo de Amargor e Aroma

Desenvolvido na Austrália e produzido na Argentina desde 2005. Não há informações sobre o pedigree e comportamento em relação as doenças. Apresenta teores de alfa-ácidos entre 13,0% e 15,0%, beta-ácidos entre 6,5% e 7,5% e óleos essenciais de 1,26 mL 100g⁻¹. Seus aromas e sabores proporcionam às cervejas notas de frutas tropicais, tangerina e pinha (Lúpulos Patagónicos, 2020).

2.4.11 ‘M1/2018’

Planta masculina de origem brasileira, tem como parental feminino a 'Cascade' e um parental masculino provindo de um cruzamento entre 'East Kent Golding' e um macho desconhecido (Rafaelle, comunicação direta).

2.4.12 'M2/2018'

Planta masculina originada no Brasil, foi obtido por meio do cruzamento de uma planta feminina de 'Magnum' com o mesmo parental masculino do 'M1/2018' (Rafaelle, comunicação pessoal).

2.4.13 'M3/2018'

Planta masculina proveniente de um cruzamento entre um parental feminino de 'Hallertau Magnum' e um parental masculino proveniente de cruzamento entre 'Hallertau Mittelfruh' e um macho desconhecido. Sua origem é nacional (Rosalinski, comunicação pessoal).

2.5 Características avaliadas

2.5.1 Avaliações vegetativas

Os cruzamentos controlados foram realizados entre os períodos de outubro de 2018 e janeiro de 2019. As sementes foram germinadas em incubadora BOD, seguindo o procedimento de Haunold e Zimmermann (1974). Após a germinação, as plântulas foram transferidas para bandejas de poliestireno expandido com 128 células, contendo substrato Plantmax® e mantidos em casa de vegetação. Àquelas que se desenvolveram foram transferidas para vasos de 8 L, contendo uma mistura esterilizada de latossolo vermelho, areia e esterco bovino, na proporção 2:1:1, sendo realizada fertirrigação. A avaliação foi realizada semanalmente, sendo eliminadas as plantas que apresentavam flores masculinas. Em 15 de outubro de 2019, transferiu-se da casa de vegetação para o campo todas as 70 plantas selecionadas e avaliou-se os estádios fenológicos semanalmente até a colheita.

Posteriormente as flores foram avaliadas pela Universidade de São Paulo – Instituto de Química de São Carlos, utilizando os métodos oficiais da American Brewing Chemists, Hops – 4, Hops – 6 e Hops – 12, todos realizados em triplicata.

a) Altura de plantas (m): análise com trena métrica, da base da planta até o ponteiro da maior haste;

b) Altura de inserção do primeiro cone (m): análise com trena métrica, a partir da base da planta até o nó onde encontrava-se o primeiro cone;

c) Comprimento do entrenó (cm): análise com trena métrica, distância entre os nós no terço superior da planta;

d) Comprimento do ramo lateral (cm): análise com trena métrica, quando presente, análise dos ramos laterais no terço superior da planta, medição realizada a partir da haste até a ponta do ramo lateral.

2.5.2 Avaliações produtivas

a) Massa fresca das plantas (g): análise com balança eletrônica de alta precisão, pesou-se a planta toda sem os cones;

b) Massa seca das plantas (g): análise com balança eletrônica de alta precisão, pesou-se a planta toda sem os cones. após secagem à 50°C até atingir massa constante;

c) Massa fresca dos cones (g): análise com balança eletrônica de alta precisão, pesando-se todos os cones colhidos;

d) Número de cones por planta (unidade): contagem de todos os cones colhidos;

e) Comprimento do cone (cm): medição utilizando um paquímetro digital.

Ao todo 39 híbridos chegaram até a fase final de avaliação, ou seja, foram capazes de gerar cones, todos os híbridos que eram do sexo masculino foram descartados (Tabela 2). Dentre todos os híbridos avaliados, apenas um tinha como parental masculino o M1/2018 e dois o M2/2018, os demais híbridos tiveram o M3/2018 como progenitor masculino. A planta masculina de lúpulo é difícil de ser encontrada, pois a sua presença é indesejável em uma produção agrícola, pois a ocorrência de sementes nos cones pode acarretar compostos indesejados na utilização para fabricação de cerveja (Burgess, 1964; Linke, 1958). Apenas um macho pode polinizar centenas de plantas ao seu redor, já que a polinização se dá pelo vento (Sirrione, 2018).

As plantas masculinas normalmente ocorrem apenas de forma natural em seu habitat ou de forma controlada visando a utilização em programas de melhoramento genético. Dentro de um programa de melhoramento de lúpulo, as plantas masculinas são extremamente valorizadas e importantes, visto a dificuldade de avaliação de seus caracteres qualitativos que serão fornecidos às progênes, diferentemente das plantas femininas que é possível avaliar e quantificar suas resinas e óleos, com a planta masculina essa alternativa não é viável, uma das formas é utilizar um testador comum e conhecido, cruzando todas as plantas masculinas com esse testador e assim avaliando o perfil de cada um através dos resultados das progênes, o que torna a tarefa muito extensa e cara (Barros et al., 2017). Outra alternativa são os estudos genéticos, como os estudos de associação genômica ampla (GWAS), tecnologias de sequenciamento de nova geração (NGS), sejam utilizados para investigar o controle genético dos caracteres relacionados aos caracteres agrônômicos e fitoquímicos de interesse (Henning et al., 2019).

Tabela 2. Nomenclatura dos 39 híbridos avaliados e seus parentais masculino e feminino.

Parental Masculino	Parental Feminino	Híbrido
M1/2018	Victória	JAB0401-06
M2/2018	Bullion	JAB0302-01
M2/2018	Nugget	JAB0202-02
M3/2018	Bullion	JAB0303-02
M3/2018	Bullion	JAB0303-06
M3/2018	Columbus	JAB0503-08
M3/2018	Columbus	JAB0503-11
M3/2018	Columbus	JAB0503-13

M3/2018	Columbus	JAB0503-14
M3/2018	Columbus	JAB0503-17
M3/2018	Mantiqueira	JAB0103-01
M3/2018	Mantiqueira	JAB0103-04
M3/2018	Mantiqueira	JAB0103-05
M3/2018	Mapuche	JAB0903-24
M3/2018	Nugget	JAB0203-10
M3/2018	Nugget	JAB0203-11
M3/2018	Nugget	JAB0203-13
M3/2018	Saaz	JAB0603-01
M3/2018	Saaz	JAB0603-04
M3/2018	Saaz	JAB0603-11
M3/2018	Sterling	JAB1303-01
M3/2018	Sterling	JAB1303-06
M3/2018	Sterling	JAB1303-13
M3/2018	Sterling	JAB1303-14
M3/2018	Styrian Golding	JAB1503-03
M3/2018	Styrian Golding	JAB1503-04
M3/2018	Styrian Golding	JAB1503-05
M3/2018	Tahoma	JAB1403-04
M3/2018	Tahoma	JAB1403-06
M3/2018	Tahoma	JAB1403-12
M3/2018	Tahoma	JAB1403-15
M3/2018	Tahoma	JAB1403-20
M3/2018	Tahoma	JAB1403-33
M3/2018	Tahoma	JAB1403-34
M3/2018	Tahoma	JAB1403-39
M3/2018	Tahoma	JAB1403-45
M3/2018	Victória	JAB0403-04
M3/2018	Victória	JAB0403-10
M3/2018	Victória	JAB0403-11

2.5.3 Índice de Seleção

a) Ranking das cultivares em cada caractere: Os dados de cada híbrido para cada caractere foram distribuídos em gráfico. Onde, o eixo x representa cada uma das 39 cultivares, o eixo y é a valor médio do caractere para cada cultivar. Foram sombreados os indivíduos através do índice de seleção para cada característica. Foi aplicado o índice de seleção de 30%, para os valores superiores em comprimento do cone, número de cones, matéria fresca dos cones, matéria fresca da planta, matéria seca da planta, altura da planta e comprimento dos ramos laterais. Para altura de inserção do 1º cone e comprimento do entrenó foram utilizados os valores inferiores à média.

b) Classificação dos Híbridos utilizando pesos econômicos: Foram elaboradas duas formas de classificação, a primeira, cada vez que um híbrido aparecia dentro do índice de seleção ele recebia um ponto de forma que todos os caracteres teriam o mesmo peso na nota final. Na segunda forma, os caracteres receberam pesos econômicos para os caracteres de maior interesse, sendo assim, os caracteres possuíam pesos diferentes na nota final de classificação (Tabela 3).

Tabela 3. Pontuação dos rankings A e B para classificação das progênes.

Característica	Ranking A	Ranking B
Altura de plantas	1	3
Altura de inserção do primeiro cone	1	1
Comprimento do entrenó	1	1
Comprimento do ramo lateral	1	1
Massa fresca da planta	1	1
Massa seca da planta	1	1
Massa fresca do cone	1	5
Comprimento do cone	1	2
Número de cones por planta	1	2
Total	9	17

2.5.4 Análise de alfa-ácidos e beta-ácidos do Lúpulo por HPLC e Índice de Estocagem (HSI).

B As análises de alfa-ácidos e beta-ácidos do lúpulo seguiram o protocolo estabelecido pela American Society of Brewing Chemists (Hops-12) por HPLC utilizando fase móvel composta por metanol: água: ácido fosfórico; coluna cromatográfica C18 (250 mm x 4 mm, 5 µm) e detector de arranjo de diodos. Os analitos cohumulona, adhumulona, humulona, colupulona, adlupulona e lupulona foram identificados pela co-injeção com padrões autênticos e quantificados em mg de alfa ou beta ácidos por 100 g de amostra. As análises foram realizadas em triplicata.

2.6 Análise Estatística

Realizou-se o teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov. Para avaliar os efeitos dos tratamentos e cultivares e as interações entre eles nas

características registradas, foram realizadas a análise de variância (ANOVA) para a comparação de média, utilizando-se o teste de Tukey, ao nível de confiança de 0,95, e as análises dos melhor preditor linear não-viesado (BLUP) com o software estatístico R (R Core Team, 2020). Nas análises foi utilizado o modelo de efeitos mistos.

$$Y = \mu + \text{Cultivar}_{\text{Fixo}} + \text{Repetição}_{\text{Aleatório}} + (\text{Cultivar} * \text{Repetição})_{\text{Aleatório}} + \epsilon$$

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Capacidade Geral de Combinação dos Pais (CGC)

A estimativa da CGC é de grande importância para seleção de genitores em um programa de melhoramento, pois permite que o melhorista analise informações sobre o desempenho médio dos híbridos, visto que a frequência de alelos favoráveis é geralmente maior em genótipos que apresentam as maiores médias (Vencovsky, 1987; Giorgenon, 2015). O termo capacidade geral de combinação é empregado para definir o comportamento médio de um genitor em todos os cruzamentos dos quais ele participa (Sprague e Tatum, 1942; Cruz e Vencovsky, 1989; Cruz et al., 2004). Quando são apresentadas baixas estimativas da CGC, sejam elas positivas ou negativas, indicam que na média geral dos cruzamentos, o indivíduo não apresenta muitas diferenças dos demais, na característica avaliada, assim, a característica é pouco influenciada (Cruz et al., 2012). As estimativas quando altas e positivas estão ligadas com o aumento da expressão do caráter em questão, já valores altos e negativos ocorre exatamente o contrário, contribuindo para a redução. Portanto, sabe-se que a CGC está relacionada com a concentração de genes predominantemente aditivos em seus efeitos (Souza, 2017). É indicado que genitores que apresentam altas estimativas de CGC, são ótimas alternativas para serem adicionados em programas de melhoramento, assim, participando da formação de novas populações e proporcionando maiores ganhos (Carvalho et al., 2010).

Na Tabela 4 encontram-se as estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação das matrizes. Com relação à altura da planta (AP), apresentaram

valores positivos, em ordem decrescente 'M3/2018', 'Bullion', 'Columbus', 'Saaz' e 'Viktória' e 'Styrian Golding', os demais apresentaram valores negativos, o que não é desejado para essa característica. Os valores encontrados foram muito baixos, mostrando que as diferenças entre as cultivares praticamente não tem grande influência nas características em suas progênies.

Assim como na AP, a altura de inserção do primeiro cone (AC), comprimento do entrenó (CE), comprimento dos ramos laterais (CR), massa fresca da planta (MFP), massa seca da planta (MSP) e comprimento dos cones (CC) os valores encontrados para a CGC forma muito baixos, próximos a zero. M1/2018 e M2/2018 apresentaram valores negativos de CGC em AC, CE, CR, MFP, MSP e CC, mostrando que não são bons genitores para programas de melhoramento, fato já observado pela baixa porcentagem de germinação das sementes de seus cruzamentos e pequena sobrevivência dos híbridos resultantes desses dois genitores masculinos.

Os valores da CGC para massa fresca dos cones (MFC), apresentaram-se altos e positivos para 'Tahoma', M3/2018, 'Sterling', 'Mapuche' e 'Mantiqueira' (Tabela 4). 'Styrian Golding' e 'Nugget' ficaram próximos de zero, sendo assim suas influências para a característica em questão é muito baixa. Com valores altos e negativos estão as demais cultivares, sendo assim, não são bons genótipos para uma das características mais importantes no melhoramento de lúpulo, que é a MFC, que reflete o rendimento por área que determinada cultivar pode apresentar.

Entre todas as características, apenas o 'M3/2018' apresentou valores positivos em todas as características avaliadas, sendo assim o melhor genitor dessa pesquisa.

Tabela 4. Capacidade Geral de Combinação para: altura da planta (AP), altura de inserção do primeiro cone (AC), comprimento do entrenó (CE), do comprimento dos ramos laterais (CR), massa fresca da planta (MFP), massa seca da planta (MSP), massa fresca dos cones (MFC), número de cones por planta (NCP) e comprimento dos cones (CC) de treze cultivares de lúpulo avaliadas em Jaboticabal - SP.

Cultivares	AP 10^{-5}	AC 10^{-2}	CE 10^{-4}	CR 10^{-3}	MFP 10^{-2}	MSP 10^{-2}	MFC	NCP	CC 10^{-2}
'Bullion'	8,76	-1,26	9,63	23,03	6,77	4,80	-2,86	-46,24	-6,26
'Columbus'	8,61	-0,81	-6,70	-8,41	-3,01	-4,94	-2,45	-60,72	1,57
'Mantiqueira'	-0,55	-4,22	6,73	10,13	4,36	3,58	2,06	81,80	8,08

'Mapuche'	-5,68	-2,37	-3,14	-3,81	2,52	-2,67	2,11	50,73	2,21
'Nugget'	-13,30	-4,63	0,92	3,59	1,88	-3,61	-0,02	-1,51	-1,78
'Saaz'	6,52	-2,38	5,18	-4,04	-5,70	4,83	-3,50	-75,64	7,32
'Sterling'	15,69	7,33	2,05	-0,06	-0,26	2,47	3,83	26,38	2,99
'Styrian'	5,47	1,10	-4,42	-0,11	-1,12	-2,53	0,22	-1,92	-6,89
'Tahoma'	-29,15	7,54	1,41	0,26	-1,53	6,09	5,66	118,68	3,58
'Victoria'	3,64	-0,29	-7,58	-13,40	-3,90	-8,03	-5,04	-91,54	-10,82
'M1/2018'	-12,19	0,72	-4,97	-7,38	-2,87	-5,14	-2,85	-55,92	-13,58
'M2/2018'	-16,64	-5,50	-0,15	-6,24	-1,30	-4,64	-1,77	-50,23	-1,07
'M3/2018'	28,83	4,78	5,13	13,62	4,16	9,78	4,61	106,16	14,65

3.2 Capacidade Específica de Combinação (CEC)

A estimativa do efeito da capacidade específica de combinação mostra o quanto o desempenho dos híbridos se desvia em relação ao desempenho médio esperado, baseado nas médias da CGC dos progenitores (Cruz et al., 2012, Souza, 2017). Baixos valores indicam que os híbridos se apresentaram como o esperado, baseado na CGC de seus progenitores, no entanto, valores altos absolutos, sejam eles positivos ou negativos, demonstram que o híbrido foi melhor ou pior que do que era esperado, baseado na CGC de seus parentais. O híbrido com maior potencial é o que une a maior CEC, juntamente quando um dos genitores apresenta a maior CGC (Cruz e Vencovsky 1989; Souza, 2017)

Os valores da CEC em todos os cruzamentos realizados, para todas as características avaliadas, apresentaram valores muito baixos, próximo de zero, ou seja, os efeitos positivos e negativos são importantes, mas não determinantes para serem excludentes.

O cruzamento entre 'M3/2018' e 'Tahoma' apresentou estimativa positiva em sete das nove características avaliadas (Tabela 5), apenas para AP e MFP que não foi positiva, fato esse que já era esperado, pois a 'Tahoma' apresentou CGC negativa para essas duas características. Um fator a ser observado nesse cruzamento é que a AP negativa e CE com valor positivo, pode resultar em híbridos com menor número de entrenós. Outro cruzamento que apresentou valores positivos para seis das nove características foi o 'M3/2018' com 'Sterling', os valores negativos encontrados para esse cruzamento foram em CE, CR, MFP.

Tabela 5. Capacidade Específica de Combinação para: altura da planta (AP), altura de inserção do primeiro cone (AC), comprimento do entrenó (CE), do comprimento dos ramos laterais (CR), massa fresca da planta (MFP), massa seca da planta (MSP), massa fresca dos cones (MFC), número de cones por planta (NCP) e comprimento dos cones (CC) de 13 cruzamentos de lúpulo avaliadas em Jaboticabal - SP.

Híbridos			AP	AC	CE	CR	MFP	MSP	MFC	NCP	CC
Cruzamento			10^{-6}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	10^{-3}
M1/2018	x	'Victoria'	-11,21	1,31	-0,78	-3,40	-4,31	-4,5	-0,69	-6,95	-3,60
M2/2018	x	'Bullion'	2,10	1,52	1,02	0,52	-2,57	0,64	-0,07	-0,72	1,27
M2/2018	x	'Nugget'	-17,40	-11,48	-1,05	-3,40	0,61	-3,4	-0,55	-5,51	-1,55
M3/2018	x	'Bullion'	5,95	-3,81	0,48	10,08	12,76	-5,1	-0,50	-5,02	-2,93
M3/2018	x	'Columbus'	7,92	-1,47	-1,05	0,05	-4,53	-3,8	-0,75	-7,54	0,41
M3/2018	x	'Mantiqueira'	-0,51	-7,63	1,06	4,66	6,58	3,23	1,02	10,16	2,14
M3/2018	x	'Mapuche'	-5,22	-4,29	-0,49	-1,75	3,80	3,31	0,63	-0,24	0,58
M3/2018	x	'Nugget'	5,17	3,10	1,20	1,74	2,22	3,37	0,53	5,33	1,08
M3/2018	x	'Saaz'	5,99	-4,31	0,81	-1,86	-8,59	-5,5	-0,93	-9,40	1,94
M3/2018	x	'Sterling'	14,42	13,25	-0,32	-0,27	-0,39	6,00	0,32	3,28	0,79
M3/2018	x	'Styrian'	5,03	1,20	-0,69	-0,05	-1,69	0,34	-0,02	6,30	-1,82
M3/2018	x	'Tahoma'	-26,79	13,65	0,22	0,12	-2,30	8,88	1,47	14,74	0,94
M3/2018	x	'Victoria'	14,56	-1,83	-0,78	-2,77	-1,56	-3,4	-0,44	-4,42	0,73
SCA			$7,87 \cdot 10^{-6}$	$1,59 \cdot 10^{-3}$	$2,31 \cdot 10^{-4}$	$5,22 \cdot 10^{-3}$	1,35	0,11	9,108	240	$7 \cdot 10^{-4}$
VGA			$1,71 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-2}$	$2,95 \cdot 10^{-3}$	$2,26 \cdot 10^{-1}$	$1,77 \cdot 10^1$	6,44	$1,16 \cdot 10^3$	$3,86 \cdot 10^4$	$5,81 \cdot 10^{-2}$
VR			$7,63 \cdot 10^{-1}$	$1,07 \cdot 10^{-1}$	$1,62 \cdot 10^1$	$3,81 \cdot 10^2$	$1,63 \cdot 10^5$	$8,7 \cdot 10^3$	$9,36 \cdot 10^4$	$1,80 \cdot 10^5$	$3,49 \cdot 10^{-1}$

SCA - Variância da Capacidade Específica de Combinação, VGA – Variância Genética Aditiva, VR – Variância Residual.

3.3 Avaliações vegetativas e produtivas dos híbridos

Todos os híbridos foram avaliados em nove caracteres, sendo eles, altura da planta, altura de inserção do primeiro cone, comprimento de entrenó, comprimento dos ramos laterais, massa fresca da planta, massa seca da planta, massa fresca do cone, comprimento do cone e número de cones por planta (Tabela 6). Das 70 plantas que foram levadas para o campo aberto, 39 foram avaliadas completamente até a colheita, àquelas que não completaram o ciclo de avaliações, ou não se desenvolveram ou eram plantas masculinas. Dentre os parentais femininos, a 'Tahoma' está presente em aproximadamente 23% dos híbridos avaliados, em contraste com 'Mapuche' que está presente em apenas 2,6% dos híbridos que chegaram até a etapa final de avaliação. Já entre os parentais masculinos, o M1/2018 está em 2,6%, o M2/2018 em 5,1% e o M3/2018 em 92,3%.

Tabela 6. Valores individuais das características: altura da planta (AP), altura de inserção do primeiro cone (AC), comprimento do entrenó (CE), do comprimento dos ramos laterais (CR), massa fresca da planta (MFP), massa seca da planta (MSP), massa fresca dos cones (MFC), número de cones por planta (NCP) e comprimento dos cones (CC) de 39 híbridos de lúpulo avaliadas em Jaboticabal - SP.

Híbridos	AP (m)	AC (cm)	CE (cm)	CR (cm)	MFP (g planta ⁻¹)	MSP (g planta ⁻¹)	MFC (g planta ⁻¹)	NCP (unidade)	CC (cm)
JAB0401-06	4,47	1,42	12,60	0,00	277,90	84,12	15,25	44	1,90
JAB0302-01	5,76	1,40	25,32	28,69	430,38	153,89	545,46	589	4,38
JAB0202-02	3,87	0,41	10,70	0,00	707,22	175,54	127,50	211	3,01
JAB0303-02	6,20	1,70	20,60	106,63	1828,92	444,90	178,97	549	2,57
JAB0303-06	5,49	0,69	19,00	16,63	590,64	205,96	254,65	486	3,65
JAB0503-08	6,12	1,32	16,80	21,40	623,18	200,85	576,98	736	3,89
JAB0503-11	5,48	1,47	14,50	27,88	537,10	180,56	425,93	743	2,87
JAB0503-13	5,10	1,10	16,30	20,06	890,99	270,00	471,90	840	3,23
JAB0503-14	5,92	1,47	13,10	13,06	565,69	205,35	329,27	516	3,76
JAB0503-17	5,96	1,10	15,70	8,31	347,10	110,89	237,59	294	4,19
JAB0103-01	5,18	0,86	18,70	14,69	833,41	233,45	604,50	606	5,01
JAB0103-04	5,73	1,40	16,10	13,56	317,83	98,57	169,32	411	2,93
JAB0103-05	5,00	1,40	16,50	27,06	861,80	220,00	729,00	1251	3,53
JAB0903-24	1,70	1,10	12,70	0,00	477,90	209,85	76,50	148	2,97
JAB0203-10	5,42	1,53	20,70	24,00	704,38	219,58	620,33	839	4,41
JAB0203-11	5,55	1,18	16,40	19,13	612,14	185,58	503,28	746	4,04
JAB0203-13	6,20	1,49	25,60	44,13	838,82	300,45	676,46	1110	3,65
JAB0603-01	5,90	1,47	22,80	22,60	268,87	90,21	165,99	311	4,12
JAB0603-04	5,28	0,70	22,50	19,17	365,39	124,53	322,32	542	4,42
JAB0603-11	6,07	1,50	14,70	19,13	579,25	201,55	389,00	499	4,12
JAB1303-01	5,48	1,03	17,70	18,50	365,82	120,96	313,29	414	4,59
JAB1303-06	6,47	2,26	23,60	33,25	454,01	133,14	298,88	441	3,77
JAB1303-13	5,60	1,64	13,00	34,45	1050,00	272,58	1286,05	1513	4,31

continua

Tabela 6. Continuação

JAB1303-14	5,90	1,61	17,80	24,19	867,17	230,78	924,02	1474	4,19
JAB1503-03	4,40	1,20	14,40	15,64	419,03	125,52	316,77	434	4,04
JAB1503-04	5,67	1,50	19,40	31,13	583,64	115,23	746,32	1211	4,51
JAB1503-05	6,55	1,20	18,80	19,69	1052,87	318,25	746,12	1146	4,01
JAB1403-04	5,01	1,59	22,80	22,60	340,38	112,25	202,05	252	4,33
JAB1403-06	6,44	1,13	26,52	66,81	839,95	315,96	455,13	1367	4,23
JAB1403-12	6,40	1,35	20,00	25,06	1047,60	350,74	981,19	1314	4,19
JAB1403-15	6,40	1,47	21,60	28,13	375,41	100,23	344,72	540	3,85
JAB1403-20	5,90	1,78	24,20	71,00	1117,71	350,99	1313,14	1952	4,69
JAB1403-33	5,73	1,98	16,50	21,81	996,00	316,85	752,96	1055	4,16
JAB1403-34	5,48	1,64	15,74	10,53	366,04	104,58	225,70	325	4,13
JAB1403-39	5,30	1,25	12,80	22,63	1516,50	410,56	904,62	1679	3,45
JAB1403-45	5,49	1,40	18,06	22,63	627,40	201,14	552,75	1105	3,64
JAB0403-04	6,62	1,45	20,10	24,06	488,35	155,96	401,51	759	4,24
JAB0403-10	6,07	0,87	16,20	11,31	698,01	225,66	331,20	402	3,68
JAB0403-11	5,39	1,57	15,10	18,86	639,05	215,94	355,53	583	3,87

3.4 Seleção dos melhores híbridos

Para a altura da planta (AP), 16 híbridos se enquadraram dentro do nível independente de eliminação (Figura 2). Esse número de indivíduos corresponde a aproximadamente 41% do total de progênies avaliadas. A altura é um dos índices mais importantes para a cultura do lúpulo, e pode ser um fator decisivo na produtividade final. Há também programas de melhoramento que buscam plantas anãs, sendo assim, a escolha das matrizes e índice de seleção devem obedecer a critérios diferentes dos aqui avaliados (Henderson, 2019)

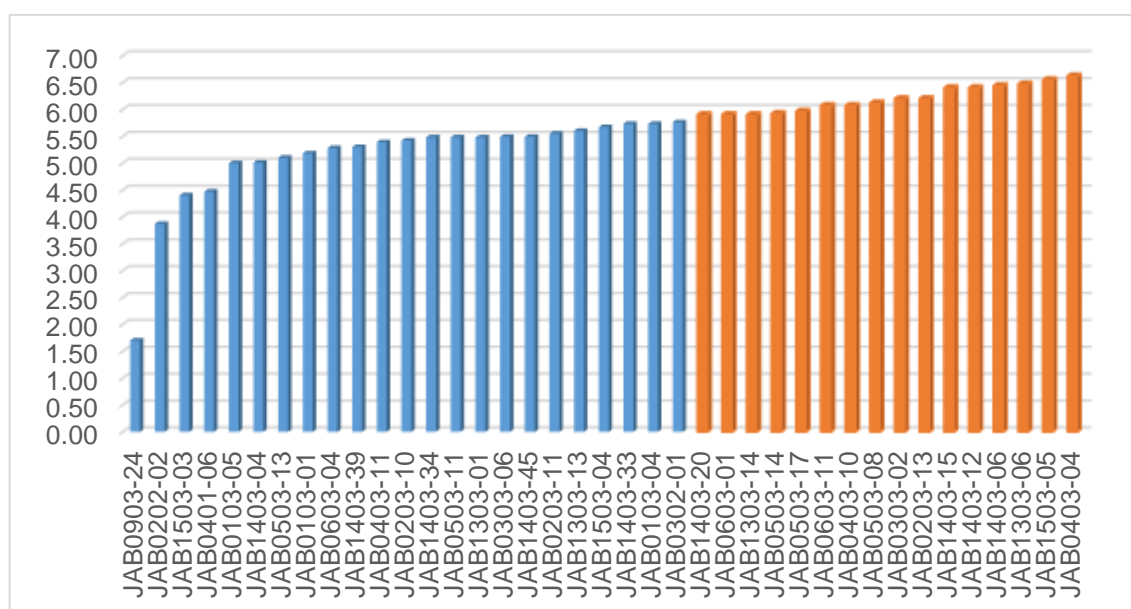


Figura 2. Altura da planta (m) de 39 híbridos de lúpulo.

Em relação à altura de inserção do primeiro cone (AC), foram 20 híbridos presentes no nível independente de eliminação (Figura 3). Essa característica apresenta um parâmetro diferente, pois quanto mais baixo a planta começa a produzir cones, provavelmente mais produtiva ela será. Portanto, é importante que os híbridos selecionados sejam aqueles que apresentaram os menores valores nesse índice. O nível independente de seleção foi baseado naqueles inferiores à média, e não apenas 30% como as demais características, para não evitar a seleção de plantas que se desenvolveram menos e conseqüentemente possuem a formação do cone numa região mais baixa, porque ela é uma planta baixa.

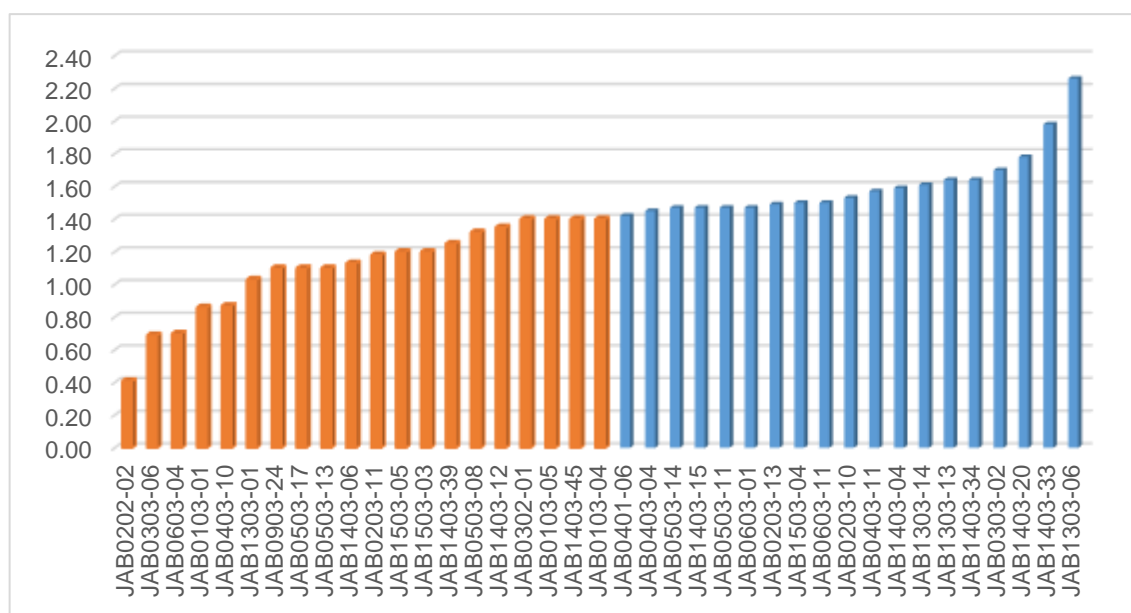


Figura 3. Altura de inserção do primeiro cone (cm) de 39 híbridos de lúpulo.

O comprimento do entrenó (CE) (Figura 4), assim como a altura de inserção do primeiro cone, são características com valores altos não desejáveis, já que os braços laterais que são responsáveis por toda a produção de cones, saem nas gemas axilares, então, quanto menor o espaçamento do entrenó, maior o número de ramos e conseqüentemente maior produtividade (Rocha, 2005). Para evitar que plantas com baixo desenvolvimento fossem selecionadas, optou-se por usar os valores abaixo da média, assim, 18 híbridos foram selecionados.

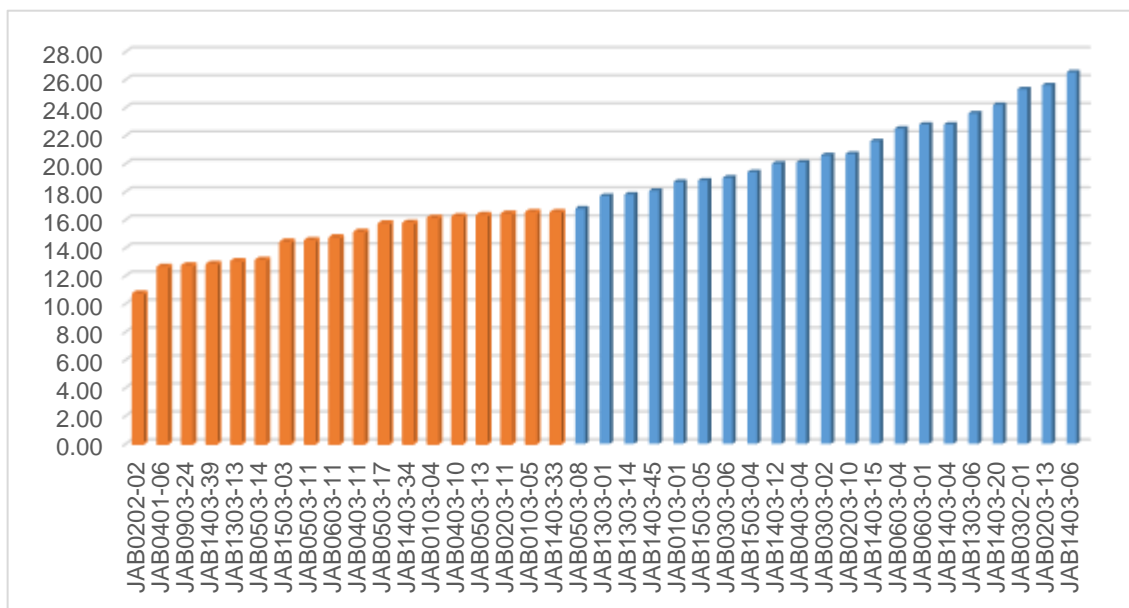


Figura 4. Comprimento do entrenó (cm) de 39 híbridos de lúpulo.

O comprimento dos ramos laterais (CR) tem grande importância para a produtividade do lúpulo, pois são nesses ramos que as flores surgem, posteriormente formando os cones que são o ativo de interesse na planta. O CR é uma característica de cada cultivar e são bem características, com algumas apresentando poucos centímetros e outras com ramos com mais de 1 m. Outro fator importante atrelado ao CR é o espaçamento de plantio, quanto maior o comprimento dos ramos, maior deve ser o espaçamento entre plantas (Rocha, 2005). Para CR, foram selecionados 12 híbridos, a curva de distribuição normal mostra que entre os híbridos avaliados, a maioria apresenta CR menores que a média, mostrando que não é comum ramos laterais muito alongados (Figura 5).

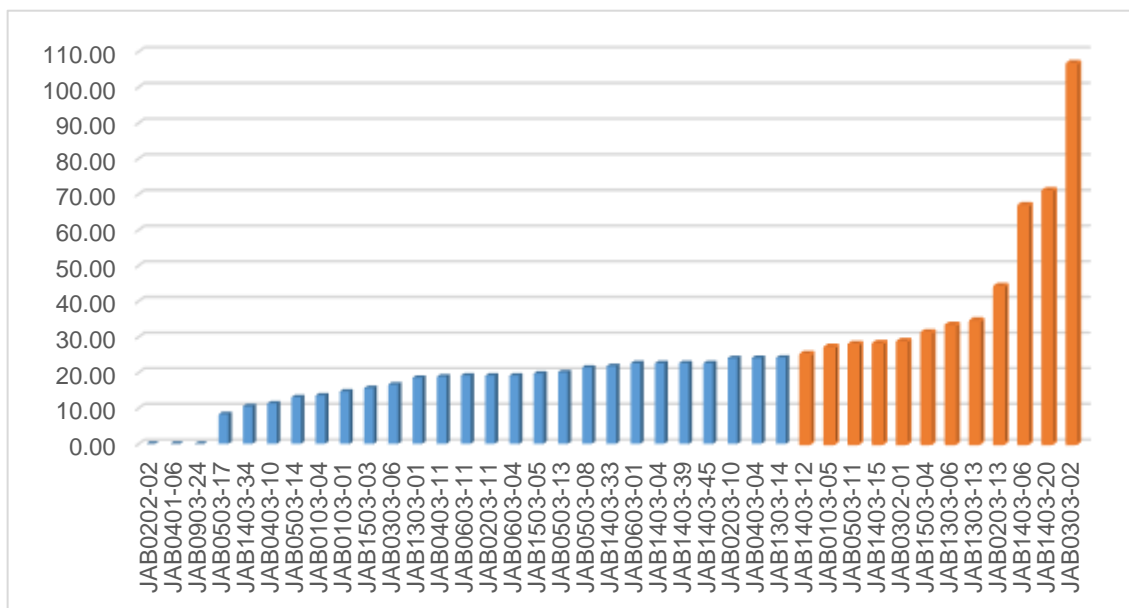


Figura 5. Comprimento dos ramos laterais (cm) de 39 híbridos de lúpulo.

A massa fresca da planta (MFP), contou com 13 híbridos dentro do nível independente de eliminação (Figura 6). A MFP indica que uma planta que apresenta um bom desenvolvimento, espera-se que sejam plantas produtivas. O ideal na cultura do lúpulo é que a planta apresente boa relação entre a MFP e a massa fresca dos cones (Sangoi et al., 2002).

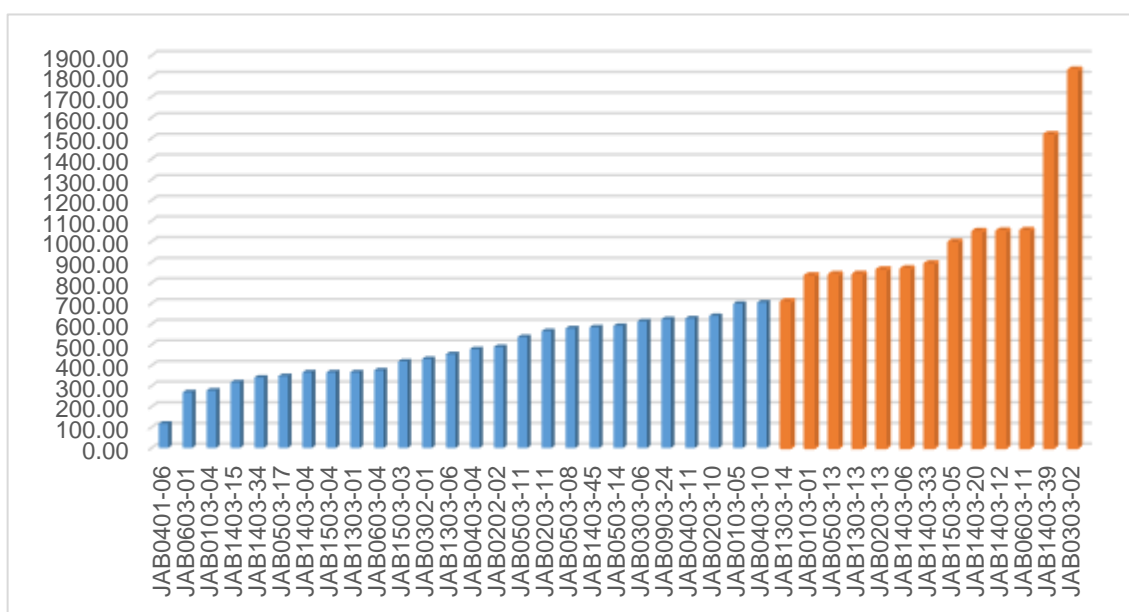


Figura 6. Massa fresca da planta (g.planta⁻¹) de 39 híbridos de lúpulo.

Para a massa seca da planta (MSP), 15 híbridos se enquadraram dentro do nível independente de eliminação (Figura 7). O número de indivíduos representa aproximadamente 38% do total de híbridos avaliados. A produção de biomassa total e a distribuição de massa seca entre as partes produtivas e não produtivas da planta representa quanto será o rendimento da cultura (Hole et al., 1983). Plantas daninhas, pragas, doenças e condições de solo, contribuem para a produção da massa seca de uma cultura, estas não são limitantes, quando água e nutrientes estão disponíveis em quantidades suficientes, é encargo da radiação absorvida pelo dossel, a eficiência média de conversão da radiação absorvida para massa seca e da cisão desta entre a parte aérea e o restante da planta (Charles-Edwards, 1986; Hay e Walker, 1989).

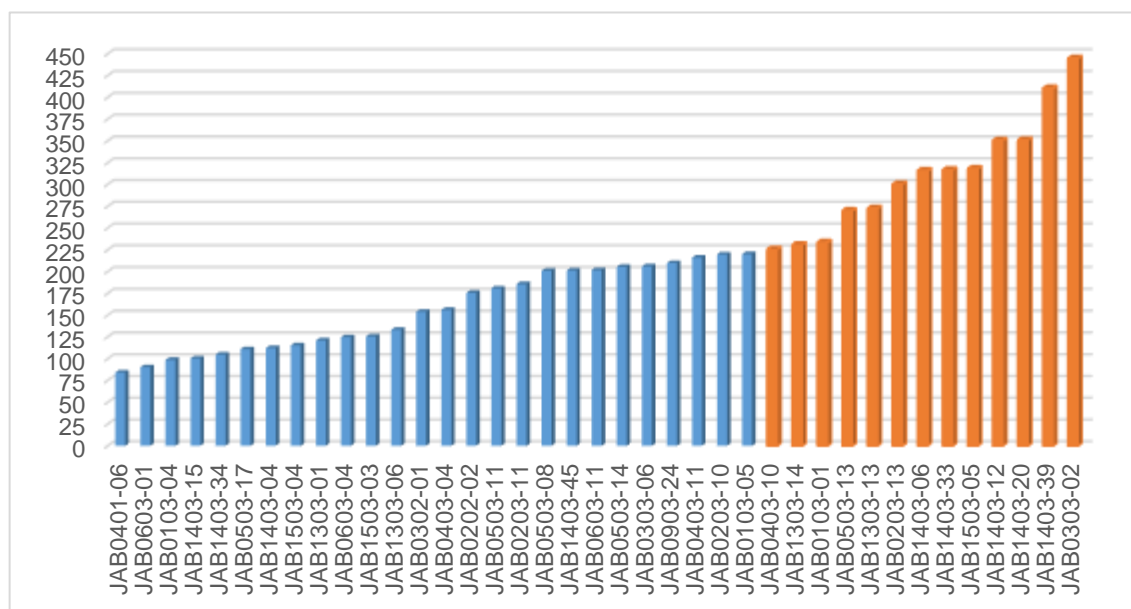


Figura 7. Massa seca da planta (g.planta⁻¹) de 39 híbridos de lúpulo.

A massa fresca do cone (MFC) é o índice mais importante nessa pesquisa, ele representa a união de todas as características e desempenho da planta no produto final. Em busca de genótipos adaptados ao clima tropical, boas produtividades são resultadas de boa adaptação ao clima tropical, assim, 12 híbridos, cerca de 31% se enquadraram dentro do nível independente de eliminação (Figura 8). Na curva da

distribuição normal, é possível verificar que o índice selecionou os híbridos de destaque.

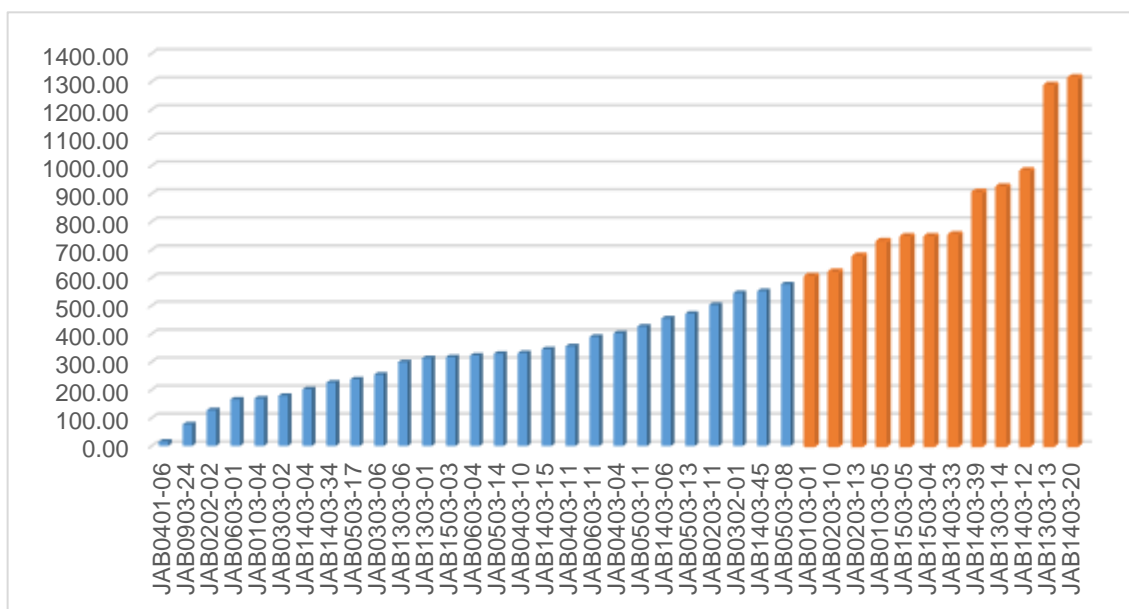


Figura 8. Massa fresca do cone (g.planta⁻¹) de 39 híbridos de lúpulo.

O comprimento dos cones (CC) é uma característica individual de cada cultivar, variando até mesmo dentro da própria cultivar, mas a seleção para cones maiores pode ser explicada pelo o que o cone carrega, a lupulina contida nos cones é a responsável por toda a qualidade e valor que a cultura possui, portanto, cones maiores têm chance de apresentar maiores rendimentos em lupulina.

Na curva de distribuição normal, 20 híbridos entraram na margem escolhida para o nível independente de eliminação (Figura 9). Na análise gráfica é possível verificar que o índice poderia ser mais rigoroso para essa característica, já que híbridos abaixo da média foram escolhidos.

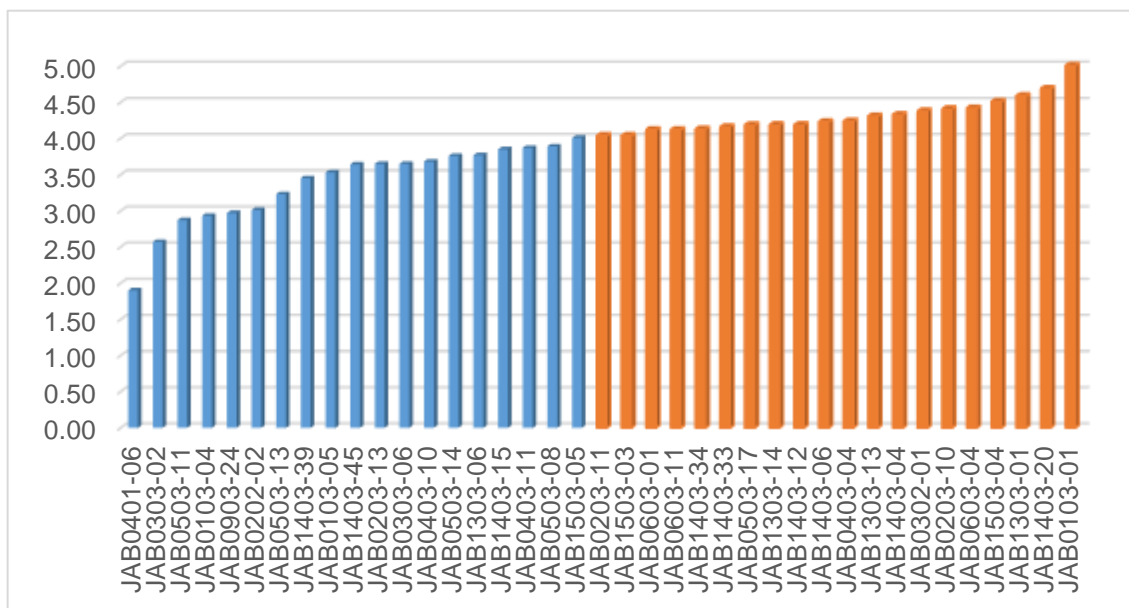


Figura 9. Comprimento do cone (cm) de 39 híbridos de lúpulo.

O número de cones por planta (NCP), assim como a MFC e o CC são características de suma importância na seleção, pois são fatores que estão intimamente ligados à produtividade, quanto mais cones, mais produtiva é uma planta e se seus cones são maiores que a média, o resultado final é uma MFC alta e assim boa produtividade.

Foram selecionados 12 híbridos para o NCP (Figura 10). Através do gráfico é possível observar que a seleção foi efetiva para essa característica e que apenas os melhores híbridos foram selecionados.

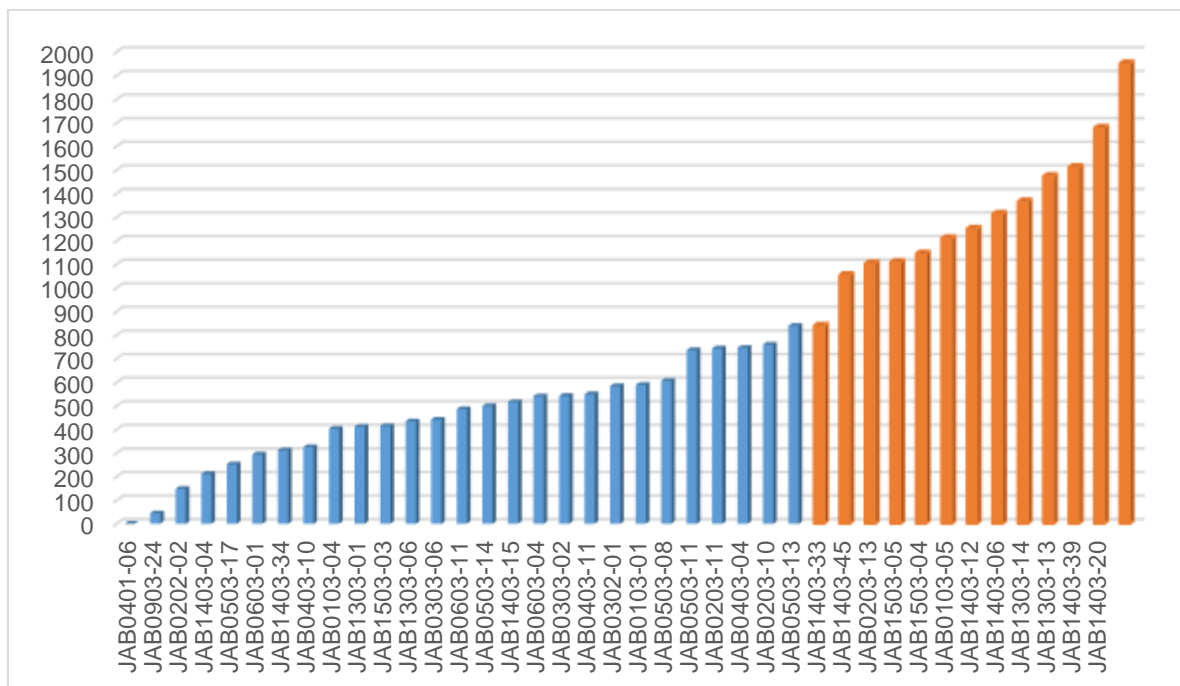


Figura 10. Número de cones por planta (unidade) de 39 híbridos de lúpulo.

Com base nos níveis independentes de eliminação para cada um dos caracteres avaliados, foram atribuídas notas que somadas formaram um ranking de classificação dos híbridos. Cada vez que o híbrido se enquadrava dentro da margem de seleção de da característica, ele recebeu um ponto. A partir dessa metodologia, foram criados dois rankings. O ranking A, todos os caracteres possuem pesos iguais (1), sendo assim, a nota máxima que um híbrido pode receber são nove pontos. O ranking B, os caracteres possuem pesos diferentes, massa fresca do cone (5), altura da planta (3), comprimento do cone e número de cones (2) e massa fresca da planta, massa seca da planta, altura de inserção do primeiro cone, comprimento do entrenó e comprimento dos ramos laterais (1), portanto, a nota máxima possível nesse ranking são 17 pontos. O objetivo desses rankings foi selecionar os híbridos que seriam analisados qualitativamente.

No ranking A (Figura 11), houve um empate na 10ª colocação, portanto foram selecionados 11 híbridos. Destaque para JAB1303-13 e JAB1403-12 que não pontuaram em apenas uma característica cada, comprimento do entrenó e altura de inserção do primeiro cone, respectivamente. Dentre os 11 híbridos selecionados, cinco não apareceram em duas características e quatro não apareceram em três

características avaliadas. Todos os 39 híbridos apareceram em pelo menos um dos índices avaliados.

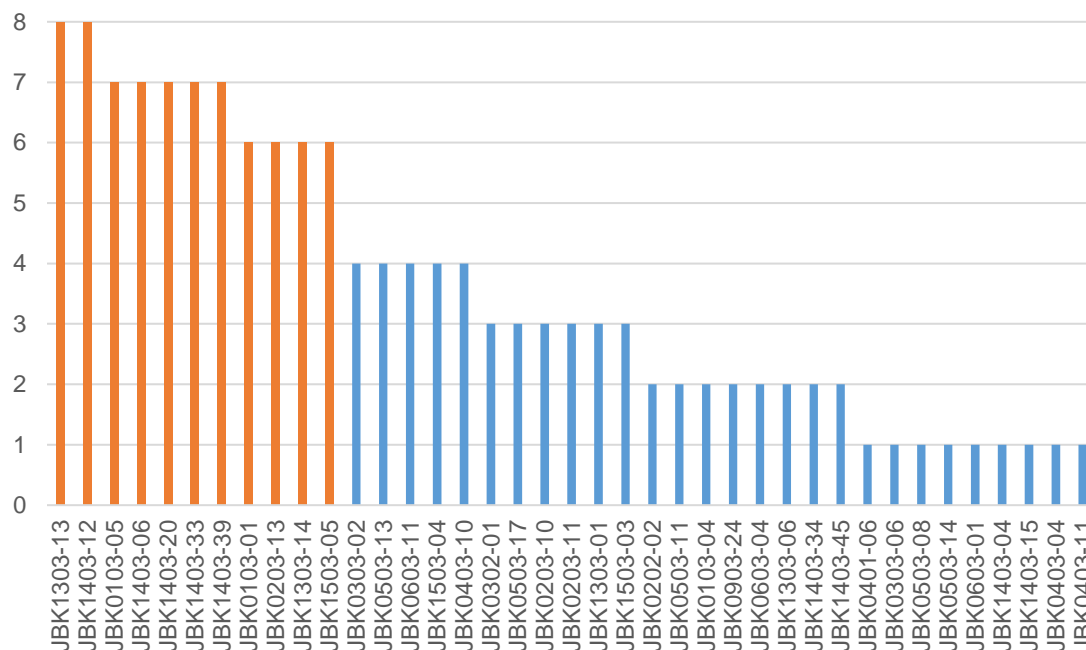


Figura 11. Classificação de 39 híbridos de lúpulo quanto ao Ranking A (caracteres com peso igual entre si).

No ranking B (Figura 12), foram selecionados 11 híbridos, dos quais JAB1303-13 e JAB1403-12 obtiveram 16 dos 17 pontos possíveis confirmando a primeira posição obtida no ranking A. Todos os 11 híbridos selecionados foram os mesmos com os caracteres com diferentes pesos, entretanto houve mudanças de posições no ranking, a maior mudança foi do JAB1403-06 que saiu da terceira posição para a última no ranking B.

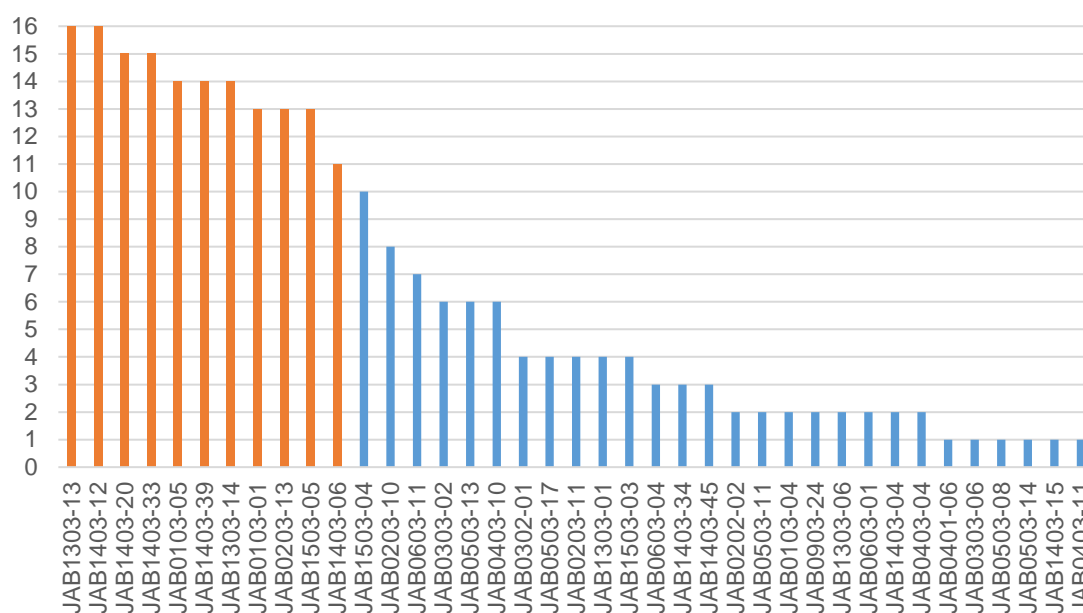


Figura 12. Classificação de 39 híbridos de lúpulo quanto ao Ranking B (caracteres com pesos diferenciados).

3.5 Análise Qualitativa dos Híbridos

Os dez híbridos selecionados através da metodologia de classificação adotada, mais dez híbridos escolhidos por análise visual foram selecionados para as análises de alfa-ácidos, beta-ácidos e índice de estocagem das amostras, sendo os resultados apresentados como médias (Tabela 7). Apenas um dos 20 híbridos não possui o M3/2018 como parental masculino, sendo o M2/2018 nesse caso.

Houve diferenças estatísticas entre os híbridos para o alfa-ácido (Tabela 7), o híbrido JAB1303-14 com 5,61%, mostrou-se inferior aos demais, com exceção do JAB0503-11. Já o JAB1503-04 com 12,57% foi superior a todos os híbridos avaliados, que é um alto valor de alfa-ácido para um lúpulo jovem, há grandes chances desse valor aumentar nas próximas safras (Darby et al., 2014). O JAB0302-01 que possui os parentais M2/2018 e ‘Bullion’ apresentou valores parecidos com seu parental feminino. Já os demais híbridos, que foram obtidos com o ‘M3/2018’, apresentaram alfa-ácido no mesmo nível ou superior as parentais femininas, provavelmente pelo fato do ‘M3/2018’ ter em sua constituição 50% de ‘Magnum’, que é um lúpulo de alfa-ácido alto e conhecido por seu amargor limpo e agradável (Healey, 2016).

Tabela 7. Resultado médio de: alfa-ácidos, beta-ácidos e índice de estocagem (HSI) para 20 híbridos de lúpulo em Jaboticabal – SP.

Híbridos	Alfa-ácidos		Beta-ácidos		HSI	
JAB1503-04	12,57	a	6,65	e	0,23	ab
JAB1403-39	11,86	b	9,84	a	0,20	bcd
JAB0203-11	10,45	c	5,93	fg	0,20	abcd
JAB1403-06	9,93	cd	8,87	b	0,18	bcd
JAB0503-08	9,66	d	4,29	i	0,15	cdef
JAB0103-05	8,58	e	4,13	ij	0,15	cdef
JAB1403-45	8,49	e	6,36	ef	0,20	abc
JAB0203-13	8,43	ef	7,76	c	0,16	cde
JAB0203-10	8,28	ef	7,36	cd	0,14	def
JAB0503-13	8,07	efg	7,56	cd	0,20	abcd
JAB1303-13	7,78	fgh	6,23	efg	0,08	f
JAB1503-05	7,44	ghi	3,77	jk	0,11	ef
JAB1403-20	7,29	hi	7,27	d	0,18	bcd
JAB0302-01	7,21	hi	4,75	h	0,26	a
JAB0403-04	7,10	hij	6,43	e	0,14	def
JAB0103-01	7,03	ij	5,87	g	0,15	cde
JAB1403-12	6,94	ij	3,64	k	0,19	bcd
JAB1403-33	6,48	jk	3,60	k	0,18	bcd
JAB1303-14	5,61	l	5,01	h	0,16	cde
JAB0503-11	5,84	kl	4,89	h	0,17	cde
F		**		**		**
DMS (%)	0,70		0,43		0,06	
CV (%)	2,74		2,33		11,36	

Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey ** - significativo ($p < 0,01$), pelo teste F.

Atualmente há no mundo uma busca por lúpulos com teores de alfa-ácidos cada vez mais altos, mas que não forneçam apenas amargor, mas que sejam ricos em óleos essenciais, assim podendo ser utilizados tanto para fornecer amargor, como aromas e sabores, são os chamados lúpulos de uso duplo. Dos 20 híbridos avaliados, três apresentaram teores de alfa-ácido maiores que 10%, o que se mostra ser possível a obtenção de lúpulos versáteis no Brasil.

Dentre os 20 híbridos avaliados, houve diferenças estatísticas para os teores de beta-ácidos (Tabela 7), aos teores variaram entre 3,60% para JAB1403-33, que foi o menor valor, sendo inferior aos demais híbridos avaliados, com exceção do JAB1403-12 e JAB1503-05. Não é comum lúpulos com altos teores de beta-ácidos, menos de dez cultivares são registradas com teores de beta-ácidos superiores a 8%, sendo só três com teores acima de 9% (Barth Haas, 2021). O híbrido JAB1403-39

apresentou 9,84% de beta-ácidos e merece destaque, pois foi superior aos demais híbridos, além de ficar entre as dez melhores no ranking A e B, pois os beta-ácidos entre muitas funções, podem ser utilizados para controle de bactérias gram-positivas na fabricação de etanol, fato que pode ser muito interessante, pois o Brasil é o segundo maior produtor de etanol do mundo (UDOP, 2020). Além de sua função já conhecida, o controle bacteriano, o lúpulo também tem outras funcionalidades vantajosas durante a fabricação do etanol, por exemplo, incluindo aumento no rendimento do processo, conseqüentemente mais etanol e também diminuição da quantidade de ácido sulfúrico utilizado no tratamento do levedo, gerando economia. (Gomes, 2020).

Em relação ao índice de estocagem (HSI) (Tabela 7), que é uma medida de degradação dos alfas e beta-ácidos do lúpulo, durante os processos de manuseio e armazenamento. Conforme o lúpulo envelhece, nos processos de manuseio e armazenamento que não forneça as melhores condições, os compostos sofrem mudanças em seus teores, os ácidos naturalmente tendem a diminuir com o tempo, enquanto os compostos que foram degradados pela oxidação vão aumentando, portanto, o HSI aumenta de forma irreversível conforme a qualidade do lúpulo diminui. Cada cultivar tem seu HSI característico e esse valor pode variar de uma safra para a outra, como é um bom indicador de qualidade, o HSI pode ser muito importante para o produtor no momento da colheita e após o beneficiamento, pois assim confirmar que todo o processo de pós-colheita foi efetivo, assim garantindo um produto com qualidade e frescor ao cervejeiro (Sirrine, 2018; Tedone, 2020).

Além do momento da colheita, fatores como a temperatura, oxigênio e o tempo do armazenamento afetam o HSI, portanto, o controle da qualidade durante a colheita, os processos de secagem, enfardamento, processamento, embalagem e armazenamento são fundamentais para manter a qualidade do produto final. O lúpulo deve ser peletizado o mais rápido possível após a colheita e armazenado a baixas temperaturas em embalagens a vácuo, ao abrigo da luz. Quando todos os processos são realizados com excelência, o HSI permanece estável mesmo após 24 meses (Van Holle, 2017; Sirrine, 2018; Tedone et al., 2020).

Houve diferenças estatísticas entre os híbridos analisados, todos apresentaram bons valores de HSI, ficando entre 0,08 para o híbrido JAB1303-13 e o maior valor

0,26 para o híbrido JAB0302-01. Lúpulos com valores de HSI com níveis inferiores a 0,3 são considerados lúpulos de boa qualidade (Mikyska e Krofka, 2012; Van Holle, 2017; Sirrine, 2018). Os valores encontrados estão dentro da faixa de cultivares comerciais como, Cascade, Galaxy, Vic Secret (Tedone et al., 2020).

O lúpulo apresenta aumento de produtividade e qualidade até o terceiro ano, quando tende a atingir o seu potencial máximo produtivo e qualitativo, estabilizando suas características para as safras seguintes, sendo assim, é necessário não só avaliar esses híbridos em mais safras, mas também em maior escala e diferentes regiões, assim caracterizando todo o potencial (Park et al., 1988; Rossini et al., 2020; Donner et al., 2020). Além dos testes analíticos como a análise e caracterização dos alfa-ácidos e óleos essenciais, são também importantes os testes sensoriais, o objetivo principal da criação de lúpulo nacional é a utilização na cerveja, é fundamental a utilização na fabricação em pequena, média e grande escalas, para a percepção dos sabores e aromas que esses lúpulos podem proporcionar. Todos esses fatores unidos darão a certeza de fornecer para os produtores de lúpulo e cervejeiros um produto de qualidade, que possa atender os padrões de exigência, fornecendo um lúpulo verdadeiramente nacional, colocando o Brasil definitivamente no mapa de produtores de lúpulo de qualidade internacional.

5 CONCLUSÕES

Em todas as características avaliadas houve híbridos que se destacaram.

A planta masculina M3/2018 é um promissor genitor para programas de melhoramento de lúpulo em clima tropical.

Os híbridos experimentais JAB1503-04, JAB1403-39 e JAB0203-11 se mostraram promissores lúpulos para amargor, superando os 10% de alfa-ácidos e carecem de mais estudos para verificação dos teores de óleos essenciais.

O híbrido JAB1403-39 apresentou um teor de beta-ácidos alto (9,84%), raro entre as cultivares comerciais no mundo, alto teor de alfa-ácidos (11,86%) e ficou entre as 10 melhores cultivares entre todas as características avaliadas.

Todos os híbridos apresentaram bom índice de estocagem e não teriam problemas em serem armazenadas ao menos por 6 meses.

6 REFERÊNCIAS

Acquaah G (2012) Principles of Plant Genetics and Breeding. Malden: Wiley-Blackwell. 758p.

American Society of Brewing Chemists (Hops-4). doi: 10.1094/ASBCMOA-HOPS-4.

American Society of Brewing Chemists (Hops-6). doi: 10.1094/ASBCMOA-HOPS-6.

American Society of Brewing Chemists (Hops-12). doi: 10.1094/ASBCMOA-HOPS-12.

Araújo N (2016) Variedade brasileira de lúpulo é descoberta na Serra da Mantiqueira. Disponível em: <<http://g1.globo.com/economia/agronegocios/noticia/2016/05/variedade-brasileira-de-lupulo-e-descoberta-na-serrada-mantiqueira.html>>. Acesso em: 05 de julho de 2020.

Barros GBA, Aredes FAS, Ramos HCC, Catarina RS, Pereira MG (2017) Capacidade combinatória de linhagens recombinadas de mamoeiro oriundas de retrocruzamento para conversão sexual. **Revista Ciência Agronômica** 48:166-174.

Barth Haas (2021). Disponível em: <https://www.barthhaas.com/>. Acesso em: 27 abr. 2021.

Berlan JP (2018) Hybrid corn and the unsettled question of heterosis. **Journal of Genetics** 97:1075–1082.

BHA - British Hops Association (2021) Disponível em <<https://www.britishhops.org.uk/varieties/bullion/>>. Acesso em: 20 abr. 2021.

Borém A, Miranda GV (2013) Melhoramento de plantas. Viçosa: UFV 523p.

Bueno TV (2017) Capacidade combinatória de genitores de soja nas gerações f1 e f2 visando melhoramento para precocidade e produtividade de grãos. 41 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - UFV, Viçosa.

Burgess AH (1964) Hops, botany, cultivation and utilization. (ed. Polunin, N.). Interscience Publishers Inc. Nova Iorque. 320 p.

Carvalho LP, Silva GEL, Lima MMA, Medeiros EP, Brito GG, Freire RMM (2010) Variabilidade e capacidades geral e específica de combinação para teor de óleo em algodoeiros. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas** 14:19-17.

Charles-Edwards, D.A. (1986) Physiological determinants of crop growth. London: Academic Press 161 p.

Cruz CD, Regazzi AJ, Carneiro PC (2012) Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Viçosa, MG: UFV 223-375.

Cruz, CD; Vencovsky, R (1989) Comparação de alguns métodos de análise dialélica. **Revista Brasileira de Genética**, v.12, p.425-438.

Darby H, Burke C, Calderwood L, Cummings E, Harwood H, Monahan S (2014a) Organic Hop Variety Trial: Results from Year Three. Northwest Crops & Soils Program 28p.

Darby H, Post J, Calderwood L, Cummings E, Lewins E, Monahan S, Ziegler S (2014b) Hop Variety Trial: Results from Year Four. Northwest Crops & Soils Program 21p.

Donner P, Pokorný J, Ježek J, Krofta K, Patzak J, Pulkrábek J (2020) Influence of weather conditions, irrigation and plant age on yield and alpha-acids content of Czech hop (*Humulus lupulus* L.) cultivars. **Plant, Soil and Environment** 1:41-46.

Embrapa (2010) Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/872373/1/LivroPatriciaFinal1.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2021.

Embrapa (2021a) Disponível em: <<https://www.embrapa.br/soja>>. Acesso em: 25 abr. 2021.

Embrapa (2021b) Disponível em: <<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>>. Acesso em: 25 abr. 2021.

Estação Agroclimatológica - Departamento de Ciências Exatas. Dados meteorológicos mensais dos anos de 2019 e 2020 em Jaboticabal. Disponível em: <<http://www.fcav.unesp.br/>>. Acesso em: 28 jan. 2021.

Freshops (2021). Disponível em: <<https://freshops.com/>>. Acesso em: 27 abr. 2021.

Giorgenon CHB (2015) Capacidade de combinação para seleção de genótipos de milho. 54 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Genética e Melhoramento de Plantas) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal.

Gomes MA (2020) Extrato de lúpulo no controle bacteriano em usinas de etanol. 41 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Aplicada E Sustentabilidade) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde.

Govindaraju DR (2019) An elucidation of over a century old enigma in genetics- Heterosis. **PLoS Biology** 17:e3000215.

Guerra CC, Pereira GE, Lima MV, Lira MMP (2006) Vinhos tropicais: novo paradigma enológico e mercadológico. Informe Agropecuário 27:100-104.

Haunold A, Zimmermann CE (1974) Pollen Collection, Crossing, and Seed Germination of Hop1. **Crop Science**, 14: 774-776.

Hay RKM, Walker AJ (1989) An Introduction to the physiology of crop yield. UK: Longman Scientific & Technical 292 p.

Healey J (2016) The Hops List: 265 Beer Hop Varieties from Around the World. Disponível em: <http://www.hopslist.com/hops/bittering-hops/bullion/>. Acesso em: 27 abr. 2021.

Henning JA, Coggins J, Hendrix D, Townsend S (2019) Genome-wide association study on ten traits of economic importance in hop (*Humulus lupulus* L.). **Acta Horti** 1236:93-104.

Henning JA, Haunold A, Nickerson G (1997a) Genetic parameter estimates for five traits in male hop accessions: A preliminary study. **Journal of the American Society of Brewing Chemists** 55:157-160.

Henning JA, Haunold A, Nickerson G, Gampert U (1997b) Estimates of heritability and genetic correlation for five traits in female hop accessions. **Journal of the American Society of Brewing Chemists** 55:161-165.

Henning JA, Townsend MS (2005). Field-based estimates of heritability and genetic correlations in hop. **Crop Sci.** 45 (4), 1469–1475.

Henning JA, Townsend SM, Kenny S (2004) Potential Heterotic Crosses in Hops as Estimated by AFLP-Based Genetic Diversity and Coancestry. **Journal of the American Society of Brewing Chemists** 62(2)63-70.

Hole CC, Barnes A, Thomas TH, Scott PA, Rankin WEF (1983) Dry matter distribution between the shoot and storage root of carrot (*Daucus carota* L.). I. Comparison of varieties. **Annual Botany** 51:175-187.

Hopsteiner (2021). Disponível em: <<https://www.hopsteiner.com/variety-data-sheets/Bullion/>>. Acesso em: 27 abr. 2021.

Köppen W (1948) Climatologia: com un estudio de los climas de la tierra. México: Fondo de cultura económica 478p.

Kuhn GB, Melo GW, Nachtigal JC, Maia JDG, Protas JFS, Mello LMR, Garrido IR, Conceição MAF, Botton M, Sônego OR, Naves RL, Saria SJ, Camargo UA (2003) Cultivo da videira Niágara rosada em regiões tropicais do Brasil. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho Não paginado. Disponível em: <http://www.cnpv.embrapa.br/publica/sprod/UvaNiagaraRosadaRegioesTropicais/>. Acesso em: 01 mar. 2021.

Leão PC, Possídio EL (2000) Histórico da videira. In: Leão PC, Soares JM (Eds) A Viticultura no semi-árido brasileiro. Petrolina: Embrapa Semi-árido, p. 13-17.

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

Lúpulos Patagônicos (2020) Catálogo de Variedades. Disponível em: <<https://www.lupulospatagonicos.com/wp-content/uploads/Cat%C3%A1logo%202020.pdf>>. Acesso em: 27 abr. 2021.

Mikyska A, Krofta K (2012) Assessment of Changes in Hop Resins and Polyphenols During Long-Term Storage. **Journal of the Institute of Brewing** 118:269–279.

Miyaji N, Fujimoto R (2018) Hybrid vigor: importance of epigenetic processes and consequences for breeding. In: Mirouze M, Bucher E, Gallusci P (Eds.) Plant epigenetics coming of age for breeding applications. Londres: **Academic Press**, p. 247–275.

Montanari R, Júnior JM, Campos MCC, Souza ZM, Camargo LA (2010) Caracterização mineralógica de Latossolos em diferentes feições do relevo na região de Jaboticabal, SP. **Revista Ciência Agronômica** 41(2):191-199.

Padgitt-Cobb LK, Kingan SB, Wells J, Elser J, Kronmiller B, Moore D, Concepcion G, Peluso P, Rank D, Jaiswal P, Henning J, Hendrix DA (2021) A draft phased assembly of the diploid Cascade hop (*Humulus lupulus*) genome. **Plant Genome** 14(e):20072.

Paiva JR, Resende MDV, Cordeiro ER (2002) Índice multifeitos (BLUP) e estimativas de parâmetros genéticos aplicados ao melhoramento da acerola. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 37:799-807.

Park KY, Kwon SH, Ree DW, Min IK (1988) Influence of plant age and cultural altitude on cone yield in hop (*Humulus lupulus* L.). **Korean Journal of Crop Science** 33(2):157-160.

Piepho HP, Möhring J, Melchinger AE, Büchse A (2008) BLUP for phenotypic selection in plant breeding and variety testing. **Euphytica** 161:209-228.

R CORE TEAM (2020) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>. Acesso em: 27 abr. 2021.

Regina MA, Fráguas JC, Alvarenga AA, Souza CR, Amorim DA, Mota RV, Fávero AC (2006) Implantação e manejo do vinhedo para produção de vinhos de qualidade. **Informe Agropecuário** 127:6-31.

Resende MDV, Dias LAS (2000) Aplicação da metodologia de modelos mistos (REML/BLUP) na estimação de parâmetros genéticos e predição de valores genéticos em espécies frutíferas. **Revista Brasileira de Fruticultura** 22:44-52.

Rocha FAS (2005). Distribuição e ecologia do lúpulo (*Humulus lupulus* L. subsp *lupulus*) em Portugal. 173 p. Tese (Mestrado em Ciências do Ambiente 'Qualidade Ambiental') - Universidade do Minho, Braga, Portugal.

Rossini F, Virga G, Loreti P, Provenzano ME, Danieli PP, Ruggeri R (2020) Beyond Beer: Hop Shoot Production and Nutritional Composition under Mediterranean Climatic Conditions. **Agronomy** 10:1547.

Rudolf-Pilih K, Petkovšek M, Jakše J, Štajner N, Murovec J, Bohanec B (2019) Proposal of a New Hybrid Breeding Method Based on Genotyping, Inter-Pollination, Phenotyping and Paternity Testing of Selected Elite F1 Hybrids. **Frontiers in Plant Science** 18(10)1111.

Sangoi L, Lech VA, Rampazzo C, Gracietti LC (2002) Acúmulo de matéria seca em híbridos de milho sob diferentes relações entre fonte e dreno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 37:259-267.

Sirriner R (2018) Understanding the importance of the Hop Storage Index. Disponível em: <<https://www.canr.msu.edu/news/understanding-the-importance-of-the-hop-storage-index>>. Acesso em: 27 abr. 2021.

SNGPC - Sistema Nacional de Gerenciamento de Produtos Controlados (2021). Disponível em: <www.snpc.anvisa.gov.br>. Acesso em: 20 abr. 2021.

Souza LSS (2017) Capacidade geral e específica de combinação em algodoeiro herbáceo para qualidade de fibra. 27 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Agronomia) – UFPB, Areia.

Sprague GF, Tatum LA (1942) General vs. specific combining ability in single crosses of corn. **Journal of the American Society of Agronomy** 10:923-932.

UDOP – União Nacional de Bioenergia (2020). Disponível em: <<https://www.udop.com.br/noticia/2020/6/9/do-etanol-ao-acucar.html#:~:text=J%C3%A1%20o%20segmento%20do%20a%C3%A7%C3%BAcar,feito%20a%20partir%20do%20milho>>. Acesso em: 04 abr. 2021.

USDA – UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (2021). Disponível em: <<https://www.ars.usda.gov/ARSEUserFiles/2450/hopcultivars/64100.html>>. Acesso em 27 abr. 2021.

Van Holle A, Van Landschoot A, Roldàn-Ruiz I, Naudts D, Keukeleire D (2017) The brewing value of Amarillo hops (*Humulus lupulus* L.) grown in northwestern USA: a preliminary study of terroir significance. **Journal of The Institute of Brewing** 123:312–318.

Vencovsky R (1987) Herança quantitativa. In: Paterniani E, Viegas GP Melhoramento e produção do milho. Campinas: Fundação Cargill. 1:137-214.

Tedone L, Lada S, DanDan Y, Simon W, Robert S, Anthony K (2020) Hop (*Humulus lupulus* L.) Volatiles Variation During Storage, **Journal of the American Society of Brewing Chemists**, 78:114-125.

Testa H, Trochine A, Bergamini H (2019) Overview on Mapuche, Traful and Nahuel, local hop varieties cultivated in Patagonia, Argentina. Proceedings of the Scientific-Technical Commission IHGC 96-100.

CAPÍTULO 4 - Considerações finais

Neste trabalho foi observado que é possível produzir lúpulo em solo brasileiro, mais especificamente no clima tropical, com produtividade e qualidade. Nos resultados dos experimentos tanto para as matrizes como os híbridos as plantas se desenvolveram, completando seu ciclo produtivo. As matrizes ao longo do experimento passaram por desafios como a presença de nematoides no solo. Dentre todas as matrizes, a Mantiqueira apresentou maior rusticidade em relação as demais e obteve os melhores resultados para as características avaliadas, fato esse que pode ser explicado pela origem da planta, que é proveniente de um cruzamento desconhecido, mas que germinou e foi selecionado naturalmente no Brasil.

A metodologia de avaliação de graus-dia se mostrou eficaz para definir o tamanho do ciclo de cada cultivar para o local avaliado, podendo ser utilizada em várias regiões e cultivares para definir a duração dos estádios fenológicos e assim planejar o manejo adequado para cada ciclo de produção, seja ele, precoce, médio ou tardio.

De forma geral os valores para capacidade geral de combinação e capacidade específica de combinação apresentaram valores próximos a zero, sejam eles positivos ou negativos. Dentre os genitores, 'M3/2018' e 'Tahoma' apresentaram os melhores resultados para a capacidade geral de combinação e o cruzamento entre ele o melhor resultado para a capacidade específica de combinação. O M3/2018 se mostrou o melhor genitor dentre os avaliados para sendo considerado ótimo para integrar um programa de melhoramento

Os híbridos apresentaram ótimos resultados tanto nas avaliações vegetativas, produtivas e qualitativas. Os híbridos JAB1303-13 e JAB1403-12 apresentaram as maiores notas entre as progênies avaliadas, tanto na forma de classificação do ranking A, como no ranking B. Na análise qualitativa, destacam-se para alfa-ácido o JAB1503-04 com 12,57% e o JAB1403-39 com 9,84% de beta-ácido e ficando entre as melhores nos dois rankings, confirmando que é possível cultivar lúpulo com boas produtividades e qualidade no clima tropical no Brasil. Todos os híbridos avaliados apresentaram bons valores para o índice de estocagem.

Para melhor compreensão do desempenho dos híbridos em clima tropical, é necessário que se avaliem mais safras e em maior escala, assim fornecendo dados para que um dia se tornem cultivares comerciais.