

FABIO CALIXTO DOS SANTOS

**VARIABILIDADE FENOTÍPICA DE ALFA ÁCIDO DE LÚPULO (*Humulus Lupulus* L) CULTIVADOS NAS REGIÕES DO BRASIL.**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Produção vegetal.

**Orientador:** Jefferson Luís Meirelles Coimbra.

**Coorientador:** Marcelo Alves Moreira.

**LAGES-SC**

**2020**

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da  
Biblioteca Setorial do CAV/UDESC,  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

CALIXTO DOS SANTOS, FABIO  
VARIABILIDADE FENOTÍPICA DE ALFA AÇIDO  
(*Humulus Lupulus L.*) CULTIVADOS NA REGIÃO DO  
BRASIL / FABIO CALIXTO DOS SANTOS. – 2020.  
54 p.

Orientador: Jefferson Luís Meirelles Coimbra  
Coorientador: Marcelo Alves Moreira  
Dissertação (mestrado) – Universidade do Estado de  
Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias,  
Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Lages,  
2020.

1. Lupulo. 2. Melhoramento Genético. 3. Clima. I. Luís  
Meirelles Coimbra, Jefferson. II. Alves Moreira, Marcelo. III.  
Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de  
Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em  
Produção Vegetal. IV. Título.

FABIO CALIXTO DOS SANTOS

**VARIABILIDADE FENOTÍPICA DE ALFA ACIDO DE LÚPULO (*Humulus Lupulus*  
L.) CULTIVADOS NA REGIÕES DO BRASIL.**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Produção Vegetal, na Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Produção Vegetal.

**Banca examinadora:**

Orientador: \_\_\_\_\_

Dr. Jefferson Luís Meirelles Coimbra. Universidade do Estado de Santa Catarina.

Membro

interno: \_\_\_\_\_

Dr. Altamir Frederico Guidolin. Universidade do Estado de Santa Catarina.

Membro

externo: \_\_\_\_\_

Dra. Patrícia Maria Oliveira Pierre Castro. Universidade Federal de Santa Catarina.

**Lages, 08 de maio de 2020.**



## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus orientadores Jefferson Luís Meirelles Coimbra, Marcelo Alves Moreira e a Altamir Frederico Guidolin que ao longo de dois anos me orientaram despenderam seu tempo e seus conhecimentos acadêmicos em prol desta pesquisa, contribuindo com minha formação profissional.

A minha esposa Beth, aos meus filhos Dani e Ali, qual me apoiaram nesta caminhada. A Escola Superior de Cerveja e Malte de Blumenau pela parceria, Departamento de Química da UDESC/Joinville, especialmente Duan Ceola, Ricardo Dagnono Huelsmann, Edmar Marendal.

Não poderia também deixar de agradecer aos colegas, Cris, Edila, Fátima, Marcio, Paulo, Nicole, Rubia, Talissa, Jessica, Manu, Thays, Mara, Rita, Cezário e Inay. Geração mais nova de colegas da Pós-graduação em Produção Vegetal (CAV/UDESC) que mesmo jovens, demonstram uma infinidade de experiência e conhecimentos acadêmicos, parabéns a todos vocês!

**MUITO OBRIGADO!**



## RESUMO

O Lúpulo (*Humulus lupulus* L) é uma planta originária da China, a espécie possui grande importância econômica por ser um ingrediente primordial da cerveja. O Brasil é o terceiro maior consumidor mundial de cerveja, entretanto, importa cerca de 99% do lúpulo de sua demanda devido à falta de estudos para a caracterização, seleção ou adaptação de cultivares ao clima brasileiro. Diante do exposto, o presente estudo teve por objetivo avaliar a variação fenotípica de lúpulo para o caráter de alfa ácido de diferentes genótipos, plantadas em ambientes contrastantes das diferentes regiões Brasil. Os resultados demonstraram, que a maioria dos genótipos avaliadas apresentaram baixo índice de alfa ácido, apenas 3 genótipos (Comet, Victoria Argentino e Yakima Gold) apresentaram a produção de alfa ácido acima de 7%. A interação genótipo ambiente tem um efeito pronunciado e o microclima que foi o principal a interferir na concentração de alfa ácido. No entanto, há ainda necessidade de compreender o manejo, colheita e beneficiamento das cultivares, a serem ajustado ao clima tropical do Brasil.

**Palavras chave:** Alfa ácido, genótipo e melhoramento genético.



## ABSTRACT

Hops (*Humulus lupulus* L) is a plant originally from China, a species that has great economic importance because it is a primary ingredient in beer. Brazil is the third largest consumer of beer in the world, however, it imports about 99% of the hops of its demand due to the lack of studies for characterization, selection or adaptation of cultures to the Brazilian climate. Given the above, the present study aimed to evaluate the phenotypic variation of hops for alpha-acid characters of different genotypes, planted in contrasting environments in different regions of Brazil. The results demonstrated, with the majority of the genotypes evaluated below the alpha acid index, only 3 genotypes (Cometa, Victoria Argentino and Yakima Gold) showed an alpha acid production above 7%. An environment genotype interaction has a pronounced effect or microclimate that was the main one to interfere with the concentration of alpha acid. However, there is still a need to understand the management, harvesting and processing of cultivars, being adjusted to the tropical climate of Brazil.

**Keywords:** Alpha acid, genotype, genetic improvement.



## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1:** Composição química média de cones de lúpulo de cones secos..... 23
- Tabela 2:** As 28 cultivares de lúpulo avaliados foram enumerados e identificados da seguinte forma..... 35
- Tabela 3:** Estados brasileiros e seus respectivos municípios onde o lúpulo foi cultivado para posterior análise química de alfa-ácido. .... 36
- Tabela 4:** Coeficiente de correlação intraclasse (t) para a variável alfa ácido (%), calculado através da estimativa dos componentes da variância entre genótipos (e) e dentro genótipos (d).  
..... 38
- Tabela 5:** Quantificação ou valores médios dos  $\alpha$  ácidos das 28 variedades cultivados no Brasil de lúpulo dado em % (g/100g de lúpulo seco). .... 39
- Tabela 6:** Diferenças de estimativas de 28 cultivares de lúpulo pelo teste de múltiplas médias DMS (Tukey-krammer)..... 40
- Tabela 7.** Quadro de magnitude de interação de acordo com a relação fenótipo ambiente.  
..... 53



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AB InBEV- Anheuser-Busch InBev.

APROLUPULO- Associação Brasileira de Produtores de Lúpulo

MAPA- Ministério da agricultura, abastecimento e pecuária.

EUA- Estados Unidos da América.

UNESP- Universidade estadual paulista.

CAV/UDESC- Centro de ciências agroveterinárias-Universidade Estadual de Santa Catarina.

SBG- Select Botanical Group



## SUMÁRIO

<b>1.INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
<b>2. HIPÓTESE.....</b>	<b>19</b>
<b>3. OBJETIVO GERAL .....</b>	<b>19</b>
<b>4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>21</b>
4.1 IMPORTÂNCIA DO LÚPULO.....	21
4.2 CARACTERÍSTICAS BOTÂNICAS.....	22
4.3 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO LUPULO.....	23
4.4 MELHORAMENTO GENÉTICO DO LÚPULO .....	25
4.4 VARIABILIDADE GENÉTICA .....	26
4.5 CONDIÇÕES CLIMÁTICAS PARA O CULTIVO DO LÚPULO .....	27
4.6 REFLEXO DA INTERAÇÃO GENÓTIPO AMBIENTE NO CULTIVO DO LÚPULO.....	28
<b>5. CAPÍTULO 1: VARIABILIDADE FENOTÍPICA NA PRODUÇÃO DE ÁCIDOS ALFA DO Lúpulo (<i>Humulus lupulus L.</i>) EM DIFERENTES REGIÕES DO BRASIL..</b>	<b>31</b>
5.1 INTRODUÇÃO .....	33
5.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	34
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	37
5.7 CONCLUSÃO .....	43
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>45</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>47</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>53</b>



## 1.INTRODUÇÃO

O lúpulo (*Humulus lupulus* L) é uma espécie da família Cannabaceae, de hábito trepadeiro, perene, dioica, originaria da Ásia, está entre os principais ingredientes da cerveja, conferindo amargor e aroma a bebida. Além disso, apresenta substâncias químicas utilizadas na indústria farmacêutica e de cosmético (PERAGINE, 2011).

A sua comercialização é feita através de pellets, extrato concentrado e cone in natura. Os maiores produtores são os Estados Unidos, com 47% da produção mundial (48,5 milhões de Kg), vindo em segundo a Alemanha com 35% (44 milhões kg) (BREWERS ASSOCIATION USA, 2019; HGC - ECONOMIC COMMISSION SUMMARY REPORTS, 2019).

O Brasil não possui produção em escala comercial, apresentando pequenos cultivos experimentais em estágio inicial (APROLÚPULO, 2020). No país não há cadeia produtiva estabelecida ainda porque acreditava-se que a cultura não se adaptaria as condições climáticas locais (CHAGAS; GARCIA, 2018). O lúpulo cultivado nas latitudes 35 e 55° apresenta alto vigor vegetativo, sendo grande responsável por um aumento produção. Entretanto, existem registros históricos que Santa Catarina e Paraná já foram produtores (SILVA, 2019, SILVA,1958). A África do Sul, país subtropical localizado fora do zoneamento agroclimático produz lúpulos de boa qualidade com produção satisfatória (BRITS, 2008).

De acordo com Brits (2008), para incrementar os rendimentos do lúpulo em regiões de baixa latitude e com temperaturas elevadas, seria em primeiro o fornecer luz de artificial (acima de 15 horas) e a segunda opção a seleção de cultivares com um longo período vegetativo (fotoneutras) conforme genótipos já cultivados na África do Sul. O fornecimento de luz onera os custos de produção, dessa forma, a melhor alternativa é investir no melhoramento da espécie. No Brasil não existe programa de melhoramento de genótipos, o país dependendo de material genético importado oriundo de outras países. Existe cerca de 50 cultivares de lúpulo registradas no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, estes genótipos na sua grande maioria de origem genética Americana e alemã, sendo que não estão se adaptadas as condições climáticas brasileira (MAPA, 2020).

Atualmente, as cultivares ou os genótipos de lúpulos são classificados de acordo com o sabor que conferem a cerveja, podendo ser Lúpulos de Amargor, Aroma e de duplo proposito (amargor e aroma).

A interação genótipo x ambiente, tem grande influência nas características do sabor (amargor e aroma) que o lúpulo confere a cerveja, devido ao grande número de genes envolvidos na expressão das características químicas do lúpulo.

No Brasil existe uma grande variação edafoclimática, podendo haver regiões que satisfaçam as necessidades climáticas da cultura (BIZOTTO, 2019; RADTKE et al; 1999). Possibilitando a geração de novos *terroirs* com perfis de aroma e sabores, conseqüentemente, podendo resultar em cervejas com identidade regionais (BARRY et al; 2018).

## 2. HIPÓTESE

- a) Os genótipos de Lúpulo cultivados no Brasil apresentam variabilidade fenotípica para teor concentração de alfa ácido produzido.
- b) A diversidade de ambientes no Brasil, interfere na quantidade ou teores de alfa ácido produzidos pelos genótipos.

## 3. OBJETIVO GERAL

-O objetivo desse trabalho é avaliar a variação fenotípica para o caráter alfa ácido do lúpulo (*Humulus Lupulus L*), sob diferentes regiões do Brasil.

Objetivo Específico.

-Determinar a influência do ambiente sobre o acúmulo ou teores de alfa ácidos do lúpulo produzido no Brasil.

-Verificar os principais componentes da variação fenotípica para o caráter concentração de alfa ácido dos genótipos cultivados no Brasil.

-Avaliar a variabilidade fenótipo dos genótipos cultivados no Brasil para a produção teores de alfa ácidos.



## 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 IMPORTÂNCIA DO LÚPULO

O lúpulo é um ingrediente primordial para a fabricação de cerveja, sendo está a bebidas alcoólicas mais consumidas do mundo. Da flor ou estróbilos da planta se estrai a lupulina, resina rica em alfa e beta ácidos, cuja funções são de conferir sabor e aroma a bebida (EDWARDSON, 1952). A cadeia produtiva do lúpulo contribui também para a indústria de perfumaria e farmacêutica (DURELLO et al., 2019).

No ramo farmacêutico, o lúpulo é um importante aliado no combate do câncer de próstata devido ao xanthohumol, substância com ação anticancerígena (VENE et al., 2012). Outro composto importante é o ácido gama aminobutirico, utilizado para o tratamento de desordem, perda ou na terapia do sono (JUANEZ, 2012). O lúpulo também tem propriedades antifúngicas e inseticidas, auxiliando no controle do ectoparasita conhecido pelo nome comum de VARROA, um parasita que ataca as abelhas que tem dizimado centenas de colônias no mundo (DEGRANDI-HOFFMANN et al., 2012).

Os maiores produtores são os Estados Unidos, com 47% da produção mundial (48,5 milhões de Kg), vindo em segundo a Alemanha com 35% (44 milhões kg) (BREWERS ASSOCIATION USA, 2019; HGC - ECONOMIC COMMISSION SUMMARY REPORTS, 2019). Em outros países a produção é muito baixa, a exemplo da China com 4%, República Checa com 3%, Inglaterra 1%. Em relação a América Latina, o maior produtor de Lúpulo é a Argentina, mas produção de apenas 160 hectares. Para efeito de comparação os EUA cultivam uma área de 23.200 mil hectares, Alemanha com 19.200 mil hectares (IHGC, 2019).

De acordo com os dados da USA HOPS STATISTICAL REPORT de 2018, referente ao ano safra de 2018, o EUA teve no ano de 2018 a sua área de plantação de lúpulo avaliada em 583,444 milhões de dólares, com preço médio do quilo do lúpulo no EUA é de U\$11,00 dólares ou R\$60,50 Kg,(a depender da cotação do dólar dia), Contudo também á relatos que se comercializa lúpulo para pequenos cervejeiros pagam o preço de R\$150,00 o quilo, e a Ambev Lages-SC, paga R\$70,00 o quilo, conforme anunciado no evento da associação dos produtores de lúpulo (FAGHERAZZI et al., 2019; HOP GROWERS OF AMERICA, 2018).

Os maiores importadores de lúpulo dos EUA são em 1º Inglaterra 9,549,316 milhões de Pound, seguido em 2º posição pelo México e o Brasil em 5º lugar com 3.956,416 milhões de Pound ou 2 milhões toneladas aproximadamente, com gasto anual de 200 milhões de reais (HOP GROWERS OF AMERICA,2017). Dentro do volume que é importado pelo Brasil dos EUA, se divide em Extrato de Lúpulo 3.906,591 milhões de Pound, Lúpulo Fresco 46,516 milhões de Pound e lúpulo em Pellet 728,618 milhões de Pound. Entre os países da América do Sul que importam do EUA possui a Argentina com 1.089,0842 milhões de Pound, 17º Colômbia, 15º Peru, 19º Equador, 20º Chile e 35º posição Paraguai, demonstrando a grande procura da América Latina (HOP GROWERS OF AMERICA, 2017).

#### 4.2 CARACTERÍSTICAS BOTÂNICAS

O lúpulo apresenta como centro de origem a China, pertence a ordem das Rosales da família Cannabaceae, representado por dois gêneros a *Cannabis* e *Humulus*. O gênero *Humulus* são compostos por plantas dioicas (raramente monoicas), sendo de dias curtos e perene de comportamento caducifolia. As três espécies representantes do gênero são: *H. japonicus*, *H. lupulus* e *H. yunnanensis*. (DODDS et al.2019). A única que produz lupulina, substância de característica resinosa amarelada, onde se encontra os componentes químicos alfa e beta ácido entre outros, sendo que a lupulina somente é encontrada no *humulus lupulus*.

A espécie possui hastes e ramos robustos e abundantes, sendo capaz de crescer entre 4 a 5 meses mais de 8 metros (de 15 a 25 cm por dia). As flores são em forma de inflorescência (cones) com 5-6 mm de diâmetro, com cinco pétalas, com cores muito variáveis, os frutos são pequenos e chamados aquênios. Na espécie existem dois tipos de raízes as laterais com média de 2-5 metros e as verticais entre 2-3 metros. As raízes são importantes para o armazenamento de carboidratos, sendo de fundamental sua formação adequada para a crescimento e desenvolvimento da planta no próximo ano (DODDS et al.,2019; EDWARDSON, 1958).

O estágio reprodutivo da planta se inicia aos 2 anos e atinge o pico de produção a partir do 3 ano (DOODS, et al 2019). Para a produção destinada a cervejaria apenas os cones ou flores fêmeas são desejados, pois estas produzem a lupulina, resina que contém os Alfa e Beta ácidos. Os alfas ácidos são compostos de humulona, cohumulona, adhumulona, prehumulona e poshumulona, (DURELLOA et al., 2019). Para a indústria os alfas ácidos conferem amargor e são responsáveis pela

geração da espuma, variando conforme a variedade e o ambiente de cultivo. Já os Beta Ácidos conferem aroma e são utilizados como estabilizantes. O lúpulo típico desidratado tem sua composição de Alfa Ácidos (2-15%), Beta Acido (1-50%), Óleos essenciais (0,5 -5%) e Polifenóis (taninos) (2-5 %) (FARAG et al., 2012).

A plantas masculinas devem ser removidos do cultivo para evitar a fertilização. De acordo com Almaguer et al. (2014), as sementes são consideradas indesejáveis, a fecundação desencadeia o processo de oxidação dos ácidos graxos das sementes que produz sabores desagradáveis a bebida. A ausência de sementes também faz com que o lúpulo seja geralmente mais rico em óleos essenciais e resinas ( $\alpha$  e  $\beta$  ácidos) (ALMAGUER et al.,2014).

#### 4.3 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO LUPULO.

Os cones de lúpulo são compostos por várias substâncias químicas, como Óleos essenciais, proteínas, resinas entre outras como pode ser visto no quadro.

**Tabela 1:** Composição química média de cones secos de lúpulo.

Constituinte	Quantidade % (mm)
Resinas Totais	15 - 30
Óleos essenciais	0,5 - 3
Proteínas	15
Monossacarídeos	2
Polifenóis (taninos)	4
Pectinas	2
Aminoácidos	0,1
Ceras e esteroides	Traços - 25
Cinzas	8
Umidade	10
Celulose	43

Fonte: BAMFORTH, 2011.

Os óleos essenciais qual corresponde a 0,5 – 3,00% de massa da matéria seca, são muito voláteis expostos ao tempo, esta composição dos óleos essências depende de fatores genéticos, maturação da planta ou seja se são plantas de 1º, 2º até 5º ano, quando chegam na sua maturação completa e da geográfica ou localidade, também

sobre alterações durante o amadurecimento dos cones, no seu processamento em pellets, e por fim no armazenamento do lúpulo.(OLSOVSKA et al, 2016).

No cone e lúpulos também são encontrados as substâncias denominadas de Resinas (macias) o Alfa e beta ácidos, que são ácidos fenólicos alicíclicos resinosos, sendo o alfa ácido chamado de ácido amargos, pois confere a amargor a cerveja.

O alfa ácido é composto por 5 substâncias:

35-70% de Humulona.

20 – 55 % Cohumulona.

10 – 15% Adhumulona.

1 – 10% Prehumulona.

1 – 3% Poshumulona.

Já os Beta ácidos por (Lupulona, Cohupulona e Adlupulona, Prehumulona e Poshumulona), os beta ácidos contém o grupo alcoólico na sua composição química, não sendo isomerizados, conferindo aroma a cerveja, portanto muito menos solúveis a água, leia-se cerveja. (OLSOVSKA et al, 2016),

Por sua vez em os alfa ácidos, durante a fermentação conferem amargor a cerveja que reduz os açúcares produzidos pela cevada, além que os alfa ácidos quantos fervidos são solúveis a água, quanto maior o tempo de fervura, mais amargo fica a cerveja, adicionando lúpulo ao mosto na fase de fervura. (ALMAGUER et al, 2014).

Portanto pode-se verificar que a compra do lúpulo e a busca de um genótipo específico na indústria cervejeira é muito importante, pois é baseada nas suas características químicas que são lidas ou interpretadas através de sabores de amargor e aroma a cerveja.

Com base no teor de alfa ácido qual confere amargor a cerveja, estes são subdivididos em 3 categorias, a-) Lúpulos amargos, b-)Alfa alta c-) alfa super alta, sendo que cada genótipo confere nível de porcentagem de alfa ácido diferente, como o genótipo Millenium que tem um alfa ácido entre 6 -12% e Zeus 13 – 17% podendo ser denominado como alfa super alta.

O teor de alfa ácido é medido e precificados pela indústria cervejeira no mundo, em função da %de alfa ácido que cada genótipo produz. (MOZNY et al, 200). contudo cada colheita se tem uma média desses alfa ácidos, assim sofrem não

somente pelas diferentes safras do ano, mas sobretudo em função do clima, temperatura, e localidade que este genotípico é cultivado.

#### EXTRUTURA PARENTAL GENETICA DO LUPULO.

Como já exposto o lúpulo é uma planta originaria da China, porém seu melhoramento genético começou com os genótipos (Fuggle e Goldings), da Inglaterra, (Saazer) da República Tcheca, (Tattnanger ou Hallertau Mittelfrue) genótipos Alemanha, basicamente lúpulos de amargor, com baixos teores de alfa ácido que confere amargor, até as datas de hoje ainda produzidos e muito comercializados.

Por sua vez o genótipo Clusters (EUA ou norte americano) já é um lúpulo amargo, com teores mais elevados de alfa ácidos, que se acredita ser um lúpulo híbrido de lúpulos Europeus X Lúpulos selvagens norte-americanos, (NEVE, 1991), porém pouco produzido e comercializado atualmente.

Contudo, cabe ratificar que o lúpulo é uma planta dioica, sexo feminino e masculino em cada planta que é muito fácil de ocorrer uma polinização aberta, a denominação de lúpulo selvagem, vem no sentido de não saber quem é o pai pois ocorreu uma polinização aberta, necessitando de técnicas para que a hibridização possa ocorrer, gerando sementes as plantas femininas.

#### 4.4 MELHORAMENTO GENÉTICO DO LÚPULO

Existem poucos programas de melhoramento de lúpulo espalhados pelo mundo, os países que mais investem são os Estados Unidos da América e Alemanha, República tcheca, Austrália e Nova Zelândia. Segundo dados a Alemanha avalia anualmente mais de 1000 variedade ao ano. Para se desenvolver uma cultivar da hibridação até os VCUs (ensaio de valor de cultivo e uso), estima-se um tempo médio de 4 a 15 anos (YAKIMA CHIEF, HOPUNION LLC, 2016).

Nos Estados Unidos existem empresas e universidades que fazem o melhoramento de lúpulo, como YCHHOPS que tem um programa chamado SBG-Select Botanical Group que selecionada novas variedades deste de 1980, ao longo dos seus 25 empresa patenteou algumas cultivares como por exemplo Antanumtm YCR1, Palisade rYCR4, Warriorr YCR5 e Simcoer YRC 14 (YAKIMA, 2016).

Os programas de melhoramento na Europa e América do Norte procuram por cultivares de melhores características organolépticas, devido a demanda de cerveja de melhor qualidade. Além disso, busca-se outras características como redução da

estatura, cones maiores, menor número de ramos laterais e resistência ao míldio e oídio (NESVADBA et al., 2017; NESVADBA et al., 2016; HIERONYMUS, 2012; HAUNOLD, 1981). Em países de clima tropicais o desejável são cultivares fotoneutras e que demonstrem resistência ao estresse térmico (BRITS, 2008).

O melhoramento genético no Brasil está no início requerendo maiores custo de investimento, baseado em trabalhos variedades existentes. Existem projetos pioneiros sendo desenvolvidos pelas Universidade Estadual Paulista (UNESP) de Jaboticabal e a Universidade do estado de Santa Catarina (CAV/UEDESC) de Lages (CHAGAS; GARCIA, 2018). O trabalho de pesquisa na UNESP em Jaboticabal (FACAV), objetivou a seleção de plantas adaptadas ao clima, a partir de 39 combinações de variedades do cruzamento 3 variedades de plantas macho com 13 lúpulos fêmeas, entre as dificuldades estava a identificação do sexo das sementes e em plantas após 5 meses depois da floração (DODDS et al., 2019). Na universidade Federal do Paraná foi publicado o primeiro trabalho no Brasil para identificar o sexo das plantas através de marcadores moleculares (BERNERT, 2018).

#### 4.4 VARIABILIDADE GENÉTICA

O lúpulo por ser uma planta alógama a cultura expressa elevada variabilidade genética, existem 5 variedades que se distinguem por suas características morfológicas e região geográfica (BOUTAIN, 2012). O lúpulo *H. lúpulos* var. *neomexicanus* aparentemente está adaptado as cordilheiras ocidentais da América do norte, as plantas possuem folhas com mais lóbulos e mais profundos (NELSON & COCKERELL). O *H. lupulus* var. *pubescens* E. é a menos encontrada no meio oeste americano com folhas mais serrilhadas e com bastante pelos na parte inferior (EDWARDSON, 1958).

O lúpulo cultivado é derivado principalmente da variedade *H. lúpulo* var, raças europeias tradicionalmente usadas nas fabricantes de cerveja (NELSON & COCKERELL). Para aumentar a resistência a pragas e doenças lúpulos selvagens norte-americanas foram hibridadas com cultivares europeias (DARBY, 2005). A incorporação do germoplasma norte-americano conferiu várias outras qualidades favoráveis, como maior capacidade de tolerância a estresses abióticos e potenciais variáveis de amargor (HIERONYMUS, 2012).

Existem bancos de germoplasmas da cultura, na República Tcheca que conta com recursos genéticos de 370 variedades de lúpulo de todo o mundo e 348 lúpulos

selvagem usados nos programas de melhoramento lúpulo (SVOBODA et al., 2019). A Alemanha avalia anualmente mais de 1.000 variedades da espécie nos seus principais programa de melhoramento e conta com um banco de germoplasma.

Nos Estados Unidos da América, o NGRP National Clonal Germoplasm Repository - Programa Nacional de Recursos Genéticos, na cidade de Corvallis, estado de Oregon – EUA (HIERONYMUS, 2012), conta com uma coleção de 587 acessos mantidos em campo, coletas em estufa de 68 acessos testados para resistência a vírus, e uma coleção de cultura de tecidos de 86 acessos, e 22 acessos na conservação em forma de sementes.

No Brasil ocorreu aumento no número de cultivares disponíveis para a comercialização, existe cerca de 50 cultivares presente no Registro Nacional de Cultivares (RNC) (MAPA, 2020). No país a APROLÚPULO, USP e EMBRAPA pretendem implantar um banco de germoplasmas com recursos de aproximadamente 200 mil reais do Governo Federal. A Universidade federal do Paraná em Curitiba possui cerca de 28 genótipos. A Universidade Federa de Santa Catarina UFSC Curitibanos em parceria com produtores conta com 50 acessos.

#### 4.5 CONDIÇÕES CLIMÁTICAS PARA O CULTIVO DO LÚPULO

O lúpulo é uma espécie de clima temperado, entre os principais fatores climáticos que influenciam no desempenho produtivo do lúpulo, são o fotoperíodo, a temperatura e a disponibilidade hídrica (DODDS, 2020). Para a maioria das cultivares apesar de ser muito variável, a temperatura ótima de desenvolvimento é de 20 °C, sendo o limite superior 32 °C e o inferior -4 (BAUERLE, 2019). Acima do limite superior, a planta pode abortar as estruturas vegetativas e reprodutivos e se torna improdutivo (DODDS, 2020, NEVE, 1991).

De acordo com Dodds (2019) e Neve (1991), a espécie pode demonstrar um período de dormência no inverno (caducifolia ou semi-caducifolia). Para ser superada o processo de dormência é necessário horas de frio (processo de vernalização com duração de horas de frio no mínima de 42 dias a 3 °C para a cultura). Na ausência do acúmulo de horas de frio, ocorre crescimento desuniforme e a planta perde o vigor, resultando em perda de produção e da concentração de lupulina devido à ausência de gemas ou ramos produtivos com 12 a 25 nós (CRAIN, 2019).

A espécie é considerada de dias curtos, o fotoperíodo é de fundamental importância para a indução floral (BRITS, 2008). As maiores produções são verificadas quando a planta recebe alta incidência de luz no período vegetativo, com fotoperíodo variando entre 14 a 16 horas (NEVE, 1991). O zoneamento agroclimático indica que a melhor região para o cultivo de lúpulos seja as zonas (-35 a 55 °), por exemplo a região produtiva de lúpulo nos EUA no estado de Washington o Yakima Valley encontra-se na latitude 46° e na Alemanha estado da Bavária na região de Hallertau tem 48° ao norte. No hemisfério sul seu cultivo ocorre na Nova Zelândia e Argentina entre as zonas 41° e 42° ao sul (HIERONYMUS, 2012).

A cultura do lúpulo também é exigente em água, dados revelam que na fase de crescimento com ganho de biomassa a cultura requer uma precipitação de 305 milímetros, em 2 meses (BURGESS, 1964). Na Austrália, 75 a 80% da exigência de água da cultura estão nos meses de julho a agosto (DODDS, 2020), o estágio de maior crescimento do lúpulo. Pesquisas mostram que o estresse hídrico interfere na produção, as perdas podem chegar até 70%. Na qualidade de alfa e Beta ácidos o déficit hídrico não demonstrou grandes reduções com as plantas sob estresse hídrico (NAKAWUKA et al., 2017).

Neve (1991), salienta que a temperatura não é o fator mais preponderante para altos rendimento em lúpulos. Práticas de manejo, como a utilização de sistema de irrigação e fornecimento de luz exógena podem incrementar a produção e algumas cultivares (exemplos: cultivares African Queen, Southern Aroma, Southern Passion e Southern Star) são fotoneutras (BEVERLEY, 2015; BRITS, 2008). Dessa forma, como ocorreu com outras culturas como a soja, uva e maçã, o lúpulo pode ser aclimatado e cultivado em áreas antes consideradas marginais ou improdutivas próximas da linha do equador, como a África do Sul 34° e no Brasil 30° (Rio Grande do Sul) (BIZOTTO, 2019).

#### 4.6 REFLEXO DA INTERAÇÃO GENÓTIPO AMBIENTE NO CULTIVO DO LÚPULO

A produtividade de uma cultura é definida pela interação entre o genótipo da planta, o ambiente de produção e o manejo. De acordo com Vencovsky; Barriga (1992), a interação genótipo x ambiente ou a expressão fenotípica pode ser explicada pelo modelo: Fenótipo (F)=Genótipo (G) + Ambiente (A) + Interação (G\*A). A interação pode ser simples, quando o comportamento das cultivares são concordantes em ambientes distintos. Entretanto, quando as cultivares possuem comportamento

diverso, ou seja, nem a ordem e nem a magnitude são constantes, a interação é denominada complexa, dificultando a seleção de plantas (BORÉM et al., 2013).

O maior desempenho no cultivo do lúpulo são as produções elevadas de resinas contendo alfa e beta ácidos que conferem o amargor e aroma a cerveja. Os teores de alfa e beta ácidos podem variar de plantas da mesma variedade com idade diferente e entre locais de plantio distintos, demonstrando ser um caráter de origem complexa, de baixa herdabilidade e sofrendo alta influência do ambiente (MCADAM et al., 2014).

O ambiente de cultivo pode apresentar variação no macroambiente (municípios, estados ou no microambiente em regiões de cultivo (nas parcelas, nos blocos) (BORÉM et al., 2013). Para o lúpulo existem algumas regiões que a interação genótipo ambiente é mais marcante, sendo estudada e reconhecida há muitos anos e denominada de *terroir* (Exemplo Yakima Valley, USA; Zatec, Czech Republic). Para o vinho a Organização Internacional da Vinha e do Vinho (OIV) chegou a uma definição oficial sobre seu significado.

Bernardo (2002) relatou três posicionamentos a serem tomados diante da presença da interação entre genótipos e ambientes: ignorá-la, reduzi-la ou explorá-la. Carvalho et al. (2002), avalia que a interação genótipo x ambiente pode tornar a seleção e recomendação de genótipos dispendiosa e demorada, mesmo os genótipos apresentem qualidades promissoras, pois alteração o desempenho relativo dos genótipos sob diferença ambientes.

Há três maneiras de amenizar os efeitos da interação Genótipo x Ambiente: i) Estratificação microambientes, identificando cultivares específicas para cada ambiente, ii) zoneamento ecológico e iii) identificação de cultivares com maior estabilidade fenotípica. Além desses a utilização de cultivares multilinhas ou heterozigota pode ser uma alternativa interessante.



## 5. CAPÍTULO 1: VARIABILIDADE FENOTÍPICA NA PRODUÇÃO DE ÁCIDOS ALFA DO Lúpulo (*Humulus lupulus L.*) EM DIFERENTES REGIÕES DO BRASIL

### Resumo

A espécie vegetal *Humulus lupulus L.* é um componente fundamental para a indústria de cerveja. As limitações de sua produção estão na seleção de cultivares com características desejáveis para as regiões tropicais e subtropicais. O objetivo desta pesquisa avaliar a variação fenotípica do caráter alfa-ácido produzido em relação a variação de cultivares sob diferentes ambientes do Brasil. Foi realizada a análise de alfa ácido e sensorial de cultivares lúpulo. Apenas as cultivares Comet, Victoria Argentino e Yakima Gold apresentaram teores de alfa ácidos para amargor satisfatório (acima de 7%). A avaliação da variação fenotípica demonstrou que 47% esta atribuída aos ambientes de cultivo e apenas 30 % entre as cultivares. O coeficiente de repetibilidade foi abaixo de 0.25, demonstrando que a interação entre genótipo e ambiente influencia o perfil do lúpulo. O clima, o solo e práticas culturais, definem os teores de alfa ácido para cada região de cultivo. Dessa forma, a produção de lúpulo deve ser regionalizada e a seleção de cultivares realizada para cada microclima.

**Palavras chave:** Alfa ácido, genótipo e melhoramento genético.

## **PHENOTYPIC VARIABILITY IN THE PRODUCTION OF ALPHA ACIDS FROM HOP (*Humulus lupulus* L.) IN DIFFERENT REGIONS OF BRAZIL**

### **Abstract**

The vegetable species *Humulus lupulus* L. is a fundamental component for the beer industry. The limitations of their production are in the selection of cultivars with desirable characteristics for tropical and subtropical regions. The objective of this research is to evaluate the phenotypic variation of the alpha-acid character produced in relation to the variation of cultivars under different environments in Brazil. Alpha acid and sensory analysis of hops cultivars was performed. Only the cultivars Comet, Victoria Argentino and Yakima Gold presented levels of alpha acids for bitterness (above 7%). The evaluation of the phenotypic variation showed that 47% is attributed to the cultivation environments and only 30% among the cultivars. The repeatability coefficient was below 0.25, showing that the interaction between genotype and environment influences the hop profile. The climate, soil and cultural practices, define the alpha acid content for each growing region, resulting in hops with different aromatic profiles for Brazil. Thus, the production of hops must be regionalized and the selection of cultivars carried out for each microclimate.

**Keywords:** Alpha acid, genotype and genetic improvement.

## 5.1 INTRODUÇÃO

O lúpulo (*Humulus lupulus* L.) é uma planta alógama, perene de dias curtos e clima temperado, origem asiática e pertencente à família Cannabaceae (BOUTAIN, 2014; EDWARDSON, 1952). Suas flores ou estróbilos femininos produzem a lupulina, resina que contém mais de 200 substâncias químicas. Os compostos mais importantes da lupulina são os alfa e beta ácidos que conferem sabor e aroma a cerveja (DURELLO et al., 2019).

Os maiores produtores mundiais de lúpulo são os Estados Unidos e a Alemanha (HOP GROWERS OF AMERICA. 2017). Recentemente, a cultura vem despertando o interesse de agricultores e cervejarias no Brasil devido ao seu potencial econômico (CERVBRASIL, 2019). O país não é autossuficiente em produção de lúpulo e importa cerca 4 mil toneladas, movimentando 200 milhões de reais ao ano. Além do custo elevado, o lúpulo importado devido ao longo período de armazenamento vem apresentando redução na concentração de alfa ácido.

A baixa produção de lúpulo em território brasileiro se deve ao zoneamento agroclimático da cultura que não contemplavam regiões de clima tropical e subtropical (DODDS, 2020). O lúpulo é sensível ao comprimento do dia e geralmente os rendimentos não são satisfatórios em latitudes próximas do equador. A espécie tem melhor adaptação em clima temperado e em regiões de Latitudes 35° e 55° norte ou sul devido a presença de dias quentes, noites frias e luz superior a 15 horas (DODDS et al., 2019).

Existem duas formas de incrementar a produção de lúpulo em ambientes de baixa latitude, a primeira é pelo fornecimento de luz artificial, a segunda está relacionada com a exploração da variabilidade genética disponível (HIERONYMUS, 2012). A África do Sul vem selecionando e adaptando cultivares para ambientes subtropicais a 60 anos (DE LANGE et al., 2015). No Brasil os programas de melhoramento são incipientes, o país depende da introdução de cultivares com alto desempenho oriundas de outras regiões.

As cultivares de lúpulo podem ser classificados em cultivares de amargor, duplo propósito e aroma (YAKIMA CHIEF - HOPUNION LLC, 2017). O lúpulo também pode apresentar uma característica muito importante de acordo com a regiões de cultivo, denominada de *terroir* ou *Tremruá*. O *terroir* é uma propriedade resultante da complexa interação genótipo e ambiente devido ao grande número de genes

envolvido na expressão do caráter e o pronunciado efeito do ambiente. A interação além de afetar o desempenho produtivo dos alfas e beta ácidos, altera as características químicas da lupulina.

No Brasil existe uma alta variedade edafoclimática, havendo regiões que satisfazem as necessidades climáticas exigidas para o lúpulo, podendo expressar seu potencial produtivo e qualitativo (BIZOTTO, 2019; RADTKE et al., 1999). Além da qualidade recomendada pela literatura, a interação entre genótipo e ambiente pode gerar novos *terroirs* com perfis de aroma e sabores únicos, resultando em cervejas típicas, com identidades regionais.

Ainda são escassos trabalhos científicos para avaliar a qualidade de lúpulo sobre as condições climáticas brasileiras. Nesse sentido, o presente trabalho teve como objetivo quantificar os teores de alfa-ácido de cultivares de lúpulo e verificar variações fenotípicas frente a distintos ambientes de cultivo no Brasil.

## **5.2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **Fonte de dados**

Os dados foram cedidos pela Escola Superior de Cerveja e Malte, localizada na cidade de Blumenau, Santa Catarina, Brasil. Foram obtidos os índices de alfa ácidos de 28 cultivares distribuídas por 7 Estados plantados em 31 municípios do Brasil (Tabela 3).

**Tabela 2:** As 28 cultivares de lúpulo avaliados foram enumerados e identificados da seguinte forma.

identificação n.	Genótipos
1	Brazylinski
2	Brewers Gold
3	Calypso
4	Canastra
5	Cascade
6	Centenial
7	Chinook
8	Columbus
9	Comet
10	Cryspi
11	Crystal
12	Galena
13	Hallertau Mittelfrue
14	Klon
15	Mantiqueira
16	Millenium
17	Monroe
18	MR 002
19	MR 003
20	MR 004
21	MR 005
22	Nugget
23	Saaz
24	Southerns Brewers
25	Tupiquim
26	Victoria Argentino
27	Yakima Gold
28	Zeus

Cabe ressaltar que dessa 29 cultivares, 4 cultivares plantadas no Estado de Santa Catarina, Município de Lages, foram genótipos: Cascade, Hallertau Mittelfrue, Chinook e Columbus, nos campos da UDESC/CAV.

**Tabela 3:** Estados brasileiros e seus respectivos municípios onde o lúpulo foi cultivado para posterior análise química de alfa-ácido.

<b>ESTADO</b>	<b>MUNICÍPIOS</b>
<b>BRASILEIRO</b>	
<b>Distrito Federal (DF)</b>	Brasília
<b>Minas Gerais (MG)</b>	Araxá
<b>Paraná (PR)</b>	Ponta Grossa, São José dos Pinhais, Campo Largo
<b>Rio de Janeiro (RJ)</b>	Nova Friburgo, Niterói
<b>Rio Grande do Sul (RS)</b>	Gramado, Carlos Barboza, Nova Roma do Sul, Serafina Corrêa, São Francisco de Paula
<b>Santa Catarina (SC)</b>	Braço do Norte, Campo Alegre, Taguaí, Urubici, Urupema, Lages, Palmeira, São Joaquim
<b>São Paulo (SP)</b>	Sorocaba, Boituva, Vinhedo, Holambra, Itapetininga, Jaguariúna, Mogi das Cruzes, Santo Antônio do Pinhal, São Bento do Sapucaí

## Metodologia

Os lúpulos cultivados no Município de Lages no campo da UDESC/CAV, foram colhidos separando a rama dos cones.

Posteriormente somente os cones foram alocados em uma estufa no laboratório da UDESC/CAV, com a temperatura e tempo controlados, por um período de 8 horas com 45°C, até reamanhecerem com 10% de umidade no cone.

Os cones já desidratados foram fracionados em amostras de 100 gramas, acondicionados a vácuo em saco plástico apropriado transparente e imediatamente enviado a Escola Superior de Cerveja e Malte, qual fez a análises químicas.

Ao demais produtores do país se utilizaram de outros métodos para a secagem/desidratação dos cones de lúpulos, contudo não menos importante todos os cones remanesceram com a umidade de 10%, conforme padrão da cultura.

A escola Superior de Cerveja e Malte utilizou da metodologia EBC 7.6 Bitter Substances in Hop Extract: Lead Conductance Value and Total Resin, Soft resin and

Hard Resin para os alfa ácidos e American SBC - Hops 13. Total Essential Oils in Hops and Hop Pellets by Steam Distillation para os óleos essenciais e utilizei para análise o MEDIDOR DE CONDUTIVIDADE BANCADA – MCA-150.1.

### **Análise estatística dos dados**

Para quantificar as fontes de variação foram utilizados os componentes da variância obtidos através da covariância dos dados e estimados através do modelo matemático:

$$Y_{ij} = \mu + \text{genótipoi} + \text{Estados (Gen)ij} + e_{ij}$$

Sendo:  $Y$  valores de alfa ácido observados;  $\mu$  é a média geral, genótipo<sub>i</sub> o efeito do genótipo, estado<sub>j</sub> refere-se ao efeito do genótipo; e efeito do erro experimental.

O coeficiente de correlação intraclasses ( $t$ ) foi calculado a partir dos componentes da variância, sendo essa uma medida de confiabilidade dos dados, obtida através da seguinte fórmula:

$$t = \frac{\sigma^2_s}{\sigma^2_s + \sigma^2_w}$$

Sendo:  $S$  é a estimativa do componente da variância entre as parcelas; e  $W$  a estimativa do componente da variância dentro das parcelas somado ao componente da variância residual.

As médias foram submetidas ao teste de múltiplas médias DMS (Tukey-kramer) a 5 % de probabilidade e todas as análises estatísticas foram realizadas com auxílio do software SAS 14.2, através do procedimento proc Mixed.

### **5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A análise dos componentes da variância fenotípica dos alfas ácidos para as 29 cultivares avaliadas em 7 estados do Brasil demonstraram que a variação dentro dos genótipos foi 2 vezes superior ( $\sigma^2_d$ : 3.198) a variação entre os genótipos cultivados no Brasil ( $\sigma^2_e$ : 1,88), correspondendo 47 % do total da variância. Os dados mostram que o coeficiente de correlação intraclasses (0,25) foi de baixa magnitude (Tabela 1).

**Tabela 4:** Coeficiente de correlação intraclasse (t) para a variável alfa ácido (%), calculado através da estimativa dos componentes da variância entre genótipos (e) e dentro genótipos (d).

<b>FV</b>	<b>Alfa ácido (%)</b>
<b>Entre (e)</b>	1,8835
<b>Dentro (d)</b>	3.1986
<b>Resíduo</b>	2.2337
<b>t</b>	0.25

A alta variação dentro dos genótipos e o baixo coeficiente de correlação (limite superior da herdabilidade no sentido amplo) são resultantes do ambiente de cultivo (MCADAM et al, 2013). Os alfas ácidos são caracteres quantitativo formados por mais de 40 compostos químicos do metabolismo secundário das plantas, sendo que são governados por um número elevado de genes, dessa forma, o ambiente interfere fortemente na regulação de sua expressão genica (MCADAM et al, 2013).

Coimbra et al. (2008), descreve que as maiores fontes de variação entre os caracteres quantitativo de *Phaseolus vulgaris* L. Para a cultura do lúpulo, resultados similares de produção de alfa ácido foram encontrados por Forteschi et al. (2019), salientando que a cultivar Cascade produzido na Itália apresentou comportamento distinto em função da região e época do plantio (variação: 4% nos valores de alfa ácidos). Em ensaios de Mcadam et al. (2014), avaliaram um banco de 108 genótipos de várias regiões Europa, chegaram à conclusão de que o ambiente influencia significativamente a porcentagem de lupulina produzida pelas variedades de lúpulo.

A tabela 2, demonstra a avaliação e a quantificação dos alfas ácidos, observa-se que a amplitude entre as médias dos genótipos cultivados no Brasil foi alta (12.95-1.56), sendo que algumas cultivares 9, 26 e 27 apresentaram valores satisfatórios para o lúpulos de amargor (valores acima de 7 para % satisfatória de alfa ácidos).

**Tabela 5:** Quantificação ou valores médios dos  $\alpha$  ácidos das 28 variedades cultivados no Brasil de lúpulo dado em % (g/100g de lúpulo seco).

<b>Gen</b>	<b>Média</b>	<b>Gen</b>	<b>Média</b>	<b>Gen</b>	<b>Média</b>	<b>Gen</b>	<b>Média</b>
1	3,81	8	2,92	15	2,52	22	3,92
2	4,24	9	8,22	16	2,51	23	5,90
3	3,54	10	2,99	17	4,54	24	1,95
4	5,11	11	1,56	18	2,12	25	4,69
5	3,89	12	3,01	19	2,54	26	12,95
6	2,82	13	3,45	20	2,21	27	9,94
7	2,55	14	3,28	21	2,77	28	2,47

De acordo com o teste de média realizado pelo DMS (diferença mínima significativa), observou-se que 66 combinações ou 18,3 % dos genótipos avaliadas apresentaram diferenças significativas, demonstrando variabilidade fenotípica (Tabela 3). O maior valor de alfa ácido foi verificada na cultivar Victória com 12,6% (duplo proposito) e o menor o genótipo 11 (Centenial= duplo proposito) (-11.39 %).

**Tabela 6:** Diferenças de estimativas de 28 cultivares de lúpulo pelo teste de múltiplas médias DMS (Tukey-krammer).

n.	Gen	Gen	Estimate	Pr	n.	Gen	Gen	Estimate	Pr
1	1	26	-9,1400	0.0015	34	11	23	-4,3367	0.0459
2	1	27	-6,1333	0.0231	35	11	26	-11,3900	0.0002
3	2	26	-8,7100	0.0022	36	11	27	-8,3833	0.0030
4	2	27	-5,7033	0.0332	37	12	26	-9,9400	0.0002
5	3	26	-9,4100	0.0012	38	12	27	-6,9333	0.0043
6	3	27	-6,4033	0.0183	39	13	26	-9,5010	0.0001
7	4	26	-7,8450	0.0016	40	13	27	-6,4944	0.0039
8	4	27	-4,8383	0.0366	41	14	26	-9,6700	0.0009
9	5	9	-4,3236	0.0251	42	14	27	-6,6633	0.0146
10	5	26	-9,0536	0.0001	43	15	23	-3,3787	0.0421
11	5	27	-6,0470	0.0044	44	15	26	-10,4320	0.0001
12	6	9	-5,3958	0.0158	45	15	27	-7,4254	0.0022
13	6	26	-10,1258	0.0001	46	16	26	-10,4400	0.0004
14	6	27	-7,1191	0.0033	47	16	27	-7,4333	0.0073
15	7	9	-5,6698	0.0058	48	17	26	-8,4100	0.0030
16	7	23	-3,2465	0.0178	49	17	27	-5,4033	0.0425
17	7	26	-10,3998	0.001	50	18	26	-10,8300	0.0003
18	7	27	-7,3932	0.0010	51	18	27	-7,8233	0.0051
19	8	9	-5,2956	0.0093	52	19	26	-10,4100	0.0004
20	8	23	-2,9722	0.0332	53	19	27	-7,4033	0.0075
21	8	26	-10,0256	0.001	54	20	26	-10,7400	0.0003
22	8	27	-7,0189	0.0017	55	20	27	-7,7333	0.0055
23	9	11	6,6600	0.0122	56	21	26	-10,1800	0.0006
24	9	15	5,7020	0.0108	57	21	27	-7,1733	0.0092
25	9	16	5,7100	0,0285	58	22	26	-9,0345	0.0002
26	9	18	6,1000	0.0202	59	22	27	-6,0278	0.0070
27	9	19	5,6800	0.0292	60	23	26	-7,0533	0.0024
28	9	20	6,0100	0.219	61	24	26	-11,0000	0.0003
29	9	21	5,4500	0.0356	62	24	27	-7,9933	0.0044
30	9	24	6,2700	0.0173	63	25	26	-8,2600	0.0034
31	9	28	5,7500	0.0275	64	25	27	-5,2533	0,0481
32	10	26	-9,9600	0.0007	65	26	28	10,4800	0.0004
33	10	27	-6,9533	0,0113	66	27	28	7,4733	0.0070

A grande variação entre as cultivares pode estar associada aos processos reprodutivos, de evolução, seleção (natural ou artificial) e ao ambiente (HIERONYMUS, 2012; DARBY, 2005). A maioria das cultivares avaliadas foram selecionadas para conferir sabor e aroma a cerveja, dessa forma independente do ambiente demonstram baixos teores de alfa ácidos (IHGC, 2020; HIERONYMUS, 2012; HAUNOLD, 1981). O lúpulo é uma espécie alógama e as cultivares são híbridas com

diferentes níveis de heterozigose, não sendo obtidos linhagens no processo de cruzamentos, possuindo uma ampla variabilidade genética (DARBY, 2005).

A superioridade do genótipo Victoria ou das demais cultivares pode ser decorrente ao nível de ploidia da cultivares, já que uma das estratégias utilizadas no melhoramento atual de lúpulo é a obtenção de triploides (NESVADBA et al., 2017; HAUNOLD, 1981). De acordo com Borém et al. (2013), Trojak-Goluch; Skomra (2018) os genótipos que apresentam maior número de cromossomos são mais resistentes e conseguem se adaptar melhor as condições climáticas de ambientes extremas (temperaturas elevadas e baixo fotoperíodo).

A maior adaptação dos genótipos 9, 26 e 27 também pode estar relacionada ao ambiente já que o clima local está favorecendo determinadas cultivares, uma vez que foram avaliadas em um único local. Para as demais variedades foram avaliadas em várias regiões com climas contrastantes, demonstrando uma complexa interação genótipo ambiente (bom desempenho em um local e modesto em outros), reduzindo o desempenho médio dessas cultivares.

Resultados similares do reflexo de interação genótipo ambiente foram observados nos trabalhos de Green et al. (1997), avaliando o genótipo tettnanger (cultivar indistinguível quimicamente do Saaz) cultivado nos Estados Unidos quando comparada ao na Alemanha (valores de 4.15 e 5.04 % de alfa ácidos, demonstrando variação de 18%). A mesma variedade teve o mesmo comportamento quando cultivada nos EUA e Inglaterra.

A interação genótipo ambiente do tipo complexa, ocorre porque o ambiente pode desligar ou recrutar genes (FALCONER, 1981; MCDAN et al., 2014; BORÉM et al., 2013). No caso do lúpulo diferentemente do esperado a interação também altera significativamente caracteres qualitativos que são denominados pelo Beta Ácidos, qual conferem sabor ou aroma a cerveja, (HIERONYMUS, 2012). Dessa forma, a análise sensorial do perfil aromático das cultivares do Brasil apresentou também demonstrou grande variação e muitas não apresentaram os mesmos atributos químicos padrão das cultivares desejáveis aos mestres cervejeiros (Figura 4).

A despeito de não ser parte integrante ou principal desse trabalho, verificou-se que o genótipo cascade plantado em Gramado no Brasil apresentou notas cítricas e chá verde, enquanto a variedade em Paineiras outra região da país demonstrou perfil picante herbal e frutado. Os descritores da variedade são frutas vermelhas e florais (YAKIMA CHIEF, 2016; ). O Halletauer produzida no Brasil difere da mesma variedade

cultivada nos Estados Unidos. No entanto, demonstrou características similar ao lúpulo alemã, ou seja, de sabor nobre equilibrados com notas cítricas e frutado, apresentando notas um pouco menos picantes.

Silva (2019), descreve corroborando com este trabalho também observou que os sabores de algumas variedades estão relacionados as regiões específicas de cultivo, e quando plantadas fora desses ambientes não conferem o perfil químico desejável. De acordo com Hieronymus, (2012), há muitos anos os agricultores perceberam que Corvallis nos Estados Unidos e na Alemanha a região de Hallentau são as melhores regiões de cultivo para algumas variedades, mas não para outras. Isso ocorre porque o clima, o solo, cultivo práticas culturais associados com a cultivar, definem características únicas de sabor e aroma, essa característica do clima regional é conhecida como o "*terroir*".

A variabilidade genética é a matéria prima para o melhorista, sendo que a taxa de variação é correlacionada positivamente com o sucesso da seleção.

A partir dos resultados é possível verificar que é possível produzir cultivares de amargor ou seja boa quantidade de alfa ácido, mas a produção é o melhoramento deve ser destinado para o sabor, uma vez que caracteres qualitativos são governados por poucos genes. A principal dificuldade da produção de lúpulo no Brasil vai ocorrer porque os fabricantes apresentam preferência por determinados materiais (BIZOTTO, 2018).

No entanto, os consumidores brasileiros com aumento do poder aquisitivo da população estão cada vez mais desejando novidades no mercado (SEBRAE, 2005). Dessa, forma, o Brasil por ser um ambiente ainda inexplorado com sua variedade edafoclimática das regiões de cultivo que conferindo novos ao lúpulo como demonstrado neste trabalho, pode selecionar e desenvolver cultivares, resultando em cervejas com identidade regionais de maior valor agregado, uma vez que as cultivares de amargor apresentaram baixo acumulo de alfa ácida (VAN HOLLE et al., 2019). Um grande exemplo é de Santa Catarina através a 'Catharina sour, terroir do estado que busca identificação, mas já conta com cervejas premiadas internacionalmente (PARANHOS, 2017).

## 5.7 CONCLUSÃO

A maioria das cultivares avaliadas no Brasil apresentaram baixo potencial para a produção de alfa ácidos, apenas as cultivares 9, 26 e 27 demonstraram valores satisfatório (>7%). A variação fenótipo para os alfas ácidos é elevado (amplitude de 11%), sendo grande parte da variação é atribuída ao ambiente.

Apesar do baixo valor de amargor das cultivares, existe um grande potencial para a produção de lúpulos de amargor, com técnicas voltadas para o cultivo em clima tropical e subtropical de manejo, colheita, adubação, irrigação, podem e vão conferir melhores índices de amargor ou quantidades de alfa ácidos, expressado por cada genótipo e bem como diferentes notas de aroma "*terroirs*" a espécie. Dessa forma, a seleção e recomendação de cultivares deve ser realizada para cada micro ambiente, dando ênfase para novos sabores e aroma, resultando em cervejas com identidade regionais de maior valor agregado.



## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho vem corroborar com pesquisas de lúpulo, demonstrando que é possível o cultivo no Brasil, apesar dos estudos ainda serem insipientes, a revisão direciona para incremento da cultura através do melhoramento genético é a seleção de genótipos com maior tolerância ao estresse térmico, foto neutros, com maior incremento de crescimento vegetativo.

A interação genótipo x ambiente mostra grande impacto no seu desenvolvimento vegetativo e produtivo, no Brasil devido a diversidade de microclima, sugere-se adequação do manejo cultural, permitindo a produção de substâncias químicas únicas. Outro aspecto importante a considerar no seu sistema produtivo relaciona-se com a colheita, secagem e armazenamento que podem interferir no índice de alfa ácido fornecido a indústria.

Normalmente, o melhoramento da cultura baseia-se nas regiões grandes produtoras como EUA e Alemanha. Contudo, a seleção tem que buscar cultivares com características desejadas a regiões do Brasil, como a seleção de fotoneutras com objetivo sanar o déficit climático por fotoperíodo e de horas de frio. Isso implica em regatar experiências de países de clima temperado que vem alcançando resultados satisfatório com cultivares adaptadas, como o caso da África do Sul.

O aumento sobre a produção e a qualidade de lúpulo no Brasil requer ainda muita pesquisa de campo, necessitando da parceria de produtores de lúpulo, universidades, instituições de fomento e a indústria de cerveja para alavancar a atividade, fornecendo circulação financeira, garantido emprego e renda local.



## REFERÊNCIAS

ALMAGUER, C.; SCHÖNBERGER, C.; GASTL, M.; ARENDT, E. K.; BECKER, T, *Humulus lupulus* – a story that begs to be told, A review. **Journal of the Institute of Brewing**. V. 120, n. 4, p. 289-314, 2014.

APROLUPULO- Associação Brasileira de produtores de lúpulo. Disponível em : <<http://aprolupulo.com.br/>> Acesso em 19 de Fev. 2020.

BAUERLE, W.L. Disentangling photoperiod from hop vernalization and dormancy for global production and speed breeding. **Sci Rep** **9**, 16003. 2019. doi:10.1038/s41598-019-52548-0.

BEVERLEY, A.J.; **The effect of timing of stripping on hop production under south african conditions**. 2015. 82 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomy, University Of Stellenbosch, Stellenbosch, 2015.

BIZOTTO, D. LÚPULO NOS CAMPOS DE CIMA DA SERRA: POTENCIALIDADES CLIMÁTICAS. 2019. 78 f. **Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia**, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2019.

BERNERT, A. F. **Diversidade genética de acessos via ISSR e identificação do sexo de " seedlings" de lúpulo**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Produção Vegetal, Universidade Federal do Paraná, 2018.

BORÉM, A.; MIRANDA, G. V.; FRITSCHÉ-NETO, R. **Melhoramento de plantas**. 2013.

BOUTAIN, J. **On the origin of Hops: Genetic variability, phylogenetic relationships, and Ecological Plasticity of Humulus (Cannabaceae)**. Doutorado em botânica na University of Hawaii at Manoa, EUA, 2014.

BREWERS ASSOCIATION USA. **National Beer Sales & Production Data**. Disponível em: <<https://www.brewersassociation.org/statistics-and-data/national-beer-stats/>> Acesso em: 19 de fev. 2020.

BRITS G. **Breeding strategy for the hop industry**. South African Breweries Hop Farms, George. 2008.

Burgess, A., 1964. *Hops: Botany, Cultivation and Utilization*. Leonard Hill, London.

CARVALHO, C. G. P.; ARIAS, C. A. A.; DE TOLEDO, J. F. F.; DE ALMEIDA, L. A.; SOUZA KIIHL, R. A.; OLIVEIRA, M. F. Interação genótipo x ambiente no desempenho produtivo da soja no Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.989-1000, 2002. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v37n7/10803.pdf>>. Acesso em: 07 jul 2013.

CHAGAS, E.; GARCIA, L. Lúpulo em pleno crescimento no Brasil. **Revista da Cerveja**. 2018.

CRAIN, M. N. **Factors controlling hop flowering and their potential and their potential for use in the brewing and pharmaceutical industries.** Dissertação de mestrado, University of Northern Iowa, 2011.

CERVBRASIL. **Anuário 2016.** p. 64, 2016.

COIMBRA, J. L. M.; BERTOLDO, J. B.; ELIAS, H. T.; HEMP, S.; VALE, N. M.; TOALDO, D.; ROCHA F.; BARILI, L. D.; GARCIA, S. H.; GUIDOLIN, A. F.; KOPP, M. M. Mineração da interação genótipo x ambiente em *Phaseolus vulgaris* L. para o Estado de Santa Catarina. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 2, p. 355-363, 2009

DEGRANDI-HOFFMAN, G.; AHUMADE, FABIANA.; BROBASCO, GENE.; SCHANTZ, L. The effects of beta acids from hops (*Humulus lupulus*) on mortality of *Varroa destructor* (Acari: Varroidae). **Experimental and Applied Acarology**, v. 58, n. 4, p. 407-421, 2012.

DARBY, P. The history of hop breeding and development. **Brew Hist**, v. 121, p. 94-112, 2005.

DE LANGE, W. J.; MAHUMANI, B. K.; ENGELBRECHT, F. A. Climate change impacts on South African hop producer prices. **African Journal of Agricultural Research**, v. 10, n. 7, p. 653-659, 2015.

DODDS, K. **Hops a guid for a new growers.** Disponível em: <<https://www.plantgrower.org/uploads/6/5/5/4/65545169/hops-guide-for-new-growers.pdf>>. Acesso em: 19 de fev. 2020.

DURELLO, R. S.; SILVA, Lucas M.; BOGUSZ JR., S. QUÍMICA DO LÚPULO. **Quím. Nova**, São Paulo, v. 42, n. 8, p. 900-919, Ag. 2019.

EDWARDSON, J.R. Hops: Their Botany, History, Production and Utilization. **Economic Botany**, vol. 6 n°2, apr-jun., 1952, 160-175.

FARAG, M, A; PORZEL, A; SCHMIDT, J; WESSEJOHANN, LA. Metabolite profiling and fingerprinting of comercial cultivars of *humulus lupulus* L. (HOP); a comparison of MS and NMR methods in metabolics. **METABOLICS**. V.8, N.3, P, 492-507, 2012.

FORTESCHI, M.; PORCU, M. C.; FANARI, M.; ZINELLU, M.; SECCHI, N.; BUIATTI, S.; PRETTI, L. Quality assessment of Cascade Hop (*Humulus lupulus* L.) grown in Sardinia. **European Food Research and Technology**, p. 863-871, 2019.

FALCONER, D.S. **Introdução à genética quantitativa.** Viçosa: UFV, 1981. 279p.

HAUNOLD, A. Hop production, breeding, and variety development in various countries. **Journal of the American Society of Brewing Chemists**, v. 39, n. 1, p. 27-34, 1981.

HIERONYMUS, S. **For the love of hops: The practical guide to aroma, bitterness and the culture of hops.** Brewers publications, 2012.

HOP GROWERS OF AMERICA. 2017 **Statistical Report**. Disponível em : < [https://www.usahops.org/img/blog\\_pdf/105.pdf](https://www.usahops.org/img/blog_pdf/105.pdf)> acesso em 10/08/2018.

IHGC - ECONOMIC COMMISSION SUMMARY REPORTS. **International Hop Growers' Convention. Nuremberg, Germany** - November, 2019. Disponível em: [https://www.usahops.org/img/blog\\_pdf/266.pdf](https://www.usahops.org/img/blog_pdf/266.pdf). Acesso em: 18 fev. 2020.

JUANEZ, J. C. Hop (*Humulus Lupulus* L.) and Beer, Benefits of Sleep. **Sleep Disorder & Therapy**, 2012.

MAPA- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abasteciment. REGISTRO NACIONAL DE CULTIVARES – RNC. Disponível em: <[http://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/cultivares\\_registradas.php](http://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/cultivares_registradas.php)> Acesso em: 19 de fev. 2020.

MACKINNON, D. USA Hops: 2019 Statistical Report. Hop Growers of America, Yakima, WA, 2019. [https://www.usahops.org/img/blog\\_pdf/168.pdf](https://www.usahops.org/img/blog_pdf/168.pdf).

MCADAM, E. L.; VAILLANCOURT, R. E.; KOUTOULIS, A.; WHITTOCK, S. P. Quantitative genetic parameters for yield, plant growth and cone chemical traits in hop (*Humulus lupulus* L.). **BMC genetics**, v. 15, n. 1, p. 22, 2014.

MCADAM, E.; FREEMAN, J.; WHITTOCK S, BUCK, E.; JAKSE, J.; CERENAK, A.; JAVORNIK, B.; KILIAN, A.; WANG, C-H.; ANDERSEN D, VAILLANCOURT R, CARLING J, BEATSON R, GRAHAM L, GRAHAM D, DARBY P, KOUTOULIS A. Quantitative trait loci in hop (*Humulus lupulus* L.) reveal complex genetic architecture underlying variation in sex, yield and cone chemistry. **BMC Genomics**. v. 14, n. 1, p. 360, 2013.

MOZNY, M.; TOLASZ, R.; NEKOVAR, J.; SPARKS, T.; TRNKA, M.; ZALUD, Z. The impact of climate change on the yield and quality of Saaz hops in the Czech Republic. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 149, n. 6-7, p. 913-919, 2009.

NAKAWUKA, P.; PETERS, T. R., KENNY, S.; WALSH, F. 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**, v. 98, p. 82-92, 2017.

NESVADBA, V.; CHARVÁTOVÁ, J.; ŠTEFANOVÁ, L. New Varieties and Perspective Genotypes of Hops. **KVASNÝ PRŮMYSL**, v. 63, n. 5, p. 237–240-237–240, 2017.

NESVADBA, V. Breeding process aimed at dwarf hops. **Kvasný průmysl**, v. 62, n. 6, p. 166–172-166–172, 2016.

NEVE, RA. **Hops, Chapman and Hall**, London, p. 36, 1991.

OLSOVSKA, Jana et al. *Humulus lupulus* L.(hops)—a valuable source of compounds with bioactive effects for future therapies. **Mil Med Sci Lett (Voj Zdrav Listy)**, v. 85, n. 1, p. 19-30, 2016.

OIV. Résolution CST 1/2008. Guide OIV pour une vitiviniculture durable: **Production, transformatin et conditionnement des produits**. Verone (It) : OIV, 2008.

PARANHOS, P. **MONDIAL DE LA BIÈRE 2017: CERVEJAS PREMIADAS**. 2017. DISPONÍVEL EM: < [HTTP://WWW.MESTRE-CERVEJEIRO.COM/MONDIAL-DE-LA-BIERE-2017- CERVEJAS-PREMIADAS/](http://www.mestre-ervejeiro.com/mondial-de-la-biere-2017-ervejas-premiadas/)>. ACESSO EM: 24 abril. 2020.

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

RADTKE, V.M. et al. **Zoneamento Agroecológico e Socioeconômico de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 1999.

SEBRAE - Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **Potencial de consumo de cervejas no Brasil, 2014**. Disponível em: <[http://www.sebraemercados.com.br/wp-content/uploads/2015/12/2014\\_05\\_20\\_RT\\_Mar\\_Agron\\_Cerveja\\_pdf.pdf](http://www.sebraemercados.com.br/wp-content/uploads/2015/12/2014_05_20_RT_Mar_Agron_Cerveja_pdf.pdf)> Acesso em 20 de fev. 2020.

SILVA, M A. Introdução do lúpulo pelo senhor comendador Antônio José Gomes Pereira Bastos. **Revista agrícola do imperial instituto fluminense de agricultura**. n 1. p 58. 1958.

SILVA, CTD. **CARACTERIZAÇÕES QUÍMICAS DOS PRIMEIROS CULTIVARES DE LÚPULO (*Humulus lupulus* L.) PRODUZIDOS NO BRASIL**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo. Espírito Santo, 2019.

SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **Valorização de Produtos com Diferencial de Qualidade e Identidade indicações Geográficas e Certificações para Competitividade nos Negócios**. Brasília, 2005.

USA hops Statistical Report 2018. Disponível em:

< <https://www.usahops.org/enthusiasts/stats.html>>. Acesso em: 17 de jan. 2020.

VAN HOLLE A., VAN LANDSCHOOT A., ROLDÁN-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. *Instit. Brew. Distil.* 123 312–318. 10.1002/jib.433

VENCOVSKY, R., BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 495p.

VENÈ, R.; BENELLI, R.; MINGHELLI, S.; ASTIGIANO, S.; TOSETTI, F.; FERRARI, N. Xanthohumol impairs human prostate cancer cell growth and invasion and diminishes the incidence and progression of advanced tumors in TRAMP mice. **Molecular medicine**, v. 18, n. 9, p. 1292-1302, 2012.

YAKIMA CHIEF – HOPUNION LLC. **HOP VARIETY HANBOOK**. Yakima, Washington, 2016.



## ANEXOS

**Tabela 7.** Quadro de magnitude de interação de acordo com a relação fenótipo ambiente.

	Genótipo G	Ambiente E	
Cultivares em diferentes locais	Grande	Grande	Interação Grande GE
Única cultivar em vários locais	Pequeno	Grande	Interação importante Grande
Cultivares e único Local	Grande	Pequena	Não tem interação GE
Único Local e única cultivar	Pequeno	Pequeno	Não tem interação GE

