

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
CURSO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS**

MARCO MIELNICZUK BRUGGER

**LÚPULOS PARA PRODUÇÃO CERVEJEIRA E O PROCESSO DE DRY
HOPPING: UMA REVISÃO DA LITERATURA**

PORTO ALEGRE

2023

MARCO MIELNICZUK BRUGGER

**LÚPULOS PARA PRODUÇÃO CERVEJEIRA E O PROCESSO DE DRY
HOPPING: UMA REVISÃO DA LITERATURA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de Engenheiro de
Alimentos do Instituto de Ciência e
Tecnologia de Alimentos da Universidade
Federal do Rio Grande do Sul

Professor orientador: Rafael Costa Rodrigues

PORTO ALEGRE

2023

MARCO MIELNICZUK BRUGGER

**LÚPULOS PARA PRODUÇÃO CERVEJEIRA E O PROCESSO DE DRY
HOPPING: UMA REVISÃO DA LITERATURA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Alimentos do Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Aprovado em: 08/02/2024

Prof. Dr. Rafael Costa Rodrigues

Doutor em Engenharia Química UFRGS

Prof. Dr. Vitor Manfroi

Doutor em Ciência e Tecnologia Agroindustrial UFPel

Prof. Msc. Jucelio Kulmann de Medeiros

Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos UFRGS

RESUMO

O lúpulo é uma planta de trepadeira de origem europeia, que começou a ser utilizada na produção cervejeira pelas suas propriedades bacteriostáticas, de forma a aumentar a vida útil do produto final, mas também por agregar características sensoriais de amargor e de aroma para o produto final. A propriedade de amargor é dada a cerveja a partir da isomerização de compostos de amargor presentes nos α -ácidos do lúpulo durante a etapa de fervura, como a humulona, cohumulona e adhumulona, que, por sua vez necessitam um tempo maior a altas temperaturas para ocorrer, portanto, lúpulos de amargor devem ser adicionados ao início da etapa de fervura para ocorrer uma isomerização efetiva desses compostos. Já para as propriedades aromáticas, em razão de os compostos aromáticos como o mirceno, humuleno e cariofileno, que correspondem a 80% do teor total de óleos essenciais, serem provenientes de óleos essenciais presentes no lúpulo e estes serem voláteis, lúpulos aromáticos normalmente são adicionados ao final da fervura, de forma a não volatilizar esses compostos. No mercado cervejeiro atual o lúpulo é utilizado principalmente em forma de pellets mas, além do seu uso convencional na produção durante a etapa de fervura, pode ser adicionado posteriormente, em um processo de *Dry Hopping*, que consiste em uma infusão a frio de lúpulo na etapa de maturação da cerveja e tem como principal objetivo a conferência de aroma a cerveja, seja feito de forma estática ou dinâmica. A Alemanha, na região de Hallertau, e os Estados Unidos da América, nos estados de Washington, Oregon e Idaho são, juntos, responsáveis por cerca de 80% da produção mundial de lúpulo, já que, nessas regiões, é possível encontrar condições ideais para o cultivo do lúpulo: solos argilosos ou profundamente arenosos e de fácil drenagem, com as raízes com mais de 2 m de profundidade e alta exposição solar durante o crescimento - entre 15h e 18h de sol por dia. Porém, pesquisas apontam que cervejas produzidas com algumas variedades de lúpulo nacional apresentaram resultados próximos ou até melhores do que cervejas produzidas com essas mesmas variedades de lúpulo, mas internacionais.

Palavras chaves: Lúpulo, Lúpulo nacional, Cerveja, α -ácidos, β -ácidos, *Dry Hopping*, Óleos essenciais.

ABSTRACT

Hops are a climbing flower of European origin that began to be used in beer production for its bacteriostatic properties, in order to increase the shelf life of the final product; but also for adding sensory characteristics of bitterness and aroma to the final product. The bitterness property is given to beer from the isomerization of bitter compounds present in hop α -acids during the boiling stage, such as humulone, cohumulone and adhumulone, which, in turn, require a longer time at high temperatures to occur, therefore, bittering hops must be added at the beginning of the boiling stage for effective isomerization of these compounds to occur. As for aromatic properties, because aromatic compounds such as myrcene, humulene and caryophyllene, which correspond to 80% of the total content of essential oils, come from essential oils present in hops and these are volatile, aromatic hops are normally added at the end of boiling, so as not to volatilize these compounds. In the current beer market, hops are used mainly in the form of pellets but, in addition to their conventional use in production during the boiling stage, they can be added later, in a Dry Hopping process, which consists of a cold infusion of hops in stage of beer maturation and its main objective is enhancing the beer aroma, whether statically or dynamically. Germany, in the Hallertau region, and the United States, in the states of Washington, Oregon and Idaho, are together responsible for around 80% of global hop production, as ideal conditions for cultivation can be found in these regions. of hops: clayey or deeply sandy soils with easy drainage, with roots more than 2 m deep and high sunlight exposure during growth - between 15h and 18h of sun per day. However, research shows that beers produced with some national hop varieties showed similar or even better results than beers produced with these same hop varieties, but international.

Keywords: Hops, National hops, Beer, α -acids, β -acids, Dry Hopping, Essential oils.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	8
2 OBJETIVOS.....	9
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	10
3.1 Cerveja.....	10
3.1.1 Histórico de Mercado.....	11
3.1.2 Composição Cervejeira.....	14
3.1.2.1 Água.....	14
3.1.2.2 Malte de Cevada.....	14
3.1.2.3 Levedura.....	15
3.1.2.4 Lúpulo.....	15
3.1.3 Processo Produtivo.....	16
3.2 Lúpulo.....	21
3.2.1 Composição Química do Lúpulo.....	23
3.2.1.1 Resinas Macias.....	23
3.2.1.2 Óleos Essenciais.....	26
3.2.1.3 Polifenóis.....	27
3.3 Dry Hopping.....	29
3.3.1 Método Estático.....	30
3.3.2 Método Dinâmico.....	31
3.3.3 Lúpulos Comumente Usados em Dry Hopping.....	32
3.3.3.1 Citra.....	33
3.3.3.2 Cascade.....	33
3.3.3.3 Amarillo.....	34
3.3.3.4 Simcoe.....	34
3.3.3.5 Galaxy.....	35
3.3.3.6 Vic Secret.....	35
3.4 Potencial Tecnológico do Lúpulo Brasileiro.....	36
4 CONCLUSÃO.....	41
REFERÊNCIAS.....	42

1 INTRODUÇÃO

A origem da cerveja remonta ao surgimento das primeiras bebidas fermentadas, as quais eram produzidas a partir de ingredientes como uvas, tâmaras ou cevada. Essa prática teve seu provável início na Mesopotâmia, local onde o grão da cevada germinava naturalmente. Evidências sugerem, inclusive, que, há mais de 8.000 anos, cerveja já era produzida na Babilônia utilizando cevada maltada como principal insumo. (DRAGONE; SILVA, 2010)

O Decreto Nº 9.902, de 2019, que regulamenta a Lei 8.918 de 1994, define que cerveja é a bebida resultante da fermentação, a partir da levedura cervejeira, do mosto de cevada malteada ou de extrato de malte, submetido previamente a um processo de cocção adicionado de lúpulo ou extrato de lúpulo, hipótese em que uma parte da cevada malteada ou do extrato de malte poderá ser substituída parcialmente por adjunto cervejeiro.

Segundo a CervBrasil (Associação Brasileira da Indústria de Cerveja), o Brasil é o terceiro maior produtor de cerveja do mundo, ficando atrás apenas da China e dos Estados Unidos. A produção anual nacional chega a 14 bilhões de litros, representando aproximadamente 1,6% do Produto Interno Bruto (PIB) do país.

Lúpulo é uma flor de trepadeira de origem europeia que começou a ser utilizada na produção cervejeira pelas suas propriedades bacteriostáticas, de forma a aumentar a vida útil do produto final. Ademais, o lúpulo também contribui com características sensoriais aromáticas e de amargor no produto final a partir dos óleos essenciais e da isomerização de compostos presentes nos α -ácidos do lúpulo, como a humulona, cohumulona e adhumulona, respectivamente.

No mercado cervejeiro atual o lúpulo é utilizado principalmente em forma de pellets, nos quais seu conteúdo de óleos essenciais e de compostos de amargor estão concentrados, e além do seu uso convencional durante a etapa de fervura, pode ser adicionado posteriormente, no processo de Dry Hopping. Esse processo consiste em uma extração a frio de compostos voláteis e não voláteis do lúpulo. A técnica é muito utilizada por cervejeiros de forma a aumentar a complexidade aromática e alcançar estabilidade no sabor da cerveja. Essa técnica, apesar de utilizada em determinados estilos cervejeiros, ainda possui escassa literatura científica.

2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é realizar uma breve análise quanto aos insumos essenciais e ao modelo tradicional de produção cervejeira, com uma revisão mais aprofundada no lúpulo e nas diferentes aplicações do mesmo. Os objetivos específicos são: analisar a química do lúpulo, o potencial tecnológico do lúpulo de cultivo brasileiro e o processo de Dry Hopping; comparar química e sensorialmente cervejas que passaram pelo processo de Dry Hopping com aquelas que passaram apenas pelo método produtivo convencional, e cervejas que passaram pelos métodos estático e dinâmico de Dry Hopping; e mencionar as principais cultivares de lúpulos empregadas no processo de Dry Hopping com suas respectivas características aromáticas.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Cerveja

É praticamente impossível especificar uma data exata para a criação da cerveja. Há evidências que remontam há 9 mil anos, na Mesopotâmia (atual Iraque). Os sumérios teriam acidentalmente – por meio da fermentação de cereais, ou mesmo dos pães em contato com a água – descoberto o que conhecemos hoje como cerveja.

Foi na Idade Média que a cerveja teve sua grande ascensão. Neste período, a Igreja Católica também se envolveu na produção da bebida, e as abadias foram fundamentais para aperfeiçoar essa fabricação. Não por acaso, algumas das marcas mais antigas de cervejas produzidas foram criadas em mosteiros.

Conforme definido no art. 36, do Decreto nº 9.902, de 2019, cerveja é a bebida resultante da fermentação, a partir da levedura cervejeira, do mosto de cevada malteada ou de extrato de malte, submetido previamente a um processo de cocção adicionado de lúpulo ou extrato de lúpulo, hipótese em que uma parte da cevada malteada ou do extrato de malte poderá ser substituída parcialmente por adjunto cervejeiro.

No Brasil, conforme descrito nos dados de mercado desse estudo, existe um significativo consumo de cervejas. Com o crescente aumento do consumo de cervejarias, aumentam, também, as opções de cervejas disponíveis no mercado, seja por diferentes estilos ou por diferentes tecnologias aplicadas durante a produção cervejeira, seja ela aplicada na escolha do malte utilizado, na levedura utilizada, ou no lúpulo utilizado.

3.1.1 Histórico do Mercado Nacional

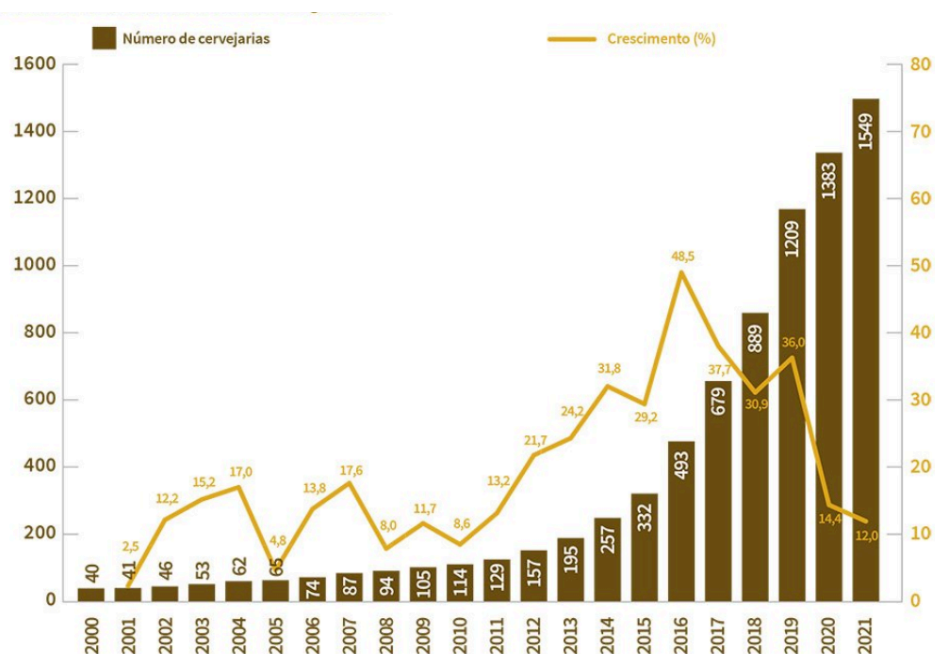
É dito que, no Brasil, o hábito de consumir cerveja teve início por volta de 1808, durante a vinda da família real portuguesa (AQUARONE et. al, 2001). Segundo Morado (2011), em 1853, o alemão Henrique Kremer fundou a Bohemia, considerada a primeira cervejaria imperial do Brasil, localizada em Petrópolis - RJ. Em seguida, foram criadas a Companhia Cervejaria Brahma (1888) e a Antártica Paulista (1889). Essas duas cervejarias se fundiram originando a Ambev, que mantém o domínio do mercado nacional de cerveja.

Atualmente, segundo a CervBrasil (Associação Brasileira da Indústria de Cerveja), o Brasil é o terceiro maior produtor de cerveja do mundo, ficando atrás apenas da China e dos Estados Unidos da América. A produção anual nacional chega a 14 bilhões de litros com faturamento aproximado de 100 bilhões de reais. Isso representa cerca de 1,6% do PIB do país e a criação de 2,7 milhões de empregos no país.

Ainda de acordo com a CervBrasil, do total de cervejas consumidas no país no ano de 2019, 59,4% eram do grupo Ambev, seguida pela Heineken com 21%, grupo Petrópolis com 15,2% e as demais cervejarias e microcervejarias somaram 4,4% da fatia de mercado.

A Figura 1 mostra a quantidade crescente de cervejarias registradas no Brasil entre os anos de 2000 a 2021. Isso sugere que o mercado cervejeiro no país está em constante crescimento desde o ano de 2000, já que, em todos os anos durante esse período, o número total de cervejarias registradas aumentou em comparação com o ano anterior.

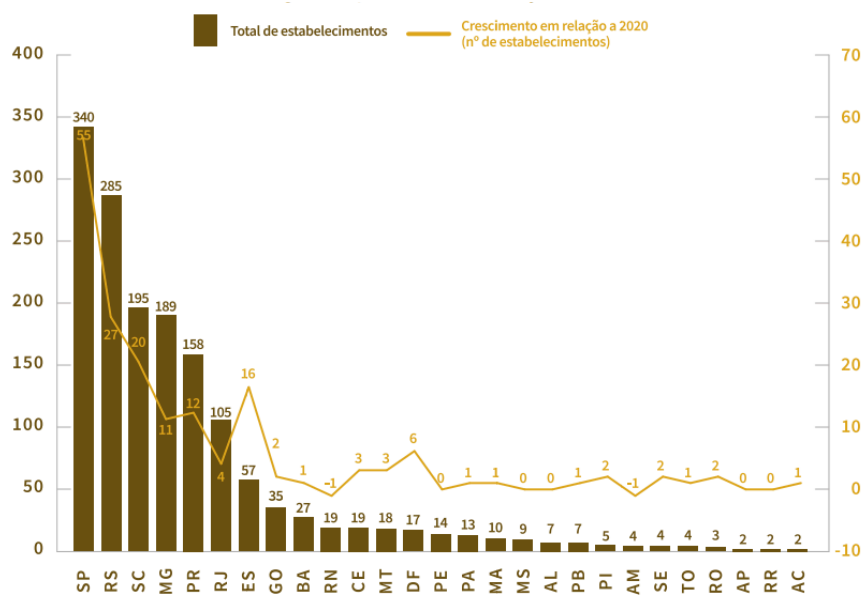
Figura 1: Crescimento do número cervejarias no Brasil



Fonte: CervBrasil, 2021.

A Figura 2 mostra o total de cervejarias registradas em cada estado do Brasil nos anos de 2020 e 2021. Por meio deste, fica claro observar que a maior parte do mercado cervejeiro brasileiro está situado nas regiões Sul e Sudeste do país.

Figura 2: Estados com maior número de cervejarias no Brasil



Fonte: CervBrasil, 2021.

3.1.2 Composição Cervejeira

O Decreto N° 9.902, de 2019, definido conforme a lei 8.918 de 1994, define que cerveja é a bebida resultante da fermentação, a partir da levedura cervejeira, do mosto de cevada malteada ou de extrato de malte, submetido previamente a um processo de cocção adicionado de lúpulo ou extrato de lúpulo, hipótese em que uma parte da cevada malteada ou do extrato de malte poderá ser substituída parcialmente por adjunto cervejeiro. Os adjuntos cervejeiros podem ser: milho, arroz, cevada, trigo, centeio, sorgo e aveia que, acrescentados ao malte de cevada, dentro das medidas permitidas, tornam os custos menores para as cervejarias. Pode-se visualizar a descrição de cada um dos insumos utilizados nas cervejas a seguir.

3.1.2.1 Água

De acordo com De Keukeleire, 2000, em torno de 90% a 95% da cerveja é composta por água, logo, suas características físico-químicas e organolépticas influenciam diretamente a qualidade e a segurança do produto final. Para atender as exigências de qualidade do mercado e da Portaria GM/MS nº 888, de 04 de Maio de 2021, a água deve cumprir alguns requisitos como: ser livre de turbidez; ter pH controlado e obedecer padrões microbiológicos. A turbidez é produzida por pequenas partículas orgânicas ou inorgânicas em suspensão, como terra, areia e outros minerais. Micro-organismos presentes no meio podem utilizar essas partículas como fonte de alimentação, prejudicando e dificultando o processo de desinfecção (De Keukeleire, 2000).

O pH, conceito introduzido pelo químico dinamarquês Søren Sørensen em 1909, mede a concentração de íons hidrogênio em uma solução. De acordo com Rabinovitch e Justo de Oliveira, uma boa faixa de pH da água deve ficar em torno de 5 a 9,5.

3.1.2.2 Malte de Cevada

O processo de maltagem, pelo qual o malte é obtido, consiste pela molha, germinação parcial e secagem do grão, sendo um processo de duração de seis a sete dias. Por meio desse processo as enzimas do núcleo do grão são ativadas e a concentração de amido interno atinge seu pico, componentes esses fundamentais

para a etapa de mosturação e, conseqüentemente, de grande impacto na qualidade do produto final (ASSUNÇÃO, 2018).

3.1.2.3 Levedura

Leveduras, também conhecidas como “fermento” cervejeiro, apresentam a capacidade de realizar o processo fermentativo da produção cervejeira, ou seja, a transformação dos açúcares fermentáveis em gás carbônico e álcool etílico, com liberação de calor. Leveduras cervejeiras são do gênero *Saccharomyces*, sendo utilizadas a *Saccharomyces cerevisiae* para produção de cervejas do tipo Ale, de alta fermentação, e *Saccharomyces uvarum* para produção de cervejas do tipo Lager, de baixa fermentação. As características sensoriais de aroma e sabor das cervejas provém, principalmente, do malte e do lúpulo utilizado na produção, mas a ação das leveduras também influencia nesses aspectos por meio de subprodutos gerados durante a etapa fermentativa, como ésteres, que trazem sabor e aromas frutados à cerveja; fenólicos, que muitas vezes dão toques de picância; e acetaldeído, que traz aroma e sabor próximo da maçã verde. Esses e outros sabores e aromas trazidos pelas leveduras podem ser desejáveis ou não no produto final, a depender do estilo cervejeiro que está sendo produzido (CARVALHO, 2007).

3.1.2.4 Lúpulo

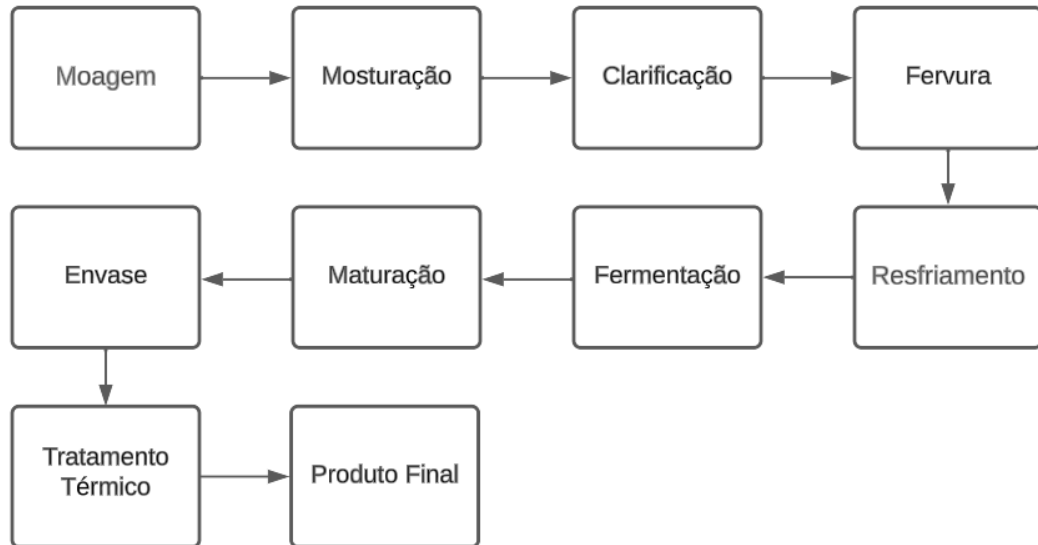
Lúpulo é uma planta de trepadeira de origem europeia que começou a ser utilizada na produção cervejeira pelas suas propriedades bacteriostáticas, de forma a aumentar a vida útil do produto final, e também entregando características sensoriais aromáticas e de amargor. No mercado cervejeiro atual o lúpulo é utilizado principalmente em forma de pellets e além do seu uso convencional na produção durante a etapa de fervura, pode ser adicionado posteriormente, em um processo de *Dry Hopping* (DURELLO, 2019).

Maiores especificações sobre o lúpulo serão abordadas no decorrer deste estudo.

3.1.3 Processo Produtivo

O processo de fabricação de cerveja está relacionado a uma série de etapas para a obtenção do produto final. A Figura 3 ilustra o fluxograma do processo de produção cervejeira, o qual é descrito em detalhes na sequência.

Figura 3: Fluxograma Produtivo da Cerveja



Fonte: Aroh, 2019.

- **Moagem:** Esta etapa possui enfoque em separar o grão da casca, de forma a expor o seu amido interno e aumentar a superfície de contato para as seguintes etapas do processo e possibilitar uma ação enzimática e hidrólise mais efetivas. Essa etapa inicial é de muita importância para o processo, pois influencia de forma substancial na qualidade tecnológica das etapas seguintes, principalmente na etapa de mosturação, e, conseqüentemente, influencia na qualidade do produto final, pois, devido ao aumento da área superficial de exposição do amido, há maior interação da enzima com este, aumentando a velocidade das reações durante a etapa de mosturação. As duas tecnologias principais de moagem são a moagem seca e a moagem úmida. A moagem úmida é tradicionalmente mais utilizada pois apresenta resultados satisfatórios ao produto final ao permitir uma menor granulometria do malte moído, o que aumenta a exposição do amido interno do grão, porém

uma moagem excessivamente fina permite maior extração de substâncias não desejadas e dificulta a etapa de clarificação do mosto. (SANTOS, 2006)

- **Mosturação:** O objetivo principal da mosturação no processo de produção de cerveja é dissolver as substâncias do malte e realizar a hidrólise do amido em açúcares. Nesse estágio, obtém-se a extração de aproximadamente 65% dos sólidos totais do malte que, dissolvidos em água, constituem o mosto para a posterior fermentação da cerveja. Durante a mosturação, enzimas são ativadas, sendo sua atividade dependente da temperatura, tempo e acidez do meio. As principais enzimas do malte são as amilases, responsáveis por quebrar o amido em açúcares, que servirão como substrato para as leveduras durante a etapa de fermentação; as proteases, que atuam na quebra de proteínas essenciais para a fabricação da cerveja; e as glucanases, que quebram as moléculas responsáveis pela rigidez do amido, os glucanos. Cada grupo enzimático possui sua faixa de temperatura e pH ideais de atuação, e controlando os tempos de permanência em diferentes temperaturas, é possível promover a atuação específica destes grupos enzimáticos (CARVALHO, 2007).

As Tabelas 1 e 2 mostram as faixas de temperaturas e pH ótimas durante a etapa de mosturação para ativação de cada uma dessas enzimas.

Tabela 1: Faixa de temperaturas ótimas para atuação de enzimas na mosturação.

Enzimas	Faixa de Temperatura
Glucanases	35°C - 45°C
Proteases	45°C - 55°C
β - amilase	60°C - 65°C
α - amilase	70°C - 75°C

Fonte: CARVALHO, 2007.

Tabela 2: Faixa de pH ótimo para atuação de enzimas na mosturação

Enzimas	Faixa de pH
Glucanases	5,0
Proteases	5,2 - 8,2
β - amilase	5,4 - 5,6
α - amilase	5,6 - 5,8

Fonte: CARVALHO, 2007.

De forma a encerrar a atividade enzimática atuante sobre o mosto, ao final da etapa de mosturação, a temperatura é aumentada até 76°C. Nesse momento todo o amido presente no malte já deve ter sido hidrolisado e, por isso, essas condições de temperatura e pH da etapa de mostura devem ser seguidas para se obter um mosto de boa qualidade (CARVALHO, 2007).

- **Clarificação:** Esta etapa do processamento se baseia em separar o líquido açucarado formado na etapa de mostura das partes insolúveis, utilizando as cascas remanescentes como meio filtrante. Neste caso, o mosto é transferido para uma tina de clarificação, onde ocorre a separação sólido - líquido através de uma camada de cascas de malte, as partes insolúveis do mesmo. O mosto é recirculado para acomodar a camada filtrante e conseqüentemente diminuir a turbidez do mosto na saída da tina de clarificação. Por isso, a granulometria do malte após a moagem não pode ser excessivamente fina, já que, neste caso, a camada insolúvel não possui uma satisfatória propriedade filtrante, causando turbidez no produto final (MOSHER; TRANTHAM, 2017).
- **Fervura e Lupulagem:** Finalizada a clarificação, o mosto é aquecido até temperaturas próximas a 100°C e se inicia a etapa de fervura. É nessa etapa que o lúpulo, componente que, entre outras funcionalidades, agrega amargor e aroma ao produto final, é adicionado e, juntamente com a alta temperatura do processo, estabiliza a composição do mosto, inativando amilases e proteases que não foram inativadas na etapa final da mosturação. Outras funcionalidades da etapa de fervura durante o processamento cervejeiro incluem a concentração de solutos no mosto, pela evaporação de água

durante o processo; aromatização e geração de amargor pela ação do lúpulo adicionado; eliminação de alguns microrganismos do mosto pela aplicação de alta temperatura; e caramelização de alguns açúcares, de forma a dar mais complexidade sensorial ao produto final (CARVALHO, 2007). Dependendo das características aromáticas e de amargor que desejam, são mudados os tempos de adição do lúpulo durante esta etapa. Em razão de a propriedade aromática dos lúpulos ser proveniente de óleos essenciais da flor e estes serem voláteis, lúpulos aromáticos normalmente são adicionados ao final da fervura. Já a propriedade de amargor é dada a partir da isomerização de compostos de amargor presentes nos α -ácidos do lúpulo, como a humulona, cohumulona e adhumulona, que, por sua vez necessitam um tempo maior a altas temperaturas para ocorrer. Portanto, lúpulos de amargor devem ser adicionados ao início da etapa de fervura para conseguirem transferir suas propriedades de amargor para o produto final (KUNZE, 2009).

- **Resfriamento:** Após a etapa de fervura o mosto deve ser resfriado de 100°C até temperaturas próximas a 20°C. Isso deve ser feito para que seja interrompida a isomerização dos α -ácidos, de forma a evitar que o produto final fique com amargor acima do desejado; para que os óleos essenciais do lúpulo de adição tardia, responsáveis pelas propriedades aromáticas do mesmo, não sejam volatilizados; evitar contaminação microbiológica; e evitar a formação de DMS (Dimetil Sulfeto). Após a etapa de resfriamento, o mosto é transferido aos tanques fermentadores (CARVALHO, 2007).

Para essa etapa do processamento, geralmente são utilizados trocadores de calor de placas, nos quais o mosto cervejeiro troca calor com um fluido refrigerante, normalmente água gelada (KUNZE, 2009).

- **Fermentação:** Após resfriado e transferido para um tanque fermentador, o mosto é adicionado das leveduras, dando início à fase de fermentação. Nesta etapa as leveduras realizam a reação de fermentação alcoólica, consumindo o açúcar fermentável disponível e liberando álcool etílico, gás carbônico e calor. Durante esta etapa, o controle de temperatura é essencial, devendo ser mantida em uma faixa de 10 a 15°C, pois é nessa faixa que as leveduras vão ter sua capacidade fermentativa otimizada, logo, tem grande impacto na qualidade do produto final (KUNZE, 2009).

Esta etapa tem uma duração média de 5 a 8 dias, dependendo da qualidade e quantidade de levedura utilizada; concentração de açúcares e qualidade do mosto; e da temperatura utilizada no processo (MOSHER; TRANTHAM, 2017).

- **Maturação:** Concluída a etapa de fermentação, a temperatura do tanque fermentador é reduzida até valores próximos a 0°C e, a maior parte das leveduras foi separada por decantação. Tem início, então, a etapa de maturação da cerveja. Nesta fase do fluxo produtivo cervejeiro ocorrem mudanças sensoriais sutis, que auxiliam a padronizar o sabor da cerveja, alguns componentes indesejáveis que podem ser formados durante a fermentação são eliminados e o açúcar fermentável residual é consumido pela fração de leveduras remanescente, em um processo conhecido como fermentação secundária. O processo de maturação pode levar de 6 a 30 dias, dependendo da cepa de levedura utilizada durante a fermentação, da temperatura do meio durante essa etapa, e também da escolha do produtor cervejeiro já que, quanto maior for o tempo de maturação, mais serão eliminadas as substâncias indesejadas e mais “arredondado” será o paladar. É também na maturação que ocorre a maior solubilização do gás carbônico formado ao longo da fermentação e também da própria maturação na cerveja em si, que é fundamental para a formação de uma espuma consistente e para gerar frescor na cerveja. Não é desejável uma carbonatação excessiva, que forma muita espuma e deixa a cerveja sem corpo; e nem uma baixa carbonatação, que permite maior incorporação de oxigênio e deixa a cerveja com aspecto de choca. Nessa etapa também é possível adicionar condimentos a cerveja como frutas, sementes ou lúpulos de aroma, processo este, denominado *Dry Hopping*, quando se tem o objetivo de aumentar a complexidade sensorial da cerveja (CARVALHO, 2007; MOSHER, TRANTHAM, 2017).
- **Envase:** Após concluída a etapa de maturação, a cerveja está pronta para ser distribuída ao mercado, sendo então encaminhada para a linha de envase. Convencionalmente são utilizadas garrafas de vidro (de 330 mL, 600 mL ou 1000 mL) ou latas metálicas (de 350 mL ou 473 mL) e, em menor quantidade, em barris metálicos de 20, 30 ou 50 litros. Independentemente de onde a cerveja for embalada, a embalagem possui uma mesma função, a

de proteger a qualidade sensorial e microbiológica da cerveja; e também de facilitar a distribuição do produto final (MOSHER; TRANTHAM, 2017).

- **Tratamento Térmico:** O tratamento térmico das cervejas ocorre pelo processo de pasteurização. A pasteurização é utilizada comumente em cervejas envasadas em garrafas de vidro ou em latas metálicas, e consiste no aquecimento a temperatura de 60°C, com posterior resfriamento de forma a eliminar microrganismos patogênicos e outros não esporulados, dando segurança microbiológica para o produto final (CARVALHO, 2007).

Cabe ressaltar que perante a legislação brasileira o chopp e a cerveja são produtos distintos e desta maneira registrados individualmente nos sistemas de controle do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Esta distinção se dá pelos processos de conservação da bebida sendo que somente pode ser chamada de chopp a cerveja que não tenha sido submetida ao processo de pasteurização, conforme inciso III do art.37 do Decreto 9.902/2019: Art. 37. Das características de identidade da cerveja deverá ser observado o seguinte: (...) III - a cerveja deverá ser estabilizada biologicamente por processo físico apropriado, podendo ser denominada de chope ou chopp a cerveja não submetida a processo de pasteurização para o envase (BRASIL, 2019).

3.2 Lúpulo

Humulus lupulus Linnaeus, ou apenas lúpulo, é utilizado na produção cervejeira e é descrito como uma trepadeira perene que produz flores ricas em resinas, que conferem o amargor à cerveja; polifenóis, com propriedades antioxidantes; e óleos essenciais, que conferem aroma a cerveja. Vale ressaltar que a indústria cervejeira tem interesse apenas em flores de lúpulo, sejam peletizadas ou não, não fertilizadas fêmeas, pois somente nelas são encontrados esses compostos em quantidades desejáveis (DURELLO, 2019).

Devido a suas propriedades antimicrobianas, anti-inflamatórias, calmantes e fitoestrogênicas, o lúpulo está em ascensão na área da saúde, mas o consumo pela indústria cervejeira ainda corresponde a 97% da produção mundial da planta. O lúpulo, na cerveja, é tido como tendo o mesmo impacto de importância que o malte,

isto é, variando-se apenas o tipo e/ou a quantidade de lúpulo utilizada em determinada produção são feitas cervejas totalmente distintas em termos de aroma e amargor (DURELLO, 2019).

De acordo com Farag e Wessjohann (2012), o lúpulo é uma planta de grande importância econômica e cultivada em zonas temperadas do planeta. Por volta de 1516, a Alemanha decretou que o lúpulo seria o único ingrediente utilizado pelas cervejarias com o intuito de conferir amargor e aroma ao produto.

Alemanha (Hallertau) e Estados Unidos da America (Washington, Oregon e Idaho) são, juntos, responsáveis por cerca de 80% da produção mundial de lúpulo, já que, nesses países, é possível encontrar condições ideais para o cultivo do lúpulo: solos argilosos ou profundamente arenosos e de fácil drenagem, com as raízes com mais de 2 m de profundidade e alta exposição solar durante o crescimento - entre 15h e 18h de sol por dia com clima frio também (NEVE, 1991).

3.2.1 Composição Química do Lúpulo

A composição química do lúpulo é complexa devido à versatilidade do mesmo, como mencionado anteriormente; ao utilizar dois tipos diferentes de lúpulo para uma mesma receita de cerveja, podemos obter dois resultados completamente diferentes. A Tabela 3 mostra os intervalos médios de composição do lúpulo expressos em 10% de umidade.

Tabela 3: Principais constituintes encontrados no lúpulo

Constituinte	Quantidade %
Resinas totais	15 - 30
Óleos essenciais	0,5 - 3
Proteínas	15
Monossacarídeos	2
Polifenóis	4
Pectinas	2
Aminoácidos	0,1
Cinzas	8
Água	10
Celulose/Lignina	43

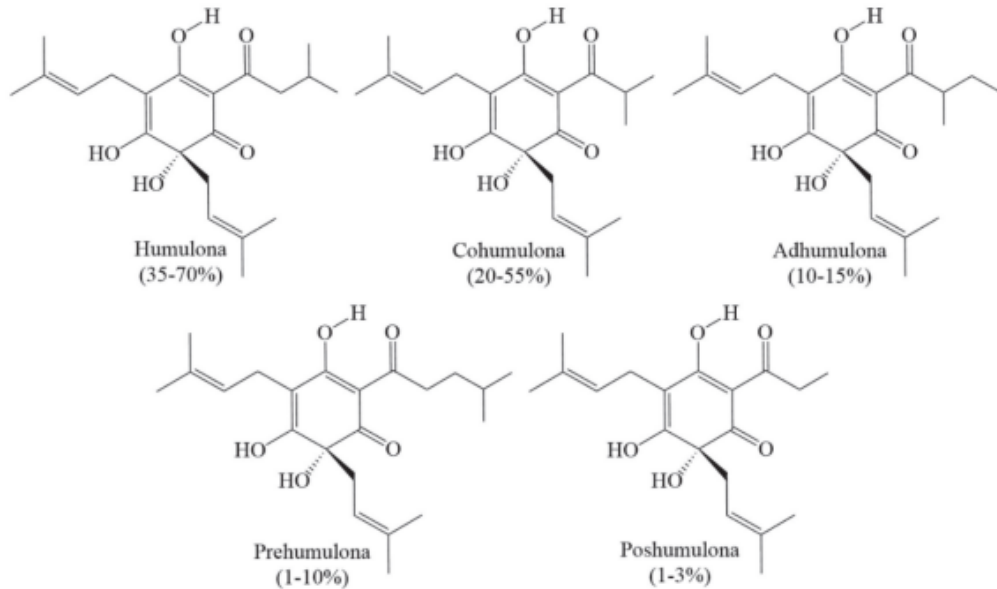
Fonte: DURELLO, 2019.

3.2.1.1 Resinas Macias

As resinas macias podem ser subdivididas em α -ácidos e β -ácidos. São nas resinas macias que se encontram os ácidos amargos do lúpulo, constituídos por uma mistura de α -ácidos e β -ácidos (dentro desses subgrupos, humulonas e lupulonas, respectivamente), que correspondem de 5% a 21% da massa total do lúpulo em base seca. O teor de α -ácidos no lúpulo é muito dependente da cultivar mas, em média, representa de 9 a 10% da massa do lúpulo em base seca. A fração dos α -ácidos é composta por uma mistura de cinco humulonas análogas, sendo elas a humulona, que representa de 35 a 70% do conteúdo total de α -ácidos; cohumulona, de 20 a 55%; adhumulona, de 10 a 15%; prehumulona, de 1 a 10%; e

a poshumulona, de 1 a 3% (DURELLO, 2019). As estruturas químicas desses compostos são mostradas na Figura 4.

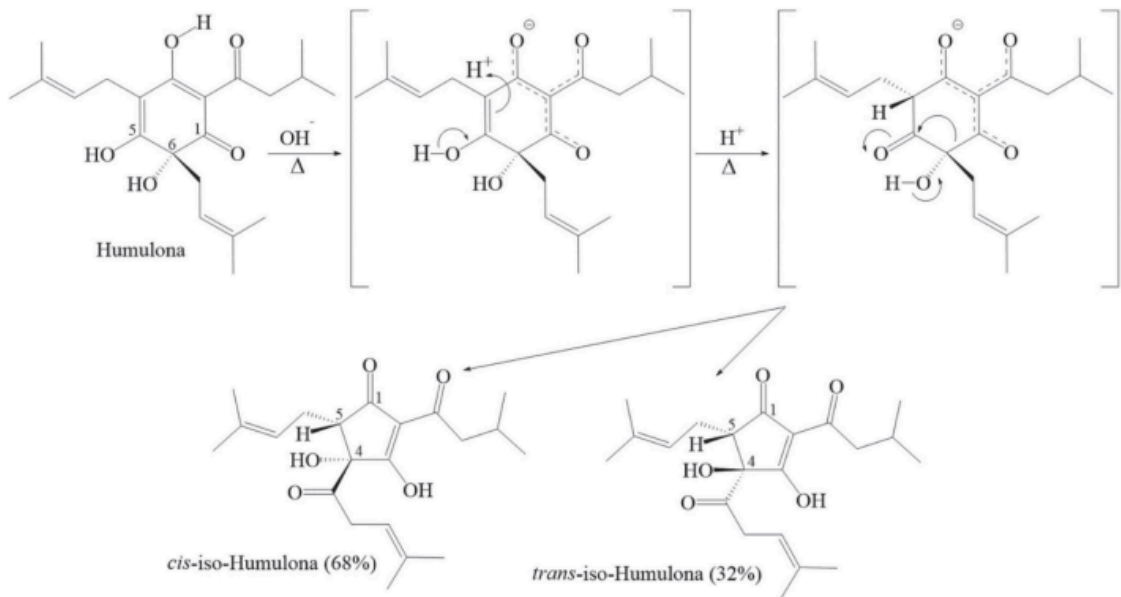
Figura 4: Estruturas químicas dos principais α -ácidos (humulonas) do lúpulo.



Fonte: VERZELE; KEUKELEIRE, 1991.

A principal relevância das humulonas está ligada à sua capacidade de conferir o amargor característico ao produto final. Esse amargor desempenha um papel fundamental ao equilibrar a doçura proveniente do malte, resultando em uma cerveja refrescante e não enjoativa ao paladar. Para isso, os chamados lúpulos de amargor, ou seja, lúpulos com maior teor de α -ácidos são adicionados ao início da etapa de fervura, na qual as cinco humulonas sofrem um processo de isomerização, que resulta nas formas isomerizadas dos α -ácidos, como a isocohumulona; a isohumulona; e a isoadhumulona, que conferem mais amargor do que as formas não isomerizadas e também são mais solúveis no mosto cervejeiro (FERGUS; GRAHAM, 2006). A isomerização da humulona em cis-iso-Humulona e trans-iso-Humulona pode ser vista na Figura 5.

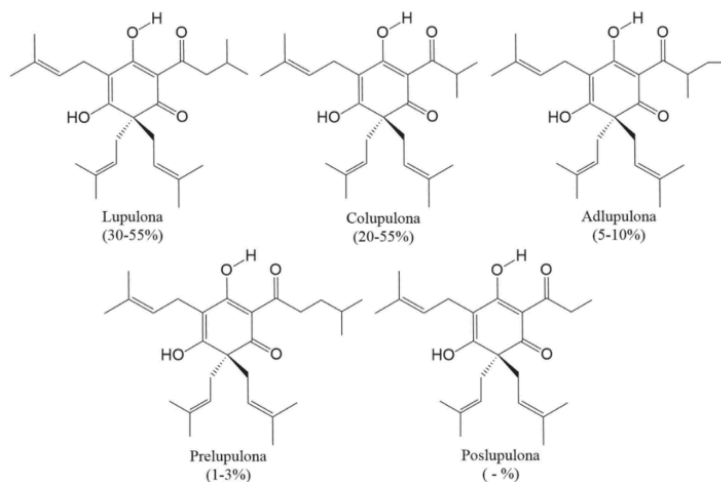
Figura 5: Representação da reação de isomerização da humulona em cis/trans-iso-humulonas durante o processo de fervura do mosto.



Fonte: VERZELE; KEUKELEIRE, 1991.

Os β -ácidos, por sua vez, são cristalinos, sem cor e são compostos, fundamentalmente, por cinco moléculas análogas à lupulona. São elas lupulona, que representa de 30 a 55% do teor total de β -ácidos; colupulona, de 20 a 55%; adlupulona, de 5 a 10%; prelupulona, de 1 a 3%; e poslupulona, com teores ainda desconhecidos (DURELLO, 2019). As estruturas químicas desses compostos são mostradas na Figura 6.

Figura 6: Estruturas químicas dos principais β -ácidos (lupulonas) do lúpulo.



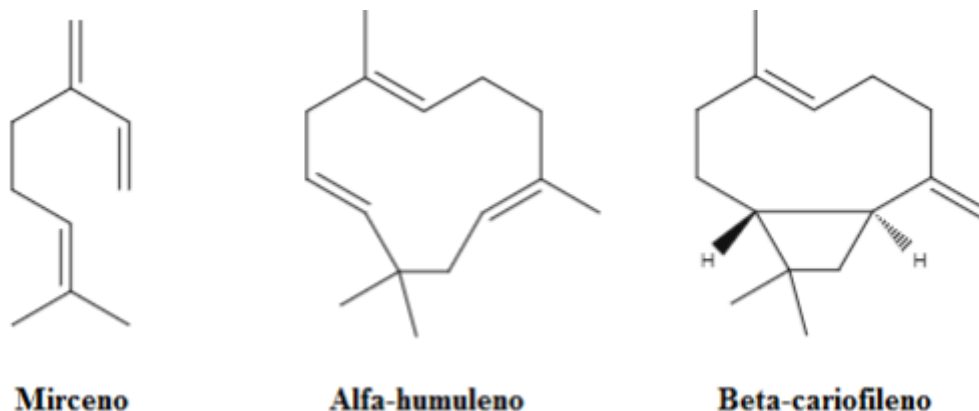
Fonte: VERZELE; KEUKELEIRE, 1991.

Devido à sua baixa solubilidade em água, somente traços dos β -ácidos podem ser encontrados na cerveja. Também, considera-se que não são significativamente aplicáveis quanto à geração de amargor no produto final e, por isso, cervejarias não tendem a usar lúpulos com elevado grau de β -ácidos, mas possuem características antimicrobianas e são sensíveis a oxidação, o que torna os β -ácidos úteis na conservação das cervejas (ALMAGUER et al., 2014).

3.2.1.2 Óleos Essenciais

A ISO 9235:2021, define óleo essencial como o produto obtido a partir de uma matéria-prima de origem vegetal, por destilação com água ou vapor d'água, ou ainda por destilação a seco, ou por prensagem mecânica quando se tratar de frutas cítricas. Os óleos essenciais do lúpulo são produzidos nas glândulas de lupulina, e representam de 0,5 a 3,0% da massa do lúpulo seco. Os compostos mais importantes que agregam aroma à cerveja são mirceno, humuleno e cariofileno. Estes, representam cerca de 80% do total dos óleos essenciais (ALMAGUER et al., 2014) e estão representados na Figura 7.

Figura 7: Estruturas químicas dos principais componentes aromáticos do lúpulo.



Fonte: HARDWICK, 1994

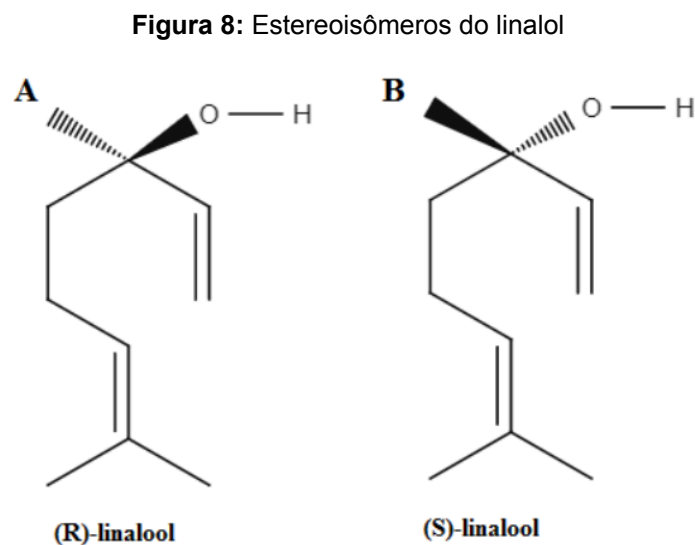
Os chamados lúpulos de aroma são aqueles que possuem uma baixa quantidade de α -ácidos e β -ácidos, inferior a 5%, que apresentam aromas característicos e intensos, de acordo com as propriedades dos óleos essenciais presentes no lúpulo em questão (PALMER, 2017).

Como esses óleos essenciais são voláteis e não é desejável que ocorra a isomerização das humulonas e lupulonas, ainda que estas não estejam presentes

nos lúpulos de aroma da mesma forma que estão nos de amargor, geralmente são adicionados ao final da etapa de fervura ou ainda durante a maturação para que não se percam essas substâncias voláteis. Diversas notas de aroma e também de sabor podem ser trazidas à cerveja dependendo dos lúpulos de aroma utilizados, como notas de amadeirado, cítrico, especiarias, floral, frutado, sulfuroso, herbal, resinoso, terroso e picante (BAMFORTH, 2010).

Presente nos óleos essenciais, estão os hidrocarbonetos oxigenados, que são compostos por uma mistura de álcoois, aldeídos, ácidos cetonas, epóxidos e ésteres, e representam cerca de 30% do total dos óleos essenciais. Destas substâncias, uma das de mais interesse da indústria é o linalol, que serve como um importante indicador de qualidade do aroma da cerveja, e também confere aroma floral na cerveja. (ALMAGUER et al., 2014)

Estereoisômeros do linalol são mostrados na Figura 8.



Fonte: ALMAGUER et al., 2014

3.2.1.3 Polifenóis

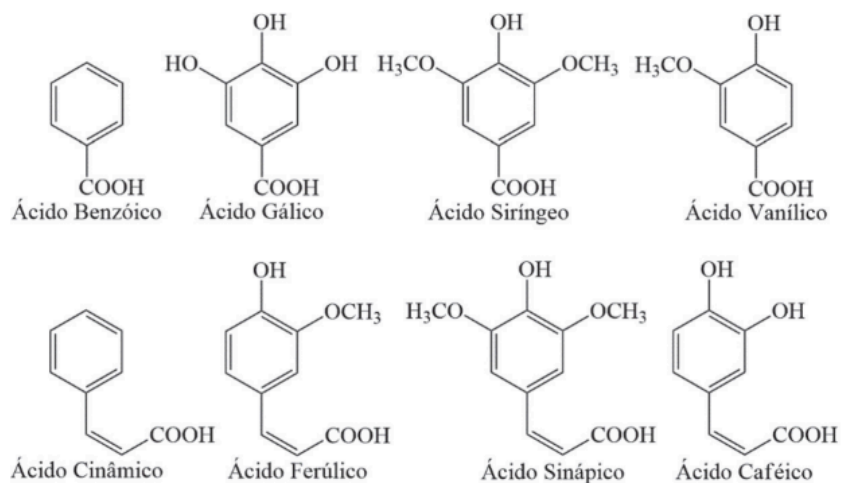
Polifenóis são derivados de compostos benzênicos monohidroxilados e formados por um ou mais átomos de carbono no seu anel aromático que, por sua vez, são ligados a um grupo hidroxil, e geralmente possuem dois ou mais grupos fenólicos ligados, como mostrado na Figura 8. Os polifenóis, assim como os β -ácidos, conferem propriedades antioxidantes, e também conferem adstringência à cerveja, contribuem para a definição de cor, e promovem estabilidade coloidal à

espuma, tudo isso de forma a aumentar a complexidade sensorial do produto final (BOULTON, 2013).

A composição exata dos polifenóis presentes no lúpulo depende de diversos fatores, como a variedade do lúpulo, região da plantação e estado de maturação da planta. É constatado que, quanto mais madura estiver a planta, maior será o teor de polifenóis na mesma (ALMAGUER et al., 2014).

No mosto cervejeiro, cerca de 20% a 30% dos polifenóis são trazidos pelo lúpulo e o restante pelo malte. Estes ainda são divididos em dois grupos, os condensáveis, correspondentes a 80% do total, e os hidrolisáveis. Os condensáveis tem propensão de serem polimerizados e formarem moléculas de alto peso molecular, enquanto os hidrolisáveis podem ser representados por ácidos mono fenólicos, que incluem o ácido gálico, ácido protocatecuico, ácido vanílico, ácido cafeico, entre outros, sendo todos esses responsáveis por conferir adstringência e/ou amargor ao produto final (KROTTENTHALER, 2009).

Figura 9: Estruturas químicas de alguns ácidos fenólicos do lúpulo



Fonte: BOULTON, 2013

Também é possível estabelecer uma relação a respeito do amargor proporcionado à cerveja a partir do tamanho molecular dos polifenóis. O amargor dos polifenóis interage com o amargor dos iso- α -ácidos e, assim, o amargor de cervejas com baixos níveis de polifenóis possibilita sensação sensorial semelhante à promovida pelos iso- α -ácidos, em intensidade e qualidade. Em altos níveis de polifenóis, o amargor já possui caráter medicinal e metálico (BOULTON, 2013).

3.3 *Dry Hopping*

O processo de *Dry Hopping* consiste em uma extração a frio de compostos voláteis e não voláteis do lúpulo em uma solução alcoólica, neste caso, a cerveja. A técnica é muito utilizada por cervejeiros de forma a aumentar o aroma e a estabilidade do sabor da cerveja. Tal extração é otimizada quando se utiliza lúpulo em pellets ou em pó, de forma que a glândula de lupulina esteja triturada, aumentando a superfície de contato da cerveja com os óleos essenciais e polifenóis do lúpulo (RETTBERG et al., 2018).

Como visto anteriormente, lúpulos de aroma são comumente adicionados ao final da etapa de fervura de forma a não volatilizar os compostos aromáticos. Os aromas retidos neste processo são, em geral, de caráter picante, nobre, herbáceo, amadeirado e frutado. Enquanto isso, os aromas trazidos pelo lúpulo no processo de *Dry Hopping*, por ser uma extração a frio, são cítricos, florais e de pinho (RETTBERG et al., 2018).

Forster e Gahr (2013) estudaram cinco cervejas sendo uma controle, sem *Dry Hopping*, e outras quatro com o uso de lupulagem a frio. Os resultados seguem o esperado e mostram que existe uma maior concentração de α -ácidos e de substâncias aromáticas nas cervejas com *Dry Hopping*. O linalol, principal composto de aroma do lúpulo, foi encontrado em uma concentração de 38 μ g/L na cerveja que não passou pelo processo de *Dry Hopping*, enquanto que em uma das amostras com lupulagem a frio a concentração foi de 103 μ g/L. A eficiência do *Dry Hopping* depende de vários fatores, sendo os mais importantes a quantidade de lúpulo, o número de adições, única ou múltipla; o tempo de contato; a temperatura do meio; o regime aplicado, estático ou dinâmico; e as características do lúpulo, como a densidade do pellet, teor de polifenóis, teor de alfa ácidos e conteúdo de óleos essenciais (RETTBERG et al., 2018).

Em termos do processo de extração, os métodos *Dry Hopping* podem ser divididos em métodos estáticos e dinâmicos. Cada método confere características distintas ao produto, isso se deve ao tempo de contato e ao aumento da superfície de contato entre o lúpulo e a cerveja (LAFONTAINE & SHELLHAMMER, 2018; PODESZWA & HARASYM, 2016).

3.3.1 Método Estático

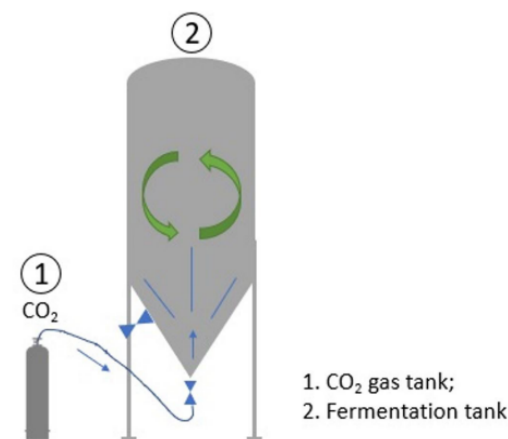
O método estático consiste no conceito clássico de *Dry Hopping*, em que o lúpulo é adicionado ao tanque de fermentação. Lafontaine e Shellhammer, em seu estudo, observaram que a faixa de concentração de lúpulo usado para equilibrar os aromas e sabores da cerveja é de 400 a 800 gramas de lúpulo por hectolitro de cerveja, e também indicam que valores acima desta dosagem apresentam retornos decrescentes em termos da elevação aromática.

Evidências indicam que cerca de 75% das humulonas são extraídas nessa técnica e também indicam que aplicar agitação altera as características de aroma e sabor do lúpulo para um caráter herbáceo e estimula a extração de polifenóis, que podem aumentar negativamente a adstringência da cerveja (WOLFE et al., 2012).

Uma desvantagem do modo estático é a extração incompleta devido à quantidade limitada do fluido de extração, o que pode ser contornado pela realização de mais ciclos de extração ou pela utilização de gás carbônico, explicada a seguir (MUSTAFA & TURNER, 2011).

De forma a otimizar a extração dos compostos desejados do lúpulo durante o método estático do processo de *Dry Hopping*, algumas cervejarias injetam gás carbônico no tanque de fermentação, conforme ilustra a Figura 10, de forma que o lúpulo inserido fique em suspensão e, portanto, aumente a superfície de contato da cerveja com o lúpulo. Porém essa aplicação de gás carbônico também traz a desvantagem da formação excessiva de espuma (WOLFE et al., 2012).

Figura 10: Dosagem de gás carbônico no método estático de *Dry Hopping*



Fonte: WOLFE, 2012

Um novo método de Dry Hopping estático foi elaborado em 2017, o qual facilita a dispersão dos compostos aromáticos e também de α -ácidos, permitindo redução na dosagem aplicada de lúpulo em até 20% e também no tempo de processo em 15%. O método consiste em utilizar um misturador rotativo com um jato em sua extremidade, como mostra a Figura 11, de forma a manter o lúpulo em suspensão homogênea no tanque de fermentação durante a transferência de massa. Embora a implantação desta unidade tenha um alto custo de aquisição, a mesma se mostrou viável para plantas com capacidade produtiva acima de 100 hL de cerveja (HARTVIGSEN, 2017).

Figura 11: Drive externo Iso-Mix (IMXD)

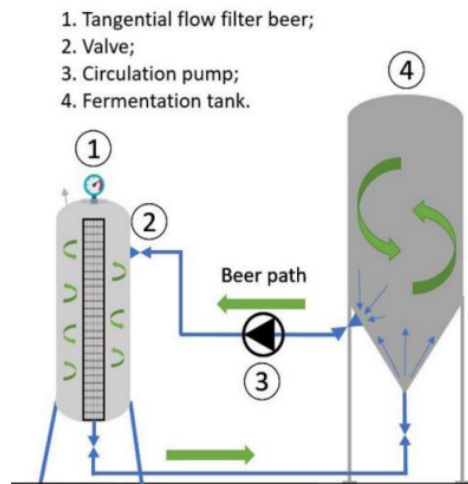


Fonte: HARTVIGSEN, 2017

3.3.2 Método Dinâmico

Ao contrário do método estático de *Dry Hopping*, em que simplesmente lúpulo é adicionado ao tanque fermentador com adição ou não de gás carbônico, o método dinâmico consiste em bombear a cerveja para um filtro externo ao tanque, onde os lúpulos são colocados, de forma a aumentar a superfície de contato da cerveja com o lúpulo, o que faz com que se tenha uma extração maior dos óleos essenciais do lúpulo, em menos tempo (PODESZWA & HARASYM, 2016). A Figura 12 mostra o funcionamento do método dinâmico de *Dry Hopping*.

Figura 12: Bombeamento de cerveja para *Dry Hopping* Dinâmico



Fonte: PODESZWA & HARASYM, 2016

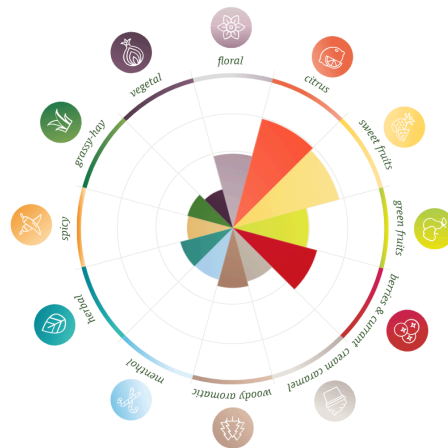
3.3.3 Lúpulos Comumente Usados em *Dry Hopping*

Conforme descrito anteriormente, para processos de *Dry Hopping* e também para adições tardias de lúpulo durante a etapa de fervura, lúpulos com relativa menor concentração de α -ácidos e β -ácidos e com maior concentração de óleos essenciais são preferíveis. A partir disso, Vollmer e Shellhammer, em seu estudo, fizeram uma relação dos principais lúpulos utilizados no processo de *Dry Hopping*, como segue abaixo.

3.3.3.1 Citra

O lúpulo Citra é conhecido e amplamente utilizado pelo seu perfil cítrico, com notas de grapefruit, limão, frutas vermelhas e frutas tropicais; com uma concentração de 1,5 a 3,0 mL de óleos essenciais por 100 gramas de lúpulo. As características do lúpulo Citra podem ser visualizadas na Figura 13.

Figura 13: Características Aromáticas do Lúpulo Citra

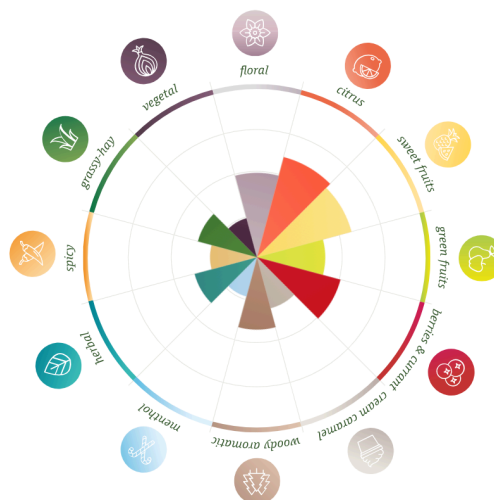


Fonte: Barth Haas, [s.d.]

3.3.3.2 Cascade

O Cascade é um clássico lúpulo americano com aromas florais, cítricos e levemente picantes. Este lúpulo, além de amplamente utilizado em processos de *Dry Hopping*, também é usado como lúpulo de aroma em cervejas do estilo Pale Ale e IPA com uma faixa de 0,8 a 2 mL de óleos essenciais por 100 gramas de lúpulo. As características do lúpulo Cascade podem ser visualizadas na Figura 14.

Figura 14: Características Aromáticas do Lúpulo Cascade

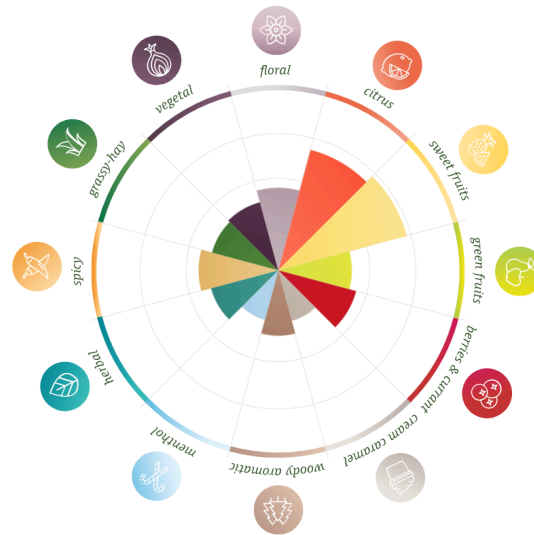


Fonte: Barth Haas, [s.d.]

3.3.3.3 Amarillo

O Amarillo é um lúpulo americano com notas aromáticas cítricas e florais, com um toque de laranja e pêssego; e com uma faixa de 1,5 a 3,5 mL de óleos essenciais por 100 gramas de lúpulo. As características do lúpulo Amarillo podem ser visualizadas na Figura 15.

Figura 15: Características Aromáticas do Lúpulo Amarillo

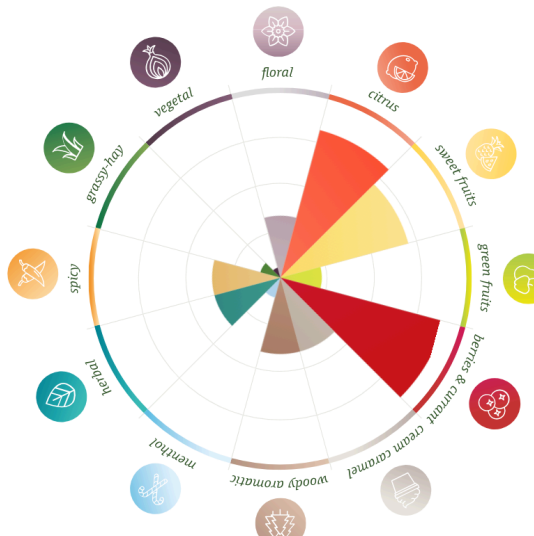


Fonte: Barth Haas, [s.d.]

3.3.3.4 Simcoe

O Simcoe é um lúpulo americano com notas aromáticas que incluem pinho, frutas cítricas, frutas tropicais e até mesmo notas terrosas; e com uma faixa de 1,5 a 3,0 mL de óleos essenciais por 100 gramas de lúpulo. As características do lúpulo Simcoe podem ser visualizadas na Figura 16.

Figura 16: Características Aromáticas do Lúpulo Simcoe

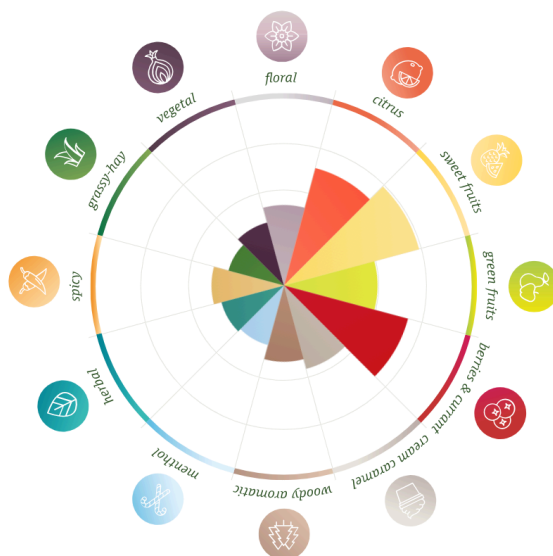


Fonte: Barth Haas, [s.d.]

3.3.3.5 Galaxy

O Galaxy é um lúpulo australiano com notas aromáticas de frutas tropicais e cítricas; e com uma faixa de 2,4 a 2,7 mL de óleos essenciais por 100 gramas de lúpulo. As características do lúpulo Galaxy podem ser visualizadas na Figura 17.

Figura 17: Características Aromáticas do Lúpulo Galaxy

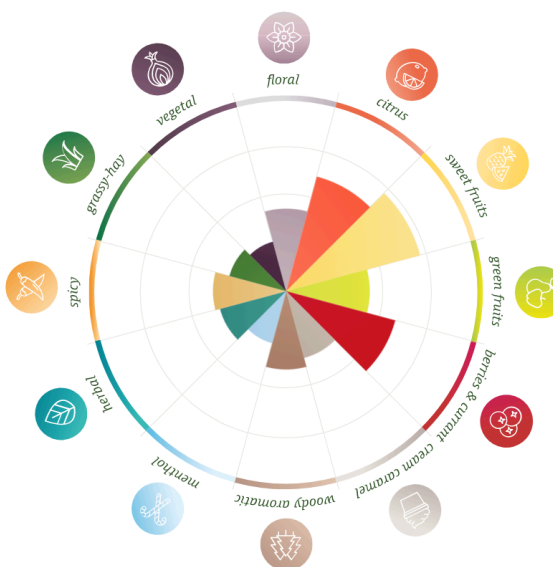


Fonte: Barth Haas, [s.d.]

3.3.3.6 Vic Secret

O Vic Secret é um lúpulo australiano com notas aromáticas de frutas tropicais e cítricas; e com uma faixa de 2,2 a 2,8 mL de óleos essenciais por 100 gramas de lúpulo. As características do lúpulo Vic Secret podem ser visualizadas na Figura 18.

Figura 18: Características Aromáticas do Lúpulo Vic Secret



Fonte: Barth Haas, [s.d.]

3.4 Potencial Tecnológico do Lúpulo Brasileiro

Como mencionado anteriormente, Alemanha, na região de Hallertau, e Estados Unidos, nos estados de Washington, Oregon e Idaho, são os produtores majoritários de lúpulo em escala mundial devido a apresentarem condições ideais para cultivo. Seguidos desses dois países, os maiores produtores de lúpulo são Etiópia, China e República Tcheca. Por continente, a Europa lidera com 39,8% da produção mundial de lúpulo, seguida das Américas (25,7%), África (20,1%), Ásia (12,8%) e Oceania (1,6%) (Mordor Intelligence, 2022).

Alguns pequenos produtores estão cultivando lúpulo no Brasil, e têm obtido sucesso, o que incentiva estudos e pesquisas na área. O lúpulo utilizado nas cervejarias brasileiras por, na maioria dos casos, ser importado, acaba impactando significativamente no custo do produto final. Esta iniciativa de cultivo do lúpulo no Brasil vem de encontro à produção cervejeira crescente no país, e tem gerado uma grande expectativa para que o país chegue a autossuficiência nesta importante matéria-prima para a indústria (DURELLO et al., 2019).

Com base nisso, Marchesan e Sautter, em sua pesquisa, avaliaram a qualidade e características sensoriais de cervejas elaboradas com adição de lúpulos de cultivo brasileiro em flor das variedades Cascade, Columbus, Hallertau Mittelfruh e Nugget, comparativamente com essas mesmas variedades de lúpulo internacionais em pellets (MARCHESAN & SAUTTER, 2020).

Relações de α -ácidos entre as versões de cultivo brasileiro e internacionais são mostradas na Tabela 4.

Tabela 4: Quantidade de α -ácidos em lúpulos nacionais e internacionais

Lúpulo	α-ácidos (%)
Cascade Nacional (CAN)	7,9
Cascade Internacional (CAI)	9,0
Columbus Nacional (CON)	4,7
Columbus Internacional (COI)	13,0
Hallertau M. Nacional (HMN)	6,5
Hallertau M. Internacional (HMI)	5,2
Nugget Nacional (NUN)	3,5
Nugget Internacional (NUI)	13,8

Fonte: MARCHESAN & SAUTTER, 2020.

Após a fabricação de cada uma das cervejas com as diferentes variedades de lúpulos cultivados no Brasil e internacionais, foram determinados o teor de espuma; o pH; a faixa de coloração; as unidades de amargor; o teor de compostos fenólicos totais e o teor de flavonoides totais de cada uma das amostras. De forma conjunta com esses testes, foi realizada uma análise sensorial das amostras por meio de um teste de preferência de comparação pareada (MARCHESAN & SAUTTER, 2020).

Resultados das determinações realizadas são mostradas na Tabela 5.

Tabela 5: Resultados quantitativos das análises feitas nas cervejas fabricadas com diferentes variedades de lúpulos de cultivo brasileiro e internacionais

Lúpulo	Espuma (%Drenagem)	pH	Cor (EBC)	Amargor (BU)	Polifenóis totais (mg/L)	Flavonóides totais (mg/L)
CAN	43,2	4,1	17,0	26,2	403,3	88,8
CAI	52,4	4,0	18,7	27,1	416,9	51,1
CON	25,2	4,0	13,5	17,0	419,6	96,3
COI	51,2	4,0	18,7	25,1	406,0	52,6
HMN	44,1	4,0	17,9	22,9	393,7	72,4
HMI	43,2	4,0	16,5	27,1	395,1	56,4
NUN	40,0	4,0	17,9	14,7	404,6	94,1
NUI	51,3	4,0	18,0	17,2	408,7	52,3

Fonte: MARCHESAN & SAUTTER, 2020.

Observando-se a drenagem de espuma, polifenóis totais e flavonoides totais, pode se inferir que o tipo de fenólico interfere mais na estabilidade da espuma devido à precipitação ocorrida durante a etapa de clarificação. Segundo os tratamentos CON, HMN, HMI e CAI, identifica-se que os flavonóides são responsáveis nestas condições pela precipitação, conseqüentemente melhor clarificação, maior drenagem e menor estabilidade de espuma. Na técnica para determinação de polifenóis totais quantifica-se o número de hidroxilas reagentes. Ressalta-se também que nos fenólicos não flavonoides há fenólicos de baixo peso molecular que possuem menor capacidade de precipitação de proteínas (DURELLO et al., 2019).

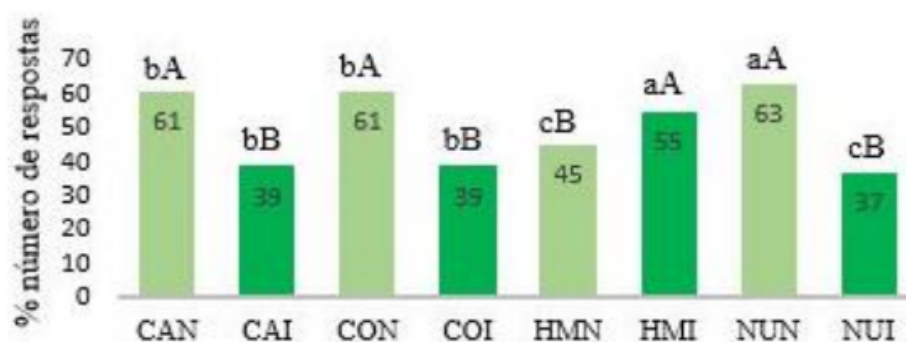
Quanto à análise de coloração, embora algumas amostras tenham apresentado diferença significativa entre si, como na comparação entre a cerveja com utilização de Columbus de cultivo no Brasil e internacional, a legislação brasileira classifica a cerveja como clara quando obtém um valor inferior a 20 EBC. (BRASIL, 2009). Portanto, todas as cervejas desse estudo são classificadas como cervejas claras.

A análise de amargor das cervejas mostra uma ampla diferença para uma mesma variedade de lúpulo (exceto na variedade Cascade), mas com a diferença de ser de cultivo brasileiro ou internacional. Explicações para esse acontecimento podem ser as condições edafoclimáticas brasileiras, que parecem interferir na produção de lupulina entre as variedades do lúpulo. Dessa forma, os lúpulos cultivados no Brasil se mostram com características de amargor distintas dos internacionais e, possivelmente, sejam de utilidade para a indústria como lúpulos aromáticos e não de amargor.

Os compostos fenólicos, como descrito anteriormente, desempenham papéis fundamentais tanto na estabilidade sensorial de sabor como na estabilidade coloidal da cerveja; e também são considerados como uma fonte de antioxidantes na cerveja. Os resultados da Tabela 5 indicam que, para a quantificação de compostos fenólicos totais, os valores das amostras variam de 393,7 a 419,6 mg/L. Também, da mesma forma ocorrida nas avaliações de amargor das cervejas, as cervejas produzidas com lúpulos internacionais, com exceção das que utilizaram a variedade Columbus, resultaram em um maior teor de compostos fenólicos no produto final, em comparação com a mesma variedade mas em cultivo brasileiro.

A análise sensorial realizada foi conduzida com o intuito de verificar a preferência dos provadores frente às características gerais das cervejas produzidas com os lúpulos de cultivo brasileiro pelo método de preferência de comparação pareada. O teste contou com 100 indivíduos não treinados dos sexos masculino e feminino na faixa etária de 19 a 30 anos. Os resultados da análise sensorial realizada podem ser visualizados na Figura 19.

Figura 19: Resultados da Análise Sensorial



Fonte: MARCHESAN & SAUTTER, 2020.

Analisando estes resultados, fica claro perceber que houve preferência pelos consumidores das cervejas produzidas com lúpulos cultivados no Brasil em relação às mesmas cervejas mas com utilização de lúpulos internacionais, com exceção da cerveja com utilização da variedade Hallertau Mittelfruh. Marchesan e Sautter explicam essa preferência pelo fator de as cervejas nacionais apresentarem um amargor menos acentuado do que as internacionais, como mostrado na Tabela 5, e, então, o alto amargor das cervejas com lúpulos internacionais conduziu os provadores optarem pelas cervejas nacionais por possuírem um amargor menos acentuado.

A pesquisa realizada por Marchesan e Sautter demonstrou que as cervejas com utilização de lúpulos de cultivo brasileiro estão em conformidade com a legislação brasileira, respeitando os padrões estabelecidos. Também, os teores de compostos fenólicos totais e flavonoides totais presentes nas cervejas elaboradas com lúpulos cultivados no Brasil revelaram níveis significativos de antioxidantes na cerveja. Entre os lúpulos cultivados no Brasil para a análise sensorial, destacaram-se o Nugget, seguido do Cascade e Columbus, obtendo alta aceitação pelos provadores, evidenciando que os lúpulos cultivados em territórios brasileiros têm potencial de produção de cervejas de boa qualidade. Portanto, a elaboração de cervejas com adição dos lúpulos brasileiros constitui uma nova proposta para a indústria cervejeira, com custos mais baixos para o produtor, e se mostra de qualidade.

4 CONCLUSÃO

A utilização de lúpulos, seja de forma convencional na etapa de fervura ou no procedimento de *Dry Hopping*, mostra um rendimento amplamente distinto ao serem utilizadas variedades de lúpulos internacionais, comparativamente com essas mesma variedades, mas de produção nacional tanto na propriedade de amargor, como na propriedade aromática trazida por esse insumo. Em ambos os casos, os lúpulos de produção internacional apresentam uma maior contribuição para o produto final e essa tamanha diferença se deve às condições edafoclimáticas brasileiras, que parecem interferir na produção de lupulina entre as variedades do lúpulo. Por outro lado, de forma análoga à esperada, o resultado da análise sensorial realizada a partir desse mesmo experimento mostra uma preferência do consumidor pela cerveja produzida com as variedades nacionais de lúpulo, explicado pela bagagem cultural brasileira de cervejas com menor teor de amargor disponíveis no mercado.

Os resultados dos experimentos de Forster e Gahr indicam que uma cerveja produzida com a etapa de *Dry Hopping* possuem, comparativamente com uma cerveja produzida sem essa etapa do processamento, uma maior concentração de α -ácidos e de substâncias aromáticas, ao exemplo do linalol, que teve um aumento de concentração em 271% nessa mesma comparação. Vale ressaltar, por outro lado, que a eficiência do processo de *Dry Hopping* depende de diversos fatores, tais como a quantidade de lúpulo adicionada, a variedade do lúpulo utilizada, o tempo de contato do lúpulo com a cerveja e o modelo de regime aplicado, estático ou dinâmico.

O processo de *Dry Hopping* está em ascensão no mercado cervejeiro, com os consumidores procurando cada vez mais por opções mais aromáticas e menos amargas no produto final. Com base nisso, tem-se feito diversos estudos sobre diferentes aplicações do lúpulo a cerveja, como a adição apenas dos óleos essenciais ao invés dos pellets, ou a adição de “lúpulo verde”, como é chamada a planta logo após sua colheita. Outros estudos indicam a possibilidade de desenvolvimento de novas variedades de lúpulo especificamente para uso em processos de *Dry Hopping*, com perfis aromáticos aprimorados e características sensoriais únicas de forma a atender às crescentes preferências dos consumidores.

REFERÊNCIAS

ALMAGUER, Cynthia; et al. Humulus lupulus - a story that begs to be told. A review. **Journal of the Institute of Brewing**. V. 120, n. 4, p. 289-314, 2014. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/jib.160> . Acesso em 13 ago. 2023.

AROH, Kenechukwo. Review: Beer Production. **SSRN**. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3458983. Acesso em 02 ago. 2023.

ASSUNÇÃO, Rui Felipe Ribeiro. Desenvolvimento de uma cerveja sem glúten. **Instituto Superior de Agronomia**. Universidade de Lisboa. Lisboa/Portugal. 2018. Disponível em: <https://www.repository.utl.pt/handle/10400.5/17852>. Acesso em 10 out. 2023.

BAMFORTH, W. C. **Beer is Proof God Loves Us**. Estados Unidos: FT Press, 2010. 237 p. ISBN: 0-13-706507-8.

BARTHHAAS. **Amarillo Hops**, [s.d.]. Características aromáticas do lúpulo Citra. Disponível em: <https://www.barthhaas.com/hops-and-products/hops/amarillor-vgxp01-cv>. Acesso em: 22 dez. 2023.

BARTHHAAS. **Cascade Hops**, [s.d.]. Características aromáticas do lúpulo Citra. Disponível em: <https://www.barthhaas.com/hops-and-products/hops/cascade>. Acesso em: 22 dez. 2023.

BARTHHAAS. **Citra Hops**, [s.d.]. Características aromáticas do lúpulo Citra. Disponível em: <https://www.barthhaas.com/hops-and-products/hops/citrar>. Acesso em: 22 dez. 2023.

BARTHHAAS. **Galaxy Hops**, [s.d.]. Características aromáticas do lúpulo Citra. Disponível em: <https://www.barthhaas.com/hops-and-products/hops/galaxyr>. Acesso em: 22 dez. 2023.

BARTHHAAS. **Simcoe Hops**, [s.d.]. Características aromáticas do lúpulo Citra. Disponível em: <https://www.barthhaas.com/hops-and-products/hops/simcoer>. Acesso em: 22 dez. 2023.

BARTHHAAS. **Vic Secret Hops**, [s.d.]. Características aromáticas do lúpulo Citra. Disponível em: <https://www.barthhaas.com/hops-and-products/hops/vic-secret>. Acesso em: 22 dez. 2023.

BOULTON, Chris. **Encyclopedia of Brewing**. [s.l.] Estados Unidos: John Wiley & Sons, 2013.

BRASIL. Presidência da República - Casa Civil - Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Decreto Nº 9.902, de 8 de julho de 2019**. Regulamenta a Lei no 8.918, de 14 de julho de 1994, que dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas. 2019.

CARVALHO, L. G. **Dossiê Técnico. Produção de cerveja. Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro**, Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <https://www.sbvt.ibict.br/dossie-tecnico/downloadsDT/NTc=> . Acesso em 09 out. 2023.

DE KEUKELEIRE, Denis. Fundamentals of beer and hop chemistry. **Química Nova**, v. 23, n. 1, p. 108–112, 2000. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/WVXzmHWpjQ5MfN6r35H6GwF/?lang=en#> . Acesso em 02 ago. 2023.

DRAGONE, Giuliano; SILVA, João Batista de Almeida e; FILHO, Waldemar Gastoni Venturini (org). **Bebidas Alcoólicas: Ciência e Profissão**. 01. ed. V. 1. São Paulo: Editora Blucher, 2010.

DURELLO, Renato S.; SILVA, Lucas M.; Jr., Stanislaw Bogusz. Química do lúpulo. **Quim. Nova**. V. 42, n. 8, p. 900–919, 2019. Disponível em: :

<http://www.scielo.br/pdf/qn/v42n8/0100-4042-qn-42-08-0900.pdf> . Acesso em 04 out. 2023.

FARAG, Mohamed. A.; WESSJOHANN, Ludger. A. Cytotoxic effect of commercial *Humulus lupulus* L. (hop) preparations – In comparison to its metabolomic fingerprint. **Journal of Advanced Research**. V. 4, n. 4, p. 417–421, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2090123212000550> . Acesso em 12 set. 2023.

FORSTER, A.; GAHR, A. On The fate of certain hop substances during dry-hopping. **BrewingScience – Monatsschrift für Brauwissenschaft**. V. 66, p. 93 103, 2013. Disponível em: https://www.agraria.com.br/extranet_2016/uploads/AgromalteArquivo/fatos_substancias_dry_hopping_brewingscience___ing_1601582275289.pdf . Acesso em: 13 nov. 2023.

GUIDO, L F. Brewing and Craft Beer. Department of Chemistry and Biochemistry, Faculty of Sciences, University of Porto. **Journal Beverages**. N. 5, p. 51. Porto, Portugal. 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2306-5710/5/3/51> . Acesso em 11 set. 2023

Hartvigsen, Alyce. Revolutionary dry-hopping techniques for larger beer volumes using the iso-mix external drive rotary jet mixer. **St. Paul: Master Brewers Association of the Americas**. V. 54, n. 4, p. 149 - 156. Dinamarca, 2017. Disponível em: https://www.alfalaval.com/globalassets/documents/industries/food-dairy-and-beverage/beverage/brewery/mbaa-iso-mix-external-drive-rotary-jet-mixer_editorial_en.pdf . Acesso em: 13 nov. 2023.

ISO 9235:2021. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/78908.html> .

KROTTENTHALER, Martin; Eßlinger, Hans Michael (ed). **Handbook of Brewing. Processes, Technology, Markets**. Alemanha: Wiley-VCH, 2009.

KUNZE, Wolfgang. **Tecnología para Cerveceros y Malteros**. Berlin: VLB Berlin, 2006.

MARCHESAN, Tatiane Angela; SAUTTER, Cláudia Kaehler. Lúpulos brasileiros na elaboração de cervejas artesanais. **Departamento de Tecnologia e Ciência dos Alimentos – Universidade Federal de Santa Maria, UFSM**. Santa Maria. 2020. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/23004/DIS_PPGCTA_2020_MARCHESAN_TATIANE.pdf?sequence=1&isAllowed=y . Acesso em 12 set. 2023.

MORDOR INTELLIGENCE. **Tamanho do mercado de lúpulo e análise de ações – Tendências e previsões de crescimento (2023 – 2028)** [s.d.]. Mercado do lúpulo entre 2023 - 2028. Disponível em: <https://www.mordorintelligence.com/pt/industry-reports/hops-market> . Acesso em 13 set. 2023.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Anuário da Cerveja 2021. **Associação Brasileira da Indústria da Cerveja**. Brasília, 2022. Disponível em: http://www.cervbrasil.org.br/novo_site/wp-content/uploads/2022/09/anuario-da-cerveja-2021.pdf. Acesso em 13 ago. 2023.

MOSHER, Michael; TRANTHAM, Kenneth. **Brewing Science: A Multidisciplinary Approach**. Springer International Publishing, 2017. 408 p.

MUSTAFA, Arwa.; TURNER, Charlotta. Pressurized liquid extraction as a green approach in food and herbal plants extraction: A review. **Analytica Chimica Acta**. V. 703, n. 1, p. 8-18, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aca.2011.07.018> . Acesso em: 15 nov. 2023.

NEVE, R. A.; **Hops**, 1. ed. Springer: Londres, 1991.

PALMER, John. **How to brew: everything you need to know to brew great beer every time**. 4. ed. Estados Unidos: Brewers Publications, 2017. ISBN-10: 1938469356.

PRIEST, Fergus G.; STEWART, Graham G. **Handbook of Brewing**. Estados Unidos: CRC Press, 2006, 2a edição.

RABINOVITCH, Leon.; OLIVEIRA, Edmar Justo de. Coletânea de procedimentos técnicos e metodologias empregadas para o estudo de *Bacillus* e gêneros esporulados aeróbios correlatos. **Fundação Oswaldo Cruz**. 2015. Disponível em: <https://www.fiocruz.br/ioc/media/Coletanea%20de%20Procedimentos%20Tecnicos%20para%20Bacillus.PDF> . Acesso em 14 ago. 2023.

Rettberg, Nils; Biendl, Martin; Garbe, Leif. Hop aroma and hoppy beer flavor: chemical backgrounds and analytical tools: a review. **Journal of the American Society of Brewing Chemists**, 76(1), 1-20, DOI 10.1080/03610470.2017.1402574, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/325904842_Hop_Aroma_and_Hoppy_Beer_Flavor_Chemical_Backgrounds_and_Analytical_Tools-A_Review . Acesso em 04 ago. 2023.

SANTOS, Diego T.; SARROUH, Boutros F.; SILVA, Silvio S. Moagem Úmida: Vantagens e Potencialidades. **X Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e VI Encontro Latino Americano de Pós Graduação - Universidade do Vale do Paraíba**, p. 395 - 398, 2006. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/338400352_MOAGEM_UMIDA_VANTAGENS_E_POTENCIALIDADES . Acesso em: 03 ago. 2023.

VERZELE, M.; KEUKELEIRE, D. **Chemistry and Analysis of Hop and Beer Bitter Acids**. Amsterdam: Elsevier, 1991. v. 27. 417 p. ISBN: 0-444-88165-4.

VOLLMER, Daniel M.; SHELLHAMMER, Thomas H. Influence of Hop Oil Content and Composition on Hop Aroma Intensity in Dry-Hopped Beer. **Journal of the American Society of Brewing Chemists**. 74:4, 242-249,

DOI:10.1094/ASBCJ-2016-4123-01.

Disponível

em:

<https://www.researchgate.net/publication/316403149> Influence of Hop Oil Content and Composition on Hop Aroma Intensity in Dry-Hopped Beer . Acesso em 13 ago. 2023.

WOLFE, Peter. The effect of pellet processing and exposure time on dry hop aroma extraction in book: QIAN, Michael. C (edit).; SHELLAMMER, T. H. (edit). **Flavor chemistry of wine and other alcoholic beverages** (pp. 203-215). Washington: American Chemical Society, 2012.