

ANÁLISE BIBLIOGRÁFICA DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA SOBRE LÚPULO

BIBLIOGRAPHIC ANALYSIS OF SCIENTIFIC PRODUCTION ON HOP

Recebido em 23.01.2024 Aprovado em 29.04.2024

Avaliado pelo sistema double blind review

DOI: <https://doi.org/10.32888/cge.v12i1.62603>

Eléia Righi

eleia-righi@uergs.edu.br

Pós-Graduação *Lato Sensu* em: Agronomia, Meio Ambiente e Sustentabilidade / UERGS - Vacaria/RS.
<https://orcid.org/0000-0002-2766-8719>

Elisandra Duarte Almeida Antunes

elisan_drinha@hotmail.com

Pós-Graduação *Lato Sensu* em: Agronomia, Meio Ambiente e Sustentabilidade / UERGS - Vacaria/RS.

Fabiana Lazzerini da Fonseca

fabiana-barros@uergs.edu.br

Pós-Graduação *Lato Sensu* em: Agronomia, Meio Ambiente e Sustentabilidade / UERGS - Vacaria/RS.
<https://orcid.org/0000-0002-2532-5800>

Gilberto Putti

gilberto.putti@vacaria.ifrs.edu.br

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – *Campus* Vacaria / RS.

Resumo

O estudo teve como objetivo analisar bibliograficamente a produção científica sobre lúpulo, pois é praticamente inexistente no Brasil, assim como as áreas de produção e os trabalhos práticos/científicos realizados são muito recentes. O método bibliográfico de organização e busca é o utilizado para o estudo proposto, trazendo o apanhado de publicações sobre o tema “lúpulo” da série histórica da rede CAFe do portal Periódicos CAPES de 1940 a 2023 (até 27/08/2023). Os Estados Unidos é um dos países que mais exporta trabalhos sobre o assunto porque é onde ocorre a maior demanda de tecnologia e produção pelos centros de pesquisa.

Palavras-chave: Sistema de buscas. Bibliometria. Qualitativo.

Abstract

The study aimed to bibliographically analyze the scientific production on hops, this is practically non-existent in Brazil, as well as the production areas and practical/scientific work carried out are very recent. The bibliographic method of organization and search is used for the proposed study, bringing a collection of publications on the topic “hops” from the historical series of the CAFe network on the CAPES Periódicos portal from 1940 to 2023 (until 08/27/2023). The United States is one of the countries that exports the most work on the subject, there is the greatest demand for research and production by research centers.

Keywords: Search system. Bibliometrics. Qualitative.

Introdução

Os primeiros marcos da chegada do lúpulo no Brasil, datam da década de 1860, e vieram provavelmente junto da imigração alemã. Esses relatos se confirmam quando observamos o relatório do Ministério da Agricultura apresentado à Assembleia Geral Legislativa no ano de 1862 (MARCUSO, 2022).

A planta do lúpulo (*Humulus lupulu* L.) da família cannabaceae, é uma trepadeira resistente e dioica cuja parte aérea é herbácea e anual, podendo criar raízes adventícias todos os anos (ASTRAY *et al.*, 2020).

Para Spósito *et al.* (2019), a diferença entre as espécies está relacionada basicamente a características morfológicas das folhas e das inflorescências de plantas femininas, denominadas de cones. As inflorescências da planta são conhecidas por ser a matéria-prima que fornece amargor e aromas característicos na produção dos diferentes tipos de cerveja. Os pomares são formados somente por plantas femininas, uma vez que o produto final comercializado são os cones de plantas femininas, que apresentam qualidades superiores para a produção de cerveja. Todos os compostos importantes encontram-se nas inflorescências de plantas femininas do lúpulo, chamadas de cone. Nesses cones são produzidas resinas que são peculiares ao lúpulo e que não são encontradas em nenhuma outra espécie de plantas.

O Brasil, por sua vez, se situa como o terceiro maior fabricante mundial de cerveja, com uma produção anual de 14,1 bilhões de litros em 2018 (ABRACERVA, 2018). E aumentando gradativamente, de acordo com a análise do mercado de cerveja do Brasil. Em 2021, o Brasil produziu 12.356 toneladas de lúpulo, o fruto é uma das principais matérias-primas utilizadas na produção de cerveja. É o Estado do Rio de Janeiro que lidera a produção de mudas, chegando a 26.539 unidades em 2023.

Assim, este estudo teve como objetivo analisar bibliograficamente a produção científica sobre lúpulo, pois este tipo de estudo é praticamente inexistente no Brasil, assim como as áreas de produção e os trabalhos práticos/científicos realizados são muito recentes.

Procedimentos metodológicos

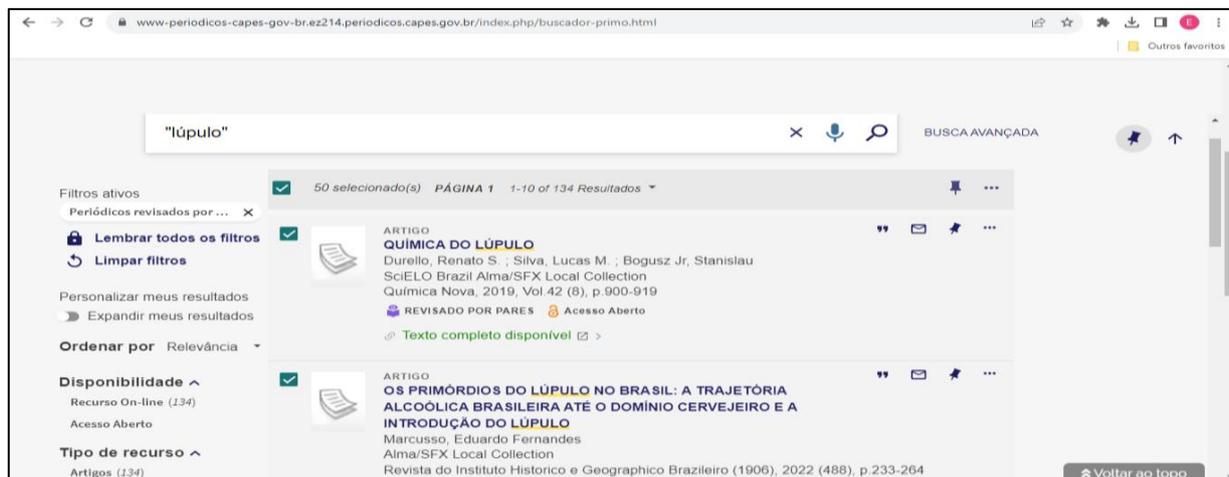
O método bibliográfico de organização e busca é o utilizado para o estudo proposto, trazendo o apanhado de publicações sobre o tema “lúpulo” da série histórica da rede CAFE do portal Periódicos CAPES (Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) de 1940 a 2023 (até 27/08/2023).

A contribuição do estudo, também, busca se apoiar na geração de clusters de palavras-chave, com a utilização do software Word Cloud, onde se torna possível visualizar e traçar análises de toda a lista de trabalhos resultantes da busca desenvolvida para este documento.

Para trazer a discussão do tema, foram utilizados os seguintes parâmetros: Palavra-chave: “lúpulo”; Filtro 01: Periódicos revisados por pares; Anos: 1940 até 2023; Filtro 02: artigos revisados por pares. O assunto ficou limitado a 134 documentos encontrados. Dentre esses, foram selecionados os 50 artigos com maior impacto da base de dados (Figura 01).

A partir destes processos, esse estudo teve o desafio de identificar os diferentes aspectos e dimensões do tema “lúpulo”, que vem tendo vasto interesse e destaque ao longo dos anos.

Figura 01: *Print* da tela com parâmetros utilizados.



Fonte: Portal Periódicos CAPES (2023).

Apresentação e análise dos resultados

No quadro 01, foi listada a quantidade de artigos em cada ano. Pode-se verificar que no ano de 2008 houve o maior número de publicações sobre esse assunto com maior relevância e maior impacto na produção científica da base de dados. Alguns artigos vieram em duplicação e foram contabilizados somente uma vez.

Quadro 01: Artigos publicados da série histórica com maior impacto.

Ano	Nº de Artigos Publicados
1942	1
2000	3
2002	1
2003	3
2004	1
2005	2
2007	5
2008	8
2009	3
2010	1
2011	4
2012	2
2013	1
2018	1
2019	1
2020	2
2021	2
2022	4
2023	1

Fonte: Autores (2023).

Figura 03: Lúpulo da área experimental do IFRS Vacaria da safra 2023/2024.



Fonte: Autores (2024).

PRODUÇÃO

De acordo com Marcusso *et al.* (2022), o primeiro relato de produção de cerveja no Brasil, é derivado dos primeiros imigrantes alemães que atravessaram o Atlântico em 1824. Os primeiros relatos de introdução de lúpulo no Brasil datam da década de 1860, e vieram provavelmente junto da imigração alemã. Em função de exigências de clima e solo para cultivo, acreditava-se que não era possível cultivar lúpulo no Brasil. Entretanto, existem algumas iniciativas para a produção de lúpulo em diferentes cidades das regiões Sul, Sudeste, Norte e Nordeste do Brasil, que derrubaram o mito da impossibilidade de se cultivar e produzir lúpulo no país.

Conforme Vollmer *et al.* (2018), o crescimento no número de novas cervejarias no Brasil, em especial das micro e pequenas empresas é notório, o aumento é de 23% ao ano desde 2008 (BRASIL, 2018). Esse crescimento do número de cervejarias aumenta o consumo dos insumos para fabricação da bebida, em especial aquelas que se diferem das cervejas convencionais, como uso de madeira ou dry-hopping (adição de lúpulo na fermentação ou maturação da cerveja) (GUIMARÃES, 2021).

Aquino *et al.* (2019), ressalta que o Brasil não possui plantações de lúpulo em grande escala, pois são poucos os locais favoráveis ao seu cultivo. Locais entre as latitudes 35° a 55° nos Hemisférios Sul e Norte são os mais adequados para o cultivo, principalmente porque o lúpulo exige temperaturas médias iguais ou menores que 19.5 °C, além do somatório de excesso hídrico igual ou menor que 100 mm (THOMÉ *et al.*, 1999). Em adição, a propagação e condução das plantas, tanto do ponto de vista fitotécnico quanto da fertilidade do solo, podem interferir no crescimento e desenvolvimento da cultura e nos teores de óleos essenciais e de α -ácidos que a planta produz. A estaquia é o principal meio de reprodução da cultura, o qual é um processo simples e prático, pois de apenas um ramo é possível produzir uma grande quantidade de mudas (SPOSITO *et al.*, 2019).

Guimarães *et al.* (2020), realizaram um estudo de prospecção tecnológica acerca das tecnologias envolvendo o lúpulo e suas principais aplicações, em especial no processo cervejeiro e observou que os Estados Unidos e a Alemanha são os países que mais possuem publicações, em concordância com o que se vê no mercado, em que esses países detêm a maior produção de lúpulo no mundo, sendo a maior empresa do ramo a alemã Barth-Haas Group. Os Estados Unidos ocupam o primeiro lugar em produção de cerveja e publicação de artigos na área pesquisada. A China, segundo lugar na produção de cerveja mundial, encontra-se em sexto lugar em quantidade de publicações (empatado com a Inglaterra). O Brasil, terceiro em produção, encontra-se na 16^a posição em termos de publicações. Esse prognóstico aponta novamente questões como regionalidade para a produção do lúpulo, mercado interno e consumo de cerveja, bem como incentivo e estabelecimento de empresas.

DADOS AGRONÔMICOS

O *Humulus lupulus* L. é utilizado na fabricação de cervejas e é descrito como uma trepadeira perene, que produz flores (também chamadas de cones) ricas em resinas (que conferem amargor), polifenóis (com propriedades antioxidantes) e óleos essenciais (que conferem aroma) (DURELLO *et al.*, 2019).

O caule volúvel é áspero e emaranha-se da direita para a esquerda em torno dos suportes que nele são colocados para o seu desenvolvimento que atinge uma altura de quatro a cinco metros. Os frutos do lúpulo têm formato ovoide com escamas mais finas e persistente, cada um contém na sua base dois pequenos aquênios cobertos por um pó amarelo, granulado, aromático e resinoide. Esta matéria amarela, que constitui a parte ativa do lúpulo e que é utilizada na indústria cervejeira e nos medicamentos é chamado lupulina. A lupulina tem muita analogia com o pólen das flores e contém água, um óleo essencial muito aromático, ácido carbônico, acetato de amônia, vestígios de materiais nitrogenados e gordurosos, goma, ácido málico, malato de cal, uma substância amarga, resinas, sílica, vestígios de carbonato e fosfato de ferro e óxido de ferro e enxofre (GARCÍA, 1942).

Embora as inflorescências da planta do lúpulo sejam conhecidas por ser a matéria-prima que fornece amargor e aromas característicos na produção dos diferentes tipos de cerveja, o lúpulo também é utilizado como fármaco e apresenta significativos efeitos na saúde humana. O lúpulo possui propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias. Os óleos e resinas do lúpulo são conhecidos pelas suas propriedades sedativas, além de apresentarem efeitos antibacterianos e antifúngicos. O alfa- ácido amarílico presente nas inflorescências tem efeito positivo no controle de várias doenças complexas. Outros compostos presentes no lúpulo vêm sendo testados para tratamentos de doenças importantes, como o câncer. Por mais que essas informações de seu uso como fármacos sejam relativamente recentes, um vasto conhecimento medicinal já era conhecido e aplicado a mais de 2000 anos (SPÓSITO *et al.*, 2019).

Fortuna *et al.* (2023), realizou um trabalho que teve como objetivo avaliar o desempenho morfológico e produtivo de variedades de lúpulo cultivadas sob manejo orgânico e convencional na região centro-oeste paulista. Os resultados demonstraram que os sistemas de cultivo não promovem alterações significativas nos parâmetros morfológicos. Tratando-se de uma cultura perene de clima temperado, o lúpulo em seu segundo ano de produção já apresentou desempenho morfológico e produtivo satisfatório nas condições edafoclimáticas do centro-oeste de São Paulo, Brasil. O sistema de cultivo orgânico apresentou produção acima do sistema convencional para as variedades Collumbus, Chinook e Cascade. HallertauMittelfrühch foi a variedade menos produtiva em ambos os sistemas de cultivo.

O lúpulo é uma cultura bastante exigente em fertilidade do solo. Assim, a calibração da acidez e da disponibilidade de nutrientes para o cultivo do lúpulo pode ser uma chave para iniciar o desenvolvimento do cultivo desta planta que é altamente rentável (FINK *et al.*, 2022).

De acordo também com Fink *et al.* (2022), ao trabalhar com mudas de lúpulo em diferentes substratos, com e sem aplicação de ácido indol-3-butírico, e verificando o desenvolvimento e a absorção de nutrientes pelas plantas de lúpulo crescidas em solo com diferentes valores de pH; e o desenvolvimento inicial da cultura com doses crescentes de potássio em um latossolo da região centro sul do Paraná, Brasil, concluiu que a brotação e a sobrevivência de estacas de lúpulo, aparentemente, são influenciadas pelo tipo de substrato utilizado para a

produção, porém o mergulho das estacas em AIB diminui sua brotação. O solo com pH 5,5 permite o melhor crescimento as plantas no primeiro ano de plantio, porém a absorção de nutrientes a planta não é influenciada pelo pH do solo. Em adição, plantas cultivadas em solo com valores de pH de solo 6,0 e 6,5 tendem a diminuir a concentração de clorofila nas folhas. O aumento da dosagem de K₂O aumenta os teores de K no solo, permitindo que a planta de lúpulo absorva e acumule maior quantidade de K nas raízes. Todavia, na fase inicial de desenvolvimento do lúpulo, aparentemente, há pouca translocação de K para a parte aérea da planta.

Conforme Behn *et al.* (2022), na região de Los Ríos no Chile, vários ecótipos locais de lúpulo foram coletados nos últimos dez anos, o ecótipo Ranco é até agora o mais distribuído e cultivado na região. Os cones de lúpulo analisados neste estudo apresentaram baixo percentual de ácidos amargos, mas em diferentes partes da planta foram detectadas quantidades significativas de polifenóis, sugerindo um potencial uso na indústria alimentícia e cosmética, bem como no desenvolvimento de novas cervejas regionais. As características morfológicas e químicas apresentadas pela primeira vez neste novo ecótipo de lúpulo fornecem conhecimentos úteis para fortalecer o desenvolvimento sustentável das indústrias cervejeiras e de produtos à base de lúpulo com valor agregado na região de Los Ríos.

A variedade de lúpulo Millennium foi desenvolvida com o propósito de melhorar os valores cervejeiros e as características agrônômicas das variedades existentes com alto teor de ácidos- α cultivadas no Noroeste Pacífico dos Estados Unidos. Millennium é um substituto excelente e econômico para a variedade de lúpulo Nugget e oferece uma alternativa às variedades de lúpulo conhecidas coletivamente como Columbus/Tomahawk/Zeus. Millennium é cultivada nos estados de Washington e Oregon e possui a quarta maior área plantada de variedades com alto teor de ácido α . (PROBASCO *et al.*, 2006).

SENSORIAL

No trabalho de Kishimoto *et al.* (2008), os comportamentos do 3-mercaptopentan-1-ol (3MH) e do acetato de 3-mercaptopentil (3MHA) durante os processos de fabricação de cerveja foram examinados para estabelecer suas contribuições para o aroma distinto da cerveja. Este estudo sugere que a seleção de cepas de levedura com alta capacidade de converter tióis de 3MH em 3MHA é uma estratégia útil para aumentar o impacto do aroma da cerveja.

A cromatografia-olfatometria gasosa (GCO) é uma técnica analítica para avaliar as características do aroma de constituintes voláteis separados por cromatografia gasosa (GC). Murakami *et al.* (2003), apresentaram três estudos de caso empregando a técnica GCO na fabricação de cerveja, incluindo investigação do aroma de kettle hop, aroma estranho na cerveja e aroma de cerveja envelhecida. Esta técnica revelou que alterações quantitativas de muitos componentes menores que possuem notas aromáticas desagradáveis, particularmente os ácidos carboxílicos, estavam envolvidas no aroma da cerveja envelhecida.

Edgerton (2005), verificou que após vários meses de dados de produção de cerveja foi observado um padrão de menor viabilidade de cervejas com altos níveis de unidades de amargor (BU). Os resultados de um estudo de fermentação de bancada indicaram uma perda de viabilidade com o aumento dos níveis de BU. O método de viabilidade de cultura de lâminas ASBC com níveis variados de extrato de lúpulo mostrou que o aumento dos níveis de BU exerceu um efeito adverso na viabilidade da levedura colhida.

Os β -ácidos também contribuem em menor intensidade para o amargor (TECHAKRIENGKRAIL *et al.*, 2004). Duas abordagens foram examinadas para a preparação de calibrações no infravermelho próximo (NIR) para a previsão do conteúdo de α -ácidos, conteúdo de β -ácidos e índice de armazenamento de lúpulo (HSI) em amostras de lúpulo enfardadas (GARDEN *et al.*, 2000).

Dos chamados α -ácidos encontrados no lúpulo, sabe-se que, como consequência do aquecimento devido ao processo de fabricação da cerveja, os α -ácidos passam por um processo de isomerização que dá origem às formas “cis” e “trans” do respectivo “iso- α -ácido”. O problema é que esses ácidos são suscetíveis à decomposição, portanto caso isso ocorra o nível de amargor desejável para a cerveja não é alcançado. Para evitar isso, foram

desenvolvidos compostos mais resistentes, os “tetrahydro-iso- α -ácidos”, que são obtidos por hidrogenação de iso- α -ácidos, e os quais são adicionados a cerveja para ajustar o seu nível de amargor (MEDINA, 2013).

Os cis-iso- α -ácidos que resultam da isomerização dos α -ácidos do lúpulo, juntamente com os seus isômeros trans, são os principais componentes amargos encontrados na cerveja (KHATIB *et al.*, 2010).

O destino dos α -ácidos e iso- α -ácidos e suas variantes quimicamente modificadas, foi monitorado em cervejas piloto em função do regime de lúpulo e do envelhecimento da cerveja, no trabalho de Jaskula *et al.* (2007). A análise por HPLC indica que α -ácidos, iso- α -ácidos e dihidroiso- α -ácidos na cerveja não são estáveis durante o envelhecimento forçado. Isto se reflete ainda mais no desempenho sensorial dessas cervejas. A cerveja amarga exclusivamente com tetrahydroiso- α -ácidos mostrou-se completamente estável, em termos de componentes do lúpulo, nas condições experimentais empregadas. Além disso, a estabilidade geral do sabor foi significativamente melhorada. Estes resultados fornecem mais evidências de que os ácidos amargos derivados do lúpulo, incluindo os di-hidroiso- α -ácidos estáveis à luz, podem desempenhar um papel importante na deterioração do sabor da cerveja durante o armazenamento (JASKULA *et al.*, 2007).

Os limiares de sabor humano de iso- α -ácidos e tetrahydro-iso- α -ácidos foram medidos em uma matriz de cerveja lager sem lúpulo usando o protocolo ASTM método 1432. Para cada composto, 14 voluntários participaram de 3 sessões de treinamento e 6 a 13 sessões de testes, durante as quais cada painelista foi apresentado a uma série de seis testes de escolha forçada com 3 alternativas. Cada série foi apresentada em concentração crescente por um fator de 1,5 ou 1,3 em relação à amostra dosada anterior para iso e tetra, respectivamente. As concentrações limiares individuais do painelista foram determinadas como o ponto em uma curva sigmoideal ajustada aos seus dados percentuais de resposta correta, onde o painelista escolheu corretamente a amostra dosada em 66% das vezes (KOLPIN *et al.*, 2009).

Fritsch *et al.* (2008), avaliaram o amargor relativo dos iso- α -ácidos reduzidos e não reduzidos na cerveja lager, foi medido usando um protocolo de tempo-intensidade no qual um painel treinado avaliou sete concentrações de cada composto em uma cerveja lager sem lúpulo. As intensidades dos picos foram medidas e, dentro de cada painelista, uma curva dose-resposta não linear foi ajustada aos dados. Relações igual-amargo ao longo de uma gama de concentrações foram criadas dentro de cada painelista para cada par reduzido de iso- α -ácido/iso- α -ácido. Os parâmetros desses modelos foram comparados estatisticamente usando um teste t unilateral e bilateral, e foram geradas relações combinadas entre grupos. Conseqüentemente, os rho-iso- α -ácidos eram significativamente menos amargos que os iso- α -ácidos, e os tetrahydro e hexahidro-iso- α -ácidos eram aproximadamente iguais em amargor aos iso- α -ácidos. Os resultados foram validados por um painel de consumidores.

Posteriormente, Fritsch *et al.* (2009), fizeram outro estudo e mediu-se o amargor temporal e qualitativo dos iso- α -ácidos reduzidos e não reduzidos. Um painel treinado usando um protocolo de tempo-intensidade determinou os atributos temporais desses compostos adicionados a uma cerveja lager sem lúpulo. Análise de componentes principais e análise de variância foram aplicadas em concentrações equivalentes para determinar diferenças entre compostos ($\alpha = 0,10$). As características qualitativas dos compostos de lúpulo, sulfato de quinina e cafeína foram avaliadas em concentrações iguais usando um protocolo sensorial de perfil de livre escolha e foram separadas estatisticamente através da aplicação de análise generalizada de procrustes (GPA).

Veríssimo *et al.* (2022), realizou alguns estudos, nas regiões ultravioleta/visível e infravermelho próximo, maximizados por Cromatografia Líquida de Ultra Eficiência, para a identificação da melhor forma de armazenamento de lúpulos, através da variação da (i) temperatura de armazenamento, (ii) do contato com o ar atmosférico e (iii) do tempo de armazenamento. Para tanto, três variedades diferentes de lúpulos comerciais foram armazenadas por seis meses (Hersbrucker, Magnum e Zeus). Os resultados quimiométricos com os dados obtidos por UV-Vis e NIRS demonstraram claramente a cinética de degradação dos lúpulos em diferentes condições de armazenamento, enquanto os resultados cromatográficos promoveram a quantificação dessa degradação. Juntos, os resultados indicaram que os lúpulos estocados em sacos plásticos a vácuo em baixas temperaturas (≤ -10 °C) apresentaram a menor taxa de degradação dos α - ácidos durante os meses de estudo.

A cerveja possui diversos compostos de odor e sabor (HOUGH *et al.*, 1982; VERHAGEN, 1999). Alguns deles são provenientes das matérias-primas malte e lúpulo, sendo, grande parte, formada durante o processo de brassagem, que consiste em diversas etapas, incluindo-se a fermentação. O lúpulo adicionado ao final da etapa de mosturação, sob a forma de pellets ou essências, é o responsável pelo sabor amargo da cerveja (HUGHES; SIMPSON, 1993; SANDRA, 1976). O lúpulo é o elemento principal e indispensável na fabricação da cerveja, sua essência é o que a impede a bebida de azedar. A mesma essência comunica à bebida o amargor agradável que caracteriza a ação tônica e propriedades narcóticas e embriagantes, quando ingerido em bastante quantidade (GARCÍA, 1942).

Silva *et al.* (2008), realizou um trabalho com o objetivo de medir analiticamente as características amargas de algumas marcas de cervejas brasileiras e americanas, determinando-se o amargor em termos de BU, por método espectrofotométrico, bem como a quantificação por cromatografia líquida de frações específicas dos iso- α -ácidos presentes nas amostras por cromatografia líquida. Os métodos espectrofotométrico e cromatográfico apresentaram resultados semelhantes para as cervejas tipo lager pilsener, provenientes dos mercados brasileiro e norte-americano. Entretanto, concentrações de iso- α -ácidos semelhantes das cervejas tipo Indian Pale Ale e de microcervceria não equivaleram às intensidades de amargor obtidas, já que a primeira delas apresentou valor de BU bastante elevado em relação às demais marcas.

De acordo com McLaughlin *et al.* (2008), um extrato polifenólico foi produzido a partir de material de lúpulo Galena gasto e adicionado a uma cerveja lager comercial de baixo amargor em três níveis (+0, +100 e +200 mg/L) juntamente com iso- α -ácidos de um lúpulo Galena pré-isomerizado, extrato em dois níveis (+0 e +10 mg/L) para examinar o impacto no caráter amargo por métodos de intensidade de tempo (IT) e perfil de livre escolha (FCP), usando 11 painelistas treinados. Amostras ricas em polifenóis receberam frequentemente intensidades mais altas para descritores “ásperos”, “medicinais” e “metálicos”.

As mudanças nas emoções humanas durante o cheiro dos aromas de lúpulo e éster foram avaliadas usando um sistema de medição para ondas cerebrais humanas. As ondas cerebrais foram detectadas através de um sensor de bandana equipado com dois eletrodos colocados na testa do sujeito. A medição das ondas cerebrais é uma nova abordagem para determinar o significado psicológico e neurofisiológico dos efeitos do cheiro dos componentes do aroma da cerveja nas mudanças nas emoções humanas (KANEDA *et al.*, 2011).

BIOQUÍMICA

O lúpulo residual obtido da extração supercrítica de dióxido de carbono é um aditivo potencial e de alto valor nutritivo na produção de forragens e uma fonte de xantohumol, que tem recebido muita atenção nos últimos anos como fator anticancerígeno e antioxidante. Neste trabalho de Aniol *et al.* (2008), verificou-se alguns resultados de experimentos envolvendo a remoção de ácidos residuais de lúpulo desses resíduos, porque os alimentos contendo esse lúpulo gasto não são consumidos voluntariamente pelos animais. O lúpulo gasto foi extraído com diferentes solventes (metanol, etanol, acetona e hexano) e sob diferentes condições, nomeadamente temperatura ambiente e de ebulição e extração ultrassônica.

A análise dos óleos essenciais de lúpulo ajuda a determinar a qualidade do lúpulo e a discriminação varietal. Uma nova abordagem para a análise rápida de óleos essenciais é relatada usando cromatografia gasosa capilar – espectrometria de massa em tempo de voo (GC-TOFMS), que é comparada à análise convencional por cromatografia gasosa quadrupolo-espectrometria de massa. Usando colunas capilares de diâmetro estreito (0,18 mm id) em combinação com altas frequências de aquisição espectral, problemas inerentes de co-eluições de pico foram superados usando algoritmos de deconvolução espectral. As altas taxas de aquisição de TOFMS proporcionaram pureza espectral superior que, em conjunto com maior transmissão de íons de alta massa do que o quadrupolo, forneceu excelentes dados espectrais para espécies como humulona e lupulona. Usando um método GC-TOFMS, foi alcançada uma redução no tempo total de análise por um fator de 10, identificando com sucessos 40 componentes principais comuns. A modificação deste método para incorporar a análise quantitativa poderia permitir um método rápido de controle de qualidade do lúpulo (ROBERTS *et al.*, 2002).

Liu *et al.* (2007), realizou um estudo tendo como objetivo avaliar a atividade antioxidante total e as atividades sequestradoras de radicais livres hidroxila do lúpulo e seus produtos. Cones de lúpulo secos de cinco variedades (SA-1, Chinook, Nugget, Marco Polo e Tsingdao) foram utilizados no estudo. Todas as amostras de lúpulo apresentaram graus variados de capacidade antioxidante e eliminação de radicais hidroxila no nível testado; os ácidos a de lúpulo exibiram eliminação significativa de radicais hidroxila, bem como atividade antioxidante, in vitro. Nos extratos de etanol e CO₂, Marco Polo apresentou a maior capacidade antioxidante e atividade eliminadora de radicais hidroxila.

A quebra de metais e a compactação de radicais hidroxilas altamente reativos são comumente propostas para explicar o comportamento antioxidante dos ácidos do lúpulo. Um ensaio sobre a medição da degradação oxidativa de 2- desoxirribose (2-DR) pelos radicais hidroxilo foi usado para elucidar os mecanismos e examinar a origem da capacidade dos ácidos do lúpulo para prevenir o dano oxidativo. Os α - e iso- α -ácidos do lúpulo são capazes de evitar a degradação oxidativa do 2-DR, no entanto, α -ácidos que parecem ser 60% mais eficazes que os iso- α -ácidos. A capacidade dos ácidos lúpulos para inibir a degradação oxidativa do 2-DR pode ser inversamente correlacionada com a concentração de Fe²⁺, o que sugere que impeça a oxidação do 2-DR por causa do ferro. Por outro lado, foi demonstrado que esses ácidos lúpulos não são capazes de eliminar os radicais hidroxilados (WIETSTOCK *et al.*, 2011).

Ting *et al.* (2018), realizou um ensaio DPPH radical que revelou que os compostos puros de lúpulo e os componentes dos produtos de lúpulo com uma configuração de anel de seis membros (semiquinona ou quinóide) tinham a atividade de supressão radical mais forte. Os resultados da técnica ESR-PBN indicaram que a humulona (I), os pellets de lúpulo e o extrato de CO₂ de lúpulo tinham uma propriedade distinta de proteção térmica (supressão radical) durante a fervura do mosto e na cerveja final.

O mercado de cerveja artesanal está crescendo no Panamá, um lugar com potencial impressionante de impactar formulações para produção de cerveja artesanal com sua biodiversidade. Neste país, a indústria da cerveja artesanal é uma atividade comercial em crescimento contínuo desde 2013 (CORREA *et al.*, 2020). Assim, Correa *et al.* (2020), conduziu uma pesquisa que avalia o efeito da adição de polpa de manga na formulação da cerveja artesanal Pale Ale, estilo Golden Light, com levedura de baixa fermentação, que mostrou bons resultados devido ao fato que se mantiveram os parâmetros bioquímicos fundamentais como grau brix, amargor, pH e cor de uma cerveja artesanal, e com características organolépticas realçadas.

Donaldson *et al.* (2012), também realizou testes com análise sensorial descritiva e a livre escolha de perfis foram aplicadas na caracterização do aroma em treze variedades de lúpulo, tanto na forma de flor quanto após utilização do lúpulo na cerveja como dry-hopping, que tem por objetivo extrair substâncias aromáticas dos lúpulos (óleos essenciais), através da extração líquido-líquido da flor em pellets para a cerveja. E chegou à conclusão de que o uso de lúpulo seco tende a condensar as variedades ao avaliar seu aroma, talvez indicando um grau de mascaramento por outros componentes da cerveja. Contudo, as notas aromáticas detectadas são semelhantes, independentemente de serem avaliadas como um todo ou como florais nas cervejas.

O problema mais comum nas indústrias de destilaria é a contaminação bacteriana, gerada durante o processo de fermentação desde a chegada da matéria-prémio até a destilação, causando perdas dos níveis de etanol (OROSCO *et al.*, 2018). Assim, o gene de resistência ao lúpulo horA está associado à deterioração da cerveja por isolados de quatro *Lactobacillus* spp. e um *Pediococcus* sp. (HAAKENSEN *et al.*, 2007).

Lactobacillus brevis, *L. lindneri* e *Pediococcus Damnosus* são os principais contaminantes perigosos para cerveja embalada; entretanto, todas as cepas classificadas nestas espécies não são capazes de crescer na cerveja (TSUCHIYA *et al.*, 2000). Para elucidar os mecanismos subjacentes à capacidade de resistência ao lúpulo das bactérias do ácido láctico que deterioram a cerveja, isolou-se variantes sensíveis ao lúpulo do *Lactobacillus brevis*, que deteriora a cerveja. Como resultado, descobriu-se que as subculturas repetidas a 37°C causaram a perda da resistência ao lúpulo de seis cepas de *L. brevis* à deterioração da cerveja (SUZUKI *et al.*, 2004).

Uma modificação do meio de cultivo de Man-Rogosa-Sharpe (MRS) é adequada para a detecção fácil, rápida e específica de bactérias de putrefação de cerveja como *Pectinatus* spp, bactérias estritamente anaeróbicas são um

grupo importante de organismos que deterioram a cerveja, causando perdas econômicas significativas para a indústria cervejira (MATOULKOVÁ *et al.*, 2012).

Variantes sensíveis ao lúpulo foram isoladas de seis diferentes cepas de *Lactobacillus brevis* que deterioram a cerveja após a 15ª subcultura a 37°C. Todas as variantes perderam a capacidade de deterioração da cerveja, indicando que a perda de resistência ao lúpulo é a principal responsável pela perda da capacidade de deterioração da cerveja das variantes (SUZUKI *et al.*, 2005).

O uso de antibióticos como tratamento para controlar a contaminação bacteriana durante a fase de fermentação e produção de etanol tem sido amplamente implementado, destacando-se o uso de Penicilina (PEN) e Virginiamicina (VIR) (OLIVANETO *et al.*, 2013), assim realizou-se controle de contaminação na fermentação melado alcoólico com uso de penicilinas e tetraciclina, da mesma forma que Bischoff *et al.*, (2009), utilizaram PEN e VIR para determinar a suscetibilidade das espécies de *Lactobacillus* sp isolado de uma usina de etanol. No entanto, ainda existem limitações na eficiência destes antimicrobianos (MUTHAIYAN *et al.*, 2011).

Com o propósito de gerar novas alternativas para controlar bactérias contaminantes no processo de fermentação, é necessária a avaliação de diferentes antibióticos, sem afetar a morfologia, desenvolvimento e desempenho da levedura. Portanto, o propósito desta pesquisa teve como objetivo avaliar o efeito de antibióticos e um antimicrobiano em diferentes concentrações, como medida de controle para bactérias contaminantes em etapa fermentativa da produção de álcool combustível em três usinas produtoras no Valle del Cauca e observar os efeitos desses antibióticos na viabilidade da levedura. Os antibióticos foram eficientes no controle de bactérias contaminantes, sendo o efeito maior nos antibióticos quando utilizados em altas concentrações (15 ppm) e no antimicrobiano a menor concentração (15 ppm) (OROZCO *et al.*, 2018).

Considerações finais

O lúpulo é foco de estudo e dedicação de universidades em poucos países. A demanda por informações sobre lúpulo é crescente, à medida que aumenta o cultivo e o interesse pela cultura. Os Estados Unidos é um dos países que mais exporta trabalhos sobre o assunto porque onde há maior cultivo e comercialização de lúpulo é onde ocorre a maior demanda de pesquisa e produção pelos centros de pesquisa.

Embora inicial e ainda em desenvolvimento, a produção de lúpulo tem despertado o interesse de alguns produtores agrícolas do país, principalmente localizados nas regiões sul e sudeste. Principalmente na Serra Gaúcha e na Serra Catarinense é onde deverá ser obtido o lúpulo de qualidade, com alto teor de óleos essenciais. Em função de características como clima e altitude é nessas duas regiões que devem concentrar a maior parte da produção brasileira. Assim lembrando que o lúpulo é uma flor que requer bastante horas de sol e temperaturas amenas no verão para se desenvolver

O lúpulo no Brasil possui características únicas e pode ter diferentes finalidades, tanto na produção de cerveja, como na saúde humana e bem-estar. Mas não é apenas o cultivo do lúpulo que vem se destacando no Brasil, é notório que as pesquisas e a produção de lúpulo vêm aumentando gradativamente. As pesquisas científicas também estão ganhando espaço com grupos de pesquisadores espalhados pelo país, com publicações em revistas científicas nacionais e internacionais, além de monografias de mestrado e doutorado com impacto expressivo na comunidade acadêmica.

Referências

- ABRACERVA. **Número de cervejarias artesanais no Brasil já cresceu 23% em 2018**. Disponível em: <https://abracerva.com.br/2018/10/04/numero-de-cervejarias-artesanais-no-brasil-ja-cresceu-23-em-2018/>. Acesso em: 28 abr. 2024.
- ANIOL, Mirosław; ZOLNIERCZY, Anna. Análise de traços de óleos essenciais de lúpulo em lúpulo gasto. **Journal of the American Society of Brewing Chemists**, 65:4, 214-218, 2008.
- ASTRAY, G.; *et al.* *Humulus lupulus* L. as a Natural Source of Functional Biomolecules. **Applied Sciences**. 2020, vol 10, pg 74.
- AQUINO, Adriana Maria; *et al.* **Produção de lúpulo na Região Serrana Fluminense: manual de boas práticas**. Nova Friburgo, RJ: Associação Comercial, Industrial e Agrícola de Nova Friburgo - ACIANF, 2022.
- BEHN, A.; *et al.* Caracterização do ecótipo do lúpulo chileno (*Humulus lupulus* L.) Ranco na região de Los Ríos. **Agro Sul**, 49 (3), 33–44, 2022.
- BISCHOFF, K. M.; *et al.* Modeling bacterial contamination of fuel ethanol fermentation. **Biotechnology and Bioengineering**. Vol 103(1), pg 117–122. 2009.
- BRASIL. MULLER, C. V.; MARCUSSO, E. F. Divisão de Inspeção de Produtos de Origem Vegetal. **Mapa Informa: as cervejarias continuam a crescer**. Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, pg 8, 2018. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/pasta-publicacoes-DIPOV/as-cervejas-continuam-a-crescer-pdf>. Acesso em: 15 nov. 2023.
- CORREA, Jhonny; *et al.* Implementação de polpa de manga na produção de cerveja artesanal. **Revista de Iniciação Científica**, v6, pg 123-127, 2021.
- OLIVEIRA, Marcos Vinícius Ribeiro. **Crescimento do Lúpulo Influenciado por Calagem e Fornecimento de Fósforo**. [Dissertação de mestrado]. Universidade do Estado de Santa Catarina. 2019.
- DONALDSON, B. R.; *et al.* Análise descritiva sensorial e perfil de livre escolha de treze variedades de lúpulo como cones inteiros e após dry-hopping de cerveja. **Journal of the American Society of Brewing Chemists**, vol 70:3, pg 176-181, 2012.
- DURELLO, R. S.; *et al.* **Química Nova**. Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, 13566-590 São Carlos – SP, Brasil, 2019.
- EDGERTON, J. O impacto da amargura na viabilidade da levedura colhida. **Journal of the American Society of Brewing Chemists**, vol 63:1, 28-30, 2005.
- FINK, Jessé; *et al.* Produção de mudas e desenvolvimento do lúpulo em solo com diferentes valores de pH e doses de potássio. **Revista científica de la Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo**. Pg 13-23, 2022.
- FRITSCH, Annette; SHELLHAMMER, Thomas H. As qualidades amargas dos iso- α -ácidos reduzidos e não reduzidos, **Journal of the American Society of Brewing Chemists**. Vol 67:1, pg 8-13. 2009.
- FRITSCH, Annette; SHELLHAMMER, Thomas H. Amargura relativa de iso- α -ácidos reduzidos e não reduzidos em cerveja Lager. **Journal of the American Society of Brewing Chemists**, 66:2, 88-93, 2008.
- FORTUNA, Gabriel Cássia; *et al.* Agronomic performance of *Humulus lupulus* L. varieties cultivated in organic and conventional systems in São Paulo center-west, Brazil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.53:8, 2023.
- GARCÍA, A. P. El Lúpulo. **Revista Facultad Nacional de Agronomía**, Medellín, Vol.5 (16y17), p.52-54. 1942.
- GARDEN, S. W.; *et al.* Desenvolvimento de calibrações de infravermelho próximo para análise de lúpulo. **Journal of the American Society of Brewing Chemists**, vol 58:2, pg 73-82, 2000.
- GUIMARÃES, Bernardo Pontes; *et al.* Prospecção Tecnológica do Lúpulo (*Humulus lupulus* L.) e suas Aplicações com Ênfase no Mercado Cervejeiro Brasileiro. **Cadernos de Prospecção – Salvador**, vol. 14, n. 3, pg. 858-872, setembro, 2021.
- HAAKENSEN, L.; *et al.* *horA* -PCR específico em tempo real para detecção de bactérias de ácido láctico que deterioram a cerveja, **Journal of the American Society of Brewing Chemists**. 65:3, 157-165, 2007.
- HOUGH, J. S. **Malting and brewing science**. Cambridge: University Press. v. 2, pg 400, 1982.
- HUGHES, P. S.; SIMPSON, W. J. Production and composition of hop products. **MBAA Technical Quarterly**, v. 30, n. 4, p. 146-154, 1993.

- JASKULA, Barbara; *et al.* Tecnologia de salto em relação à consistência do amargor da cerveja e estabilidade de sabor. **Journal of the American Society of Brewing Chemists**, vol 65:1, pg 38-46, 2007.
- KANEDA, Hirotaka; *et al.* Novo significado psicológico e neurofisiológico dos aromas de cerveja. Parte I: Medição das mudanças nas emoções humanas durante o cheiro de aromas de lúpulo e éster usando um sistema de medição para ondas cerebrais. **Journal of the American Society of Brewing Chemists**, vol 69:2, pg 67-74, 2011.
- KANEDA, Hirotaka; *et al.* Novo significado psicológico e neurofisiológico dos aromas de cerveja. Parte II: Efeitos dos aromas de cerveja nas ondas cerebrais relacionadas às mudanças nas emoções humanas. **Journal of the American Society of Brewing Chemists**, vol 69:2, pg 75-80, 2011.
- KHATIB, Alfi; *et al.* aplicação de β -ciclodextrina para separar cis-detran-Iso- α -ácidos em um extrato de lúpulo isomerizado. **Journal of the American Society of Químicos Cervejeiros**, vol 68:1, pg 15-20. 2010.
- KISHIMOTO, Toru; *et al.* Comportamentos de 3-Mercaptohexan-1-ol e acetato de 3-mercaptohexil durante processos de fabricação de cerveja, **Journal of the American Society of Brewing Chemists**, vol 66:3, pg 192-196, 2008.
- KOLPIN, Kathryn M., SHELLHAMMER, Thomas H. O Limiar de Detecção de Amargura Humana de Iso- α -Ácidos e Tetrahydro-Iso- α -Ácidos em Cerveja Lager. **Journal of the American Society of Brewing Chemists**, vol 67:4, pg 200- 205, 2009.
- LIU, Yumei; *et al.* Atividades antioxidantes do lúpulo (*Humulus Lupulus*) e seus produtos. **Sociedade Americana de Químicos Cervejeiros. Revista ISSN: 0361-0470**. Vol. 65 pg. 116-121, 2007.
- MARCUSSO, Eduardo Fernandes. Os primórdios do lúpulo no Brasil: a trajetória alcoólica brasileira até o domínio cervejeiro e a introdução do lúpulo. **Revista do Instituto Histórico e Geográfico Brasileiro** (1906), 2022 (488), p.233-264.
- MATOUJKOVÁ, Dagmar; *et al.* Método rápido, simples e específico baseado em cultivo para detecção de *Pectinatus spp.* em Amostras de Cervejaria. **Journal of the American Society of Brewing Chemists**, vol 70:1, pg 29-34, 2012.
- MCLAUGHLIN, Ian R; *et al.* Propriedades modificadoras de amargura de polifenóis de lúpulo extraídos de material de lúpulo gasto. **Journal of the American Society of Brewing Chemists**, 66:3, 174-183, 2008.
- MEDINA, Juan Pablo. **Revista de química PUCP**, vol 27, nº 1-2. 2013.
- MOIR, M. Hops: a millennium review. **Journal of the American Society of Brewing Chemists**, Vol.58 (4), p.131-146, 2000.
- MURAKAMI, A. A; *et al.* Investigação do sabor da cerveja por cromatografia gasosa-olfatometria, **Journal of the American Society of Brewing Chemists**, vol 61:1, 23-32, 2003.
- MUTHAIYAN, A; *et al.* Anti-microbial strategies for limiting bacterial contaminants in fuel bioethanol fermentations. **Progress in Energy and Combustion Science**, vol 37(3), pg 351–370. 2011.
- OLIVA-NETO, P.; *et al.* The Brazilian technology of fuel ethanol fermentation-yeast inhibition factors and new perspectives to improve the technology. **Materials and Processes for Energy: Communicating Current Research and Technological Developments**, 1, pg 371-379, 2013.
- OROZCO, Joana Carolina *et al.* Conferir Efecto de antibióticos y un antimicrobiano sobre el control de bacterias ácido lácticas en la fermentación alcohólica. **Revista Colombiana de Biotecnología**. Vol. XX No. 2, pg 19 -37. 2018.
- PROBASCO, Gene; *et al.* Millennium - Uma nova variedade de lúpulo. **Journal of the American Society of Brewing Chemists**, vol 64:3, pg155-157, 2006.
- ROBERTS, Mark T; LEWIS, Alastair C. Caracterização rápida de óleos essenciais de lúpulo usando cromatografia gasosa – espectrometria de massa em tempo de voo, **Journal of the American Society of Brewing Chemists**, 60:3, 116-121, 2002.
- SILVA, Paulo Henrique Alves; FARIA, Fernanda Carolina. **Ciência Tecnologia Alimentos**, Campinas, vol 28(4), pg 902-906, 2008.
- SPÓSITO, Marcel Bellato; *et al.* **A cultura do lúpulo**. Piracicaba: ESALQ - Divisão de Biblioteca, 2019. 81 p. (Série Produtor Rural, no. 68).
- SUZUKI, K.; *et al.* *Lactobacillus brevis* deteriorado por cerveja. **Journal of the American Society of Brewing Chemists**, 63:1, 5-10, 2005.

- SUZUKI, K.; *et al.* Isolamento de variantes sensíveis ao lúpulo de cepas de *Lactobacillus brevis*. **Journal of the American Society of Brewing Chemists**, 62:2, 71-74, 2004.
- TECHAKRIENGKRAIL, I. Relationships of sensory bitterness in lager beers to iso-alfa-acid contents. **Journal of the Institut of Brewing**, vol .110, n1, pg 51-56, 2004.
- THOMÉ, V. M. R.; *et al.* Zoneamento agroecológico e socioeconômico de Santa Catarina. Epagri, 1999.
- TING, Patrick L; *et al.* Identificação de compostos antirradicais de lúpulo. **Journal of the American Society of Brewing Chemists**, vol 66:2, pg 116-126, 2008.
- TSUCHIYA, Y.; *et al.* Anticorpos monoclonais específicos para a capacidade de deterioração da cerveja por bactérias do ácido láctico. **Journal of the American Society of Brewing Chemists**, vol 58:3, pg 89-93, 2000.
- VERHAGEN, L. C. Beer flavour. In: PIGGOTT, J. R.; PATERSON, A. Understanding natural flavors. **London: Blakie Academic & Professional**, pg 318, 1999.
- VERÍSSIMO, Lavínia Silva; *et al.* Chemometric studies of hops degradation at different storage forms using UV-Vis, NIRS and UPLC analyses. **Brazilian Journal of Food Technology**, vol.25, pg. 1-13, 2022
- VOLLMER, D. Aroma extract dilution analysis of beers dry-hopped with Cascade, Chinook, and Centennial. **Journal of the American Society of Brewing Chemists**, [s.l.], vol. 76, pg. 190-198, 2018.
- WIESTOCK, Philip C.; SHELLHAMMER, Thomas H. Propriedades quelantes e atividades de eliminação de hidroxila de ácidos α - e iso- α de lúpulo. **Journal of the American Society of Brewing Chemists**, vol 69:3, pg 133-138, 2011.