

Cervejas: relação entre estilos; compostos fenólicos e capacidade antioxidante

Beers: relationship between styles; phenolic compounds and antioxidant capacity

Cervezas: relación entre estilos; compuestos fenólicos y capacidad antioxidante

Recebido: 02/03/2021 | Revisado: 10/03/2021 | Aceito: 14/03/2021 | Publicado: 21/03/2021

Roberta Nogueira Pereira da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0818-8840>

Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Brasil

E-mail: robertanps@gmail.com

Juliana Furtado Dias

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8559-0422>

Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Brasil

E-mail: juliana.dias@unirio.br

Maria Gabriela Bello Koblitz

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5558-570X>

Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Brasil

E-mail: maria.koblitz@unirio.br

Resumo

Na composição química da cerveja são encontrados compostos fenólicos que contribuem para suas características sensoriais e possuem capacidade antioxidante, auxiliando a manutenção da estabilidade oxidativa. A compilação de 35 estudos, publicados entre 2006 e 2020, teve o objetivo de levantar informações a respeito dos compostos fenólicos e da atividade antioxidante de cervejas e relacionar os resultados obtidos com os tipos de cervejas analisadas. Os resultados mostraram que, tanto o teor quanto o perfil de compostos fenólicos e a atividade antioxidante da cerveja, sofrem influência dos ingredientes utilizados e do processo de fabricação. As cervejas do tipo *Ale*, de coloração escura, com maior amargor e teor alcóolico, apresentaram valores mais elevados de compostos fenólicos e atividade antioxidante que outros tipos e estilos. As análises para as cervejas especiais mostraram que a adição de alimentos diversificados contribuiu para melhorar a composição em bioativos da bebida. Mais de 50 compostos fenólicos já foram identificados em cervejas, derivados dos ingredientes utilizados para a fabricação. Entre os compostos fenólicos mais frequentes estão os ácidos fenólicos, como os ácidos ferúlico e caféico e catequinas. Estudos observaram estreita correlação entre o teor de compostos fenólicos totais e a capacidade antioxidante. E a presença de alguns compostos específicos pode aumentar esta atividade. No entanto, durante o armazenamento da cerveja, pode ocorrer redução da atividade antioxidante devido a mudanças nas estruturas das moléculas com essa capacidade. Estes estudos contribuem para o aprimoramento e desenvolvimento de bebidas com maior teor de compostos fenólicos, auxiliando sua estabilidade oxidativa e vida útil.

Palavras-chave: Fitoquímicos; *Lager*; *Ale*; Estabilidade.

Abstract

In the chemical composition of beer, phenolic compounds that contribute to the sensory characteristics and show antioxidant capacity are found and help to maintain oxidative stability. The compilation of 35 studies, published between 2006 and 2020, aimed to gather information about the phenolic compounds and the antioxidant activity of beers and to relate the results obtained with the types of beers analyzed. The results showed that both, the content and the profile of phenolic compounds and the antioxidant activity of beer, are influenced by the ingredients used and by the manufacturing process. Ale beers, dark in color, with higher bitterness and alcohol content, showed higher values of phenolic compounds and antioxidant activity than other types and styles. Analyzes for specialty beers showed that the addition of diversified foods contributed to improving the bioactive composition of the beverage. Over 50 phenolic compounds have already been identified in beers, derived from the ingredients used in the manufacture. Among the most frequent phenolic compounds are phenolic acids, such as ferulic and caffeic acids and catechins. A close correlation between the content of total phenolic compounds and the antioxidant capacity was observed, and the presence of some specific compounds may increase this activity. However, during beer storage, a decrease in antioxidant activity may occur due to changes in the structures of molecules related to this capacity. These studies contribute to the improvement and development of beverages with a higher content of phenolic compounds, improving their oxidative stability and shelf life.

Keywords: Phytochemicals; *Lager*; *Ale*; Stability.

Resumen

En la composición química de la cerveza se encuentran compuestos fenólicos que contribuyen a sus características sensoriales y tienen capacidad antioxidante, ayudando a mantener la estabilidad oxidativa. La recopilación de 35

estudios, publicados entre 2006 al 2020, cuya meta reunió información sobre los compuestos fenólicos y la actividad antioxidante de las cervezas y relacionar los resultados obtenidos con los tipos de cervezas analizadas. Los resultados mostraron que tanto contenido como perfil de compuestos fenólicos y la actividad antioxidante de la cerveza, están influenciados por los ingredientes utilizados y el proceso de fabricación. Las cervezas tipo Ale, de color oscuro, con mayor amargor y contenido alcohólico, mostraron valores más altos de compuestos fenólicos y actividad antioxidante que otros tipos y estilos. Los análisis de las cervezas especiales mostraron que la adición de alimentos diversificados contribuyó a mejorar la composición bioactiva de la bebida. Ya se han identificado más de 50 compuestos fenólicos en cervezas, derivados de ingredientes utilizados para la elaboración. Entre los compuestos fenólicos más frecuentes se encuentran los ácidos fenólicos, como los ácidos ferúlico, cafeico y catequinas. Estudios observan una estrecha correlación entre contenido de compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante. La presencia de algunos compuestos específicos incrementarían esta actividad. Aunque, durante el almacenamiento de la cerveza, puede reducirse la actividad antioxidante a causa de cambios estructurales de moléculas con esta capacidad. Estos estudios contribuyen a la mejora y desarrollo de bebidas con mayor contenido en compuestos fenólicos, ayudando a su estabilidad oxidativa y vida útil.

Palabras clave: Fitoquímicos; Lager; Ale; Estabilidad.

1. Introdução

A cerveja é uma das bebidas mais antigas e consumidas do mundo (Martinez-Gomez et al., 2020). É obtida através da fermentação alcoólica do mosto cervejeiro, produzido geralmente com malte de cevada ou de trigo, água e lúpulo (Moura-Nunes et al., 2016). Na composição química da cerveja são encontrados água, carboidratos, proteínas, vitaminas, minerais, etanol e, em menor proporção, compostos fenólicos, que contribuem com características sensoriais e possuem atividade antioxidante, auxiliando a manutenção da estabilidade oxidativa da bebida (Vanderhaegen et al., 2006 ; Callemien & Collin, 2009). Nos últimos anos os aspectos nutricionais das cervejas têm despertado interesse devido a sua composição em compostos fenólicos e seus possíveis benefícios para a saúde (Martinez-Gomez et al., 2020; Maia et al., 2020).

Cerca de 70 a 80% do teor de compostos fenólicos na cerveja são provenientes do malte e 20 a 30% dos lúpulos (Quifer-Rada et al., 2015) e outros ingredientes. Fatores genéticos e ambientais influenciam a composição química dessas matérias-primas (Bettenhausen et al., 2018). Os compostos fenólicos representam a principal classe de fitoquímicos nos cereais. São metabólitos secundários nas plantas produzidos como mecanismos de defesa contra pragas e patógenos e são essenciais para seu crescimento e reprodução (Santos et al., 2019).

Os compostos fenólicos são considerados multifuncionais por possuírem estrutura variável formada por anéis aromáticos com um ou mais substituintes hidroxílicos (Angelo & Jorge, 2007; Bezerra et al., 2020). A cerveja é rica em diferentes compostos fenólicos como os ácidos fenólicos, flavonóis, flavonas, prenilflavonóides, como o xantohumol, e taninos hidrolisáveis, como as proantocianidinas (Habschied et al., 2020). A atividade antioxidante dos compostos fenólicos na cerveja influencia a qualidade sensorial da bebida, retardando as alterações de sabor e aroma durante o armazenamento na garrafa (Wannenmacher et al., 2019). Os teores de compostos fenólicos e a atividade antioxidante irão variar nos diferentes estilos de cervejas devido aos tipos de maltes, cereais, lúpulos e processos de fabricação realizados. Sendo assim, o objetivo do presente trabalho foi levantar informações disponíveis, nos últimos 15 anos, a respeito dos compostos fenólicos e da atividade antioxidante de diferentes cervejas, procurando relacionar os resultados obtidos com os tipos de cervejas analisadas.

2. Metodologia

Foi realizada, neste estudo, uma revisão bibliográfica, segundo Pereira et al., (2018), sobre os compostos fenólicos e a atividade antioxidante em cervejas de diferentes estilos, através de uma busca nas bases de dados Science Direct (<https://www.sciencedirect.com/>), Scopus (<https://www.scopus.com/>) e Wiley Online Library (<https://www.onlinelibrary.wiley.com/>) no período de 4 de janeiro a 25 de janeiro de 2021. Foram utilizadas as palavras-chave: “beer”, “phenolic compounds”, “antioxidant activities”, foi considerado para o período de publicação os últimos 15 anos. Como

critérios de inclusão foram utilizados trabalhos que analisaram os teores de compostos fenólicos totais de cervejas de diferentes estilos e com ingredientes especiais, análise de atividade antioxidante em amostras de cervejas pelos métodos DPPH, FRAP, ABTS ou ORAC, análise de identificação de compostos fenólicos em cervejas por espectrometria de massas. Não foram considerados trabalhos que realizaram análises em cervejas para testar novas técnicas e metodologias relacionadas a compostos fenólicos e atividade antioxidante.

3. Processo Produtivo e o Teor de Compostos Fenólicos

A cevada passa pelo processo de maltagem para a produção do malte, que consiste na hidratação, germinação e secagem do grão. O processo de secagem é o responsável pelas diferentes características de cor e aromas dos maltes, derivadas da reação de Maillard e consequente liberação de melanoidinas e pirazinas (Martinez-Gomez et al., 2020; Zhao, 2015). O lúpulo é responsável pelo sabor amargo e por alguns aromas da cerveja. Trata-se de uma flor, da espécie *Humulus lupulus* L., em cuja estrutura são encontradas as glândulas de lupulina, que produzem óleos essenciais ricos em compostos fenólicos (Almaguer et al., 2014; Elrod, 2018). Variados tipos de maltes e lúpulos são utilizados na produção da cerveja, que contribuem para as características de sabor e cor, originando os diferentes estilos como *Pilsen*, *Bock*, *IPA*, *Pale Ale*, *Weiss*, entre outros (Moura-Nunes et al., 2016).

No processo de produção da cerveja ocorrem reações químicas que influenciam a composição de compostos fenólicos (Figura 1) (Wannenmacher et al., 2018; Zhao, 2015). Na etapa inicial ocorre a mistura dos maltes com a água produzindo o mosto, que será submetido a diferentes binômios de tempo:temperatura, favorecendo a ação das enzimas do malte, como as beta-glicanases e celulasas (40 a 45°C), as proteases (50 a 55°C) e as amilases (60 a 72°C). A composição de compostos fenólicos neste mosto é elevada, bem como a sua atividade antioxidante (Koren et al., 2019; Leitao et al., 2011; Martinez-Gomez et al., 2020).

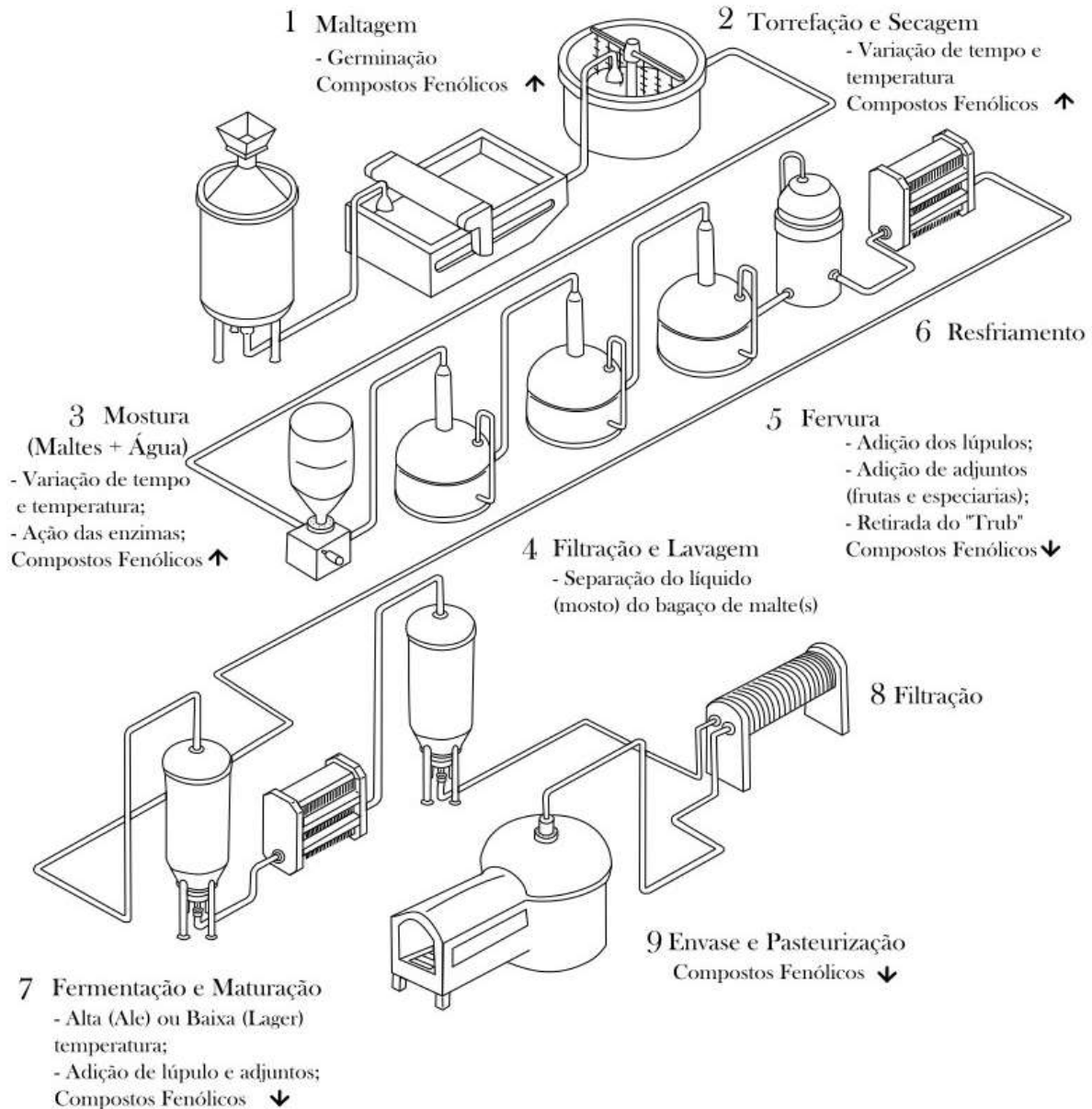
Na próxima etapa ocorre a filtração do mosto, que consiste na separação do bagaço de malte da fração líquida, seguida da lavagem desse bagaço com água quente (78°C) para maior extração dos compostos. O mosto é aquecido até a fervura e são adicionados os lúpulos, ao final dessa etapa ocorre o *whirlpool* (redemoinho formado através da força centrípeta, que promove a concentração das partículas insolúveis em suspensão no centro do tanque) que leva a formação do *trub*, as partículas insolúveis de proteínas, compostos fenólicos e substâncias amargas. O *trub* é separado do mosto, pois pode provocar turbidez na bebida final, com isso o teor de compostos fenólicos é reduzido, pois grande parte fica concentrado no *trub* (Koren et al., 2019; Leitao et al., 2011; Martinez-Gomez et al., 2020; Wannenmacher et al., 2018; Zhao, 2015).

O mosto é então resfriado e são adicionadas as leveduras para a etapa de fermentação, durante a qual supõem-se que ocorra a redução de compostos fenólicos como os taninos, que são consumidos pelas leveduras (Zhao, 2015). Na maturação, o mosto é mantido em temperaturas baixas para aprimorar aspectos sensoriais, em seguida é filtrado e são removidas células de leveduras e partículas insolúveis, que possuem compostos fenólicos em sua composição, provocando a redução do teor desses compostos (Martinez-Gomez et al., 2020; Zhao, 2015). Alguns autores também mencionam que, durante o armazenamento da cerveja na garrafa, ocorre redução no teor de compostos fenólicos do produto devido a processos oxidativos (Martinez-Gomez et al., 2020; Zhao, 2015).

Para a classificação das cervejas também é considerado o tipo de fermentação: as *Lagers* são produzidas por fermentação baixa, que geralmente é realizada entre 6 e 15°C com cepas de leveduras *Saccharomyces calshbergensis* (Oliveira Neto et al., 2017). Em contraste, as cervejas do tipo *Ale* são produzidas por fermentação alta, ocorrendo entre 16 e 24°C, com cepas de leveduras *Saccharomyces cerevisiae* (Oliveira Neto et al., 2017). E a cerveja *Lambic* é o resultado da fermentação espontânea (Martinez-Gomez et al., 2020; Oliveira Neto et al., 2017). Além disso, também podem ser adicionados, no preparo do mosto e

no período de fermentação, vegetais, frutas, ervas ou flores que influenciarão a composição química da bebida final (Cho et al., 2018; Martínez et al., 2017).

Figura 1: Processo de produção da cerveja indicando pontos onde há aumento (↑) ou redução (↓) no teor de compostos fenólicos.



Fonte: Autores (2021).

3.1 Teor e variedade de compostos fenólicos na cerveja – influência do tipo, estilo, escala de produção e introdução de ingredientes alternativos

3.1.1 Teor de compostos fenólicos

Para quantificação do teor de compostos fenólicos totais de cerveja, o método usado na maioria dos trabalhos foi o de Folin-Ciocalteu, um método espectrofotométrico, com os resultados expressos em miligramas de ácido gálico por litro (mg GAL/L) (Martinez-Gomez et al., 2020). De acordo com os estudos que analisaram cervejas do tipo *Lager* e *Ale*, o teor de

compostos fenólicos totais variou significativamente com o tipo de cerveja (Tabela 1). De uma forma geral, as cervejas do tipo *Ale*, quando comparadas com as cervejas de coloração clara do tipo *Lager*, apresentaram teores de compostos fenólicos mais elevados (Marques et al., 2017; Habschied et al., 2020; Moura-Nunes et al., 2016; Piazzon et al., 2010). As cervejas do tipo *Lager*, como as dos estilos *Pilsner* e *American Lager*, apresentaram os menores teores de compostos fenólicos. Estes estilos são caracterizados por cervejas de coloração clara, produzidas com maltes pouco torrados (Marques et al., 2017; Granato et al., 2011; Habschied et al., 2020; Moura-Nunes et al., 2016; Piazzon et al., 2010; Rodrigues et al., 2011; Zhao et al., 2010, 2013). As cervejas do tipo *Lager*, que apresentaram teores de compostos fenólicos mais elevados foram dos estilos *Dark* e *Bock*, caracterizadas por sua coloração escura. Nestes estilos são usados maltes mais torrados nos quais o processo de maltagem e torrefação da cevada podem ser responsáveis por aumentar a liberação de compostos fenólicos (Habschied et al., 2020; Martinez-Gomez et al., 2020; Piazzon et al., 2010).

Bertuzzi et al., (2020) compararam os valores de fenólicos totais de cervejas produzidas em larga escala por grandes cervejarias e produzidas em pequena escala (produção de até 200.000 litros por mês) por microcervejarias, e os resultados demonstraram que o teor de fenólicos totais também pode ser influenciado pela escala de produção. A média de compostos fenólicos totais para cervejas de produção em larga escala foi de 403 mg GAL/L e para pequena escala 506 mg GAL/L. As cervejas artesanais produzidas em pequena escala, geralmente utilizam ingredientes diversificados que não são usados normalmente em grandes cervejarias.

Tabela 1: Teor de compostos fenólicos totais pelo método de Folin-Ciocalteu (mg GAL/L) de acordo com o tipo e estilo de cerveja.

Estilos <i>Lager</i>	mg GAL/L	Estilos <i>Ale</i>	mg GAL/L	Referência
<i>Lager</i>	152 - 339	n.d	n.d	Zhao et al., 2010
<i>Lager, Pilsner, Bock</i>	452 - 875	<i>Wheat, Ale, Abbey</i>	504 - 622	Piazzon et al., 2010
<i>Lager</i>	120 - 200	<i>Brown Ale</i>	280 - 526	Granato et al., 2011
<i>Lager</i>	84 - 267	n.d	n.d	Zhao et al., 2012
<i>Standard American Lager</i>	164	<i>German weizen</i>	572	Moura-Nunes et al., 2016
<i>Classic American Pilsner</i>	448	<i>Irish Red Ale, American Pale Ale, Brown Poter</i>	475 - 531	Marques et al., 2017
<i>Standard American lager</i>	119 - 343	n.d	n.d	Rodrigues et al., 2020
<i>Lager, Pilsner, Dark</i>	464 - 776	<i>Black</i>	723 - 855	Habschied et al., 2020

n.d: Não determinado; mg GAL/L: miligramas de ácido gálico por litro. Fonte: Autores.

3.1.2 Variedade de compostos fenólicos

Para a identificação dos compostos fenólicos presentes nas amostras de cervejas, os métodos mais utilizados na literatura consultada envolveram o uso de cromatografia líquida de alta performance (HPLC) acoplada à espectrometria de massas (MS),

em virtude de sua alta sensibilidade (Cheiran et al., 2019) . A Tabela 2 apresenta os compostos fenólicos identificados em estudos com cervejas de diferentes estilos e países. Os resultados dos trabalhos mostram que já foram identificados mais de 50 compostos fenólicos diferentes nas cervejas (Cheiran et al., 2019; Marques et al., 2017; Moura-Nunes et al., 2016; Pai et al., 2015; Piazzon et al., 2010; Quifer-Rada et al., 2015; Zhao et al., 2010).

De acordo com alguns trabalhos, que identificaram e quantificaram os compostos fenólicos (Tabela 3) nas amostras de cerveja, é possível observar que as cervejas do tipo *Lager* apresentaram maior abundância de ácido gálico, ácido ferúlico, ácido 5-cafeoilquímico, ácido vanílico. As do tipo *Ale* apresentaram ácido gálico, ácido ferúlico, ácido 5-cafeoilquímico, ácido cafeico. O ácido vanílico foi encontrado em maior abundância no tipo *Lager* e o ácido cafeico no tipo *Ale* (Marques et al., 2017; Habschied et al., 2020; Moura-Nunes et al., 2016; Piazzon et al., 2010; Zhao et al., 2010). As cervejas sem álcool apresentaram valores baixos dos compostos fenólicos identificados, fator que pode ser relacionado a menor solubilidade na água, que reduz a sua extração no processo de produção da cerveja (Moura-Nunes et al., 2016). Os resultados compilados mostram, portanto, que os ingredientes e processos de fabricação podem influenciar significativamente tanto a variedade quanto o teor de compostos fenólicos nos diferentes tipos de cerveja (Zhao et al., 2010).

Tabela 2: Compostos fenólicos identificados em cervejas.

Compostos fenólicos	Método analítico	Estilos	Referência
Ácido gálico, protocatecuico, (+)-catequina, vanílico, cafeico, siríngico, (-)-epicatequina, p-cumárico e ferúlico	HPLC -DAD ¹	Lager	Zhao et al., 2010
Ácidos fenólicos, sinápico, vanílico, cafeico, p-cumárico, 4-hidroxifenilacético, ferúlico, siríngico	HPLC -ECD ²	Lager, Pilsner, Bock, Wheat, Ale, Abbey	Piazzon et al., 2010
Ácido gálico, Tânico, p-cumárico, Cafeico, Vanílico, Catecol, Rutina, Quercetina	HPLC -MS ³	Lager	Pai et al., 2013
Ácido gálico, 4-vinilgualacol, ácido cafeico-O-hexosídeo I, ácido cafeico-O-hexosídeo II, ácido protocatecuico-O-hexosídeo, ácido protocatecuico, catequina, catequina-O-hexosídeo I, ácido neoclorogênico 3-ácido cafeoilquinico, ácido hidroxifenilacético ácido I, catequina-O-dihexosídeo, ácido cumarico-O-hexosídeo, ácido 4-hidroxibenzóico, ácido hidroxifenilacético II, epicatequina, ácido 1-cafeoilquinico, ácido vanílico, ácido clorogênico, ácido 5-cafeoilquinico, catequina-O-hexosídeo II, Ácido cafeico, ácido feruloilquinico, ácido criptoclorogênico (ácido 4-cafeoilquinico), ácido hidroxifenilacético III, ácido p-cumárico, ácido sinápico-O-hexosídeo I, ácido ferúlico-O-hexosídeo, ácido indol-3-carboxílico, ácido sinápico -O-hexosídeo II, ácido ferúlico, apigenina-C-hexosídeo-O-hexosídeo, apigenina-C-hexosídeo-C-pentosídeo, ácido sinápico, apigenina-C-hexosídeo, quercetina-3-O-glicosídeo, Kaempferol-3-O-glucosídeo, 3,7-Dimetilquercetina, Isoxanthohumol, 8-Prenilnaringenina, 6-Prenilnaringenina, Cohumulona I, Ad-humulona, Coumulona II, n-Humulona, Iso-a-cohumulone, Iso-a-ad / n-humulone, Iso-a-ad / n-humulone	LC-ESI-LQT-Orbitrap-MS ⁴	Lager, Pilsen, Märzenbier e Sem álcool	Quifer-Rada et al., 2015
Ácidos 3,4-dihidroxibenzoico, 3,4-dihidroxifenilacetico, 4-hidroxifenilacetico, 5-cafeoilquinico, benzóico, p-cumárico, ferúlico, gálico, siríngico e vanílico	HPLC-UV-VIS-LC/MS ⁵	Ale, Lager, American brown ale, American pale ale, Bock, Rauchbier, Schwarzbier, German weizen, Premium American lager, Standard American lager e Sem álcool	Moura-Nunes et al., 2016
Ácido Gálico, p-cumárico, Cafeico, Ferúlico	HPLC -DAD ¹	American Pale ale, Brown Poter, Classic American Pilsner, Irish Red ale	Marques et al., 2017
Ácido 3,5-di-hidroxibenzoico; ácido gálico; ácido 3,4-di-hidroxibenzóico ácido 2,5-di-hidroxibenzóico; ácido 2,6-di-hidroxibenzóico; (Epi) hexosídeo de catequina I; ácido dimetoxibenzóico II; ácido 3-cafeoilquinico; (Epi) Galocatequina I; (Epi) Catequina hexosídeo II; (Epi) Catequina hexosídeo III; (Epi) Galocatequina II; Ácido hidroxibenzóico I; Proantocianidina B dímero I; Proantocianidina B dímero II; Ácido 5-cafeoilquinicina; Ácido hidroxibenzoico II; Proantocianidina B dímero III; Catequina; Taxifolina hexosídeo II; Quercetina hexosídeo rutinósido; Proantocianidina B dímero IV; Epicatequina; Ácido cafeico; Apigenina-C-glicosídeo-C-pentosídeo I; Proantocianidina B dímero V; Apigenina-C-hexosídeo-C-pentosídeo II; Apigenina -C-hexosídeo-O-hexosídeo; Ácido cinâmico; Derivado do ácido cinâmico; Quercetina-3-O-rutinosídeo; Apigenina-C-hexosídeo (vitexina ou isovitexina); Apigenina-C-hexosídeo-O-hexosídeo II; Quercetina-3-O-glicosídeo Kaempferol-3-O-rutinosídeo; Ácido cumarico; Kaempferol-3-O-hexosídeo I; Kaempferol-3-O-hexosídeo II; Isofraxidina hexo lado II; Quercetina; Isoxanthohumol; 8- Prenilnaringenina; Isocohumulone; Xanthohumol; Coumulona, ácido 2,4-dihidroxibenzóico, ácido 2,3-dihidroxibenzoico, ácido dimetoxibenzóico, ácido 3-p-coumaroilquinico, ácido 4-p-coumaroilquinico, hexosídeo de taxifolina, quercetina dihexosídeo, ácido 3-feruloilquinico, ácido 4-feruloilquinico ácido feruloilquinico, apigenina-6,8-C-dipentosídeo e hexosídeo de isofraxidina	HPLC-DAD-ESI-MS/MS ⁶	India Pale Ale, Wheat e Lager	Cheiran et al., 2019

HPLC-DAD: Cromatografia líquida de alta resolução com detector de arranjo de diodos. 2- HPLC-ECD: Cromatografia líquida de alta resolução com detector eletroquímico. 3- HPLC-MS: Cromatografia líquida de alta resolução acoplada ao espectrômetro de massas. 4- LC-ESI-LQT-Orbitrap-MS: Cromatografia líquida de alta resolução com ionização por eletrospray acoplada ao espectrômetro de massas Orbitrap quadrupolo. 5- HPLC-UV-VIS-LC/MS: Cromatografia líquida de alta resolução com detector UV/visível acoplada ao espectrômetro de massas. 6-HPLC-DAD-ESI-MS/MS: Cromatografia líquida de alta resolução com detector de matriz diodo com ionização por eletrospray acoplada ao espectrômetro de massas. Fonte: Autores

Tabela 3: Conteúdo (mg/L) dos principais compostos fenólicos identificados e quantificados em cervejas do tipo *Lager*, *Ale* e sem álcool

Compostos fenólicos (mg/L)	<i>Lager</i>	<i>Ale</i>	Sem álcool	Referência
Ácido gálico	0,33 - 14,67	5,90 - 14,22	0,51 - 5,17	Moura-Nunes et al., 2016, Marques et al., 2017, Habschied et al., 2020
Ácido ferúlico	0,0 - 17,5	0,13 - 17,5	0,0 - 6,38	Zhao et al., 2010, Piazzon et al., 2010, Moura-Nunes et al., 2016, Marques et al., 2017
Ácido cafeico	0,08 - 3,95	0,98 - 9,05	0,77	Zhao et al., 2010, Piazzon et al., 2010, Marques et al., 2017, Habschied et al., 2020
Ácido vanílico	0,0 - 7,17	0,0 - 2,91	0,0 - 0,78	Zhao et al., 2010, Piazzon et al., 2010, Moura-Nunes et al., 2016
Ácido p-cumárico	0,0 - 2,23	0,12 - 5,58	0,0 - 0,72	Zhao et al., 2010, Piazzon et al., 2010, Moura-Nunes et al., 2016, Marques et al., 2017, Habschied et al., 2020
Ácido siríngico	0,06 - 0,99	0,09 - 1,23	0,0 - 0,77	Zhao et al., 2010, Piazzon et al., 2010, Moura-Nunes et al., 2016
Ácido sinápico	2,62 - 3,53	2,35 - 4,18	1,58	Piazzon et al., 2010
Ácido benzóico	0,0 - 0,58	0,0 - 0,55	0,0 - 0,22	Moura-Nunes et al., 2016
Ácido 3,4-dihidroxibenzoico	0,10 - 5,59	0,21 - 1,10	0,42 - 2,08	Moura-Nunes et al., 2016
Ácido 3,4-dihidroxifenilacético	0,14 - 2,99	0,24 - 1,80	0,0 - 5,77	Moura-Nunes et al., 2016
Ácido 4-hidroxifenilacético	0,0 - 2,82	0,0 - 1,46	0,0 - 1,97	Piazzon et al., 2010, Moura-Nunes et al., 2016
Ácido 5-cafeoilquínico	0,09 - 10,96	0,23 - 6,53	0,15 - 0,5	Moura-Nunes et al., 2016
Ácido protocatecuico	0,0 - 1,3	n.d	n.d	Zhao et al., 2010
Catequina	0,03 - 4,00	n.d	n.d	Zhao et al., 2010
Epicatequina	0,0 - 3,44	3,67 - 4,55	n.d	Zhao et al., 2010, Habschied et al., 2020

n.d: Não determinado. Fonte: Autores.

Cheiran et al., (2019) realizaram uma análise exploratória e verificaram que a identificação de alguns compostos fenólicos permite diferenciar estilos de cervejas como *IPA*, *Lager* e *Weiss*. A cerveja do estilo *IPA* apresentou maior número de compostos fenólicos. Os ácidos cafeoilquínico e cumaroilquínico, ácido p-cumárico, ácido kaempferol-3-O-rutinosídeo e proantocianidina B dímeros III e V foram detectados em praticamente todas as amostras de *IPA*, em apenas algumas amostras de *Lager* e não foram encontrados na maioria das amostras de *Weiss*, permitindo a diferenciação.

Cervejas especiais produzidas com adição de frutas, especiarias ou algum alimento tem se tornado tendência para atender aos mais variados consumidores (Mesquita et al., 2020; Nardini & Foddai, 2020). Estes ingredientes são adicionados na etapa de fermentação da cerveja ou durante o processo de preparo do mosto, onde ocorre a extração dos compostos fenólicos destes ingredientes, o que contribui para o aumento do teor e da variedade de compostos, assim como da atividade antioxidante (Nardini & Foddai, 2020).

Estudos avaliaram a adição de extratos de hibisco (*Hibiscus sabdariffa L*), cereja, framboesa, pêssego, damasco, uvas, ameixa, laranja, maçã, caqui, nozes, castanhas, cacau, mel, chá verde, café, alcaçuz, *Goji berry (Lycium barbarum)* - um fruto usado tradicionalmente na medicina chinesa, conhecido pelos seus efeitos terapêuticos - e batata doce. Todas as cervejas especiais apresentaram teores de compostos fenólicos mais elevados, quando comparadas com amostras de cervejas convencionais (Tabela 4) (Cho et al., 2018; Ducruet et al., 2017; Humia et al., 2020; Martínez et al., 2017; Nardini & Foddai, 2020; Nardini & Garaguso, 2020).

A identificação de compostos fenólicos nas cervejas especiais apresentou elevada variação no perfil de compostos e nos valores de abundância. Além disso, a etapa de adição destes alimentos no processo de produção, pode influenciar a composição da bebida final (Tabela 5) (Ducruet et al., 2017; Nardini & Foddai, 2020; Nardini & Garaguso, 2020).

A cerveja adicionada de *goji berry* na etapa de mostura, apresentou elevados teores de rutina (22,44 mg/L) e teores mais baixos de ácido ferúlico (4,56 mg/L) e p-cumárico (3,86 mg/L), porém ao ser adicionada somente na etapa de fermentação a presença de rutina não foi detectada e os teores de ácido ferúlico (7,58 mg/L) e p-cumárico (7,81 mg/L) foram mais elevados, fato que pode estar relacionado a temperaturas mais baixas nesta etapa do processo (Ducruet et al., 2017).

Tabela 4: Teor de compostos fenólicos totais pelo método de Folin Ciocalteau (mg GAL/L) em cervejas especiais e de acordo com o tipo.

Cervejas Especiais	Lager (mg GAL/L)	Ale (mg GAL/L)	Lambic (mg GAL/L)	Referência
Hibisco	n.d	Hibisco: 743 Convencional: 294	n.d	Martínez et al., 2017
Goji berry	n.d	Goji berry: 623 Convencional: 355	n.d	Ducruet et al., 2017
Caqui	n.d	Caqui: 714 Convencional: 507	n.d	Cho et al., 2018
Cereja, framboesa, pêssego, damasco, uvas, ameixa, laranja e maçã	Convencional: 321	Especiais: Cereja 767, Laranja 639, Uvas 631, Ameixa 598, Pêssego 510, Framboesa 465, Damasco 454, Maçã 399. Convencional: 383 a 482	Framboesa 536 Convencional: 403	Nardini e Garaguso 2020
Nozes, castanhas, cacau, mel, chá verde, café ou alcaçuz.	Castanhas: 883 Convencional: 273 a 320	Especiais: Cacau 1026, Nozes 964, Alcaçuz 819, Café 582, Mel 538, Chá verde 464. Convencional: 382 a 446	n.d	Nardini e Foddai 2020
Batata doce	n.d	Batata doce: 230 Convencional: 210	n.d	Humia et al., 2020

n.d: Não determinado; mg GAL/L: miligramas de ácido gálico por litro. Fonte: Autores.

A cerveja adicionada de castanhas durante a fermentação, apresentou elevada concentração de ácido ferúlico (27,55 mg/L) e o ácido clorogênico foi identificado somente na cerveja adicionada de café. Em todas as cervejas adicionadas de nozes, castanhas, cacau, mel, chá verde, café, alcaçuz, cereja, framboesa, pêssego, damasco, uvas ou maçã, foram identificados catequina, epicatequina, rutina, miricetina, quercetina e resveratrol, compostos não identificados nas cervejas convencionais analisadas. As cervejas com ameixa e cereja apresentaram elevada concentração de ácido cafeico (89,80 e 54,60 mg/L respectivamente) e a cerveja com ameixa também foi abundante em ácido neoclorogênico (60,30 mg/L). Ao comparar as cervejas especiais e as convencionais é possível observar que para todos os compostos fenólicos identificados a concentração aumentou com a adição dos diferentes alimentos (Nardini & Foddai, 2020; Nardini & Garaguso, 2020).

Tabela 5: Conteúdo de compostos fenólicos identificados (mg/L) em cervejas especiais.

Compostos fenólicos (mg/L)	<i>Lager</i>	<i>Ale</i>	<i>Lambic</i>
Ácido ferúlico	Especial: 27,55	Especiais: 8,22 - 27,87	Especial: 13,10
	Convencionais: 11,00 - 14,21	Convencionais: 1,10 - 22,60	Convencionais: 16,63
Ácido cafeico	Especial: 3,47	Especiais: 1,48 - 89,80	Especial: 2,77
	Convencionais: 1,61 - 1,86	Convencionais: 2,98 - 6,38	Convencionais: 4,98
Ácido vanílico	Especial: 5,09	Especiais: 2,03 - 6,98	Especial: 5,06
	Convencionais: 1,93 - 4,46	Convencionais: 2,73 - 5,45	Convencionais: 1,47
Ácido p-cumárico	Convencionais: 0,77 - 1,56	Especiais: 1,27 - 62,40	Especial: 1,25
		Convencionais: 0,38 - 3,10	Convencionais: 1,33
Ácido siríngico	Especial: 1,24	Especiais: traços - 1,42	Especial: 1,23
	Convencionais: 0,0 - 0,49	Convencionais: 0,51 - 0,74	Convencionais: 0,89
Ácido sinápico	Convencionais: 2,66 - 4,53	Especiais: 0,33 - 22,20	Especial: 3,10
		Convencionais: 2,19 - 4,80	Convencionais: 4,87
Ácido clorogênico	Especial: 0,0	Especiais: 0,0 - 12,71	Especial: 0,84
	Convencionais: 0,0	Convencionais: 2,19 - 4,80	Convencionais: traços
Ácido neoclorogênico	Especial: 0,0	Especial: 0,0 - 60,30	Especial: 2,59
	Convencionais: 0,0	Convencionais: 0,0	Convencionais: 0,0
Catequina	Especial: 4,65	Especiais: traços - 20,24	Especial: 6,03
	Convencionais: 0,0	Convencionais: 0,0	Convencionais: 0,0
Epicatequina	Especial: 3,68	Especiais: traços - 3,09	Especial: 0,0
	Convencionais: 0,0	Convencionais: 0,0	Convencionais: 0,0
Miricetina	Especial: traços	Especiais: traços - 8,82	Especial: 1,54
	Convencionais: 0,0	Convencionais: 0,0	Convencionais: 0,0
Quercetina	Especial: traços	Especiais: 0,30 - 7,10	Especial: 3,07
	Convencionais: 0,0	Convencionais: 0,0	Convencionais: 0,0
Rutina	Especial: 0,0	Especiais: 0,0 - 22,44	Especial: 0,0
	Convencionais: 0,0	Convencionais: 0,0	Convencionais: 0,0
Resveratrol	Especial: 0,35	Especiais: 0,0 - 2,24	Especial: 0,14
	Convencionais: 0,0	Convencionais: 0,0	Convencionais: 0,0

Fonte: Autores, baseado em dados de Ducruet et al., (2017), Nardini e Garaguso (2020) e Nardini e Foddai (2020).

4. Atividade Antioxidante nas Cervejas

A atividade antioxidante nas cervejas, está relacionada à presença de compostos fenólicos provenientes, naturalmente, dos maltes e lúpulos. Estes compostos possuem a capacidade de retardar e/ou prevenir as reações de oxidação durante o processo de produção determinando a vida útil da cerveja, além de influenciarem o sabor (Rahman et al., 2020).

Vários métodos podem ser usados para avaliação da atividade antioxidante, os ensaios comumente usados, por serem simples, rápidos e com boa sensibilidade são: DPPH, FRAP, ABTS e ORAC (Martínez et al., 2017; Tafulo et al., 2010). Em cada método ocorrem diferentes reações químicas que sofrem influência de fatores como estrutura química dos compostos antioxidantes, pH, temperatura e tipos de solventes, por isso para um resultado mais preciso é importante a realização de mais

de um método para a mesma amostra (Martínez et al., 2017; Tafulo et al., 2010). O método DPPH é baseado na captura do radical 2,2-difenil-1-picril-hidrazil (DPPH), que provoca redução da absorbância devido a uma reação de oxirredução. É um ensaio de transferência de elétron, onde a substância antioxidante doa um hidrogênio e reduz a solução de DPPH (Pires et al., 2017). O ensaio de FRAP, consiste na determinação do poder de redução do íon ferrico, com produção do íon Fe^{2+} a partir da redução do íon Fe^{3+} , pela transferência de elétrons (Urrea-Victoria et al., 2016). No método do ABTS [(2,2'-azinobis (3- etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico)] a absorção do radical catiônico $ABTS^{•+}$ é comparada com a absorção após a estabilização do $ABTS^{•+}$ por antioxidantes, indicada pela mudança de coloração da solução (Torres et al., 2017). O ensaio de ORAC determina a capacidade de absorção de radicais de oxigênio e avalia a diminuição da emissão da fluorescência. O radical AAPH (2,20-azobis(2-amidinopropano) dihidroclorídrico) reage com o oxigênio e origina um radical peroxil estável que oxida a fluoresceína (Tafulo et al., 2010).

As cervejas do tipo *Ale* e/ou as de coloração escura como as do estilo *Bock*, *Abbey*, *Brown Ale*, *Dark*, *Rauchbier* e *Black*, geralmente, são as que apresentam maior atividade antioxidante, bem como as cervejas especiais, que são adicionadas de diferentes alimentos (Tabela 6) (Cho et al., 2018; Granato et al., 2011; Leitao et al., 2011; Moura-Nunes et al., 2016; Nardini & Foddai, 2020; Nardini & Garaguso, 2020; Piazzon et al., 2010; Rahman et al., 2020; Tafulo et al., 2010). Piazzon et al (2010), verificaram que o teor de compostos fenólicos e a atividade antioxidante aumentaram, de acordo com os estilos, na seguinte ordem: cerveja sem álcool < Lager < Pilsner < Wheat < Ale < Abbey < Bock. E os compostos, ácidos síringico, sinápico, cafeico e ferúlico apresentaram forte correlação com o ensaio de FRAP, podendo ser considerados os principais contribuintes para os valores de atividade antioxidante.

Diversos estudos observaram grande correlação entre o teor de compostos fenólicos totais e a atividade antioxidante da cerveja. Além disso, a presença de compostos específicos pode influenciar a atividade antioxidante, promovendo seu aumento (Piazzon et al., 2010; Rahman et al., 2020; Tafulo et al., 2010; Zhao et al., 2010). Rahman et al (2020), observou que o 4-vinilguaiacol, composto derivado do ácido ferúlico, pode contribuir para aumentar a atividade antioxidante da bebida, devido a sua elevada correlação com os ensaios de ABTS e FRAP realizados.

O amargor e o teor alcóolico também apresentaram elevada correlação com o teor de compostos fenólicos e a atividade antioxidante. Cervejas mais amargas possuem maior quantidade de lúpulo, ingrediente rico em compostos fenólicos. O maior teor alcóolico, por sua vez, propicia maior solubilidade dos compostos fenólicos (Moura-Nunes et al., 2016).

Tabela 6: Atividade Antioxidante da cerveja de acordo com tipo, estilo e método analítico.

Método Analítico	DPPH			ABTS			FRAP			ORAC			Referência	
	Estilos de Cerveja	Lager	Ale	Sem álcool	Lager	Ale	Sem álcool	Lager	Ale	Sem álcool	Lager	Ale		Sem álcool
Lager (mmol Trolox/L)	0,24 -1,35	n.d	n.d	0,55 - 1,95	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	Zhao et al., 2010
Sem álcool, Lager, Black, Stout, Pilsner, Dark Strong Ale, Tripel, Abbey, Blond Ale, Belgium Strong Ale (mmol Trolox/L)	0,72 - 1,64	1,00 - 2,05	0,61 - 1,98	0,57 - 1,02	0,64 - 1,18	0,63 - 0,83	0,17 - 0,46	0,35 - 0,55	0,12 - 0,34	3,69 - 14,79	10,64 - 29,10	7,01 - 10,70		Tafulo et al., 2010
Sem álcool, Pilsner, Lager, Wheat, Ale, Abbey, Bock (mmol Fe+2/L)	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	2,17 - 4,66	2,40 - 3,55	1,52	n.d	n.d	n.d		Piazzon et al., 2010
Brown Ale, Lager (mmol Trolox/L)	4,7% - 32,2% de redução	14% - 59,9% de redução	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	0,42 - 7,72	0,76 - 10,51	n.d		Granato et al., 2011
Lager (mmol Trolox/L)	0,24 - 0,97	n.d	n.d	0,16 - 9,12	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d		Zhao et al., 2012
Sem álcool, Rauchbier, Standard American lager (mmol Trolox/L e FRAP mmol Fe+2/L)	n.d	n.d	n.d	0,40 - 3,02	n.d	n.d	6,37	n.d	0,81	n.d	n.d	n.d		Moura-Nunes et al., 2016
Lager (mmol Trolox/L)	0,67 - 0,93	n.d	n.d	1,57 - 2,04	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	5,54 - 8,45	n.d	n.d		Li et al., 2016
Lager, Stout, Dark (mmol Trolox/L)	n.d	0,2 - 0,71	n.d	0,40	1,99	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d		Rahman et al., 2020
Método Analítico	DPPH			ABTS			FRAP			ORAC				

Cervejas Especiais	Lager			Ale			Sem álcool			Referência		
	Lager	Ale	Sem álcool	Lager	Ale	Sem álcool	Lager	Ale	Sem álcool			
Goji berry (mmol Trolox/L)	n.d	n.d	n.d	n.d	Goji berry: 3,82 Convencional: 2,26	n.d	n.d	n.d	n.d	Goji berry: 16,84 Convencional: 8,87	Ducruet et al., 2017	
Caqui (percentual de inibição de radicais)	n.d	Caqui: 91% Convencional: 80%	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	Cho et al., 2018	
Hibisco (mmol Trolox/L)	n.d	n.d	n.d	n.d	Hibisco: 9,28 Convencional: 5,71	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	Martínez et al., 2017	
Cereja, framboesa, pêssego, damasco, uvas, ameixa, laranja e maçã (mmol Trolox/L e FRAP mmol Fe+2/L)	n.d	n.d	n.d	n.d	Especial: 1,62 – 3,53 Convencional: 1,29 – 2,03	n.d	Especial: 3,08 – 9,76 Convencional: 3,31 – 4,39	n.d	n.d	n.d	Nardini e Garaguso 2020	
Nozes, castanhas, cacau, mel, chá verde, café ou alcaçuz. (mmol Trolox/L e FRAP mmol Fe+2/L)	n.d	n.d	n.d	Castanhas: 6,2 Convencional: 1,7 – 2,8	Especial: 2,5 – 5,2 Convencional: 1,5 – 2,6	n.d	Castanhas: 3,4 Convencional: 1,5 – 1,8	Especial: 3,6- 10,2 Convencional: 3,4 – 3,9	n.d	n.d	n.d	Nardini e Foddai 2020

n.d: Não determinado. Fonte: Autores.

Durante o armazenamento da cerveja, pode ocorrer redução da atividade antioxidante devido a mudanças nas estruturas das moléculas antioxidantes como os compostos fenólicos e as melanoidinas. Como consequência são formados compostos responsáveis pelas alterações de aroma e sabor da bebida, como o 3-metilbutanal, 2-metilbutanal, furfural, 2-acetil-furano, benzaldeído, fenilacetaldéido, dietil succinato, etil nicotinato e γ -nonalactona. No estudo de (Li et al., 2016), o teor destes compostos aumentou em cervejas analisadas durante seis meses de armazenamento com concomitante redução da sua atividade antioxidante. Mais estudos são necessários para avaliação da estabilidade da cerveja durante o armazenamento, pois podem fornecer informações que contribuem para o desenvolvimento de melhorias na qualidade da bebida.

5. Considerações Finais

A compilação dos 35 estudos, publicados entre de 2006 e 2020, sobre os fitoquímicos e a atividade antioxidante de cervejas demonstrou que tanto o teor quanto o perfil de compostos fenólicos assim como a atividade antioxidante da cerveja sofrem influência dos ingredientes utilizados e do processo de fabricação. Dessa forma, cervejas do tipo *Ale*, de coloração escura, com maior amargor e teor alcoólico, apresentaram valores mais elevados de compostos fenólicos e atividade antioxidante que outros tipos e estilos da bebida. Os resultados das análises para as cervejas especiais mostraram que a adição de alimentos diversificados contribuiu para melhorar a composição em bioativos da bebida final.

Verifica-se, portanto, que o estudo da composição de fitoquímicos da cerveja contribui para o aprimoramento e desenvolvimento de bebidas com maior teor de compostos fenólicos, auxiliando sua estabilidade oxidativa e vida útil e favorecendo sua composição nutricional.

Referências

- Almaguer, C., Schönberger, C., Gastl, M., Arendt, E. K., & Becker, T. (2014). *Humulus lupulus* - a story that begs to be told. A review: *Humulus lupulus* - a story that begs to be told. *Journal of the Institute of Brewing*.
- Angelo, P. M., & Jorge, N. (2007). Compostos fenólicos em alimentos—Uma breve revisão. *Revista do Instituto Adolfo Lutz (Impresso)*, 66(1), 01–09.
- Bertuzzi, T., Mulazzi, A., Rastelli, S., Donadini, G., Rossi, F., & Spigno, G. (2020). Targeted healthy compounds in small and large-scale brewed beers. *Food Chemistry*, 310, 125935.
- Bettenhausen, H. M., Barr, L., Broeckling, C. D., Chaparro, J. M., Holbrook, C., Sedin, D., & Heuberger, A. L. (2018). Influence of malt source on beer chemistry, flavor, and flavor stability. *Food Research International*, 113, 487–504.
- Bezerra, F. de S., da Costa, D. F., & Koblitz, M. G. B. (2020). Integral use of oil-based raw materials with “green solvents”: review and opportunities. *Research, Society and Development*, 9(8), e372985388.
- Callemien, D., & Collin, S. (2009). Structure, Organoleptic Properties, Quantification Methods, and Stability of Phenolic Compounds in Beer—A Review. *Food Reviews International*, 26(1), 1–84.
- Cheiran, K. P., Raimundo, V. P., Manfroi, V., Anzanello, M. J., Kahmann, A., Rodrigues, E., & Frazzon, J. (2019). Simultaneous identification of low-molecular weight phenolic and nitrogen compounds in craft beers by HPLC-ESI-MS/MS. *Food Chemistry*, 286, 113–122.
- Cho, J.-H., Kim, I.-D., Dhungana, S. K., Do, H.-M., & Shin, D.-H. (2018). Persimmon fruit enhanced quality characteristics and antioxidant potential of beer. *Food Science and Biotechnology*, 27(4), 1067–1073.
- Ducruet, J., Rébenaque, P., Diserens, S., Kosińska-Cagnazzo, A., Héritier, I., & Andlauer, W. (2017). Amber ale beer enriched with goji berries – The effect on bioactive compound content and sensorial properties. *Food Chemistry*, 226, 109–118.
- Elrod, S. M. (2018). Xanthohumol and the Medicinal Benefits of Beer. In *Polyphenols: Mechanisms of Action in Human Health and Disease* (p. 19–32). Elsevier.
- Granato, D., Branco, G. F., Faria, J. de A. F., & Cruz, A. G. (2011). Characterization of Brazilian lager and brown ale beers based on color, phenolic compounds, and antioxidant activity using chemometrics. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(3), 563–571.
- Habschied, K., Lončarić, A., & Mastanjević, K. (2020). Screening of Polyphenols and Antioxidative Activity in Industrial Beers. *Foods*, 9(2), 238.
- Humia, B. V., Santos, K. S., Schneider, J. K., Leal, I. L., de Abreu Barreto, G., Batista, T., Machado, B. A. S., Druzian, J. I., Krause, L. C., da Costa Mendonça, M., & Padilha, F. F. (2020). Physicochemical and sensory profile of Beaugard sweet potato beer. *Food Chemistry*, 312, 126087.
- Koren, D., Kun, S., Hegyesné Vecseri, B., & Kun-Farkas, G. (2019). Study of antioxidant activity during the malting and brewing process. *Journal of Food Science and Technology*, 56(8), 3801–3809.

- Leitao, C., Marchioni, E., Bergaentzlé, M., Zhao, M., Didierjean, L., Taidi, B., & Ennahar, S. (2011). Effects of Processing Steps on the Phenolic Content and Antioxidant Activity of Beer. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(4), 1249–1255.
- Li, H., Zhao, M., Cui, C., Sun, W., & Zhao, H. (2016). Antioxidant activity and typical ageing compounds: Their evolutions and relationships during the storage of lager beers. *International Journal of Food Science & Technology*, 51(9), 2026–2033.
- Maia, I. C., D’Almeida, C. T. S., Freire, D. G., M., Cavalcanti, E. D. A. C., Cameron, L. C., Dias, J. F., & Ferreira, M. S. L. (2020). Effect of solid-state fermentation over the release of phenolic compounds from brewer’s spent grain revealed by UPLC-MSE. *LWT*, 133, 110136.
- Marques, D. R., Cassis, M. A., Quelhas, J. O. F., Bertozzi, J., Visentainer, J.V., Oliveira, C. C., & Antonio Monteiro, A. R.G. (2017). Characterization of craft beers and their bioactive compounds. *Chemical Engineering Transactions*, 57, 1747–1752.
- Martínez, A., Vegara, S., Herranz-López, M., Martí, N., Valero, M., Micol, V., & Saura, D. (2017). Kinetic changes of polyphenols, anthocyanins and antioxidant capacity in forced aged hibiscus ale beer: Kinetic changes of polyphenols, anthocyanins and antioxidant capacity in forced aged hibiscus ale beer. *Journal of the Institute of Brewing*, 123(1), 58–65.
- Martinez-Gomez, A., Caballero, I., & Blanco, C. A. (2020). Phenols and Melanoidins as Natural Antioxidants in Beer. Structure, Reactivity and Antioxidant Activity. *Biomolecules*, 10(3), 400.
- Moura-Nunes, N., Brito, T. C., Fonseca, N. D. da, de Aguiar, P. F., Monteiro, M., Perrone, D., & Torres, A. G. (2016). Phenolic compounds of Brazilian beers from different types and styles and application of chemometrics for modeling antioxidant capacity. *Food Chemistry*, 199, 105–113.
- Mesquita, J. S., Ramos, J. P., Everton, G. O., Mouchrek Filho, V. E., & Coelho, S. C. (2020). Production and physicochemical evaluation of a pure malt craft beer with the addition of Extracts of *Syzygium aromaticum* and *Cinnamomum zeylanicum*. *Research, Society and Development*, 9(8), e872986216.
- Nardini, M., & Foddai, M. S. (2020). Phenolics Profile and Antioxidant Activity of Special Beers. *Molecules*, 25(11), 2466.
- Nardini, M., & Garaguso, I. (2020). Characterization of bioactive compounds and antioxidant activity of fruit beers. *Food Chemistry*, 305, 125437.
- Oliveira Neto, J. R., de Oliveira, T. S., Ghedini, P. C., Vaz, B. G., & Gil, E. de S. (2017). Antioxidant and vasodilatory activity of commercial beers. *Journal of Functional Foods*, 34, 130–138.
- Pai, T. V., Sawant, S. Y., Ghatak, A. A., Chaturvedi, P. A., Gupte, A. M., & Desai, N. S. (2015). Characterization of Indian beers: Chemical composition and antioxidant potential. *Journal of Food Science and Technology*, 52(3), 1414–1423.
- Pereira A.S. et al. (2018). Metodologia da pesquisa científica. UFSM. https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1
- Piazzon, A., Forte, M., & Nardini, M. (2010). Characterization of Phenolics Content and Antioxidant Activity of Different Beer Types. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(19), 10677–10683.
- Pires, J., Torres, P. B., Chow, F., & Santos, D. (2017). Ensaio em microplaca do potencial antioxidante através do método de sequestro do radical livre DPPH para extratos de algas. *Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo*.
- Quifer-Rada, P., Vallverdú-Queralt, A., Martínez-Huélamo, M., Chiva-Blanch, G., Jáuregui, O., Estruch, R., & Lamuela-Raventós, R. (2015). A comprehensive characterisation of beer polyphenols by high resolution mass spectrometry (LC-ESI-LTQ-Orbitrap-MS). *Food Chemistry*, 169, 336–343.
- Rahman, M. J., Liang, J., Eskin, N. A. M., Eck, P., & Thiyam-Holländer, U. (2020). Identification of hydroxycinnamic acid derivatives of selected canadian and foreign commercial beer extracts and determination of their antioxidant properties. *LWT*, 122, 109021.
- Rodrigues, J. A., Barros, A. S., Carvalho, B., Brandão, T., Gil, A. M., & Ferreira, A. C. S. (2011). Evaluation of beer deterioration by gas chromatography–mass spectrometry/multivariate analysis: A rapid tool for assessing beer composition. *Journal of Chromatography A*, 1218(7), 990–996.
- Santos, M. C. B., Lima, L. R. S., Nascimento, F. R., Nascimento, T.P., Cameron, L. C., & Ferreira, M. S. L. (2019). Metabolomic approach for characterization of phenolic compounds in different wheat genotypes during grain development. *Food Research International*, 124, 118–128.
- Tafulo, P. A. R., Queirós, R. B., Delerue-Matos, C. M., & Sales, M. G. F. (2010). Control and comparison of the antioxidant capacity of beers. *Food Research International*, 43(6), 1702–1709.
- Torres, P., Santos, J., Chow, F., & Santos, D. (2017). Ensaio do potencial antioxidante de extratos de algas através do sequestro do ABTS++ em microplaca. *Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo*.
- Urrea-Victoria, V., Pires, J. S., Torres, P. B., Chow, F., & Santos, D. (2016). Ensaio antioxidante em microplaca do poder de redução do ferro (FRAP) para extratos de algas. *Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo*.
- Vanderhaegen, B., Neven, H., Verachtert, H., & Derdelinckx, G. (2006). The chemistry of beer aging – a critical review. *Food Chemistry*, 95(3), 357–381.
- Wannenmacher, J., Cotterchio, C., Schlumberger, M., Reuber, V., Gastl, M., & Becker, T. (2019). Technological influence on sensory stability and antioxidant activity of beers measured by ORAC and FRAP. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(14), 6628–6637.
- Wannenmacher, J., Gastl, M., & Becker, T. (2018). Phenolic Substances in Beer: Structural Diversity, Reactive Potential and Relevance for Brewing Process and Beer Quality: Phenolic substances in beer and brewing.... *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(4), 953–988.
- Zhao, H. (2015). Effects of Processing Stages on the Profile of Phenolic Compounds in Beer. In *Processing and Impact on Active Components in Food* (p. 533–539). Elsevier.

Zhao, H., Chen, W., Lu, J., & Zhao, M. (2010). Phenolic profiles and antioxidant activities of commercial beers. *Food Chemistry*, 119(3), 1150–1158.

Zhao, H., Li, H., Sun, G., Yang, B., & Zhao, M. (2013). Assessment of endogenous antioxidative compounds and antioxidant activities of lager beers: Assessment of antioxidants of lager beers. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(4), 910–917.