



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ**

**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

**Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos**

**EFEITO NOS COMPOSTOS BIOATIVOS E PERFIL VOLÁTIL  
E SENSORIAL DE CERVEJAS ENRIQUECIDAS COM O  
RESÍDUO DE GROSELHA DO CEILÃO (*Dovyalis hebecarpa*)**

**ANDERSON LAZZARI**

MARINGÁ

2025

**ANDERSON LAZZARI**

**EFEITO NOS COMPOSTOS BIOATIVOS E PERFIL VOLÁTIL E  
SENSORIAL DE CERVEJAS ENRIQUECIDAS COM O RESÍDUO DE  
GROSELHA DO CEILÃO (*Dovyalis hebecarpa*)**

Tese apresentada ao programa de Pós Graduação em Ciência de Alimentos da Universidade Estadual de Maringá, como parte dos requisitos para obtenção do título de doutor em Ciência de Alimentos.

Maringá

2025

**Orientadora**

Paula Toshimi Matumoto Pinto

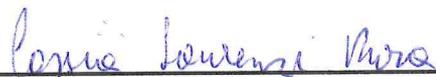
**ANDERSON LAZZARI**

**“EFEITO NOS COMPOSTOS BIOATIVOS E PERFIL VOLÁTIL E  
SENSORIAL DE CERVEJAS ENRIQUECIDAS COM O RESÍDUO DE  
GROSELHA DO CEILÃO (*Dovyalis hebecarpa*)”**

Tese apresentada à Universidade Estadual de Maringá, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Ciência de Alimentos, para obtenção do grau de Doutor em Ciência de Alimentos.



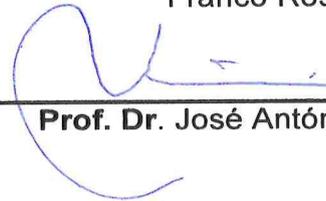
**Prof. Dr. Antonio Roberto Giriboni Monteiro**



**Profa. Dra. Cássia Inês Lourenzi  
Franco Rosa**



**Prof. Dr. Fernando Antonio Anjo**



**Prof. Dr. José António Teixeira**



**Profa. Dra. Paula Toshimi Matumoto Pinto  
Orientadora**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
(Biblioteca Central - UEM, Maringá - PR, Brasil)

L432e

Lazzari, Anderson

Efeito nos compostos bioativos e perfil volátil e sensorial de cervejas enriquecidas com o resíduo de groselha do ceilão (*dovyalis hebecarpa*) / Anderson Lazzari. -- Maringá, PR, 2025.

71 f. : il. color., figs., tabs.

Orientadora: Profa. Dra. Paula Toshimi Matumoto Pinto.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos, 2025.

1. Fermentação. 2. Resíduos agroindustriais. 3. Cerveja. I. Pinto, Paula Toshimi Matumoto, orient. II. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Agrárias. Departamento de Agronomia. Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos. III. Título.

CDD 23.ed. 664

## **BIOGRAFIA**

Anderson Lazzari nasceu em 29 de abril de 1993 na cidade de Palotina, Paraná, Brasil. Filho de Silvio Luiz Lazzari e Sirlei Eunice Pandolfo Lazzari. Possui graduação em Engenharia de Alimentos pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus de Campo Mourão em 2017. Ingressou no Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos em abril de 2019, com defesa da dissertação em junho de 2021. Tem experiência nas áreas de Ciência e Tecnologia de Alimentos atuando na área de ciência e tecnologia de produtos agropecuários. Atualmente, está finalizando o doutorado em Ciência de Alimentos pela Universidade Estadual de Maringá com período de doutorado sanduíche na Universidade do Minho, Braga – Portugal.

*Dedico*

A Deus, o que seria de mim sem a fé que eu tenho nele.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, por ter conseguido chegar até aqui, através da fé, oração e agradecimento.

Ao meu companheiro Wendel Zacharias que esteve comigo durante o meu mestrado e me apoiou também durante meu doutorado e nunca me deixou desistir e sempre acreditou em mim mais do que eu mesmo.

Aos meus pais, Silvio Luiz Lazzari e Sirlei Eunice Pandolfo Lazzari, por todo apoio, por sempre me incentivarem a ir atrás dos meus sonhos.

Aos meus irmãos Gustavo Lazzari e Dener Lazzari, que sempre me aconselharam e incentivaram para a realização desta etapa da minha vida.

À minha orientadora, Profa. Dra. Paula Toshimi Matumoto Pinto, por ter me acolhido na Pós-graduação, por todas as conversas, ideias, puxões de orelha e suporte ao longo desse período.

Aos professores da Pós-Graduação em Ciência de Alimentos pelo conhecimento repassado durante as disciplinas realizadas.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

A todos do Grupo de Pesquisa em Alimentos Funcionais (GPAF) da Universidade Estadual de Maringá, e aos amigos e colegas da Universidade do Minho que me receberam de braços abertos na minha estadia em Portugal.

A todos, minha eterna gratidão!

## RESUMO GERAL

**INTRODUÇÃO.** A crescente busca por alimentos e bebidas funcionais tem impulsionado a inovação na indústria cervejeira, especialmente no setor de cervejas artesanais. O uso de ingredientes naturais, como frutas e seus derivados, não só amplia a diversidade sensorial, como também enriquece o valor nutricional da bebida. Neste contexto, destaca-se a groselha do Ceilão (*Dovyalis hebecarpa*), fruta exótica e rica em compostos bioativos, como antocianinas, porém ainda pouco explorada no Brasil. Esta tese apresenta, de forma inédita, o primeiro estudo sobre o uso do resíduo de groselha do Ceilão como ingrediente funcional em cervejas artesanais, com enfoque nos efeitos físico-químicos, antioxidantes, voláteis e sensoriais da bebida enriquecida.

**OBJETIVOS.** Avaliar o impacto da adição do resíduo de groselha do Ceilão (RGC) em diferentes concentrações na produção de cervejas tipo Ale, verificando suas influências nas características físico-químicas, nos compostos fenólicos, na atividade antioxidante, na estabilidade oxidativa, no perfil volátil e na aceitação sensorial.

**MATERIAIS E MÉTODOS.** O trabalho foi estruturado em dois artigos científicos. No primeiro, foram produzidas cervejas com 0 %, 2,5 %, 5,0 %, 7,5 % e 10 % (m/v) de RGC, adicionadas durante a fermentação alcoólica. As amostras foram analisadas quanto ao teor alcoólico, pH, cor (CIElab e EBC), amargor (IBU), compostos fenólicos totais, flavonoides, antocianinas e atividade antioxidante (DPPH, ABTS, FRAP). A avaliação sensorial envolveu 60 consumidores não treinados por meio de escala hedônica e teste CATA. No segundo artigo, cervejas com 0 %, 2,5 %, 5,0 % e 7,5 % (m/v) de RGC passaram por cofermentação e foram submetidas a envelhecimento forçado (5 e 10 ciclos de 60 °C/48h; 0 °C/24h). Avaliou-se a estabilidade oxidativa, os compostos voláteis (CG-EM), e a interação entre cor, antocianinas e capacidade antioxidante.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO.** A inclusão de RGC resultou em cervejas com maior teor de compostos fenólicos, flavonoides e antocianinas, com impacto visual marcante pela coloração avermelhada. Observou-se aumento da atividade antioxidante proporcional à concentração do resíduo, com destaque para as cervejas com 5,0% de RGC, que apresentaram melhor equilíbrio entre funcionalidade e aceitação sensorial. Cervejas com 2,5% e 5,0% foram bem avaliadas pelos consumidores, associadas a atributos como "maltado" e "doce", enquanto concentrações mais elevadas (7,5% e 10%)

apresentaram maior acidez e menor aceitação, relacionadas a características sensoriais como "azedo" e "adstringente". A cofermentação com RGC demonstrou efeito protetor frente à degradação oxidativa, especialmente durante o envelhecimento forçado, preservando compostos bioativos e aumentando a complexidade aromática da cerveja. A cerveja com 5,0% de RGC destacou-se pelo perfil volátil mais rico e pela maior estabilidade antioxidante.

**CONCLUSÃO.** Sendo o primeiro a explorar essa aplicação, este estudo confirma o potencial tecnológico e funcional do resíduo de groselha do Ceilão como uma inovação para cervejas artesanais. Sua aplicação promove a valorização de subprodutos agroindustriais, adiciona valor nutricional à bebida e oferece um diferencial visual e sensorial. Os resultados contribuem não apenas para o desenvolvimento de cervejas com propriedades antioxidantes superiores, mas também para a sustentabilidade e inovação no setor cervejeiro.

**Palavras-chave:** groselha do Ceilão; cerveja artesanal; compostos fenólicos; antioxidantes; inovação; subproduto agroindustrial.

## GENERAL ABSTRACT

**INTRODUCTION.** The growing demand for functional foods and beverages has driven innovation in the brewing industry, particularly in the craft beer sector. The use of natural ingredients, such as fruits and their derivatives, not only enhances sensory diversity but also enriches the nutritional value of the beverage. In this context, the Ceylon gooseberry (*Dovyalis hebecarpa*) stands out as an exotic fruit rich in bioactive compounds such as anthocyanins yet still underexplored in Brazil. This thesis presents, for the first time, a pioneering study on the use of Ceylon gooseberry residue as a functional ingredient in craft beers, focusing on the physicochemical, antioxidant, volatile, and sensory effects of the enriched beverage.

**AIMS.** To evaluate the impact of incorporating Ceylon gooseberry residue (CGR) at different concentrations in the production of Ale-type beers, assessing its influence on physicochemical characteristics, phenolic compounds, antioxidant activity, oxidative stability, volatile profile, and sensory acceptance.

**MATERIALS AND METHODS.** The research was structured into two scientific articles. In the first, beers were produced with 0 %, 2.5 %, 5.0 %, 7.5 %, and 10 % (w/v) CGR, added during alcoholic fermentation. The samples were analyzed for alcohol content, pH, color (CIElab and EBC), bitterness (IBU), total phenolic compounds, flavonoids, anthocyanins, and antioxidant activity (DPPH, ABTS, FRAP). Sensory evaluation was conducted with 60 untrained consumers using a hedonic scale and the Check-All-That-Apply (CATA) test. In the second article, beers with 0%, 2.5%, 5.0%, and 7.5% (w/v) CGR underwent co-fermentation and were subjected to forced aging (5 and 10 cycles of 60 °C/48h; 0 °C/24h). Oxidative stability, volatile compounds (GC-MS), and the interaction between color, anthocyanins, and antioxidant capacity were evaluated.

**RESULTS AND DISCUSSION.** The addition of CGR increased the content of phenolic compounds, flavonoids, and anthocyanins in the beers, with a notable visual impact due to the reddish coloration. Antioxidant activity increased proportionally with the residue concentration. Beers with 5.0 % CGR achieved the best balance between functionality and sensory acceptance. Beers with 2.5 % and 5.0 % were well accepted, associated with attributes such as "malty" and "sweet", while higher concentrations (7.5 % and 10 %) received lower acceptance, due to increased acidity and attributes like "sour" and

"astringent". Co-fermentation with CGR provided a protective effect against oxidative degradation, particularly during forced aging, preserving bioactive compounds and enhancing the beer's aromatic complexity.

**CONCLUSION.** As the first study to explore this application, this work confirms the technological and functional potential of Ceylon gooseberry residue as an innovative ingredient for craft beers. Its application promotes the valorization of agro-industrial by-products, adds nutritional value to the beverage, and offers visual and sensory differentiation. The findings contribute to the development of beers with superior antioxidant properties and promote sustainability and innovation in the brewing industry.

**Keywords:** Ceylon gooseberry; craft beer; phenolic compounds; antioxidants; innovation; agro-industrial residue.

## APRESENTAÇÃO

Esta tese de doutorado está apresentada na forma de dois artigos científicos:

1 Anderson Lazzari; Mariana Sversut Gibin; Bianka Rocha Saraiva; Francielle Sato; Cássia Inês Lourenzi Franco Rosa; Paula Toshimi Matumoto Pintro. Top-fermented beer enriched with Ceylon Gooseberry residue – The effect on bioactive compound content and sensorial profile. *International Journal of Gastronomy and Food Science*.

**Lazzari, A., Gibin, M. S., Saraiva, B. R., Sato, F., Rosa, C. I. L. F., & Pintro, P. T. M. (2024). Top-fermented beer enriched with Ceylon Gooseberry residue–The effect on bioactive compound content and sensorial profile. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 37, 100991.**

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2024.100991>

2 Anderson Lazzari; Bianka Rocha Saraiva, Fernando Antônio Anjo; Aline Cristini dos Santos Silva; Jessyca Caroline Rocha Ribas; Cristiane Mengue Feniman Moritz; Paula Toshimi Matumoto-Pintro. Craft Beer with Ceylon Gooseberry Residue: Physicochemical Parameters, Volatile Compounds, and Antioxidant Stability. *European Food Research and Technology*.

DOI: <https://doi.org/10.1007/s00217-025-04784-0>

## ARTIGO 1

**Publicado no periódico International Journal of Gastronomy and Food Science  
(Qualis A1 – Fator de impacto: 3,6)**

**Top-fermented beer enriched with Ceylon Gooseberry residue – The effect on  
bioactive compound content and sensorial profile**

**Cerveja de alta fermentação enriquecida com resíduo de groselha do Ceilão – Efeito  
no conteúdo de compostos bioativos e no perfil sensorial**

Anderson Lazzari<sup>a</sup>; Mariana Sversut Gibin<sup>b</sup>; Bianka Rocha Saraiva<sup>a</sup>; Francielle Sato<sup>b</sup>;  
Cássia Inês Lourenzi Franco Rosa<sup>c</sup>; Paula Toshimi Matumoto Pinto<sup>a,c\*</sup>

<sup>a</sup>Programa de Pós-Graduação em Ciências de Alimentos, Universidade Estadual de Maringá, CEP: 87020-900. Maringá, PR, Brasil;

<sup>b</sup>Programa de Pós-Graduação em Física, Universidade Estadual de Maringá, CEP: 87020-900. Maringá, PR, Brasil.

<sup>c</sup>Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Maringá, CEP: 87020-900. Maringá, PR, Brasil.

\*Corresponding author. Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5700, Jd. Universitário, 87020-900, Paraná, Brasil. E-mail: [ptmpintro@uem.br](mailto:ptmpintro@uem.br) (Paula T. Matumoto-Pintro). Telephone number: +55 (44) 3011-8946.

## **Resumo**

Groselha do Ceilão (*Dovyalis hebecarpa*) é uma fruta rica em compostos funcionais e com poucos estudos sobre suas propriedades sensoriais. Este é o primeiro estudo sobre enriquecimento de cerveja com resíduo de groselha do Ceilão (RGC) durante a fermentação em diferentes concentrações (2,5 %, 5,0 %, 7,5 % e 10,0 % m/v). O objetivo foi usar o resíduo para melhorar o perfil funcional da cerveja. Um teste com consumidores (n = 60) foi conduzido para avaliar a aceitabilidade e a intenção de compra das cinco cervejas. Além disso, os consumidores foram convidados a responder a um questionário do tipo check-all-that-apply (CATA). O enriquecimento com RGC aumentou a concentração de compostos fenólicos em todas as cervejas (de 45,50 mg de equivalente de ácido gálico (EAG)/100 mL para 92,33 mg EAG/100 mL). A atividade antioxidante das cervejas com o enriquecimento com RGC (testada com os ensaios DPPH, ABTS e FRAP) também aumentou. As antocianinas monoméricas totais das cervejas aumentaram com o enriquecimento com RGC, e as cervejas desenvolveram uma cor avermelhada. Os sabores maltado e doce foram associados à preferência dos consumidores. Por outro lado, cítrico e azedo afetaram negativamente as pontuações de preferência. Os consumidores mostraram aceitação das cervejas com RGC. Esses resultados são promissores para o uso do RGC como ingrediente funcional na produção de cerveja devido à inclusão de compostos fenólicos com alta atividade antioxidante e pela melhoria da cor que não pode ser obtida a partir dos grãos.

**Palavras-chave:** Cerveja Ale; Fermentação alcoólica; *Dovyalis hebecarpa*; Perfil sensorial.

## Introdução

A sacarificação do amido e a fermentação de seus açúcares produzem cerveja, uma bebida alcoólica amplamente consumida em todo o mundo, e que deve muitas de suas qualidades à fermentação microbiana. A Lei da Pureza estipula que apenas água, cevada maltada, lúpulo e levedura podem ser usados para fabricar cerveja na Alemanha. No entanto, outros países têm leis menos rígidas, permitindo maior flexibilidade na produção de cerveja (Salanță et al., 2020).

Cereais (maltados ou não maltados) e xaropes de açúcar são os mais utilizados como fonte de carboidratos e adjuntos comumente combinados com malte de cevada na fabricação de cerveja. Além disso, diferentes frutas têm sido usadas na fermentação, como fonte de extratos fermentáveis e ingredientes aromatizantes desde os tempos antigos (Humia et al., 2019). A cerveja artesanal é um mercado em rápido crescimento, exigindo uma maior oferta de estilos e sabores. A tendência global de consumir alimentos mais saudáveis e melhorar sua qualidade levou a uma rápida evolução do mercado de cerveja artesanal, pois a inclusão de ingredientes naturais fornece novos sabores, aromas e funcionalidades (Salanță et al., 2020). Além disso, a fabricação de cervejas especiais com frutas e outros adjuntos pode realçar a cor que não pode ser obtida de grãos.

O Sri Lanka é um país localizado no sul da Índia. É reconhecido como um *hotspot* de biodiversidade devido às inúmeras espécies de frutas silvestres subutilizadas, predominantemente vendidas em mercados locais durante a época de frutificação (Perera et al., 2022). Essas espécies de frutas silvestres são ricas em fontes de compostos fenólicos, como ácidos fenólicos, taninos, antocianinas e flavonoides, e têm sido foco de pesquisas sobre suas fontes ricas em antocianinas (Pap et al., 2021). Esses compostos bioativos são interessantes para as indústrias de alimentos e saúde devido às suas propriedades antioxidantes e antimicrobianas, e possíveis papéis na prevenção de doenças (de Albuquerque et al., 2019).

Groselha do Ceilão (*Dovyalis hebecarpa*) é uma fruta do Sri Lanka, uma baga vermelho-escura a roxa, que está sendo produzida com grande rendimento na América do Sul (Bochi, Godoy e Giusti, 2015). Apesar da riqueza desta fruta, há pouca informação sobre suas propriedades físico-químicas e sensoriais (Bochi, Godoy e Giusti, 2015; Rotili et al., 2018), e não há estudos sobre os atributos físico-químicos e sensoriais de seus resíduos.

O processamento de frutas e vegetais tem gerado resíduos de caules, cascas, sementes e polpas, que contêm altos níveis de nutrientes, como polímeros de carboidratos, proteínas, lipídios, ácidos orgânicos e moléculas bioativas (Brito et al., 2019), como compostos fenólicos, amplamente presentes em frutas e seus resíduos.

Os métodos sensoriais desempenham um papel essencial no desenvolvimento de produtos e são de interesse na avaliação de produtos alimentícios preparados com ingredientes desconhecidos do público. Como a familiaridade é um dos fatores de influência mais importantes nas tendências de consumo e na aceitação de alimentos funcionais, uma maneira de aumentar a familiaridade com novos produtos alimentícios é associá-los a alimentos familiares e sabores típicos de cada cultura (Tuorila e Hartmann, 2020), neste caso, a cerveja. Portanto, a aplicação do método Check-All-That-Apply (CATA) aos consumidores permite a rápida caracterização dos perfis dos produtos e a coleta de dados hedônicos (Ares et al., 2015).

Este estudo teve como objetivo utilizar o resíduo de groselha do Ceilão e desenvolver a primeira pesquisa de enriquecimento de cerveja com resíduo de groselha do Ceilão durante o processo de fermentação e avaliar os compostos bioativos e a capacidade antioxidante da cerveja, bem como seu perfil sensorial.

## **Materiais e métodos**

### **Materiais**

#### **Matéria-prima**

As matérias-primas cervejeiras utilizadas neste estudo incluíram malte Pilsen (Agrária, Brasil), pellets de lúpulo Hallertauer Perle T90 (com teor de ácido alfa de 5,4% m/m), colhidos em 2020 na Alemanha, e levedura *Saccharomyces cerevisiae* SafAle™ US-05 (Lesaffre, França). O fruto da groselha do Ceilão foi obtido em um centro produtivo no Brasil (23° 29' 8" S, 51° 47' 34" W). Os frutos foram lavados em água corrente, sanitizados em solução de hipoclorito de sódio (200 ppm por 15 minutos) e bem enxaguados com água deionizada. Os frutos (casca, semente e polpa) foram secos a 55 °C (48h) com circulação de ar e moídos. A granulometria foi padronizada em uma peneira de 60 mesh, sendo a fração retirada da peneira considerada como resíduo, que foi denominada resíduo

da groselha do Ceilão (RGC). Foi armazenado ao abrigo da luz, refrigerado e utilizado na fermentação.

### **Reagentes e Padrões**

O reagente Folin-Ciocalteu, ácido gálico, quercetina, 2,2-azino-bis (ácido 3-etilbenzotiazolino-6-sulfônico) (ABTS), 2,2-difenil-1-picril-hidrazila (DPPH), carbonato de sódio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), nitrato de sódio ( $\text{NaNO}_3$ ), persulfato de potássio ( $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ ), hidróxido de sódio ( $\text{NaOH}$ ), ácido clorídrico, ácido tricloroacético, tampão fosfato e 2,2,4-trimetilpentano foram da Sigma-Aldrich (EUA). Hexaidrato de cloreto de alumínio ( $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), cloreto de potássio ( $\text{KCl}$ ), acetato de sódio ( $\text{C}_2\text{H}_3\text{NaO}_2$ ), ácido sulfúrico, álcool metílico, álcool etílico, ferricianeto de potássio e cloreto férrico foram de grau analítico.

### **Composição físico-química e cor do resíduo de groselha do Ceilão**

A composição do RGC foi determinada pela análise de umidade, proteína bruta (método Kjeldahl), gordura total (método Soxhlet), cinzas e fibra bruta (AOCS 1996; AOAC 2005). O carboidrato total foi determinado por diferença. Os resultados foram expressos em base seca. O pH foi medido usando um medidor de pH Tecno, mPA-210 e sólidos solúveis totais usando um refratômetro digital (HI 96801 - Nusfalau - Romênia), acidez titulável por AOAC (2005) e foi medida pelo sistema CIElab. Os parâmetros  $L^*$  (100 = branco; 0 = preto);  $a^*$  (+, vermelho; -, verde) e  $b^*$  (+, amarelo; -, azul) foram determinados usando um colorímetro com iluminante C (Chroma Metre CR-400; Minolta, Mahwah, Nova Jersey, EUA).

### **Tecnologia de fabricação de cerveja**

As cervejas foram produzidas pelo método de fabricação de cerveja do tipo Ale com modificações (Lazzari et al., 2022). Após a mostura, mantida a 66 °C por 60 min, o mosto foi filtrado, pellets de lúpulo (2 g/L) foram adicionados para iniciar a fervura e o mosto foi fervido por 1h. Após esse tempo, o mosto foi resfriado e filtrado, então a levedura US-05 foi inoculada (0,5 g – aproximadamente 0,7 milhões de células  $\text{mL}^{-1} \text{ } ^\circ\text{P}^{-1}$ ), e diferentes

concentrações de RGC foram adicionadas (2,5, 5,0, 7,5, 10,0 % m/v). A fermentação foi realizada a 19 °C por 7 dias após as cervejas serem filtradas e colocadas em garrafas de vidro escuro. O processo de maturação foi realizado a 0 °C por 14 dias antes das análises. Para análise sensorial, as cervejas foram armazenadas a 20 °C por uma semana para carbonatação.

## **Métodos analíticos**

### **Preparação de amostra de cerveja**

As cervejas foram degaseificadas em banho ultrassônico digital (YX-2050) por 20 min, centrifugadas a 6000g por 10 min a 4°C e então as amostras foram diluídas com água deionizada (1:5 v/v).

### **Caracterização Físico-Química de Cervejas**

O pH das cervejas foi determinado com um medidor de pH, e os sólidos solúveis totais com um refratômetro digital. A acidez total, fixa e volátil foi expressa em ácido acético (g/100 mL). A concentração de etanol foi expressa em porcentagem. Esses parâmetros foram determinados utilizando os métodos da AOAC (2005).

A cor da cerveja foi medida pelo sistema CIElab. A diferença de cor ( $\Delta E^*$ ) entre as amostras e a cerveja controle (BC) foi calculada de acordo com a Eq. (1).

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (1)$$

onde  $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$  e  $\Delta b^*$  são as diferenças nos valores de  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  entre a amostra e o controle.

A Convenção Europeia de Fabricação de Cerveja (EBC) foi usada para determinar a cor da cerveja e as Unidades Internacionais de Amargor (IBU) (Analytica-EBC, 2010).

### **Composição fenólica e capacidade antioxidante da cerveja**

Os compostos bioativos foram avaliados por meio de ensaios espectrofotométricos. Para a determinação de fenólicos totais, utilizou-se o método de Folin-Ciocalteu (Singleton e

Rossi, 1965). Uma alíquota (125  $\mu\text{L}$ ) de cerveja foi misturada com 125  $\mu\text{L}$  de reagente de Folin-Ciocalteu (água deionizada 1:1) e 2250  $\mu\text{L}$  de carbonato de sódio ( $28 \text{ g L}^{-1}$ ), homogeneizada e incubada no escuro por 30 minutos. Os resultados foram expressos em mg de ácido gálico por 100 mL.

O teor de flavonoides foi expresso em mg de quercetina por 100 mL. Uma alíquota (300  $\mu\text{L}$ ) de cerveja foi adicionada a 150  $\mu\text{L}$  de solução de  $\text{AlCl}_3$  (5%) e 2250  $\mu\text{L}$  de metanol 100%. A mistura foi homogeneizada e deixada em repouso no escuro (30 min), sendo posteriormente medida a 425 nm (Buriol et al., 2009).

As antocianinas monoméricas totais foram empregadas pelo método diferencial de pH de Giusti e Wrolstad (2001). A absorção de amostras de cerveja em tampão pH 1 (cloreto de potássio, 0,025 M) e tampão pH 4,5 (acetato de sódio, 0,4 M) foi medida a 520 nm e 700 nm. Os resultados foram expressos em mg de cianidina-3-O-glicosídeo por 100 mL e calculados da seguinte forma:

$$\text{Antocianina monomérica total (mg/L)} = (A \times \text{PM} \times \text{Fator de diluição} \times 1000) / (\epsilon \times l) \quad (2)$$

Onde  $A = [(A_{520} - A_{700}) \text{ a pH } 1,0] - [(A_{520} - A_{700}) \text{ a pH } 4,5]$ , MW é o peso molecular do cianidina-3-glicosídeo (4492),  $\epsilon$  é a absorvidade molecular (26.900) e  $l$  é o comprimento do caminho da cubeta.

O ensaio DPPH foi realizado de acordo com Li *et al.* (2009) com modificações. Amostras de cerveja (150  $\mu\text{L}$ ) foram misturadas com 2,85 mL de solução DPPH (60  $\mu\text{M}$ ). Após incubação no escuro por 30 min, a absorbância foi medida a 515 nm. O ensaio ABTS foi realizado de acordo com Re *et al.* (2011) com modificações. A solução  $\text{ABTS}^{++}$  (1960  $\mu\text{L}$ ) foi misturada com amostras de cerveja (40  $\mu\text{L}$ ), e a absorbância foi medida a 734 nm após 6 min no escuro. As atividades antioxidantes foram calculadas usando a seguinte equação:

$$\text{Atividade antioxidante (\%)} = (1 - (A_{\text{amostra } t} / A_{\text{amostra } t=0})) \times 100 \quad (3)$$

onde:  $A_{\text{amostra } t}$  é a absorbância da amostra em 30 min (DPPH) e 6 min (ABTS), e  $A_{\text{amostra } t=0}$  é a absorbância da amostra no tempo zero.

A FRAP foi determinada em amostras de cerveja, conforme descrito por Zhu et al. (2002). Amostras de cerveja (250  $\mu\text{L}$ ), 1,25 mL de tampão fosfato de sódio pH 7,0 (50 mM) e 1,25 mL de ferricianeto de potássio (1%) foram misturados e incubados a 50°C por 20 min. Depois, 1,25 mL de ácido tricloroacético (10%) foi adicionado e a mistura resultante centrifugada a 963 g por 10 min. Uma alíquota (500  $\mu\text{L}$ ) de cloreto férrico (0,1%) foi

adicionada a 2,5 mL do sobrenadante recuperado, misturada e a absorvância medida a 700 nm. Os resultados foram expressos como mg EAG por 100 mL de cerveja.

### **Espectroscopia de infravermelho de cerveja (FTIR-ATR)**

As amostras de cerveja foram analisadas por FTIR em um espectrômetro FTIR Vertex 70v (Bruker Optik GmbH, Ettlingen, Alemanha) equipado com um acessório de refletância total atenuada (ATR) com um cristal de diamante. Uma alíquota (3 µL) da amostra de cerveja foi aplicada sobre o cristal, deixada secar ao ar (15 min) e, em seguida, submetida à análise por FTIR para registrar os espectros. Um total de 128 varreduras foram obtidas por amostra, com resolução de 4 cm<sup>-1</sup>, de 400 a 4000 cm<sup>-1</sup>.

### **Análise sensorial da cerveja**

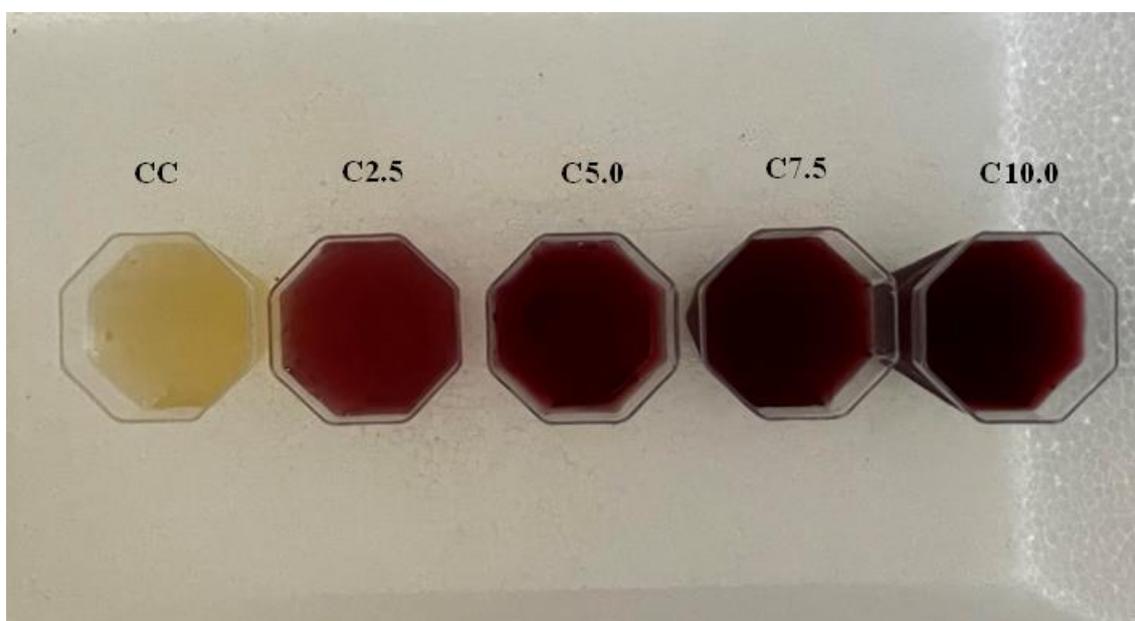
Amostras de cerveja foram avaliadas por um painel de sessenta (n = 60) consumidores não treinados e consumidores regulares de cerveja da cidade de Maringá, incluindo alunos e professores da Universidade, com idades entre 18 e 70 anos (Tabela 1).

**Tabela 1.** Descrição dos participantes dos testes de consumo (n = 60).

Variável	Categoria	Frequência (%)
Gênero	Mulheres	60,00
	Homens	40,00
Idade	18-24	28,33
	25-34	43,30
	35-44	15,00
	45-55	5,00
	56-70	8,33
Educação	Ensino médio	31,70
	Bacharel	8,30
	>Bacharel	60,00
Consumo de cerveja industrial	1-2 vezes/mês	38,33
	1-4 vezes/semana	50,00
	Quase todos os dias	5,00
	Quase não	6,67
Consumo de cerveja artesanal	1-2 vezes/mês	43,33
	1-4 vezes/semana	11,66
	Quase todos os dias	0,00
	Quase não	45,00
Já experimentou cerveja de frutas?	Sim	38,33
	Não	61,66

Os consumidores assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido e foram convidados a degustar amostras de cerveja (30 mL) a 4 °C em copos de acrílico codificados com números aleatórios de três dígitos (Figura S1).

**Figura S1.** Diferença visual de cor entre amostras de cerveja. Cerveja controle (CC): sem adição de resíduo de groselha do Ceilão (RCG), C2,5%: cerveja com 2,5% de RCG, C5,0%: cerveja com 5,0% de RCG, C7,5%: cerveja com 7,5% de RCG e C10,0%: cerveja com 10,0% de RCG.



Cor, aroma, sabor e aceitação geral foram avaliados usando uma escala hedônica estruturada de nove pontos, variando de 1 = "Desgostei muito" a 9 = "Gostei muito" (García-Gómez et al., 2019). Água foi fornecida para bochechos entre as degustações de cerveja.

Os atributos de aparência (intensidade da cor e turbidez) foram avaliados pelos consumidores aplicando uma escala hedônica (1 = pontuação mínima e 7 = pontuação máxima) (Ducruet et al., 2017). A intenção de compra da cerveja foi avaliada simultaneamente usando uma escala de três pontos (Lazzari et al., 2022), com modificações.

Os consumidores também foram solicitados a descrever o perfil sensorial da cerveja utilizando o questionário *Check-All-That-Apply* (CATA), com 12 atributos sensoriais relacionados a aroma, sabor e sabor. Esses atributos foram determinados durante a análise

sensorial e por meio da revisão de literatura recente (Hayward, Wedel e McSweeney, 2019; Cela et al., 2022). Os consumidores foram solicitados a marcar todos os termos que descreviam com precisão a amostra consumida. Todos os procedimentos realizados neste estudo envolvendo participantes humanos foram aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CAAE: 39847220.8.0000.0104).

### **Análise estatística**

A análise estatística foi realizada usando o software SPSS (v.20.0) (IBM SPSS Statistics, SPSS, Inc., Chicago, EUA) e o software Origin Pro 9 (OriginLab, Northampton, MA, EUA). As análises físico-químicas foram realizadas em triplicata e os resultados foram expressos como média  $\pm$  desvio padrão. Os valores físico-químicos e hedônicos foram analisados por ANOVA unidirecional. As diferenças significativas foram determinadas pelo teste de Tukey em um intervalo de confiança de 95%. A Análise de Componentes Principais (ACP) foi realizada para melhor visualizar o perfil sensorial da cerveja usando respostas CATA, e os Coeficientes de Correlação de Person também foram analisados. O experimento foi realizado três vezes.

### **Resultados e discussão**

#### **Composição química e físico-química do resíduo de groselha do Ceilão**

Frutas vermelhas, quando *in natura*, geralmente apresentam baixo teor de proteínas e lipídios, além de maiores concentrações de água. O processo de secagem concentrou esses compostos (Tabela 2), mostrando que os carboidratos foram os nutrientes mais abundantes no RGC. Os carboidratos são importantes para a fermentação da cerveja, pois os açúcares fermentáveis contribuem para sua doçura. O "corpo" e a sensação na boca da cerveja são diretamente influenciados pelos carboidratos complexos (Li, Du e Zhang, 2020).

**Tabela 2.** Propriedades do resíduo de groselha do Ceilão (RGC) seco.

<i>Composição química</i>	RGC
Umidade (%)	14,92 ± 0,08
Proteína bruta (%)	7,56 ± 0,14
Gordura total (%)	5,12 ± 1,50
Carboidratos (%)	57,01 ± 1,34
Fibra bruta (%)	13,58 ± 0,11
Cinzas (%)	3,93 ± 0,23
<i>Parâmetros físico-químicos</i>	
pH	3,53 ± 0,03
SST (°Brix)	7,60 ± 0,10
AT (%)	2,60 ± 0,10
Razão (SST/AT)	2,93 ± 0,08
L*	35,72 ± 0,13
a*	10,29 ± 0,11
b*	5,37 ± 0,36

Os resultados são expressos em matéria seca como média ± desvio padrão. SST: Sólidos solúveis totais; AT: acidez titulável.

O teor de proteína do RGC é alto, um macronutriente importante para a produção de cerveja, que influencia diretamente na turbidez da bebida, atributo de qualidade desejado em cervejas artesanais, e na avaliação sensorial do consumidor (Lazzari et al., 2023).

O RGC apresentou maior tendência à coloração vermelha a\* (Tabela 2), o que pode estar relacionado à acidez e ao pH da fruta (maior porcentagem de ácidos orgânicos e menor pH), e possivelmente ao teor de antocianinas, responsáveis pela coloração vermelha de muitas frutas (Moraes et al., 2020). Os valores de L\*, que estão relacionados ao eixo da luz, foram baixos e tenderam à cor preta, indicando que a baga apresenta tons mais escuros (Tabela 2).

Os resultados mostraram que resíduos de frutas podem ser utilizados em fermentações como fontes de carboidratos, intensificadores de voláteis e de cor, além de reduzir os

custos com matéria-prima. Além disso, influenciam a percepção do consumidor sobre a bebida (Moreno et al., 2022).

### Avaliação físico-química de cervejas com resíduo de groselha do Ceilão

A Tabela 3 mostra os resultados obtidos na análise físico-química da cerveja. A adição de RGC à cerveja impactou significativamente a quantidade total de sólidos solúveis, pH, acidez, concentração de etanol, cor (EBC) e as coordenadas de cor CIE L\*a\*b\*. No entanto, o efeito no amargor não foi estatisticamente significativo ( $p > 0,05$ ) (Tabela 3). Cervejas obtidas por enriquecimento com RGC apresentaram maior concentração de SST, especialmente C10,0 (média de 8,45 °Brix). O SST é importante, pois o açúcar é convertido pela ação da levedura para seu crescimento e desenvolvimento (Tabela 2), o que explica a maior concentração de etanol ( $p \leq 0,05$ ) (Tabela 3). A concentração de açúcar da fruta e o momento de sua adição também podem afetar esses valores, enquanto as frutas adicionadas no final não são fermentadas, mas afetam o sabor, a incorporação mais precoce pode levar a um maior teor alcoólico (Kawa- Rygieslska et al., 2019; Pérez-Alva et al., 2023).

**Tabela 3.** Características físico-químicas de cervejas com resíduo de groselha do Ceilão (RGC).

<i>Características</i>	CC	C2.5	C5.0	C7.5	C10.0
SST (°Brix)	5,95 ± 0,07 <sup>c</sup>	7,05 ± 0,21 <sup>b</sup>	7,40 ± 0,14 <sup>b</sup>	7,45 ± 0,07 <sup>b</sup>	8,45 ± 0,07 <sup>a</sup>
pH	4,39 ± 0,04 <sup>a</sup>	4,08 ± 0,01 <sup>b</sup>	3,90 ± 0,01 <sup>bc</sup>	3,80 ± 0,13 <sup>c</sup>	3,85 ± 0,01 <sup>bc</sup>
AT (g ácido acético/100 mL)	0,14 ± 0,01 <sup>d</sup>	0,30 ± 0,02 <sup>c</sup>	0,61 ± 0,05 <sup>b</sup>	1,00 ± 0,02 <sup>a</sup>	1,17 ± 0,17 <sup>a</sup>
AF (g ácido acético/100 mL)	0,10 ± 0,00 <sup>d</sup>	0,27 ± 0,02 <sup>c</sup>	0,53 ± 0,01 <sup>b</sup>	0,59 ± 0,01 <sup>b</sup>	0,88 ± 0,06 <sup>a</sup>
AV (g ácido acético/100 mL)	0,06 ± 0,01 <sup>d</sup>	0,06 ± 0,02 <sup>d</sup>	0,14 ± 0,05 <sup>c</sup>	0,38 ± 0,03 <sup>b</sup>	0,51 ± 0,02 <sup>a</sup>
Concentração etanol (% v/v)	5,16 ± 0,06 <sup>b</sup>	5,30 ± 0,30 <sup>b</sup>	5,77 ± 0,51 <sup>b</sup>	6,67 ± 0,05 <sup>a</sup>	6,82 ± 0,19 <sup>a</sup>
L*	61,09 ± 0,87 <sup>a</sup>	52,19 ± 1,09 <sup>b</sup>	36,58 ± 0,72 <sup>c</sup>	29,45 ± 1,29 <sup>d</sup>	20,73 ± 0,63 <sup>e</sup>
a*	-0,78 ± 0,47 <sup>c</sup>	5,42 ± 1,90 <sup>b</sup>	15,39 ± 1,08 <sup>a</sup>	18,72 ± 1,51 <sup>a</sup>	16,85 ± 1,74 <sup>a</sup>
b*	4,45 ± 1,20 <sup>c</sup>	6,00 ± 0,83 <sup>c</sup>	16,95 ± 0,82 <sup>a</sup>	17,72 ± 0,35 <sup>a</sup>	10,43 ± 1,32 <sup>b</sup>
ΔE*	-	11,03 ± 2,25 <sup>d</sup>	31,96 ± 1,13 <sup>c</sup>	39,49 ± 1,29 <sup>b</sup>	44,53 ± 1,48 <sup>a</sup>
Cor (EBC)	6,79 ± 0,43 <sup>c</sup>	36,16 ± 1,78 <sup>b</sup>	54,26 ± 0,29 <sup>a</sup>	54,53 ± 0,77 <sup>a</sup>	55,24 ± 0,22 <sup>a</sup>
Amargor (IBU)	20,75 ± 1,54 <sup>a</sup>	16,44 ± 0,59 <sup>b</sup>	18,00 ± 1,51 <sup>ab</sup>	18,38 ± 1,45 <sup>ab</sup>	20,19 ± 1,78 <sup>a</sup>

Os resultados são expressos como média ± desvio padrão. Letras diferentes na mesma linha são significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ). Abreviações: SST: Sólidos solúveis totais; AT: acidez total; AF: acidez fixa; AV: acidez volátil; ΔE\*: diferença total de cor; EBC: Convenção Europeia de Cervejarias; IBU: Unidades Internacionais de Amargor. Controle: sem adição de resíduo de groselha do Ceilão RGC), C2,5%: cerveja com 2,5% de adição de RGC, C5,0%: cerveja com 5,0% de adição de RGC, C7,5%: cerveja com 7,5% de adição de RGC e C10,0%: cerveja com 10,0% de adição de RGC.

O valor de pH das cervejas com enriquecimento de RGC diminuiu ligeiramente ( $p \leq 0,05$ ) e a porcentagem de acidez total (AT) aumentou conforme a concentração de RGC aumentou nas amostras (Tabela 3). A AT da cerveja de frutas é afetada pelo tipo e quantidade de frutas adicionadas ao mosto, bem como pelo processo de fermentação, o nível de pH cai e o SST diminui a conversão de açúcar em etanol (Villacreces, Blanco e Caballero, 2022). Cervejas com maiores concentrações de RGC (5,0%, 7,5% e 10,0%) apresentaram maior acidez volátil (Tabela 3), é relatado em estudos anteriores que cervejas produzidas com adição de frutas têm maior teor de compostos voláteis (Kawa-Rygieslka et al., 2019). O pH e a acidez são parâmetros importantes a serem analisados, pois podem melhorar a qualidade, a química e a microbiologia e a aceitação sensorial das cervejas artesanais (Medina et al., 2023). O baixo pH causado pela adição de RGC constitui uma barreira importante ao crescimento microbiano.

Diferenças significativas nos valores de luminosidade ( $L^*$ ) entre as amostras foram encontradas com maiores concentrações de RGC ( $p \leq 0,05$ ), indicando que as cervejas têm tons mais escuros. Os valores positivos de  $a^*$  mostram que as cervejas tendem ao vermelho e os valores positivos de  $b^*$  mostram que as cervejas têm maior tendência a serem amarelas (Tabela 2). O valor da diferença total de cor ( $\Delta E^*$ ), calculado com base nas diferenças de cor em comparação com a cerveja controle, aumentou com a maior concentração de RGC (Tabela 3), indicando mudanças visuais perceptíveis na cor da cerveja (Figura S1). Esse comportamento mostra que o momento em que frutas e vegetais são adicionados à cerveja, não apenas sua inclusão, influencia a cor final da cerveja (Pérez-Alva., 2023).

A cor das cervejas analisadas variou de 6 a 55 (unidades EBC), e todas as amostras apresentaram diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ) (Tabela 3). A cor da fruta é derivada de antocianinas e carotenoides, que podem sofrer degradação em diferentes níveis de pH e temperaturas. Vários compostos, como produtos da reação de Maillard formados durante a maltagem, fervura do mosto, oxidação de polifenóis durante o envelhecimento da cerveja, corantes artificiais e condições de fabricação da cerveja (por exemplo, temperatura e pH) podem influenciar a cor da cerveja. (Moreno et al., 2022; Pérez-Alva., 2023).

O C2.5 teve um valor ligeiramente menor ( $p \leq 0,05$ ) no amargor. Em contraste, as amostras obtidas com as outras concentrações de RGC não alteraram ( $p > 0,05$ ) o amargor em relação à cerveja controle (CC). Esses resultados foram observados em estudos

anteriores com frutos de marmelo (Zapata et al., 2019) e cerveja de cereja da Cornualha (Kawa- Rygieslska et al., 2019).

### Compostos bioativos e atividade antioxidante das cervejas RGC

Os resultados de compostos fenólicos totais (CFT) e teor de flavonoides totais (FT) em cervejas sem RGC (CC) e com enriquecimento com RGC são apresentados na Tabela 4. As cervejas com adição de RGC apresentaram maior concentração de CFT do que a CC. Os resultados do estudo demonstram que a fermentação do mosto cervejeiro com a adição de RGC causa um aumento na concentração de CFT no produto. Da mesma forma, o FT das cervejas com CGR foi maior do que o da cerveja controle (BC), mas não apresentou diferença entre si.

**Tabela 4.** Compostos bioativos e atividade antioxidante do resíduo de groselha do Ceilão (RGC).

<i>Compostos bioativos</i>	CC	C2.5	C5.0	C7.5	C10.0
CFT (mgEAG/100 mL)	28,25 ± 1,35 <sup>d</sup>	45,50 ± 2,22 <sup>c</sup>	72,87 ± 1,73 <sup>b</sup>	74,43 ± 4,75 <sup>b</sup>	92,33 ± 3,44 <sup>a</sup>
FT (mgEQ/100 mL)	8,00 ± 0,15 <sup>b</sup>	10,50 ± 0,73 <sup>a</sup>	10,80 ± 0,40 <sup>a</sup>	11,08 ± 1,20 <sup>a</sup>	11,02 ± 0,15 <sup>a</sup>
AMT (mgC3OG/100 mL)	ND*	1,56 ± 0,05 <sup>d</sup>	3,70 ± 0,10 <sup>c</sup>	4,68 ± 0,12 <sup>b</sup>	5,84 ± 0,08 <sup>a</sup>
<i>Atividade antioxidante</i>					
DPPH (%)	15,20 ± 0,76 <sup>c</sup>	34,22 ± 0,37 <sup>d</sup>	57,18 ± 1,36 <sup>c</sup>	68,53 ± 3,75 <sup>b</sup>	76,17 ± 2,94 <sup>a</sup>
ABTS (%)	13,50 ± 0,17 <sup>d</sup>	24,22 ± 1,53 <sup>c</sup>	39,47 ± 0,58 <sup>b</sup>	42,93 ± 3,15 <sup>b</sup>	55,65 ± 3,90 <sup>a</sup>
FRAP (mgEAG/100 mL)	10,51 ± 3,65 <sup>d</sup>	16,48 ± 0,79 <sup>c</sup>	35,85 ± 3,27 <sup>b</sup>	37,63 ± 2,76 <sup>b</sup>	43,97 ± 1,58 <sup>a</sup>

\*nd: não detectado; os resultados são expressos como média ± desvio padrão. Letras diferentes na mesma linha são significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ). CFT: compostos fenólicos totais; FT: conteúdo total de flavonoides; AMT: antocianinas monoméricas totais; EAG: equivalente gálico; EQ: equivalente de quercetina; C3OG: cianidina-3-O-glicosídeo. DPPH: DPPH sequestrador de radicais livres; ABTS: ABTS sequestrador de radicais livres; FRAP: poder antioxidante redutor férrico. Cerveja controle (CC): sem adição de resíduo de groselha do Ceilão (RGC), C2,5%: cerveja com 2,5% de adição de RGC, C5,0%: cerveja com 5,0% de adição de RGC, C7,5%: cerveja com 7,5% de adição de RGC e C10,0%: cerveja com 10,0% de adição de RGC.

Recentemente, a adição de resíduos de frutas durante a fermentação demonstrou aumentar o teor total de polifenóis e flavonoides, além de melhorar o perfil fenólico em relação à cerveja convencional (Nardini e Garaguso, 2020). O aumento de flavonoides observado nas cervejas RGC pode contribuir para sua maior atividade antioxidante em comparação

à cerveja controle (Tabela 4). Os flavonoides têm sido associados a sequestradores de radicais livres, quelantes de metais e fortes antioxidantes (Kumar e Pandey, 2013).

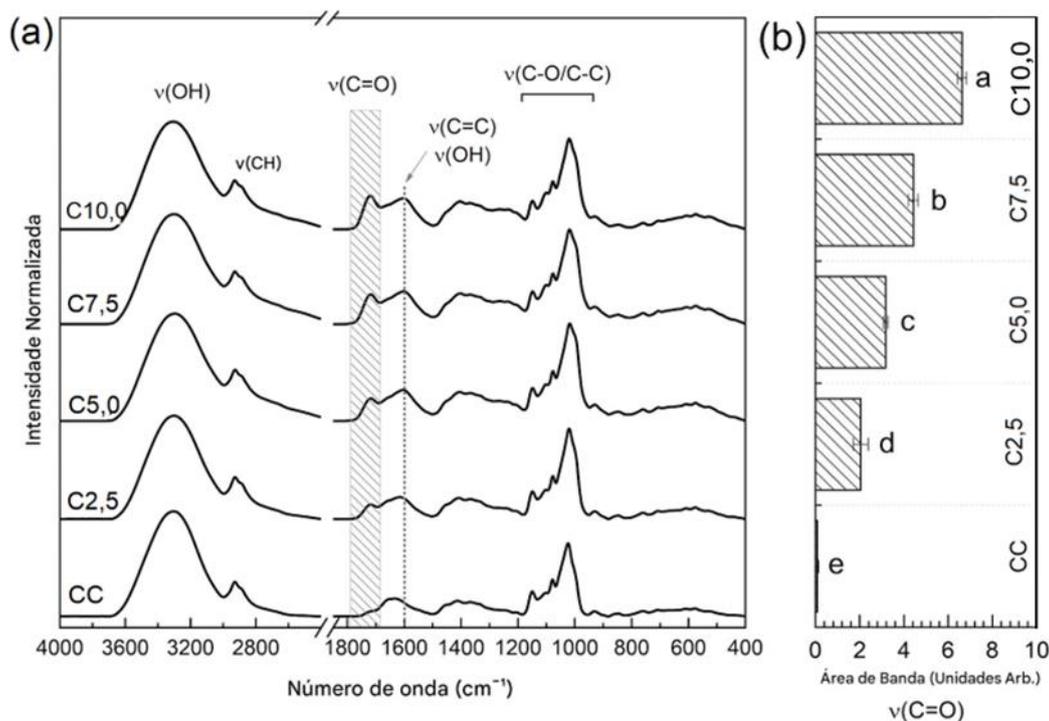
As antocianinas monoméricas totais (AMT) analisadas em amostras de cerveja são mostradas na Tabela 4. O teor de AMT não foi detectado na cerveja controle (CC), sendo que a C2,5 apresentou o menor valor, enquanto a C10,0 apresentou o maior teor de AMT. As amostras de cerveja adquiriram uma coloração vermelho-escura e a intensidade aumentou (Tabela 3) com a quantidade de RGC, o que se deve à cor característica da RGC (baixo  $L^*$  e alto  $a^*$ ) (Tabela 2). Além disso, o pigmento antocianina é vermelho em  $\text{pH} < 4$  (Tabela 3). Cervejas enriquecidas com diferentes concentrações de extrato de casca de berinjela apresentaram comportamento semelhante e o teor de AMT também não foi detectado na cerveja controle e o pigmento antocianina aumentou com a adição do extrato (Honricar et al., 2020).

Atividade antioxidante das cervejas é mostrada na Tabela 4. Para todos os ensaios (DPPH, ABTS e FRAP), a atividade antioxidante das cervejas aumentou com a adição de RGC ( $p \leq 0,05$ ). As cervejas apresentaram maior atividade antioxidante pelo método DPPH do que pelo ABTS, o que foi relatado anteriormente (Yang et al., 2022). Isso pode estar relacionado a diferentes mecanismos antioxidantes, visto que no ABTS a taxa de sequestro de radicais é baseada no mecanismo de transferência de átomos de hidrogênio, e no DPPH a taxa de sequestro de radicais é baseada no mecanismo de transferência de elétrons (Kawa- Rygieslska et al., 2019). Os compostos fenólicos desempenham um papel vital na atividade antioxidante da cerveja e alterações nos compostos fenólicos podem afetar a capacidade antioxidante (Ducruet et al., 2017).

### **Espectroscopia de infravermelho (FTIR-ATR) de cervejas**

Os espectros da cerveja são mostrados na Figura 1(a). Seus espectros se assemelham à maltose pura (Polshin et al., 2011). A banda na região espectral de  $3330 \text{ cm}^{-1}$  é atribuída ao estiramento de hidroxilas (OH), que pode estar diretamente ligado à presença de água nas amostras (Johson et al., 2022; Pal et al., 2021). Na faixa de  $3000$  a  $2800 \text{ cm}^{-1}$ , as bandas podem ser atribuídas às cadeias CH alifáticas (Ribeiro et al., 2018; Polshin et al., 2011). Pode-se destacar a banda hachurada centrada em  $1720 \text{ cm}^{-1}$ , que está relacionada ao estiramento de ligações duplas entre o CO presente na groselha do Ceilão, devido à concentração de antocianinas (Ribeiro et al., 2018). À medida que a concentração de RGC

na cerveja aumenta, também é perceptível um aumento na intensidade da banda. Isso ocorre devido à maior presença de antocianinas na cerveja, e esse modo vibracional é facilmente detectável por espectroscopia FTIR.



**Figura 1.** (a) Espectros de FTIR de cervejas com resíduo de groselha do Ceilão (RGC); (b) Integral da área associada à antocianina. Cerveja controle (CC): sem adição de RGC, C2,5%: cerveja com 2,5% de adição de RGC, C5,0%: cerveja com 5,0% de adição de RGC, C7,5%: cerveja com 7,5% de adição de RGC e C10,0%: cerveja com 10,0% de adição de RGC.

Para comparar as adições de RGC, a área foi calculada por integração para esta região, mostrada na Figura 1 (b). Ela revela uma tendência quase linear de aumento na ligação química de acordo com um aumento na porcentagem de adição de groselha do Ceilão em comparação com a cerveja controle, corroborando com os resultados do AMT (Tabela 2). As áreas de integração apresentam uma diferença estatística ( $p \leq 0,05$ ). Além disso, um deslocamento de banda de  $1635 \text{ cm}^{-1}$  para  $1600 \text{ cm}^{-1}$  pode ser observado, o que pode ser explicado pela sobreposição de bandas, uma vez que OH pode apresentar modos vibracionais nesta região (Ribeiro et al, 2018; Polshin et al., 2011), bem como antocianinas com estiramento C=C (Wahyuningsih et al., 2017). Por fim, o intervalo de  $1200 \text{ a } 900 \text{ cm}^{-1}$  está relacionado a trechos de CO e CC atribuídos ao álcool e aos carboidratos, incluindo polissacarídeos (Johson et al., 2022) presentes na cerveja.

## Aceitabilidade Check-that-all-apply (CATA) de cervejas RGC

Os resultados do teste com consumidor ( $n = 60$ ) são apresentados na Tabela 5. Foram observadas diferenças significativas nos atributos entre as cervejas analisadas. A cerveja produzida com RGC apresentou melhores pontuações para cor ( $p \leq 0,05$ ) do que a CC e não diferiu nas pontuações para aroma. Os resultados também revelaram que C2.5 e C5.0 se assemelharam mais ao controle em relação ao sabor e à aceitação geral ( $p > 0,05$ ).

**Tabela 5.** Características sensoriais de cervejas com resíduo de groselha do Ceilão.

<i>Atributo</i>	CC	C2.5	C5.0	C7.5	C10.0
Cor	6,24 ± 1,83 <sup>c</sup>	6,72 ± 1,56 <sup>bc</sup>	7,28 ± 1,40 <sup>ab</sup>	7,44 ± 1,47 <sup>ab</sup>	7,66 ± 1,46 <sup>a</sup>
Aroma	7,38 ± 1,08 <sup>a</sup>	7,08 ± 1,17 <sup>a</sup>	7,00 ± 1,45 <sup>a</sup>	6,90 ± 1,55 <sup>a</sup>	6,60 ± 2,00 <sup>a</sup>
Sabor	7,22 ± 1,74 <sup>a</sup>	6,82 ± 1,51 <sup>a</sup>	6,46 ± 1,47 <sup>ab</sup>	5,70 ± 1,86 <sup>b</sup>	5,58 ± 2,13 <sup>b</sup>
Aceitação geral	7,26 ± 1,51 <sup>a</sup>	6,92 ± 1,37 <sup>ab</sup>	6,72 ± 1,05 <sup>abc</sup>	6,30 ± 1,62 <sup>bc</sup>	6,06 ± 1,66 <sup>c</sup>
<i>Aparência</i>					
Intensidade da cor	3,23 ± 2,07 <sup>d</sup>	4,17 ± 1,45 <sup>c</sup>	5,48 ± 1,25 <sup>b</sup>	6,28 ± 0,90 <sup>a</sup>	6,55 ± 0,83 <sup>a</sup>
Turbidez	4,07 ± 2,12 <sup>a</sup>	4,08 ± 1,94 <sup>a</sup>	4,65 ± 1,80 <sup>a</sup>	4,60 ± 2,05 <sup>a</sup>	4,80 ± 2,16 <sup>a</sup>
<i>Intenção de compra</i>	2,50 ± 0,61 <sup>a</sup>	2,33 ± 0,60 <sup>ab</sup>	2,10 ± 0,64 <sup>bc</sup>	1,92 ± 0,78 <sup>c</sup>	1,76 ± 0,71 <sup>c</sup>

Os resultados são expressos como média ± desvio padrão. Letras diferentes na mesma linha são significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ). Cerveja controle (CC): sem adição de resíduo de groselha do Ceilão (RCG), C2,5%: cerveja com 2,5% de RCG, C5,0%: cerveja com 5,0% de RCG, C7,5%: cerveja com 7,5% de RCG e C10,0%: cerveja com 10,0% de RCG.

As cervejas C7.5 e C10.0 apresentaram notas médias mais altas de intensidade de cor na avaliação da aparência (Tabela 5). Esses resultados confirmam os dados analíticos (Tabela 3), uma vez que C7.5 e C10.0 apresentaram valores mais altos de  $a^*$ , parâmetro tendendo para valores altos de vermelho. A turbidez é um atributo geralmente percebido em cervejas artesanais, devido à não filtração e à suspensão de sólidos, os consumidores não perceberam diferença ( $p \leq 0,05$ ) entre as amostras. Em relação a bebidas e alimentos, a familiaridade desempenha um papel importante na aceitação do consumidor, alimentos ou bebidas novos ou desconhecidos são menos apreciados pelos consumidores (Hayward, Wedel e McSweeney, 2019). Assim, o apelo familiar ou o sabor podem ser um fator na preferência dos consumidores pela cerveja controle, o que é confirmado pelos hábitos de consumo dos participantes (Tabela 1).

Os resultados da intenção de compra são apresentados na Tabela 5. CC e C2.5 não apresentaram diferença ( $p > 0,05$ ) para intenção de compra. Por outro lado, C10.0 apresenta baixa pontuação de intenção de compra, corroborando as características sensoriais analisadas.

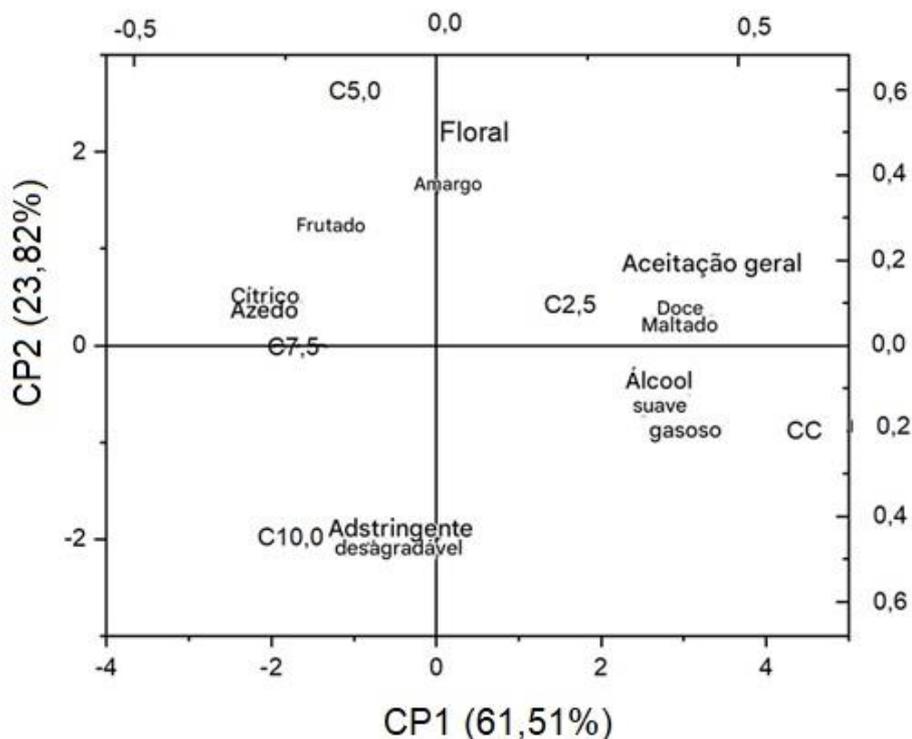
Em relação aos resultados do CATA, a Tabela 6 apresenta a frequência dos atributos escolhidos pelos consumidores. Foram encontradas diferenças significativas entre as amostras, de acordo com a Correlação de Pearson, quanto aos escores gerais de aceitação. "Doce" e "Maltado" foram os atributos positivos para os quais as amostras diferiram estatisticamente entre si ( $p \leq 0,01$ ), e "Cítrico" e "Azedo" foram os negativos ( $p \leq 0,05$ ), com correlação menor que a positiva.

**Tabela 6.** Frequência com que os termos das perguntas Check-All-That-Apply (CATA) foram usados pelos consumidores ( $n = 60$ ) para descrever amostras de cerveja.

<i>% frequência de atributos escolhidos</i>					
<i>Atributo</i>	CC	C2.5	C5.0	C7.5	C10.0
Doce**	7,14	6,45	5,03	3,68	3,98
Floral	4,17	4,84	6,70	3,68	3,98
Maltado**	16,07	11,83	8,38	6,32	3,98
Frutado	4,17	13,44	15,08	10,00	12,44
Cítrico*	8,33	12,37	16,76	17,37	16,92
Alcoólico	13,69	8,06	6,15	7,37	6,47
Amargo	10,71	10,75	11,73	12,63	9,45
Azedo*	0,60	6,99	16,76	22,11	17,91
Adstringente	2,38	2,69	1,12	3,68	4,98
Desagradável	2,98	3,23	2,23	6,32	8,46
Suave	17,86	14,52	3,91	3,16	5,97
Gasoso	11,90	4,84	6,15	6,15	5,47

\*A correlação é significativa no nível de 0,05; \*\*A correlação é significativa no nível de 0,01; de acordo com a correlação de Pearson. Os resultados são expressos em porcentagem. Cerveja controle (CC): sem adição de resíduo de groselha do Ceilão (RCG), C2,5%: cerveja com 2,5% de RCG, C5,0%: cerveja com 5,0% de RCG, C7,5%: cerveja com 7,5% de RCG e C10,0%: cerveja com 10,0% de RCG.

A Análise de Componentes Principais (ACP) foi utilizada para apresentar graficamente a relação entre as respostas da CATA e a aceitação geral das cervejas. Os resultados experimentais são apresentados na Figura 2. A ACP explicou 85,33% das variáveis em dois eixos. Há uma clara separação entre termos e cervejas. A primeira dimensão da ACP contrastou positivamente com os termos "Maltado" e "Doce", enquanto negativamente com os termos "Azedo" e "Cítrico". Esses resultados mostram que a primeira dimensão foi positivamente correlacionada com o CC e C2.5, e negativamente com C7.5 e C10.0.



**Figura 2.** Representação biplot dos atributos sensoriais utilizados para descrever as amostras de cerveja, nas duas primeiras dimensões da Análise de Componentes Principais (ACP) com seleção de todas as opções aplicáveis. Cerveja controle (CC): sem adição de resíduo de groselha do Ceilão (RGC), C2,5%: cerveja com 2,5% de adição de RGC, C5,0%: cerveja com 5,0% de adição de RGC, C7,5%: cerveja com 7,5% de adição de RGC e C10,0%: cerveja com 10,0% de adição de RGC.

Observou-se que os termos descritivos utilizados pelos consumidores estão diretamente relacionados aos índices de aceitação geral das cervejas (Tabela 5). Portanto, os termos "Gasoso", "Suave", "Alcoólico" e "Amargo" foram associados às duas cervejas que receberam as maiores pontuações na aceitação geral (CC e C2.5), enquanto

“Desagradável” e “Adstringente” apareceram associados à cerveja C10.0 com a menor pontuação na aceitação geral. Os termos “Maltado”, “Suave” (CC e C2,5) e “Azedo” (C7,5 e C10,0) podem ser correlacionados com a proporção de ácido láctico para ácido acético, que é um fator determinante para o aroma e sabor da cerveja, já que o ácido láctico proporciona uma acidez fresca e suave, enquanto o ácido acético proporciona uma acidez acentuada e forte, semelhante ao vinagre, devido à sua volatilidade, o ácido acético contribui para o aroma da cerveja (Bongaerts, De Roos e De Vuyst, 2021), bem como para a aceitação geral (Tabela 5).

Os atributos de sabor da cerveja são cruciais para sua aceitação geral pelos consumidores (Moss, Barker e McSweeney, 2022), e há uma diminuição nas pontuações de sabor com maior enriquecimento com RGC (Tabela 5). Além disso, as respostas do CATA apresentaram um declínio na percepção alcoólica com o enriquecimento com RGC (Tabela 6); a concentração de etanol na cerveja industrial é considerada um potencializador de sabor, que aumenta a doçura da cerveja (Ghasemi- Varnamkhasti et al., 2011), e o malte percebido apresenta sabor frutado, doçura e corpo reduzidos (Ramsey et al., 2020).

Cervejas com maiores concentrações de RGC (C7,5 e C10,0) apresentaram alta acidez volátil (Tabela 3), o que certamente influenciou as menores pontuações na aceitação geral e na intenção de compra (Tabela 5) e exibiram um atributo maltado mais fraco em comparação com CC (Tabela 6), visto que esse atributo pode ter sido ofuscado pela acidez das cervejas RGC. Além disso, o aumento de compostos fenólicos observado em cervejas com RGC (Tabela 4) pode contribuir para a aceitação geral da cerveja. A reação entre as proteínas da saliva que lubrificam a boca e os polifenóis derivados dos alimentos pode resultar em uma sensação adstringente (Figura 2); além disso, o pH mais baixo aumenta a sensação de adstringência (Habschied et al., 2021).

Os resultados do estudo sensorial confirmam que os atributos de sabor amargo e adstringência, juntamente com a coloração da cerveja, decorrem principalmente da presença de compostos fenólicos, flavonoides e antocianinas na bebida. Devido ao uso de diferentes matérias-primas para a fermentação da cerveja, os grupos químicos presentes no produto são responsáveis pelos atributos mencionados anteriormente. Portanto, o entendimento científico dessa composição para realizar as mudanças necessárias à produção de cervejas inovadoras com a qualidade e os benefícios desejados é inevitável.

## **Conclusão**

Os resultados demonstraram que o enriquecimento da cerveja com resíduo de groselha do Ceilão (RGC) afetou significativamente sua composição funcional, aumentando o teor total de polifenóis, flavonoides, antocianinas e atividade antioxidante. No geral, a cerveja controle e as cervejas com menores concentrações de RGC (2,5 e 5,0 % m/v) foram preferidas às cervejas com maiores concentrações (7,5 e 10,0 % m/v), possivelmente devido à atração dos consumidores pela familiaridade. A descoberta da CATA corroborou a preferência dos consumidores por cervejas com sabor maltado e doce. Além disso, o sabor azedo diminuiu consideravelmente as pontuações de aceitação. Os resultados deste estudo devem ajudar a informar a indústria cervejeira sobre a aceitação dos novos ingredientes pelos consumidores.

## **Agradecimentos**

Nós agradecemos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) para o bolsa, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) para financiamento, e Complexo de Centrais de Apoio à Pesquisa (COMCAP) - UEM pela análise de FTIR.

## **Declaração de divulgação**

Os autores declaram não ter conhecimento de conflitos de interesses financeiros ou relacionamentos pessoais que possam ter influenciado o trabalho relatado neste artigo.

## **Declaração de disponibilidade de dados**

Os autores confirmam que os dados que apoiam as descobertas deste estudo estão disponíveis no artigo.

## **Financiamento**

Esta pesquisa foi financiada pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico [CNPq; Número da concessão: 307963/2019-5].

## Referências

Analytica, E. B. C., 2010. European Brewing Convention. *Fachverlag Hans Carl, Nurnberg*.

AOAC., 2005. *Official Methods of the Association of Official Analytical Chemists*, 16th ed. Arlington, TX: Association of Official Analytical Chemists.

AOCS., 1996. Approved Method Ba 6a-05: Crude Fiber Analysis in Feeds by Filter Bag Technique. *Official Methods and Recommended Practices*.

Ares, G., and Jaeger, S. R., 2023. Check-all-that-apply (CATA) questions with consumers in practice: Experimental considerations and impact on outcome. In *Rapid sensory profiling techniques* (pp. 257-280). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821936-2.00013-3>

Bochi, V. C., Godoy, H. T., and Giusti, M. M., 2015. Anthocyanin and other phenolic compounds in Ceylon gooseberry (*Dovyalis hebecarpa*) fruits. *Food Chem.*, 176, 234-243. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.12.041>

Bongaerts, D., De Roos, J., and De Vuyst, L., 2021. Technological and environmental features determine the uniqueness of the lambic beer microbiota and production process. *Appl. Environ. Microbiol.*, 87(18), e00612-21. <https://doi.org/10.1128/AEM.00612-21>

Brito, T. B., Carrajola, J. F., Gonçalves, E. C. B. A., Martelli-Tosi, M., and Ferreira, M. S. L., 2019. Fruit and vegetable residue flours with different granulometry range as raw material for pectin-enriched biodegradable film preparation. *Food Res. Int.*, 121, 412-421. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.03.058>

Buriol, L., Finger, D., Schmidt, E.M., dos Santos, J.M., Rosa, M.R.D., Quinaia, S.P., Torres, Y.R., Dalla Santa, H.S., Pessoa, C., Moraes, M.O.D. and Costa-Lotuf, L.V., 2009. Chemical composition and biological activity of oil propolis extract: an alternative to ethanolic extract. *Química Nova*, 32, pp.296-302. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000200006>

Cela, N., Galgano, F., Perretti, G., Di Cairano, M., Tolve, R., and Condelli, N., 2022. Assessment of brewing attitude of unmalted cereals and pseudocereals for gluten free

beer production. *Food Chem.*, 384, 132621.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132621>

Chen, Y. W., Hasanulbasori, M. A., Chiat, P. F., and Lee, H. V., 2019. Pyrus pyrifolia fruit peel as sustainable source for spherical and porous network based nanocellulose synthesis via one-pot hydrolysis system. *Inter. J. Biol. Macromol.*, 123, 1305-1319. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.10.013>

de Albuquerque, M. A. C., Levit, R., Beres, C., Bedani, R., de LeBlanc, A. D. M., Saad, S. M. I., and LeBlanc, J. G., 2019. Tropical fruit by-products water extracts as sources of soluble fibres and phenolic compounds with potential antioxidant, anti-inflammatory, and functional properties. *J. Funct. Foods*, 52, 724-733. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.12.002>

Ducruet, J., Rébenaque, P., Diserens, S., Kosińska-Cagnazzo, A., Héritier, I., and Andlauer, W., 2017. Amber ale beer enriched with goji berries—The effect on bioactive compound content and sensorial properties. *Food Chem.*, 226, 109-118. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.01.047>

García-Gómez, B., Romero-Rodríguez, Á., Vázquez-Odériz, L., Muñoz-Ferreiro, N., and Vázquez, M., 2019. Sensory quality and consumer acceptance of skim yoghurt produced with transglutaminase at pilot plant scale. *Int. J. Dairy Technol.*, 72(3), 388-394. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12595>

Giusti, M. M., and Wrolstad, R. E., 2001. Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy. *Current protocols in food analytical chemistry*, (1), F1-2. <https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0102s00>

Hayward, L., Wedel, A., and McSweeney, M. B., 2019. Acceptability of beer produced with dandelion, nettle, and sage. *Int. J. Gastron. Food Sci.*, 18, 100180. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2019.100180>

Horincar, G., Enachi, E., Bolea, C., Râpeanu, G., and Aprodu, I., 2020. Value-added lager beer enriched with eggplant (*Solanum melongena* L.) peel extract. *Molecules*, 25(3), 731. <https://doi.org/10.3390/molecules25030731>

Johnson, J. B., El Orche, A., and Naiker, M., 2022. Prediction of anthocyanin content and variety in plum extracts using ATR-FTIR spectroscopy and chemometrics. *Vib. Spectrosc.*, 121, 103406. <https://doi.org/10.1016/j.vibspec.2022.103406>

Lazzari, A., Barbosa, H. D., Filho, E. R. M., Dada, A. P., Saraiva, B. R., and Matumoto-Pintro, P. T., 2022. Gender behavior and influence in acceptability of beers produced with Rubim and Mastruz. *J. Sens, Stud.*, 37(2), e12731. <https://doi.org/10.1111/joss.12731>

Lazzari, A., Barbosa, H.D., Machado Filho, E.R., Maldonado da Silva, L.H., Anjo, F.A., Sato, F., Lourenzi Franco Rosa, C.I. and Matumoto Pintro, P.T., 2023. Effect on bioactive compounds and antioxidant activity in the brewing process for beers using rubim and mastruz as hop replacements. *J. Am. Soc. Brew. Chem.*, 81(2), pp.265-275. <https://doi.org/10.1080/03610470.2022.2053638>

Li, W., Hydamaka, A. W., Lowry, L., & Beta, T., 2009. Comparison of antioxidant capacity and phenolic compounds of berries, chokecherry and seabuckthorn. *Cent. Eur. J. Biol.*, 4, 499-506. <https://doi.org/10.2478/s11535-009-0041-1>

Gasiński, A., Kawa-Rygielska, J., Szumny, A., Czubaszek, A., Gąsior, J., and Pietrzak, W., 2020. Volatile compounds content, physicochemical parameters, and antioxidant activity of beers with addition of mango fruit (*Mangifera Indica*). *Molecules*, 25(13), 3033. <https://doi.org/10.3390/molecules25133033>

Ghasemi-Varnamkhasti, M., Mohtasebi, S.S., Rodriguez-Mendez, M.L., Siadat, M., Ahmadi, H. and Razavi, S.H., 2011. Electronic and bioelectronic tongues, two promising analytical tools for the quality evaluation of non alcoholic beer. *Trends Food Sci. Technol.*, 22(5), pp.245-248. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2011.01.003>

Habschied, K., Košir, I. J., Krstanović, V., Kumrić, G., and Mastanjević, K., 2021. Beer polyphenols—Bitterness, astringency, and off-flavors. *Beverages*, 7(2), 38. <https://doi.org/10.3390/beverages7020038>

Humia, B. V., Santos, K. S., Barbosa, A. M., Sawata, M., Mendonça, M. D. C., and Padilha, F. F., 2019. Beer molecules and its sensory and biological properties: A review. *Molecules*, 24(8), 1568. <https://doi.org/10.3390/molecules24081568>

Kawa-Rygielska, J., Adamenko, K., Kucharska, A. Z., Prorok, P., and Piórecki, N., 2019. Physicochemical and antioxidative properties of Cornelian cherry beer. *Food Chem.*, 281, 147-153. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.12.093>

Kumar, S., and Pandey, A. K., 2013. Chemistry and biological activities of flavonoids: an overview. *Sci. World J.*, 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/162750>

Li, M., Du, J., and Zhang, K., 2020. Profiling of carbohydrates in commercial beers and their influence on beer quality. *J. Sci. Food Agric.*, *100*(7), 3062-3070. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10337>

Medina, K., Giannone, N., Dellacassa, E., Schinca, C., Carrau, F., and Boido, E., 2023. Commercial craft beers produced in Uruguay: Volatile profile and physicochemical composition. *Food Res. Int.*, *164*, 112349. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112349>

Moraes, D. P., Lozano-Sánchez, J., Machado, M. L., Vizzotto, M., Lazzaretti, M., Leyva-Jimenez, F. J. J., ... and Barcia, M. T., 2020. Characterization of a new blackberry cultivar BRS Xingu: Chemical composition, phenolic compounds, and antioxidant capacity in vitro and in vivo. *Food Chem.*, *322*, 126783. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126783>

Moreno, S. R., Curtis, S. J., Sarkhosh, A., Sarnoski, P. J., Sims, C. A., Dreyer, E., ... and MacIntosh, A. J., 2022. Considerations When Brewing with Fruit Juices: A Review and Case Study Using Peaches. *Fermentation*, *8*(10), 567. <https://doi.org/10.3390/fermentation8100567>

Moss, R., Barker, S. and McSweeney, M.B., 2022. An analysis of the sensory properties, emotional responses and social settings associated with non-alcoholic beer. *Food Qual. Prefer.*, *98*, p.104456. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2021.104456>

Nardini, M., and Garaguso, I., 2020. Characterization of bioactive compounds and antioxidant activity of fruit beers. *Food Chem.*, *305*, 125437. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125437>

Pal, H., Kaur, R., Kumar, P., Nehra, M., Rawat, K., Grover, N., ... and Swami, R., 2022. Process parameter optimization for development of beer: Star fruit fortified approach. *J. Food Process. Preserv.*, *46*(10), e15838. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15838>

Pap, N., Fidelis, M., Azevedo, L., do Carmo, M. A. V., Wang, D., Mocan, A., ... and Granato, D., 2021. Berry polyphenols and human health: Evidence of antioxidant, anti-inflammatory, microbiota modulation, and cell-protecting effects. *Curr. Opin. Food Sci.*, *42*, 167-186. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.06.003>

Perera, S., Silva, A. B. G., Amarathunga, Y., De Silva, S., Jayatissa, R., Gamage, A., ... and Madhujith, T., 2022. Nutritional Composition and Antioxidant Activity of Selected

Underutilized Fruits Grown in Sri Lanka. *Agronomy*, 12(5), 1073. <https://doi.org/10.3390/agronomy12051073>

Pérez-Alva, A., Ramírez-Rodrigues, M. A., Martínez-Jiménez, L. A., García-Torres, R., and Ramírez-Rodrigues, M. M., 2023. Physicochemical and micronutrient characterization of commercial red fruit beers. *Food Hum.* <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2023.06.004>

Polshin, E., Aernouts, B., Saeys, W., Delvaux, F., Delvaux, F. R., Saison, D., ... and Lammertyn, J., 2011. Beer quality screening by FT-IR spectrometry: Impact of measurement strategies, data pre-processings and variable selection algorithms. *J. Food Eng.*, 106(3), 188-198. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.05.003>

Ramsey, I., Dinu, V., Linforth, R., Yakubov, G.E., Harding, S.E., Yang, Q., Ford, R. and Fisk, I., 2020. Understanding the lost functionality of ethanol in non-alcoholic beer using sensory evaluation, aroma release and molecular hydrodynamics. *Sci. Rep.*, 10(1), p.20855. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-77697-5>

Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C., 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radic. Biol. Med.*, 26(9-10), 1231-1237. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)

Rotili, M. C. C., Villa, F., Silva, D. F. D., Rosanelli, S., Braga, G. C., and Eberling, T., 2020. Nutraceutical fruit characterization, nutritional aspects and sensory analysis of dovyalis jams. *Cien. Rural*, 51. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20200310>

Ribeiro, H. L., de Oliveira, A. V., de Brito, E. S., Ribeiro, P. R., and Azeredo, H. M., 2018. Stabilizing effect of montmorillonite on acerola juice anthocyanins. *Food Chem.*, 245, 966-973. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.11.076>

Salanță, Liana Claudia, et al. "Non-alcoholic and craft beer production and challenges." *Processes* 8.11 (2020): 1382. <https://doi.org/10.3390/pr8111382>

Singleton, V.L. and Rossi, J.A., 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American journal of Enology and Viticulture*, 16(3), pp.144-158. <https://doi.org/10.5344/ajev.1965.16.3.144>

Tuorila, H., and Hartmann, C., 2020. Consumer responses to novel and unfamiliar foods. *Curr. Opin. Food Sci.*, 33, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2019.09.004>

Villacreces, S., Blanco, C. A., and Caballero, I., 2022. Developments and characteristics of craft beer production processes. *Food Biosci.*, 45, 101495. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101495>

Wahyuningsih, S., Wulandari, L., Wartono, M. W., Munawaroh, H., and Ramelan, A. H., 2017, April. The effect of pH and color stability of anthocyanin on food colorant. In *IOP conference series: Materials science and engineering* (Vol. 193, No. 1, p. 012047). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/193/1/012047>

Yang, N., Wu, C., Yang, H., Guo, Z., Jian, H., Jiang, T., and Lei, H., 2022. Bioactive compounds, antioxidant activities and flavor volatiles of lager beer produced by supplementing six jujube cultivars as adjuncts. *Food Biosci.*, 50, 102008. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.102008>

Zapata, P. J., Martínez-Esplá, A., Gironés-Vilaplana, A., Santos-Lax, D., Noguera-Artiaga, L., and Carbonell-Barrachina, Á. A., 2019. Phenolic, volatile, and sensory profiles of beer enriched by macerating quince fruits. *Lwt*, 103, 139-146. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.01.002>

Zhu, Q. Y., Hackman, R. M., Ensunsa, J. L., Holt, R. R., and Keen, C. L., 2002. Antioxidative activities of oolong tea. *J. Agric. Food Chem.*, 50(23), 6929-6934. <https://doi.org/10.1021/jf0206163>

## Artigo 2

**Artigo aceito para publicação no periódico European Food Research and Technology (Qualis A2 – fator de impacto: 3,2)**

**Craft Beer with Ceylon Gooseberry Residue: Physicochemical Parameters, Volatile Compounds, and Antioxidant Stability**

**Cerveja Artesanal com Resíduo de Groselha do Ceilão: Parâmetros Físico-Químicos, Compostos Voláteis e Estabilidade Antioxidante**

Anderson Lazzari<sup>1</sup>; Bianka Rocha Saraiva<sup>2</sup>, Fernando Antônio Anjo<sup>3</sup>; Aline Cristini dos Santos Silva<sup>4</sup>; Jessyca Caroline Rocha Ribas<sup>5</sup>; Cristiane Mengue Feniman Moritz<sup>6</sup>; Paula Toshimi Matumoto-Pintro<sup>7\*</sup>.

<sup>1</sup> Programa de Pós- Graduação em Ciência de Alimentos, Universidade Estadual de Maringá, CEP: 87020-900. Maringá, PR, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4039-4772>

<sup>2</sup> Programa de Pós- Graduação em Zootecnia, Universidade Estadual de Maringá, CEP: 87020-900. Maringá, PR, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6575-9857>

<sup>3</sup> Programa de Pós- Graduação em Ciência de Alimentos, Universidade Estadual de Maringá, CEP: 87020-900. Maringá, PR, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6886-0304>

<sup>4</sup> Programa de Pós- Graduação em Ciência de Alimentos, Universidade Estadual de Maringá, CEP: 87020-900. Maringá, PR, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-3908-2558>

<sup>5</sup> Programa de Pós- Graduação em Zootecnia, Universidade Estadual de Maringá, CEP: 87020-900. Maringá, PR, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6046-2827>

<sup>6</sup> Programa de Pós- Graduação em Sustentabilidade, Universidade Estadual de Maringá, CEP: 87506-370. Umuarama, PR, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9114-2156>

<sup>7</sup> Programa de Pós -Graduação em Ciência de Alimentos, Universidade Estadual de Maringá, CEP: 87020-900. Maringá, PR, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9182-5758>

\*Autor correspondente. Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5700, Jd. Universitário, 87020-900, Paraná, Brasil. E-mail: [ptmpintro@uem.br](mailto:ptmpintro@uem.br) (Paula T. Matumoto-Pintro). Telefone: +55 (44) 3011-8946.

## Resumo

O reaproveitamento de resíduos agroindustriais tem despertado interesse devido ao seu potencial nutricional e funcional. A groselha do Ceilão (*Dovyalis hebecarpa*) é uma fruta rica em compostos fenólicos e antocianinas, que podem contribuir para a qualidade e estabilidade de alimentos e bebidas. Portanto, este estudo avaliou o efeito da adição de resíduo de groselha do Ceilão na composição físico-química, perfil volátil e atividade antioxidante de cervejas submetidas a um processo de envelhecimento forçado. A cofermentação foi realizada com diferentes concentrações do resíduo (2,5 %, 5,0 % e 7,5 % m/v). As amostras foram analisadas em três etapas: cerveja fresca, envelhecimento médio (5 ciclos) e envelhecimento avançado (10 ciclos). Os resultados indicaram que a adição do resíduo aumentou os níveis de compostos fenólicos e antocianinas, o que promoveu maior estabilidade antioxidante ao longo do tempo. A análise por CG-EM revelou que os compostos voláteis predominantes na cerveja com resíduo foram 3-metil-1-butanol e álcool feniletílico, contribuindo para notas aromáticas mais agradáveis, enquanto a cerveja controle apresentou maior formação de aldeídos e compostos indesejáveis com o envelhecimento. A correlação de Pearson confirmou que a presença do resíduo reduziu os efeitos negativos do envelhecimento, preservando a cor, os compostos bioativos e as propriedades antioxidantes. Essas descobertas sugerem que o resíduo da groselha do Ceilão pode ser um ingrediente promissor para melhorar a qualidade e a estabilidade de cervejas artesanais, bem como uma estratégia sustentável para a valorização de subprodutos da indústria alimentícia.

**Palavras-chave:** Cerveja de frutas; Groselha do Ceilão; Co-fermentação; Antocianinas; Envelhecimento forçado; Perfil volátil.

## 1. Introdução

A cerveja é a bebida alcoólica mais consumida no mundo, originalmente feita com poucos ingredientes, como água, cevada, lúpulo e levedura. Atualmente, o processo de fabricação de cerveja mudou a tecnologia de produção do mosto. O uso de diferentes microrganismos, cevadas atípicas e a adição de novos adjuntos, como ervas, plantas, frutas ou especiarias, estão definindo novos estilos de cerveja [1–3].

A adição de frutas na produção de cerveja tem se mostrado uma tendência mundial em cervejarias locais, artesanais ou industriais [4, 5], e pesquisas recentes demonstram que cervejas produzidas com a adição de frutas e subprodutos da produção de vinho apresentaram maior teor de polifenóis e capacidade antioxidante, melhor aroma e maiores concentrações de compostos voláteis, compostos bioativos e estabilidade oxidativa [1, 4].

Nos últimos anos, a indústria de processamento agroalimentar expandiu-se significativamente; no entanto, muitos resíduos residuais também foram gerados simultaneamente durante o processo. Frutas e hortaliças são responsáveis pela maior quantidade de resíduos no processamento. Esses resíduos vêm de talos, cascas, sementes e polpas, que são ricos em polímeros de carboidratos, proteínas, lipídios, ácidos orgânicos e moléculas bioativas [6]. A reciclagem desses resíduos pode reduzir efetivamente essas limitações, especialmente quando essa biomassa contém características benéficas, tornando-a um precursor valioso para uma ampla gama de processos e aplicações [7].

As bagas são ricas em compostos fenólicos, especialmente da classe das antocianinas, responsáveis pela cor vermelho-púrpura e sua aceitabilidade; além disso, taninos e ácidos fenólicos são relatados como compostos fenólicos frequentes nas bagas [8]. Groselha do Ceilão (*Dovyalis hebecarpa*) é uma fruta vermelha escura a roxa originária do Sri Lanka, no sul da Índia, e produzida com alta produtividade na América do Sul [8]. Existem poucos estudos sobre antocianinas e outros compostos fenólicos presentes nesta fruta [8–10] e seu potencial uso na [11] produção de alimentos e bebidas [12].

Em um estudo recente, cervejas produzidas com resíduo de groselha do Ceilão (GC) na etapa de fermentação apresentaram aceitabilidade sensorial e uma cor atrativa [12]. Essa cor atrativa provém das antocianinas, que são utilizadas como corantes naturais devido às suas atraentes cores vermelha e roxa e à solubilidade em água, o que permite sua fácil incorporação em sistemas alimentares aquosos [13].

O açúcar presente nas frutas pode induzir a cofermentação quando usado na cerveja. Como resultado desse processo de cofermentação, esse tipo de cerveja de frutas

apresenta menores concentrações de carboidratos residuais e, portanto, é menos doce ou até mesmo ácida em comparação com a cerveja de frutas sem a etapa de cofermentação, embora ainda garanta a maioria dos sabores frutados (provenientes de ésteres, aldeídos e álcoois) [14].

As alterações químicas durante o envelhecimento da cerveja têm sido estudadas principalmente por meio de alterações nas frações voláteis e não voláteis, devido à cerveja ser caracterizada por um prazo de validade limitado [15]. O envelhecimento da cerveja altera principalmente o sabor, e essa velocidade depende das condições de armazenamento e da composição da cerveja. A pesquisa sobre o envelhecimento da cerveja concentra-se na produção em massa, enquanto em pequenas cervejarias artesanais/especializadas e em laboratórios, esse processo é menos explorado.

A análise dos perfis químicos e voláteis da cerveja possibilita decisões de negócios, desenvolvimento de produtos adaptados às preferências dos consumidores, avaliação do impacto de novos ingredientes e processos, além da correlação com dados analíticos e uma compreensão mais aprofundada dos mecanismos de percepção sensorial [16]. Portanto, este estudo teve como objetivo produzir cerveja com diferentes concentrações de resíduo de groselha do Ceilão por cofermentação em escala laboratorial e estudar o impacto nas alterações físico-químicas e no perfil volátil da cerveja durante o processo de envelhecimento forçado.

## **2. Materiais e Métodos**

### *2.1. Materiais e Reagentes*

O malte utilizado foi o malte Pilsen (Agrária, Brasil), e o lúpulo foi o Hallertauer Perle T90 (5,4 % m/m alfa ácidos), proveniente da Alemanha. Os frutos de groselha do Ceilão foram obtidos de uma pequena propriedade rural no Paraná, Brasil (23° 29' 8" S, 51° 47' 34" W). Os frutos foram lavados em água tratada, sanitizados em solução de hipoclorito de sódio (200 ppm/15 min) e lavados em água desmineralizada. Os frutos crus foram secos a 55 °C por 48h com circulação de ar, moídos, e o resíduo (casca, semente e polpa) retido nas peneiras (> 60 mesh) foi armazenado protegido da luz, sob refrigeração, até o processo de fermentação.

A levedura *Saccharomyces cerevisiae* SafAle™ US-05 foi utilizada para a fermentação (Lesaffre, França). Antes da inoculação, a levedura foi reidratada em água deionizada por 20 minutos e inoculada de acordo com as recomendações do fabricante.

O reagente Folin- Ciocalteu, ácido gálico, catequina, quercetina, ácido 2,2-azino-bis(3-etilbenzotiazolino-6-sulfônico) (ABTS), 2,2-difenil-1-picril-hidrazila (DPPH), ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromano-2-carboxílico (Trolox), ácido cítrico (C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub>), carbonato de sódio (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), persulfato de potássio (K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>) e hidróxido de sódio (NaOH) foram obtidos da Sigma-Aldrich (EUA). Os demais produtos químicos eram de grau analítico.

## 2.2. Compostos bioativos e capacidade antioxidante do resíduo de groselha do Ceilão

O resíduo de groselha do Ceilão (GC) foi misturado com água deionizada (1:50 m/v), homogeneizado por 15 minutos e centrifugado a 3000 rpm/10 minutos. Em seguida, o sobrenadante foi coletado e usado para as análises. Os compostos fenólicos totais (CFT) do resíduo de GC foram determinados de acordo com Singleton & Rossi [17]. A absorbância foi medida a 725 nm. Uma alíquota de 125 µL do extrato do resíduo de GC foi combinada com 125 µL do reagente Folin- Ciocalteu (1:1 com água deionizada) e 2250 µL de solução de carbonato de sódio (28 g/L), então homogeneizada e incubada no escuro por 30 minutos. Os resultados foram expressos como miligramas de equivalente de ácido gálico (EAG) por grama de amostra (mg EAG/g). O conteúdo de flavonoides foi medido a 425 nm [18]. Uma alíquota de 300 µL do extrato residual de GC foi misturada com 150 µL de solução de AlCl<sub>3</sub> a 5% e 2250 µL de metanol 100%, sendo então homogeneizada e deixada em repouso no escuro por 30 minutos. Os resultados foram expressos em mg de equivalente de quercetina (EQ) por g de amostra (mg EQ/g).

As antocianinas monoméricas foram determinadas conforme descrito por Giusti e Wrolstad [19]. Uma alíquota (200 µL) do extrato do resíduo de GC foi misturada com 1800 µL de tampão cloreto de potássio 0,025 M (pH 1,0) e outra alíquota com 1800 µL de tampão acetato de sódio 0,4 M (pH 4,5). A absorbância das amostras foi medida a 520 nm e 700 nm para corrigir a turbidez, contra o branco de dH<sub>2</sub>O. Os resultados foram expressos como mg equivalentes de cianidina-3-glicosídeo por grama de amostra (mgC3OG/g) e calculados de acordo com a Eq. (1):

$$\text{Antocianina monomérica (mg/g)} = (A \times DF \times PM \times 10^{-3}) / (\epsilon \times l) \quad (1)$$

Onde: A (absorbância) é (OD 520nm – OD 700nm) pH 1,0 – (OD 520nm – OD 700nm) pH 4,5, DF é o fator de diluição, MW é o peso molecular do cianidina-3-glicosídeo, que é 449,2 g/mol,  $\epsilon$  é 26.900 M coeficientes de extinção em L/mol cm para cianidina-3-glicosídeo, e l é o comprimento do caminho em cm.

Ensaio de DPPH com modificações foram realizados de acordo com Li et al. [20]. Extrato de resíduo de GC (150 µL) foi misturado com 2,85 mL de solução de DPPH (60 µM). A absorbância foi medida a 515 nm após 30 min. Ensaio de ABTS foram realizados de acordo com Re et al. [21], com modificações. ABTS<sup>+</sup> solução (1960 µL) foi misturada com extrato de resíduo de GC (40 µL). A absorbância foi medida a 734 nm após 6 min de reação. Trolox foi usado como controle para comparar o valor de DPPH e ABTS<sup>++</sup> Trolox (mg/g).

### *2.3. Produção de cerveja*

As cervejas foram produzidas usando um método de fabricação de cerveja do tipo Ale e o procedimento de mosturação foi realizado por Lazzari et al. [3] em escala de laboratório. Após a mosturação, o mosto foi filtrado e fervido por 1h; quando o mosto começou a ferver, o lúpulo foi adicionado. Em seguida, o mosto foi resfriado e filtrado, a levedura foi inoculada e a fermentação foi realizada a 19°C por 7 dias. Após a fermentação primária (19 °C, 7 dias), as cervejas foram filtradas e formulações com 2,5 %, 5,0 % e 7,5 % (m/v) com resíduo de GC foram produzidas, e a cerveja controle foi produzida sem sua adição. As cervejas foram mantidas a 19 °C por 7 dias para cofermentação. Após a cofermentação, as cervejas foram filtradas e colocadas em garrafas de vidro âmbar. O processo de maturação (0 °C) foi realizado por 14 dias antes das análises: 0 (Fresco) e ciclos de envelhecimento forçado. Dois lotes foram fabricados para cada cerveja. Cada amostra de lote consistiu em cinco garrafas (0,3 L).

### *2.4. Processo de envelhecimento forçado*

As cervejas foram envelhecidas por ciclos de aquecimento/resfriamento de 60 °C/48 h, seguidos por 0 °C/24 h, de acordo com o método Analytical-EBC [22]. Os processos de envelhecimento foram aplicados a três grupos de amostras: cervejas não submetidas a envelhecimento forçado (Fresco), cervejas submetidas a cinco ciclos de envelhecimento forçado (Médio) e cervejas envelhecidas por dez ciclos (Alto). As amostras de cerveja foram colocadas em garrafas âmbar e seladas para evitar exposição desnecessária ao oxigênio.

### *2.5. Métodos analíticos*

As amostras de cerveja foram desgaseificadas em banho ultrassônico digital (YX-2050) por 20 min. Para uma amostra límpida, as cervejas foram centrifugadas a 6000 g

(10 min). Foram então analisados: acidez (titulável, fixa e volátil) e pH (Tecnopon, mPA-210) pelos métodos AOAC [23]. O álcool etílico das amostras de cerveja foi determinado seguindo um método descrito por Pay et al. [24] com algumas modificações. Amostras de cerveja (1000 µL) foram diluídas (1:20 v/v) com água deionizada (dH<sub>2</sub>O) e colocadas com 10 mL de solução de dicromato ácido em um frasco Erlenmeyer (250 mL). Os frascos foram selados e incubados a 35 °C/30 min. Após o tempo de incubação, 100 mL de água deionizada e 1000 µL de solução de iodeto de potássio a 20 % (m/v) foram adicionados ao dicromato ácido e titulados com solução de tiosulfato de sódio 0,1 N, utilizando solução de amido a 1% (m/v) como indicador. Água deionizada foi utilizada como branco. A concentração de álcool etílico foi determinada utilizando a equação (2):

$$\text{Álcool etílico} \left( \% \frac{m}{v} \right) = 0.1 \times (V_b - V_s) \times 0.25 \times DF \times \frac{46}{10} \quad (2)$$

Onde:  $V_b$  é o volume consumido de tiosulfato de sódio para amostra em branco;  $V_s$  é o volume consumido de tiosulfato de sódio para amostras de cerveja; e DF é o fator de diluição.

A concentração de álcool etílico em volume (% v/v) foi determinada utilizando a gravidade específica do etanol a 25 °C.

A cor da cerveja foi determinada com um colorímetro (Chroma Metre CR-400; Minolta, Mahwah, Nova Jersey, EUA). O índice de escurecimento (IB) e a diferença total de cor ( $\Delta E^*$ ) foram estimados de acordo com Chakraborty et al [25].

Os compostos bioativos e a atividade antioxidante das cervejas foram determinados diluindo-as em água deionizada (1:5 v/v). Os compostos fenólicos totais (CFT), antocianinas monoméricas, e a capacidade de sequestro de radicais ABTS e DPPH foram determinados conforme descrito anteriormente. Os resultados de CFT foram expressos em miligramas de equivalentes de ácido gálico (EAG) por 100 mL de cerveja. Os resultados de antocianinas monoméricas foram expressos em mg de equivalentes de cianidina-3-glicosídeo por litro de cerveja (mgC3OG/L). Os dados de capacidade de sequestro de radicais livres (DPPH e ABTS) foram expressos em mmol de equivalente Trolox da capacidade antioxidante por litro de cerveja (mmol ET/L).

Compostos orgânicos voláteis (COVs) de cervejas foram extraídos conforme descrito por Flekka et al. [26], com modificações. Para cada amostra, 2,0 mL foram diluídos com 5,0 mL de hexano e agitados em vórtice por um minuto, depois

centrifugados a 4000 rpm/5 min. Uma alíquota (1 mL) da fase orgânica foi coletada em um frasco para injeção no cromatógrafo. As análises de CG foram realizadas usando um instrumento Shimadzu (modelo QP2010), equipado com um injetor *splitless* (280 °C). A coluna capilar era uma SH-5MS (30 m x 0,25 mm x 0,25 µm). A temperatura do forno foi programada da seguinte forma: 40 °C mantido por 2 min, depois 10 °C/min até 140 °C, depois 7 °C/min até 250 °C, mantido por 3 min [27]. O volume de injeção foi de 1,0 µL no modo *splitless*. Hélio foi utilizado como gás de arraste com fluxo constante de 3,0 mL/min. Todos os espectros de massa foram adquiridos usando o modo de ionização de elétrons a 70 eV. A faixa de massas variou entre 35 e 550 m/z, e a temperatura do íon foi de 280 °C. Foram aplicados três minutos de atraso de solvente. A identificação de COVs foi realizada comparando os espectros de massas com as bibliotecas NIST 14 e 14s.

### 2.7. Análise de dados

A análise dos dados foi realizada no SPSS-v20 (IBM SPSS Statistics, EUA) e no software Origin Pro 9 (OriginLab, Northampton, MA, EUA). Análises multivariadas, em particular análise hierárquica de clusters (HCA) e mapeamento de calor, foram aplicadas aos dados presentes. Distâncias de correlação de Pearson foram utilizadas, e o algoritmo de agrupamento utilizado foi a média do grupo. Os dados foram apresentados como média ± desvio padrão e analisados quanto a diferenças significativas ( $P < 0,05$ ), incluindo análise de correlação de Pearson. Todas as análises foram medidas em três repetições.

## 3. Resultados e discussão

### 3.1. Compostos funcionais e propriedades antioxidantes do resíduo de groselha do Ceilão

**Tabela 1.** Compostos bioativos e atividade antioxidante do extrato de resíduo de groselha do Ceilão (GC).

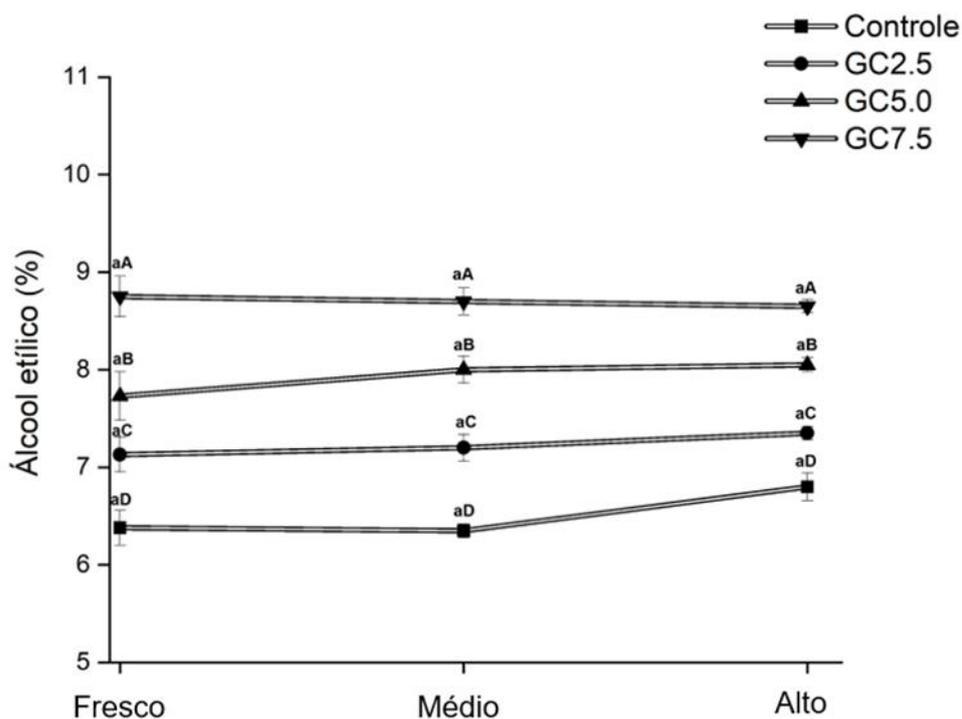
<i>Compostos bioativos</i>	Resíduo de GC
Compostos fenólicos totais (mgEAG /g)	11,33 ± 0,29
Conteúdo total de flavonoides (mgEQ /g)	7,38 ± 0,23
Antocianina monomérica total (mgC3OG/g)	1,66 ± 0,03
<i>Atividade antioxidante</i>	
DPPH (µM Trolox/g)	37,62 ± 0,72
ABTS (µM Trolox/g)	59,93 ± 3,11

Os resultados são expressos como média ± desvio padrão. GAE: equivalente de ácido gálico; CAT: equivalente de catequina; C3OG: cianidina-3-O-glicosídeo. DPPH: DPPH sequestrador de radicais livres; ABTS: ABTS sequestrador de radicais livres.

Os compostos bioativos e a atividade antioxidante do resíduo de GC são apresentados na Tabela 1. O alto teor de fenólicos e antocianinas são as principais características das frutas vermelhas, bem como a atividade antioxidante [8]. Os valores de compostos fenólicos e teor de antocianinas neste estudo são menores do que os relatados anteriormente para GC [8, 10]. Isso é atribuído às partes utilizadas da fruta, consideradas como resíduo neste estudo, bem como às condições de preparação e extração da amostra. O resíduo de GC apresentou alta atividade antioxidante para ambos os ensaios (Tabela 1). Os resultados experimentais são influenciados pelo sistema radicalar utilizado para determinar a capacidade antioxidante, portanto, dois ou mais sistemas radicais devem ser testados para avaliar o potencial antioxidante dos compostos presentes nas frutas [8].

### *3.2 Parâmetros físico-químicos durante o processo de envelhecimento forçado*

A fermentação é uma etapa crucial na produção de bebidas alcoólicas. Nesse processo, reações bioquímicas produzem álcool, CO<sub>2</sub> e outros subprodutos metabólicos. O etanol contribui significativamente para o sabor da bebida e é um precursor de alguns ésteres [28]. A concentração de etanol obtida é mostrada na Fig. 1 e indica um teor alcoólico relativamente alto nas cervejas analisadas ( $P \leq 0,05$ ). A adição de resíduo de groselha do Ceilão contribuiu para um aumento no teor alcoólico. Isso foi causado pela introdução de mais açúcares que a levedura poderia utilizar durante o processo de fermentação. Os resultados deste estudo mostram que o aumento no teor alcoólico depende da quantidade de matéria-prima adicionada. Além disso, a inclusão de frutas no processo de fabricação de cerveja induziu uma maior concentração de álcool etílico na cerveja [4, 29]. Não houve aumento significativo ( $P > 0,05$ ) nas produções de etanol juntamente com o aumento no tempo dos ciclos de envelhecimento. Alguns estudos avaliaram o efeito das temperaturas de armazenamento da cerveja no teor de álcool etílico [30]. Além disso, a influência da embalagem da cerveja também foi avaliada [31] e observou-se que as cervejas engarrafadas em garrafas de vidro não sofreram variações significativas na concentração de álcool etílico durante o tempo de armazenamento. Neste estudo, as cervejas foram armazenadas em garrafas de vidro âmbar e seladas para evitar a exposição ao oxigênio e à luz. Assim, a estabilidade na concentração de etanol das cervejas durante o envelhecimento forçado sugere que o processo foi realizado corretamente.



**Fig. 1** Alterações no álcool etílico de cervejas com resíduo de groselha do Ceilão (GC) durante o processo de envelhecimento forçado. Os valores são expressos como média  $\pm$  desvio padrão. As letras minúsculas indicam diferenças entre a mesma amostra e as letras maiúsculas indicam diferenças entre os tratamentos ( $P \leq 0,05$ ). C: sem resíduo de GC; GC2,5: cerveja com 2,5% de resíduo de GC; GC5,0: cerveja com 5,0% de resíduo de GC; e GC7,5: cerveja com 7,5% de resíduo de GC submetida a envelhecimento forçado por 0 (cerveja fresca), 5 (médio) ou 10 (alto) ciclos de calor/frio (60 °C 48 h, 0 °C 24 h).

Os parâmetros físico-químicos das cervejas frescas e envelhecidas são apresentados na Tabela 2. A acidez titulável (AT) das cervejas com groselha do Ceilão apresentou AT maior ( $P \leq 0,05$ ) em comparação à cerveja controle em todos os ciclos de envelhecimento. A acidez titulável da cerveja é influenciada pelo número de ácidos orgânicos e inorgânicos presentes nas matérias-primas, substâncias liberadas após a autólise da levedura e compostos produzidos na fermentação [28]. A estabilidade da AT entre a cerveja fresca e a final sugere que a formação de ácidos orgânicos e inorgânicos não foi significativa com o envelhecimento ( $P > 0,05$ ).

**Tabela 2.** Parâmetros físico-químicos das cervejas com resíduo de groselha do Ceilão (GC)

Amostras	pH			Acidez titulável (g ácido acético/100 mL)		
	0 (fresco)	5 (médio)	10 (alto)	0 (fresco)	5 (médio)	10 (alto)
C	4,37 ± 0,01 <sup>bA</sup>	4,39 ± 0,01 <sup>bA</sup>	4,49 ± 0,02 <sup>aA</sup>	0,28 ± 0,01 <sup>aD</sup>	0,31 ± 0,01 <sup>aD</sup>	0,18 ± 0,00 <sup>bD</sup>
GC2.5	3,80 ± 0,00 <sup>aB</sup>	3,74 ± 0,01 <sup>aB</sup>	3,84 ± 0,05 <sup>aB</sup>	0,65 ± 0,03 <sup>bC</sup>	0,88 ± 0,06 <sup>aC</sup>	0,68 ± 0,02 <sup>bC</sup>
GC5.0	3,69 ± 0,00 <sup>aC</sup>	3,60 ± 0,01 <sup>bC</sup>	3,68 ± 0,02 <sup>aC</sup>	1,13 ± 0,04 <sup>bB</sup>	1,41 ± 0,07 <sup>aB</sup>	1,27 ± 0,09 <sup>bB</sup>
GC7.5	3,68 ± 0,03 <sup>aC</sup>	3,58 ± 0,01 <sup>aCD</sup>	3,63 ± 0,04 <sup>aC</sup>	1,64 ± 0,04 <sup>aA</sup>	1,88 ± 0,12 <sup>aA</sup>	1,70 ± 0,06 <sup>aA</sup>

Amostras	Acidez Fixa (g ácido acético/100 mL)			Acidez volátil (g ácido acético/100 mL)		
	0 (fresco)	5 (médio)	10 (alto)	0 (fresco)	5 (médio)	10 (alto)
C	0,12 ± 0,02 <sup>aD</sup>	0,12 ± 0,00 <sup>aD</sup>	0,07 ± 0,01 <sup>bD</sup>	0,16 ± 0,01 <sup>aD</sup>	0,19 ± 0,01 <sup>aE</sup>	0,11 ± 0,01 <sup>bD</sup>
GC2.5	0,36 ± 0,05 <sup>aC</sup>	0,39 ± 0,02 <sup>aC</sup>	0,27 ± 0,09 <sup>aC</sup>	0,29 ± 0,02 <sup>bC</sup>	0,48 ± 0,04 <sup>aD</sup>	0,40 ± 0,06 <sup>abC</sup>
GC5.0	0,49 ± 0,00 <sup>aBC</sup>	0,56 ± 0,05 <sup>aBC</sup>	0,45 ± 0,05 <sup>aBC</sup>	0,64 ± 0,04 <sup>bB</sup>	0,85 ± 0,02 <sup>aC</sup>	0,82 ± 0,04 <sup>aB</sup>
GC7.5	0,68 ± 0,11 <sup>aA</sup>	0,74 ± 0,10 <sup>aA</sup>	0,58 ± 0,05 <sup>aA</sup>	0,96 ± 0,07 <sup>aA</sup>	1,13 ± 0,02 <sup>aB</sup>	1,12 ± 0,01 <sup>aA</sup>

Os valores são expressos como média ± desvio padrão. Valores médios com letras minúsculas diferentes dentro da mesma linha e letras maiúsculas dentro das mesmas colunas são estatisticamente diferentes ( $P < 0,05$ ). C: cerveja sem resíduo de GC; GC2,5: cerveja com 2,5% de resíduo de GC; GC5,0: cerveja com 5,0% de resíduo de GC; e GC7,5: cerveja com 7,5% de resíduo de GC submetida a envelhecimento forçado por 0 (cerveja fresca), 5 (médio) ou 10 (alto) ciclos de calor/frio (60 °C 48 h, 0 °C 24 h).

Cervejas com 5,0% e 7,5% de adição de resíduo de GC apresentaram maior acidez volátil (Tabela 2), e cervejas produzidas com adição de frutas apresentam maior teor de compostos voláteis [4]. A acidez está relacionada à sanidade e a vários parâmetros fisiológicos da cerveja, como cor, odor e estabilidade biológica e química, sendo um parâmetro importante nas indústrias cervejeiras [32]. Os valores de acidez titulável e pH diferiram entre amostras de tempos de envelhecimento fresco e médio (Tabela 2). O pH diminuiu enquanto a acidez aumentou. É bem conhecido que os valores de pH podem variar dentro da mesma bebida e ao longo do tempo de envelhecimento. A acidez volátil foi a principal contribuinte para a acidez total, que resulta principalmente do ácido acético pelo envelhecimento. Cervejas artesanais não pasteurizadas com maturação forçada (30 dias, 35 °C) apresentaram aumento de pH [33], o mesmo comportamento observado na cerveja controle (Tabela 2).

O valor de pH diminuiu significativamente nas cervejas com a adição de resíduo de GC (Tabela 2) devido ao pH naturalmente baixo do resíduo ( $3,53 \pm 0,03$ ) e pelas células de levedura que consomem nitrogênio livre e liberam íons de hidrogênio durante o envelhecimento [34]. O menor valor de pH da cerveja está relacionado à sua estabilidade microbiológica, pois diminui a probabilidade de crescimento microbológico [29]. O valor de pH das cervejas contendo resíduo de GC foi menor; no entanto, os valores

de pH das cervejas frescas e de alto envelhecimento não foram estatisticamente diferentes ( $P \geq 0,05$ ). Isso sugere que o resíduo pode servir como conservante, além de seus efeitos de coloração e sabor.

### 3.3 Parâmetros de cor, índice de escurecimento e antocianinas durante ciclos de envelhecimento forçado

**Tabela 3.** Medidas de cor e índice de escurecimento das cervejas com resíduo de groselha do Ceilão (GC) submetidas aos ciclos de envelhecimento forçado de calor/frio.

Amostras	Parâmetro $L^*$			Parâmetro $a^*$		
	0 (fresco)	5 (médio)	10 (alto)	0 (fresco)	5 (médio)	10 (alto)
C	55,27 ± 0,64 <sup>aA</sup>	47,20 ± 0,63 <sup>bA</sup>	41,92 ± 0,55 <sup>cA</sup>	-2,03 ± 0,13 <sup>cC</sup>	3,46 ± 0,18 <sup>bC</sup>	4,12 ± 0,10 <sup>aC</sup>
GC2.5	27,44 ± 0,28 <sup>aB</sup>	23,50 ± 0,64 <sup>bC</sup>	23,70 ± 1,06 <sup>bB</sup>	23,74 ± 0,46 <sup>aB</sup>	16,28 ± 0,36 <sup>bB</sup>	12,70 ± 0,26 <sup>cA</sup>
GC5.0	26,08 ± 0,37 <sup>aC</sup>	27,56 ± 1,00 <sup>aB</sup>	18,50 ± 1,21 <sup>bC</sup>	27,87 ± 0,26 <sup>aA</sup>	19,72 ± 0,06 <sup>bA</sup>	5,66 ± 0,33 <sup>cBC</sup>
GC7.5	18,87 ± 0,38 <sup>bD</sup>	21,67 ± 1,38 <sup>aC</sup>	16,58 ± 0,37 <sup>cCD</sup>	26,40 ± 1,05 <sup>aA</sup>	20,08 ± 0,70 <sup>bA</sup>	8,03 ± 1,64 <sup>cB</sup>
Amostras	Parâmetro $b^*$			Índice de escurecimento (IE)		
	0 (fresco)	5 (médio)	10 (alto)	0 (fresco)	5 (médio)	10 (alto)
C	12,20 ± 0,22 <sup>bB</sup>	23,17 ± 0,47 <sup>aA</sup>	22,80 ± 0,55 <sup>aA</sup>	62,45 ± 0,26 <sup>cB</sup>	77,52 ± 0,42 <sup>bB</sup>	81,15 ± 0,38 <sup>aA</sup>
GC2.5	15,15 ± 0,32 <sup>aA</sup>	8,70 ± 0,55 <sup>bB</sup>	4,14 ± 0,46 <sup>cB</sup>	97,24 ± 0,21 <sup>aA</sup>	84,30 ± 0,32 <sup>bA</sup>	72,91 ± 1,23 <sup>cB</sup>
GC5.0	14,85 ± 0,62 <sup>aA</sup>	6,00 ± 0,43 <sup>bC</sup>	-2,86 ± 0,43 <sup>cC</sup>	101,64 ± 0,83 <sup>aA</sup>	77,92 ± 0,75 <sup>bB</sup>	57,75 ± 0,27 <sup>cCD</sup>
GC7.5	8,70 ± 1,08 <sup>aC</sup>	4,06 ± 0,85 <sup>bD</sup>	-3,04 ± 0,57 <sup>cC</sup>	100,41 ± 4,01 <sup>aA</sup>	80,33 ± 1,43 <sup>bA</sup>	60,30 ± 2,45 <sup>cC</sup>

Os valores são expressos como média ± desvio padrão. Valores médios com letras minúsculas diferentes dentro da mesma linha e letras maiúsculas dentro das mesmas colunas são estatisticamente diferentes ( $P < 0,05$ ). C: cerveja sem resíduo de GC; GC2,5: cerveja com 2,5% de resíduo de GC; GC5,0: cerveja com 5,0% de resíduo de GC; e GC7,5: cerveja com 7,5% de resíduo de GC submetida a envelhecimento forçado por 0 (cerveja fresca), 5 (médio) ou 10 (alto) ciclos de calor/frio (60 °C 48 h, 0 °C 24 ).

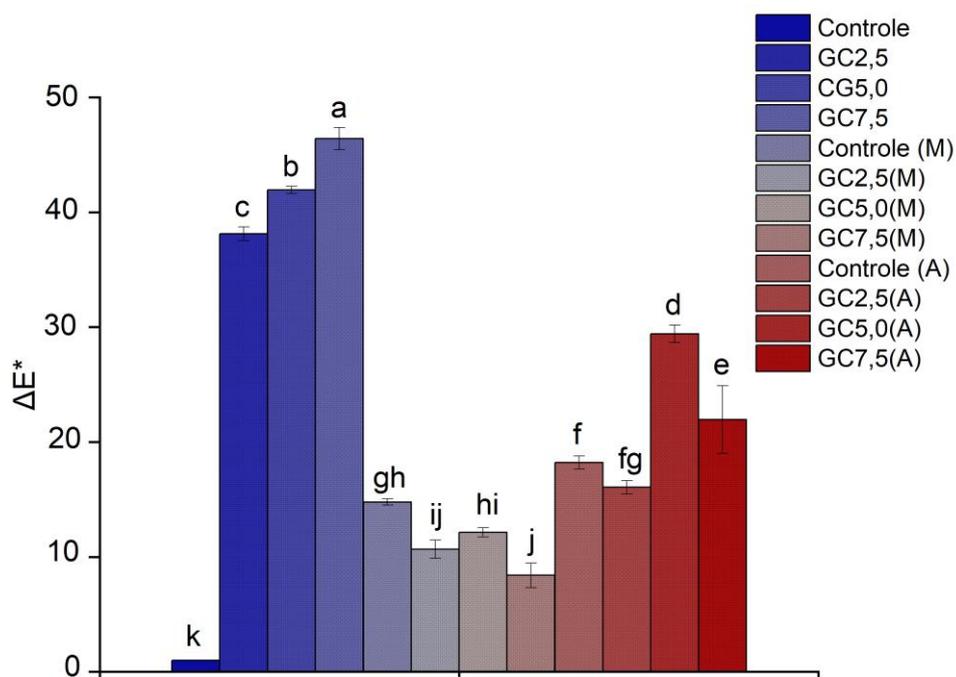
Os valores CIELAB das cervejas são apresentados na Tabela 3. Como pode ser visto, a cerveja controle apresentou os maiores valores *de L\**, o que significa que as amostras de cerveja não contêm alguns maltes especiais ou adjuntos que podem contribuir para sua cor. As amostras contendo resíduo de GC apresentaram variações nos valores de *L\**, *a\** e *b\**, que são atribuídos ao resíduo usado para sua produção. As amostras exibiram valores *de L\** mais baixos e valores *de a\** altos, o que significa que elas têm uma cor avermelhada mais escura. A tonalidade vermelha está associada às antocianinas (Tabela 4), polifenóis responsáveis pela coloração vermelha da casca e da polpa da fruta [35].

O envelhecimento forçado diminuiu os valores de *L\**, *a\** e *b\** das cervejas CG ( $P \leq 0,05$ ). A cerveja controle diminuiu os valores *de L\**, ao contrário dos valores de *a\** e *b\** que aumentaram (Tabela 3). Geralmente, uma diminuição no valor de *L\** e um aumento no valor *de a\** indicam o grau de escurecimento [36], o que foi observado para a cerveja controle (Tabela 3). O índice de escurecimento (IE) diminuiu à medida que a quantidade de resíduo de GC nas cervejas aumentou (Tabela 3). Isso ocorre porque concentrações mais altas de resíduo de GC forneceram às amostras uma tonalidade mais verde, reduzindo sua tendência a ficarem marrons [37].

A diferença de cor ( $\Delta E^*$ ) aumentou com a adição de resíduo de GC em comparação com a cerveja controle ( $P < 0,05$ ) e diminuiu com o envelhecimento (Figura 2). A mudança geral de cor ( $\Delta E^*$ ) pode ser atribuída à diminuição da luminosidade (*L\**) e do verde (diminuição da magnitude de *-a\**) com o envelhecimento (Tabela 3). A mudança de cor em produtos de frutas é bem visível quando  $3,0 < \Delta E^* < 6,0$ . Neste estudo, a mudança de cor em todas as amostras foi bastante visível ( $6,0 < \Delta E^* < 12,0$ ) [25].

A alteração de cor em cervejas envelhecidas pode ser resultado de reações de escurecimento enzimático entre polifenóis e oxido redutases. Por outro lado, o escurecimento não enzimático, como os produtos da reação de Maillard, pode influenciar

o índice de escurecimento e o  $\Delta E^*$  nas amostras tratadas termicamente [25]



**Fig. 2** Diferença total de cor ( $\Delta E^*$ ) de cervejas com resíduo de groselha do Ceilão (GC). Controle: cerveja sem resíduo de GC; GC2,5: cerveja com 2,5% de resíduo de GC; GC5,0: cerveja com 5,0% de resíduo de GC; GC7,5: cerveja com 7,5% de resíduo de GC. Letras diferentes mostram diferenças estatisticamente significativas ( $P \leq 0,05$ ).

O teor de antocianinas monoméricas aumentou com a concentração de CG nas cervejas (Tabela 4). O processo de envelhecimento reduziu ( $P \leq 0,05$ ) o teor de antocianinas em todas as amostras. As antocianinas monoméricas tendem a ser extremamente instáveis e podem ser facilmente degradadas em compostos incolores ou de coloração marrom, cuja estabilidade é influenciada por diversos fatores, como pH, temperatura, oxigênio, luz, concentração, presença de co-pigmentos, íons metálicos e enzimas [38].

### 3.4 Fitoquímicos e propriedades antioxidantes das cervejas

O CFT das cervejas é mostrado na Tabela 4. O CFT da cerveja controle diminuiu gradualmente com o aumento do tempo de armazenamento ( $P \leq 0,05$ ). Ao mesmo tempo, o CFT das cervejas GC diminuiu ( $P \leq 0,05$ ) no envelhecimento de ciclo médio e aumentou durante o ciclo alto. O CFT diminuiu ( $P \leq 0,05$ ) entre cervejas frescas e de meia idade, uma tendência relatada anteriormente em estudos [29]. No entanto, em cervejas de alta

idade, os valores de CFT se estabilizaram ( $P \geq 0,05$ ). Esse aumento no CFT das cervejas GC em alto envelhecimento pode estar associado ao maior teor de compostos fenólicos em resíduos de frutas (Tabela 1).

A atividade antioxidante das cervejas é apresentada na Tabela 4. As atividades de sequestro de cátions radicais DPPH e ABTS aumentaram significativamente ( $P \leq 0,05$ ) com a quantidade de resíduo de GC presente na cerveja. O envelhecimento forçado influenciou significativamente ( $P \leq 0,05$ ) a cerveja controle aumentando o valor de DPPH (Tabela 4). Todos os tratamentos apresentaram maior atividade antioxidante contra radicais ABTS, devido ao DPPH e ABTS serem parcialmente diferentes: DPPH interage com polifenóis, enquanto o ensaio ABTS reage com mais compostos [39]. Os altos valores de atividade antioxidante observados em cervejas com GC podem ser resultado do número de compostos fenólicos nas matérias-primas. Esses fenólicos podem sequestrar radicais livres, e seu efeito pode ser potencializado pela formação de produtos de reação de Maillard de alto peso molecular durante a fabricação de cerveja e o envelhecimento forçado [32]. Além disso, os compostos fenólicos são considerados a principal fonte de antioxidantes na cerveja, corroborando os resultados apresentados neste estudo.

**Tabela 4.** Compostos bioativos e atividade antioxidante de cervejas submetidas aos ciclos de envelhecimento forçado calor/frio.

<i>Compostos bioativos</i>						
	CFT (mgEAG/100 mL)			Antocianina monomérica total (mgC3OG/L)		
	0 (fresco)	5 (médio)	10 (alto)	0 (fresco)	5 (médio)	10 (alto)
C	22,62 ± 0,33 <sup>aD</sup>	20,75 ± 0,58 <sup>bD</sup>	19,46 ± 0,58 <sup>bD</sup>	-	-	-
GC2.5	50,06 ± 0,59 <sup>aC</sup>	41,73 ± 0,41 <sup>cC</sup>	47,75 ± 0,27 <sup>bC</sup>	28,89 ± 0,87 <sup>aB</sup>	18,26 ± 0,98 <sup>bB</sup>	16,25 ± 0,42 <sup>cB</sup>
GC5.0	72,21 ± 0,47 <sup>aB</sup>	58,57 ± 1,54 <sup>cB</sup>	65,47 ± 0,98 <sup>bB</sup>	46,87 ± 1,01 <sup>aA</sup>	29,50 ± 3,98 <sup>bA</sup>	14,92 ± 1,36 <sup>cB</sup>
GC7.5	89,76 ± 1,95 <sup>aA</sup>	71,39 ± 1,39 <sup>cA</sup>	82,06 ± 1,74 <sup>bA</sup>	46,98 ± 4,29 <sup>aA</sup>	33,70 ± 2,28 <sup>bA</sup>	18,09 ± 0,93 <sup>cA</sup>
<i>Atividade antioxidante</i>						
	DPPH (mmol ET/L)			ABTS (mmol ET/L)		
	0 (fresco)	5 (médio)	10 (alto)	0 (fresco)	5 (médio)	10 (alto)
C	0,62 ± 0,05 <sup>bD</sup>	0,51 ± 0,06 <sup>bD</sup>	0,95 ± 0,03 <sup>aD</sup>	2,13 ± 0,01 <sup>aD</sup>	1,71 ± 0,06 <sup>aD</sup>	1,80 ± 0,33 <sup>aD</sup>
GC2.5	1,53 ± 0,02 <sup>aC</sup>	1,09 ± 0,02 <sup>bC</sup>	1,51 ± 0,18 <sup>aC</sup>	4,54 ± 0,08 <sup>aC</sup>	3,20 ± 0,13 <sup>cC</sup>	3,75 ± 0,09 <sup>bC</sup>
GC5.0	2,30 ± 0,02 <sup>aB</sup>	1,59 ± 0,06 <sup>bB</sup>	2,34 ± 0,11 <sup>aB</sup>	6,48 ± 0,43 <sup>aB</sup>	4,68 ± 0,02 <sup>bB</sup>	5,82 ± 0,21 <sup>aB</sup>
GC7.5	2,85 ± 0,10 <sup>aA</sup>	2,05 ± 0,05 <sup>bA</sup>	2,73 ± 0,20 <sup>aA</sup>	7,33 ± 0,11 <sup>aA</sup>	5,60 ± 0,22 <sup>bA</sup>	7,32 ± 0,18 <sup>aA</sup>

Os valores são expressos como média ± desvio padrão. Valores médios com letras minúsculas diferentes dentro da mesma linha e letras maiúsculas dentro das mesmas colunas são estatisticamente diferentes ( $P < 0,05$ ); CFT: Compostos fenólicos totais; EAG: Equivalente de ácido gálico; C3OG: cianidina-3-O-glicosídeo; DPPH: DPPH sequestrador de radicais livres; ABTS: ABTS sequestrador de radicais livres; ET: Equivalente de Trolox; C: cerveja sem resíduo de GC; GC2,5: cerveja com 2,5% de resíduo de GC; GC5,0: cerveja com 5,0% de resíduo de GC; e GC7,5: cerveja com 7,5% de resíduo de GC submetida a envelhecimento forçado por 0 (cerveja fresca), 5 (médio) ou 10 (alto) ciclos de calor/frio (60°C 48h, 0°C 24h).

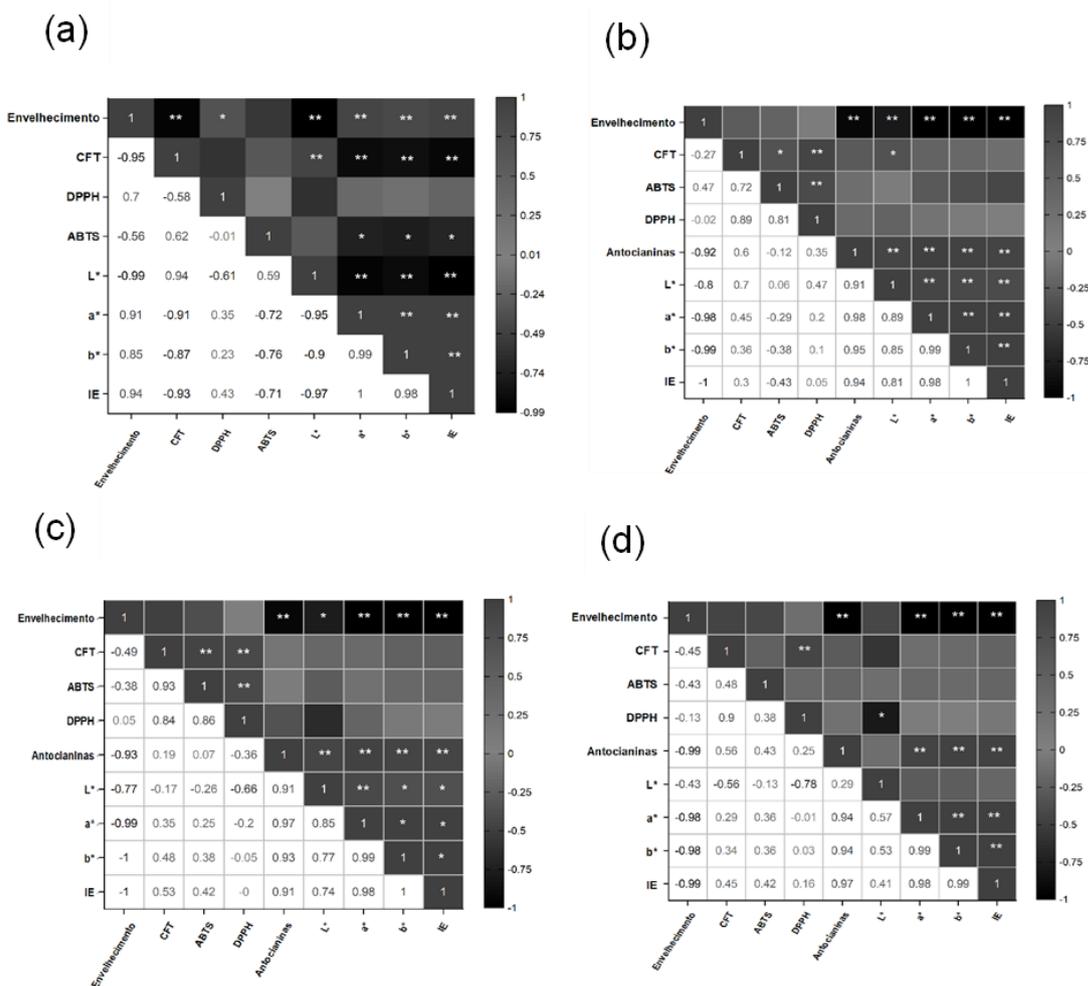
### 3.5 Correlações entre envelhecimento forçado e parâmetros de cor, compostos bioativos e atividade antioxidante

As correlações entre cervejas em diferentes ciclos de envelhecimento forçado (5 ou 10 ciclos de calor/frio – 60 °C 48h, 0 °C 24h) e parâmetros de cor, compostos bioativos e atividade antioxidante foram analisadas (Fig. 3). Na análise de correlação de Pearson, os parâmetros de cor e o índice de escurecimento foram fortemente correlacionados. A cerveja controle mostrou uma correlação significativa ( $r > 0,94$ ,  $P \leq 0,01$ ) entre o índice de escurecimento e o envelhecimento (Fig. 3a). Isso sugere que a cerveja controle ficou mais escura e mais marrom (Tabela 3). No entanto, a cerveja com resíduo de groselha do Ceilão apresentou uma forte correlação negativa ( $P \leq 0,01$ ) entre o escurecimento e o envelhecimento, e uma correlação positiva entre os parâmetros de cor, o que sugere que a cerveja com resíduo de GC tendeu a ficar verde com o envelhecimento e reduziu a tendência a ficar marrom (Tabela 3), sendo menos afetada pelo envelhecimento.

A correlação da antocianina com o envelhecimento também foi avaliada. Os resultados mostraram uma correlação negativa significativa ( $P \leq 0,01$ ) entre o envelhecimento e as antocianinas das cervejas GC (Fig. 3b, c, d). As antocianinas foram associadas à mudança de cor da cerveja adicionada com resíduo de GC, e os valores de cor foram impactados pela concentração de antocianina, temperatura e duração do armazenamento [40]. A luz é um dos principais fatores ambientais que influenciam a degradação da antocianina. Como resultado, o conteúdo de antocianinas diminuiu significativamente em resposta ao aumento do tempo de armazenamento (Tabela 4). Os parâmetros de cor mostraram uma correlação significativa com o conteúdo de antocianinas (Fig. 3 b, c, d). Isso sugere que complexos secundários também podem se formar entre antocianinas, polifenóis e proteínas, o que pode reduzir a capacidade de reprodução de cor das antocianinas [40].

A correlação entre os ciclos de envelhecimento e o CFT também foi analisada. Os resultados mostraram uma correlação negativa ( $r > -0,95$ ,  $P \leq 0,01$ ) entre o envelhecimento e o CFT da cerveja controle (Fig. 3a). Além disso, não há correlação significativa entre a atividade antioxidante (ABTS e DPPH) e o envelhecimento na cerveja controle (Fig. 3a). Esses achados sugerem que os produtos da reação de Maillard contribuem para as propriedades antioxidantes em alimentos, eliminando radicais livres, quebrando reações em cadeia de radicais, quelando íons metálicos, reduzindo elétrons, neutralizando espécies reativas de oxigênio e decompondo peróxidos [41].

Frutas ricas em compostos fenólicos vegetais com atividade antioxidante podem remover radicais livres do corpo e retardar o processo de envelhecimento. Na análise de correlação de Pearson, a cerveja produzida com resíduo de GC apresentou correlação positiva entre CFT e atividade antioxidante, mas não correlação significativa com o processo de envelhecimento (Fig. 3b, c, d). Isso sugere que altas temperaturas não aceleram a degradação oxidativa de cervejas com resíduo de groselha do ceilão, portanto, a atividade antioxidante foi mantida.



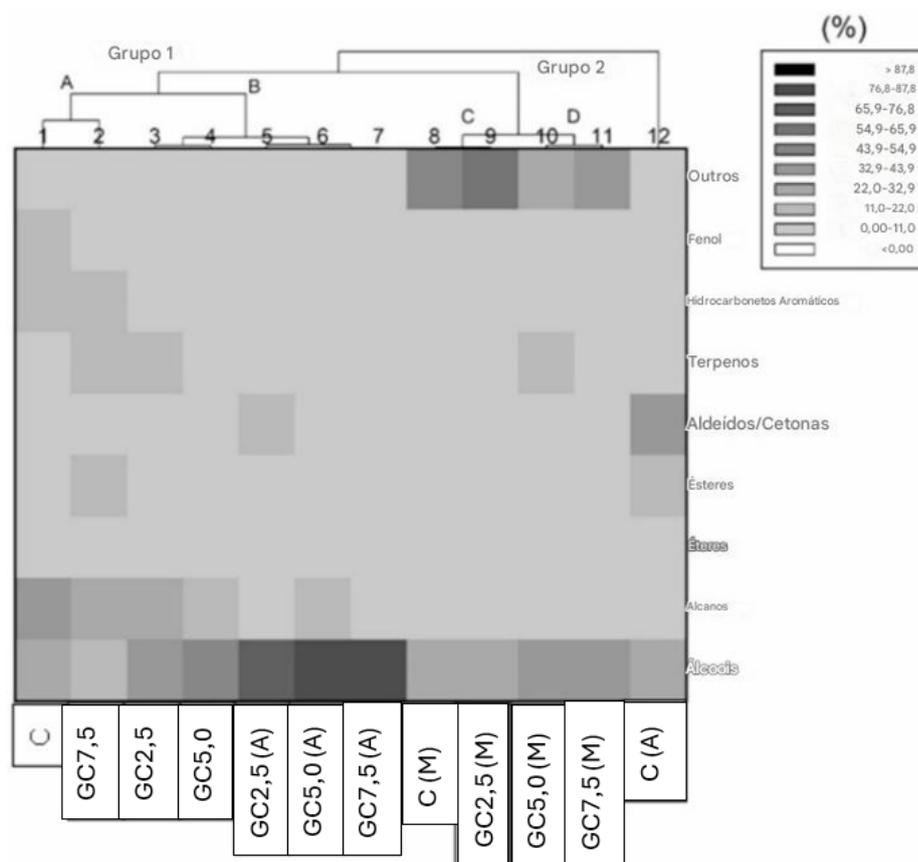
**Fig. 3** Mapa de calor de correlação entre indicadores de cervejas com resíduo de groselha do Ceilão (GC). BI: Índice de escurecimento. C: cerveja sem resíduo de GC (a); GC2,5: cerveja com 2,5% de resíduo de GC (b); GC5,0: cerveja com 5,0% de resíduo de GC (c); GC7,5: cerveja com 7,5% de resíduo GC (d); \* representou  $P \leq 0,05$ ; \*\* representou  $P \leq 0,01$ .

### 3.6 Análise volátil de cervejas

Os compostos orgânicos voláteis (COVs) da cerveja fresca, ciclos de envelhecimento médio e alto da cerveja foram determinados pelo método CG-EM e os

resultados são apresentados na Tabela 5. Vários compostos orgânicos voláteis, incluindo álcoois, ésteres, aldeídos, cetonas e fenóis afetaram o sabor da cerveja [42]. No total, 48 compostos orgânicos voláteis foram identificados: álcoois (9), alcanos (13), éteres (4), ésteres (6), aldeídos/cetonas (4), terpenos (6), hidrocarbonetos aromáticos (2), fenol (1), outros (3). Uma análise de cluster hierárquico (ACH) combinada com representações de mapa de calor (Fig. 4) fornece uma representação gráfica dos dados cromatográficos para os 48 analitos identificados, agrupados por suas respectivas classes químicas. A escala cromática do mapa de calor fornece uma visão sobre a quantidade relativa de cada classe química (variando de branco para mínimo a escuro para máximo), permitindo a observação de padrões químicos nas cervejas analisadas.

Na Figura 4, foi possível observar a formação de dois grupos principais: o Grupo 1 agrupou as cervejas frescas (C, GC2,5, GC5,0 e GC7,5) e as cervejas com resíduo GC do Grupo 2, provenientes de alto envelhecimento forçado (GC2,5, GC5,0). O Grupo 2 agrupou as cervejas com médio envelhecimento forçado (GC2,5, GC5,0 e GC7,5) e C(H). GC7,5(H) e C(M) permaneceram entre os dois grupos.



**Fig. 4** Representação por mapa de calor e dendrograma das classes químicas identificadas nas cervejas em estudo. O conteúdo de cada classe química foi ilustrado por meio de cores diferentes. M: médio; A: alto. C: cerveja sem resíduo de GC; GC2,5: cerveja com 2,5%

de resíduo de GC; GC5,0: cerveja com 5,0% de resíduo de GC; e GC7,5: cerveja com 7,5% de resíduo de GC submetida a envelhecimento forçado por 0 (cerveja fresca), 5 (médio) ou 10 (alto) ciclos de calor/frio (60 °C 48 h, 0 °C 24 h).

As classes químicas predominantes de cervejas frescas foram álcoois e alcanos (Fig. 4). Além do etanol, a cerveja contém vários álcoois produzidos principalmente a partir do metabolismo de leveduras, lúpulos e maltes, comumente chamados de álcoois superiores [43]. Esses compostos são subprodutos da síntese e quebra de aminoácidos, geralmente têm aromas fortes e podem realçar o sabor da cerveja com um efeito de aquecimento [43]. Alguns dos álcoois mais relevantes foram 3-metil-1-butanol e álcool feniletílico. O álcool em bebidas é frequentemente associado a odores doces, florais e frutados, que podem contribuir positivamente para o aroma da cerveja, enquanto os alcanos são frequentemente associados a odores desagradáveis de gasolina e cera; no entanto, devido aos seus altos valores de limiar de odor, esses compostos geralmente têm baixa intensidade de odor [44].

O subgrupo B do cluster 1 (Fig. 4) corresponde às cervejas frescas (GC2,5 e GC5,0) e envelhecidas (GC2,5 e GC5,0). O álcool superior é a classe predominante de compostos em cervejas envelhecidas (3-metil-1-butanol e álcool feniletílico). Além disso, a GC5,0(A) é constituído por álcool feniletílico (52,73%) do total de compostos aromáticos, o que contribui para um aroma agradável, descrito como notas florais, doces e perfumadas [45].

O alto envelhecimento da GC2,5 apresentou na composição aldeídos/cetonas (15,12%) (Tabela 5). Aldeídos e cetonas são compostos carbonílicos essenciais para a qualidade da cerveja, pois alguns podem ser identificados como potenciais sabores estranhos [43]. Esses compostos podem ter se originado de uma ampla gama de reações químicas, como oxidação lipídica e reações de Maillard. Os aldeídos tendem a ter uma influência mais forte no aroma de produtos à base de cereais devido aos seus baixos valores de limiar de odor [45].

O grupo 2 incluiu a cerveja controle de alto envelhecimento. Quando temperaturas mais altas foram aplicadas, a composição química relativa da cerveja controle mudou: houve um aumento nos teores de aldeídos/cetonas (42,80%) e ésteres (14,30%), uma diminuição na contribuição relativa de álcoois (25,93%) e, sem a contribuição de terpenos, não houve notas frutadas e florais [43].

Em relação ao subgrupo B do grupo 1, é possível observar que a adição de resíduo de GC nas cervejas ajuda a proteger o frescor desta bebida, conservando o perfil químico original das cervejas frescas, principalmente por evitar o desenvolvimento de aldeídos/cetonas.

Os subgrupos C e D do cluster 2 abrangeram as cervejas de meia-idade (Fig. 4). Essas amostras de cerveja apresentaram alto valor de outros compostos, como 13-docosenamida e tetradecanamida, derivados de ácidos graxos [46]. Resíduos de frutas (cascas e sementes) contêm ácidos graxos, também encontrados em lúpulos ou produtos derivados de lúpulo. Geralmente, estão associados a lúpulos envelhecidos como produtos de degradação dos ácidos  $\alpha$  e  $\beta$  [45, 47].

**Tabela 5.** Compostos orgânicos voláteis (COVs) em cervejas.

Compostos	Concentração (%)												Características sensoriais
	Cerveja fresca				Envelhecimento médio				Alto envelhecimento				
	C	GC2.5	GC5.0	GC7.5	C	GC2.5	GC5.0	GC7.5	C	GC2.5	GC5.0	GC7.5	
<b>ÁLCOOL</b>													
$\alpha$ - bisabolol	-	-	12,36	-	-	-	-	-	-	-	-	8,55	Floral, doce
2-metil-1-butanol	-	-	-	-	-	-	-	2.24	-	-	-	-	Frutado, alcoólico
3-metil-1-butanol	1,04	-	9.22	-	0,60	2.01	1,00	5.17	8.34	33,00	35,00	38,56	Cacau, Malte Floral
1,3-butanodiol	-	-	-	-	-	-	-	-	1,07	-	-	-	Frutado
(3-metil-oxiran-2-il)-metanol	-	-	-	-	-	-	-	-	3.14	-	-	-	-
Linalol	-	-	-	-	1,61	-	2.24	-	-	-	-	-	Floral, cítrico
Álcool de patchouli	-	-	-	-	-	-	-	-	7.32	-	-	-	Madeira, cânfora
1,2,15-pentadecanotriol	-	-	-	-	-	-	-	-	0,75	-	-	-	Alcoólico
Álcool feniletílico	30,34	43,81	29,44	15,09	23,68	25,72	31,98	34,33	5.31	34,87	52,73	37,04	Rosado, suave, agradável
<b>ALCANOS</b>													
2,4-dimetilheptano	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,88	12.27	-	Aromático, doce, maçã
2,3,6,7-Tetrametiloctano	-	-	3,50	2,30	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2,3,7-trimetildecano	1.14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3-Etil-3-metilpentano	-	-	-	-	-	-	-	-	7,42	-	-	-	-
4,6-Dimetildodecano	-	-	-	2,36	-	-	-	-	-	-	-	-	semelhante a alcano
5-butilnonano	4.17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5-Etil-2-metiloctano	1,56	-	-	2,43	-	-	-	-	-	-	-	-	Verde
Dodecano	-	-	-	2.24	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Heneicosano	5,35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hexadecano	6,93	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Fusel, frutado, doce
Octano	10,38	14,28	14,68	11,86	6,68	7h30	10,76	9,86	-	-	-	9,36	Doce, como gasolina
Pentadecano	-	4,48	-	5.03	-	-	-	-	-	-	-	-	Verde suave, tipo fusel
Tetradecano	3,98	3,89	-	5.27	-	-	-	-	-	-	-	-	Suave, herbal, doce
<b>ÉTERES</b>													
Éter butilglicídico	-	-	-	-	-	-	-	-	0,34	-	-	-	Desagradável
Éter isopropílico eicosil	-	-	-	-	-	-	-	-	9.21	-	-	-	-
Éter, 3-butenil propil	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,97	-	-	-
Eucaliptol	-	3.28	4.27	3,60	2,62	1,87	3,35	-	-	-	-	-	Eucalipto herbáceo

**Tabela 5** (continuação)

Compostos	Concentração (%)												Características sensoriais <sup>a</sup>
	Cerveja fresca				Envelhecimento médio				Alto envelhecimento				
	C	GC2.5	GC5.0	GC7.5	C	GC2.5	GC5.0	GC7.5	C	GC2.5	GC5.0	GC7.5	
<b>ÉSTERES</b>													
Decametilciclopentasiloxano	-	3,62	9,33	6,38	3,02	2,99	-	1,97	-	-	-	-	-
Dodecametilciclohexasiloxano	-	4,29	-	4,12	1,72	-	-	-	0,75	-	-	-	-
Nitrito de isoamila	-	-	-	-	-	-	-	-	0,63	-	-	-	Frutado, picante
Ácido octadecanóico, éster 2,3-di-hidroxi-propílico	-	-	-	-	-	-	2,56	-	-	-	-	-	Ceroso
Octametilciclotetrasiloxano	-	-	-	4,35	1,65	-	-	-	-	-	-	-	-
Hexanoato de vinila	-	-	-	-	-	-	-	-	12,92	-	-	-	Fruta
<b>ALDEÍDOS/CETONAS</b>													
2,5-Octanediona	-	-	-	-	-	-	-	-	23,97	15,12	-	-	Fresco, laranja
5-Hexen-2-ona	-	-	-	-	-	-	-	-	5,14	-	-	-	Floral, rosa
5-Metil-2-hexanona	-	-	-	-	-	-	-	-	5,52	-	-	-	Frutado, agradável
(Z)-3-Fenilacrilaldeído	5,06	-	-	-	-	-	-	-	8,17	-	-	-	Mel, canela
<b>TERPENOS</b>													
(+)-2-Bornanona	-	-	-	-	1,19	-	2,41	-	-	-	-	-	Amargo, pungente
γ-Terpineno	-	-	-	2,66	-	-	-	-	-	-	-	-	Fresco, cítrico
Carvacrol	1,61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Especiarias, semelhantes ao timol
D-Limoneno	2,02	5,22	4,83	4,35	-	-	-	-	-	-	-	-	Verde, cítrico, menta
Khusimol	-	-	-	-	2,69	-	5,67	-	-	-	-	-	Resinoso, amadeirado, terroso
Terpinen-4-ol	-	11,4	5,79	5,31	3,68	1,66	8,06	7,82	-	2,16	-	6,49	Cítrico, especiaria, herbáceo
<b>HIDROCARBONETOS AROMÁTICOS</b>													
1,3-di-terc-butylbenzeno	4,75	-	-	3,38	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Naftalina	9,17	5,73	6,58	9,32	-	-	-	-	-	-	-	-	Limpo, semelhante a uma castanha
<b>FENOL</b>													
2,4-Di-terc-butifenol	12,50	-	-	9,95	-	-	-	-	-	-	-	-	Fenol, amêndoa, ervas
<b>OUTROS</b>													
9-Octadecenamida	-	-	-	-	-	6,68	6,69	-	-	-	-	-	-
13-Docosenamida	-	-	-	-	26,20	22,11	8,46	14,04	-	-	-	-	-
Tetradecanamida	-	-	-	-	24,66	29,66	16,82	24,57	-	-	-	-	Fraco, ceroso, oleoso

<sup>a</sup> atributos de sabor e aroma relatados anteriormente. C: cerveja sem resíduo de GC; GC2,5: cerveja com 2,5% de resíduo de GC; GC5,0: cerveja com 5,0% de resíduo de GC; e GC7,5: cerveja com 7,5% de resíduo de GC submetida a envelhecimento forçado por 0 (cerveja fresca), 5 (médio) ou 10 (alto) ciclos de calor/frio (60 °C 48 h, 0 °C 24 h).

#### **4. Conclusão**

A adição de groselha do Ceilão (*Dovyalis hebecarpa*) na produção de cerveja resultou em maior estabilidade química e antioxidante, reduzindo os efeitos negativos do envelhecimento forçado. Cervejas com resíduo de GC contêm níveis mais elevados de compostos bioativos (fenólicos e antocianinas), o que ajudou a preservar a qualidade ao longo do tempo. Além disso, essas cervejas apresentaram menor degradação da cor, maior resistência ao escurecimento e melhor estabilidade antioxidante. A análise por CG-EM também revelou que essas cervejas mantiveram os aromas desejáveis, enquanto a cerveja controle apresentou maior formação de aldeídos, associada a sabores desagradáveis.

Os resultados indicam que o resíduo de groselha do Ceilão pode ser um ingrediente promissor na formulação de cervejas artesanais, contribuindo para a inovação no setor cervejeiro e para a valorização de subprodutos agroindustriais. Além disso, esta pesquisa reforça o potencial do resíduo como aditivo natural para aprimorar a qualidade sensorial e a estabilidade oxidativa da cerveja.

#### **Agradecimentos**

Agradecemos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa.

#### **Contribuições dos autores**

Conceituação: Anderson Lazzari, Aline Cristini dos Santos Silva , Jessyca Caroline Rocha Ribas , Paula Toshimi Matumoto-Pintro ; Metodologia: Anderson Lazzari, Bianka Rocha Saraiva , Aline Cristini dos Santos Silva , Jessyca Caroline Rocha Ribas , Cristiane Mengue Feniman Moritz ; Análise formal e investigação: Anderson Lazzari, Bianka Rocha Saraiva , Aline Cristini dos Santos Silva , Jessyca Caroline Rocha Ribas , Cristiane Mengue Feniman Moritz ; Redação - elaboração do rascunho original: Anderson Lazzari, Bianka Rocha Saraiva , Fernando Antônio Anjo , Paula Toshimi Matumoto-Pintro ; Redação - revisão e edição: Anderson Lazzari, Bianka Rocha Saraiva , Fernando Antônio Anjo , Paula Toshimi Matumoto-Pintro ; Aquisição de financiamento: Cristiane Mengue Feniman Moritz , Paula Toshimi Matumoto-Pintro ; Recursos: Cristiane Mengue Feniman Moritz , Paula Toshimi Matumoto-Pintro ; Supervisão: Paula Toshimi Matumoto-Pintro .

## **Declarações**

### **Conflito de interesses**

Os autores declararam não haver conflitos de interesse neste artigo.

### **Conformidade com os requisitos éticos**

Este artigo não contém nenhum estudo em humanos ou animais.

### **Financiamento**

Foi recebido apoio financeiro parcial do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Processo número 302408/2022-3.

### **Referências**

1. Gasiński A, Kawa-Rygielska J, Mikulski D, et al (2022) Application of white grape pomace in the brewing technology and its impact on the concentration of esters and alcohols, physicochemical parameters and antioxidative properties of the beer. *Food Chem* 367:130646. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130646>
2. Lazzari A, Barbosa HD, Filho ERM, et al (2022) Gender behavior and influence in acceptability of beers produced with Rubim and Mastruz. *J Sens Stud* 37:. <https://doi.org/10.1111/joss.12731>
3. Lazzari A, Barbosa HD, Machado Filho ER, et al (2023) Effect on Bioactive Compounds and Antioxidant Activity in the Brewing Process for Beers Using Rubim and Mastruz as Hop Replacements. *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 81:265–275. <https://doi.org/10.1080/03610470.2022.2053638>
4. Kawa-Rygielska J, Adamenko K, Kucharska AZ, et al (2019) Physicochemical and antioxidative properties of Cornelian cherry beer. *Food Chem* 281:147–153. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.12.093>
5. Zapata PJ, Martínez-Esplá A, Gironés-Vilaplana A, et al (2019) Phenolic, volatile, and sensory profiles of beer enriched by macerating quince fruits. *LWT* 103:139–146. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.01.002>
6. Serrano-León JS, Bergamaschi KB, Yoshida CMP, et al (2018) Chitosan active films containing agro-industrial residue extracts for shelf life extension of chicken restructured

- product. *Food Research International* 108:93–100.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.03.031>
7. Rangaraj VM, Rambabu K, Banat F, Mittal V (2021) Effect of date fruit waste extract as an antioxidant additive on the properties of active gelatin films. *Food Chem* 355:129631. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129631>
8. Bochi VC, Godoy HT, Giusti MM (2015) Anthocyanin and other phenolic compounds in Ceylon gooseberry (*Dovyalis hebecarpa*) fruits. *Food Chem* 176:234–243. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.12.041>
9. Bochi VC, Barcia MT, Rodrigues D, et al (2014) Polyphenol extraction optimisation from Ceylon gooseberry (*Dovyalis hebecarpa*) pulp. *Food Chem* 164:347–354. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.05.031>
10. Perera S, Silva ABG, Amarathunga Y, et al (2022) Nutritional Composition and Antioxidant Activity of Selected Underutilized Fruits Grown in Sri Lanka. *Agronomy* 12:1073. <https://doi.org/10.3390/agronomy12051073>
11. Rotili MCC, Villa F, Silva DF da, et al (2021) Nutraceutical fruit characterization, nutritional aspects and sensory analysis of dovyalis jams. *Ciência Rural* 51:. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20200310>
12. Lazzari A, Gibin MS, Saraiva BR, et al (2024) Top-fermented beer enriched with Ceylon Gooseberry residue – The effect on bioactive compound content and sensorial profile. *Int J Gastron Food Sci* 37:100991. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2024.100991>
13. Sampaio SL, Lonchamp J, Dias MI, et al (2021) Anthocyanin-rich extracts from purple and red potatoes as natural colourants: Bioactive properties, application in a soft drink formulation and sensory analysis. *Food Chem* 342:128526. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128526>
14. Croonenberghs AP, Bongaerts D, Bouchez A, et al (2024) Fruit beers, beers with or without a co-fermentation step with fruits. *Curr Opin Biotechnol* 86:103081. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2024.103081>
15. Bustillo Trueba P, Jaskula-Goiris B, Ditrych M, et al (2021) Monitoring the evolution of free and cysteinylated aldehydes from malt to fresh and forced aged beer. *Food Research International* 140:110049. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.110049>

16. Medina K, Giannone N, Dellacassa E, et al (2023) Commercial craft beers produced in Uruguay: Volatile profile and physicochemical composition. *Food Research International* 164:112349. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112349>
17. Singleton VL, Rossi Jr. JA, Rossi J A Jr. (1965) Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. *Am J Enol Vitic* 16:144–158. <https://doi.org/10.12691/ijebb-2-1-5>
18. Buriol L, Finger D, Schmidt EM, et al (2009) Composição química e atividade biológica de extrato oleoso de própolis: uma alternativa ao extrato etanólico. *Quim Nova* 32:296–302. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000200006>
19. Giusti MM, Wrolstad RE (2001) Characterization and Measurement of Anthocyanins by UV-Visible Spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry* 00: <https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0102s00>
20. Li D-L, Li X-M, Wang B-G (2009) Natural anthraquinone derivatives from a marine mangrove plant-derived endophytic fungus *Eurotium rubrum*: structural elucidation and DPPH radical scavenging activity. *J Microbiol Biotechnol* 19:675–680
21. Re R, Pellegrini N, Proteggente A, et al (1999) Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radic Biol Med* 26:1231–1237. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)
22. Analytica E (1998) *European brewery convention*. Hans Carl Getraenke Fachverlag, Nuernberg
23. AOAC (1990) *Official Methods of Analysis of AOAC International*. In: Association of Official Analysis Chemists International. pp 1058–1059
24. Pai T V., Sawant SY, Ghatak AA, et al (2015) Characterization of Indian beers: chemical composition and antioxidant potential. *J Food Sci Technol* 52:1414–1423. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1152-2>
25. Chakraborty S, Mahale S, Dhar R, Basak S (2022) Development of a mixed fruit beverage and pulsed light treatment thereof to obtain a microbially safe and enzymatically stable product. *Food Biosci* 45:101508. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101508>

26. Flekka K, Dimaki VD, Mourelatou E, et al (2024) Stability and Retention of Nanoemulsion Formulations Incorporating Lavender Essential Oil. *Cosmetics* 11:65. <https://doi.org/10.3390/cosmetics11030065>
27. Silva GA da, Augusto F, Poppi RJ (2008) Exploratory analysis of the volatile profile of beers by HS-SPME-GC. *Food Chem* 111:1057–1063. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.05.022>
28. Cioch-Skoneczny M, Sral A, Cempa A, et al (2023) Use of red grape pulp, marc and must in the production of beer. *European Food Research and Technology* 249:1059–1072. <https://doi.org/10.1007/s00217-022-04195-5>
29. Martínez A, Vegara S, Herranz-López M, et al (2017) Kinetic changes of polyphenols, anthocyanins and antioxidant capacity in forced aged hibiscus ale beer. *Journal of the Institute of Brewing* 123:58–65. <https://doi.org/10.1002/jib.387>
30. Aguiar D, Pereira AC, Marques JC (2022) The Influence of Transport and Storage Conditions on Beer Stability—a Systematic Review. *Food Bioproc Tech* 15:1477–1494. <https://doi.org/10.1007/s11947-022-02790-8>
31. Zendeboodi F, Jannat B, Sohrabvandi S, et al (2019) Monitoring of ethanol content in non-alcoholic beer stored in different packages under different storage temperatures. *Biointerface Res Appl Chem* 9:4624–4628. <https://doi.org/10.33263/BRIAC96.624628>
32. dos Santos JP, Acunha T dos S, Prestes DN, et al (2020) From brown, red, and black rice to beer: Changes in phenolics,  $\gamma$ -aminobutyric acid, and physicochemical attributes. *Cereal Chem* 97:1148–1157. <https://doi.org/10.1002/cche.10335>
33. Mohammad ZH, Ray CC, Neal JA, et al (2020) Implications of Temperature Abuse on Unpasteurized Beer Quality Using Organoleptic and Chemical Analyses. *Foods* 9:1032. <https://doi.org/10.3390/foods9081032>
34. Lekjing S, Venkatachalam K (2022) Quality changes of HomChaiya rice beer during storage at two alternative temperatures. *J Biosci Bioeng* 133:369–374. <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2021.12.011>
35. Wojdyło A, Figiel A, Lech K, et al (2014) Effect of Convective and Vacuum-Microwave Drying on the Bioactive Compounds, Color, and Antioxidant Capacity of

Sour Cherries. *Food Bioproc Tech* 7:829–841. <https://doi.org/10.1007/s11947-013-1130-8>

36. Hyun J-E, Kim J-Y, Kim E-M, et al (2019) Changes in Microbiological and Physicochemical Quality of Dried Persimmons (*Diospyros kaki* Thunb.) Stored at Various Temperatures. *J Food Qual* 2019:1–9. <https://doi.org/10.1155/2019/6256409>

37. Sales KLS, Barbosa K de L, Nascimento AB, et al (2020) Caracterização de minerais em méis de abelhas *Apis mellifera* L. e *Melipona subnitida* D. em diferentes regiões do Ceará. In: *Ciência e Tecnologia dos Alimentos – Volume 9*. Editora Poisson, pp 6–23

38. Martynenko A, Chen Y (2016) Degradation kinetics of total anthocyanins and formation of polymeric color in blueberry hydrothermodynamic (HTD) processing. *J Food Eng* 171:44–51. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.10.008>

39. Mareček V, Mikyška A, Hampel D, et al (2017) ABTS and DPPH methods as a tool for studying antioxidant capacity of spring barley and malt. *J Cereal Sci* 73:40–45. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.11.004>

40. Tian X-Z, Wang X, Ban C, et al (2022) Effect of Purple Corn Anthocyanin on Antioxidant Activity, Volatile Compound and Sensory Property in Milk During Storage and Light Prevention. *Front Nutr* 9:. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.862689>

41. Shakoor A, Zhang C, Xie J, Yang X (2022) Maillard reaction chemistry in formation of critical intermediates and flavour compounds and their antioxidant properties. *Food Chem* 393:133416. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133416>

42. Giannetti V, Boccacci Mariani M, Torrelli P, Marini F (2019) Flavour component analysis by HS-SPME/GC–MS and chemometric modeling to characterize Pilsner-style Lager craft beers. *Microchemical Journal* 149:103991. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2019.103991>

43. Osorio M, Moreno FL, Hernández E, et al (2024) Effects of progressive freeze concentration on craft beer: Volatile compounds, sensory profile, and physicochemical characteristics. *LWT* 191:115662. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115662>

44. Xiong Y, Zhang P, Warner RD, et al (2022) Cereal grain-based functional beverages: from cereal grain bioactive phytochemicals to beverage processing technologies, health

benefits and product features. *Crit Rev Food Sci Nutr* 62:2404–2431. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1853037>

45. Gonçalves JL, Figueira JA, Rodrigues FP, et al (2014) A powerful methodological approach combining headspace solid phase microextraction, mass spectrometry and multivariate analysis for profiling the volatile metabolomic pattern of beer starting raw materials. *Food Chem* 160:266–280. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.03.065>

46. Ariwaodo CA, Olaniyan OF (2024) Fleshy fruit waste and the green chemistry of its conversion to valuable products for humans and animals. *Food Chemistry Advances* 4:100634. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2024.100634>

47. Arturo-Perdomo D, Mora JPJ, Ibáñez E, et al (2021) Extraction and Characterization of the Polar Lipid Fraction of Blackberry and Passion Fruit Seeds Oils Using Supercritical Fluid Extraction. *Food Anal Methods* 14:2026–2037. <https://doi.org/10.1007/s12161-021-02020-5>

## Considerações Finais

Esta tese representa uma contribuição inédita à área de Ciência de Alimentos ao apresentar o primeiro estudo que utiliza o resíduo de groselha do Ceilão (*Dovyalis hebecarpa*) como ingrediente funcional na produção de cervejas artesanais. Os resultados demonstraram que a adição do RGC promoveu um aumento significativo nos compostos fenólicos, flavonoides, antocianinas e atividade antioxidante da bebida, além de conferir coloração atrativa e potencial sensorial diferenciado.

As cervejas com 2,5v% e 5,0v% de RGC apresentaram o melhor equilíbrio entre funcionalidade e aceitação sensorial, com destaque para os atributos “maltado” e “doce”, mais apreciados pelos consumidores. Concentrações mais elevadas, embora ricas em compostos bioativos, foram associadas a maior acidez e menor aceitação, indicando a necessidade de ajustes no desenvolvimento de formulações com teores mais altos do resíduo.

Além disso, o processo de cofermentação e o envelhecimento forçado revelaram a estabilidade antioxidante do produto, reforçando o potencial tecnológico do RGC na preservação da qualidade sensorial e funcional da cerveja ao longo do tempo.

## Limitações do Estudo

- O estudo foi restrito ao uso de apenas uma cepa de levedura e a um único estilo de cerveja (Ale). Outros estilos e cepas podem responder de forma distinta à adição do RGC.
- A aceitação sensorial foi avaliada por um painel não treinado, majoritariamente composto por consumidores habituais de cervejas industriais, o que pode ter influenciado negativamente a receptividade às cervejas mais ácidas ou intensas.
- O resíduo utilizado foi seco e moído, mas não foram comparadas outras formas de processamento (como extratos ou concentrados), que poderiam modular melhor os efeitos sensoriais ou bioativos.

## **Destaque e Inovação**

Este estudo se destaca por ser o primeiro a investigar a aplicação do resíduo de groselha do Ceilão na produção de cervejas, demonstrando seu potencial funcional e tecnológico. A pesquisa amplia as possibilidades de uso de ingredientes naturais e subprodutos agroindustriais na formulação de bebidas fermentadas, promovendo uma abordagem mais sustentável e inovadora para o setor cervejeiro. Ao explorar um ingrediente ainda pouco conhecido e valorizado no Brasil, a tese contribui para diversificar o portfólio de matérias-primas e reforça a importância da agregação de valor a resíduos alimentares por meio da ciência e da tecnologia.