



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

Alana Sant'helena

Caracterização de Kombucha com lúpulo: Influência do método de preparação e do tempo de maceração

Florianópolis

2025

Alana Sant'helena

Caracterização de Kombucha com lúpulo: Influência do método de preparação e do tempo de maceração

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Curso de Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientador(a): Prof(a). Dr(a). Carlise Beddin Fritzen
Freire

Florianópolis

2025

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Sant'helena, Alana Caracterização de Kombucha com lúpulo: Influência do método de preparação e do tempo de maceração / Alana Sant'helena ; orientadora, Carlise Beddin Fritzen Freire, 2025. 51 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Florianópolis, 2025.

Inclui referências.

1. Ciência e Tecnologia de Alimentos. 2. Kombucha. 3. Lúpulo. I. Beddin Fritzen Freire, Carlise. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. III. Título.

Alana Sant'helena

Caracterização de Kombucha com lúpulo: Influência do método de preparação e do tempo de maceração

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel em Ciência e Tecnologia de Alimentos” e aprovado em sua forma final.

Florianópolis, 24 de novembro de 2025.

Prof^ª. Dr^ª. Vivian Maria Burin
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof^ª. Dr^ª. Carlise Beddin Fritzen Freire
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof^ª. Dr^ª. Renata Dias de Mella Castanho Amboni
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof^ª. Dr^ª. Isabela Maia Toaldo Fedrigo
Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado aos meus colegas de classe e aos meus queridos pais.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à Universidade Federal de Santa Catarina e ao Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos pela oportunidade e estrutura que tornaram minha formação viável. À minha orientadora, Prof.^a Carlise Beddin Fritzen Freire, pela dedicação, paciência e incentivo em todas as etapas deste trabalho. Desde o momento em que cursei disciplina com ela, tive a certeza de que gostaria de tê-la como orientadora, e desde então ela não mediu esforços para me auxiliar, compartilhando seus conhecimentos.

Agradeço também à Ana Letícia, João Vitor e Rodrigo, que se prontificaram a me ajudar durante a elaboração da kombucha e nas análises realizadas, dedicando horas no Laboratório de Frutas e Hortaliças com companheirismo e disposição.

Aos meus pais, Edna e Fúlvio, que são os grandes responsáveis por todas as minhas conquistas até hoje, pelo amor, apoio incondicional e incentivo em cada escolha. E às minhas irmãs, Amanda e Eloá Vitória, meus maiores exemplos de força e garra, que me inspiram diariamente a dar o meu melhor em tudo que faço.

Ao meu namorado, Higor, por estar sempre ao meu lado, pela paciência, apoio e compreensão em todos os momentos, especialmente nos dias de cansaço e insegurança.

E por fim, as minhas amigas de infância, que suportaram meus surtos ao longo dessa jornada e continuam sempre comigo, oferecendo risadas, conselhos e carinho nos momentos em que mais precisei.

RESUMO

A kombucha é uma bebida fermentada cujo consumo tem aumentado significativamente nos últimos anos, impulsionado pela busca por alimentos e bebidas associados à saúde e ao bem-estar, além de seu sabor agradável. Uma das tendências atuais é a utilização de ingredientes adicionais para sua saborização e enriquecimento funcional, como frutas, especiarias e ervas. Nesse contexto, o lúpulo se destaca por seu uso tradicional na indústria cervejeira, sendo responsável por conferir aroma, amargor característico e fornecer compostos com atividade antioxidante. O presente trabalho teve como objetivo elaborar kombuchas saborizadas com lúpulo, avaliando diferentes formas de preparo (lúpulo inteiro e picado) e tempos de maceração a frio (2 e 4 dias), bem como seus efeitos sobre parâmetros físico-químicos, cor, amargor, compostos fenólicos, flavonoides e capacidade antioxidante. A kombucha base foi produzida a partir de infusão de chá verde (1%) por 10 minutos a 90°C, posteriormente adoçada com sacarose e fermentada com uma cultura simbiótica de bactérias e leveduras (SCOBY), acrescido de 10% de inóculo, em incubadora BOD a 25 ± 5°C até atingir pH 3,5. Após a fermentação, a bebida foi submetida ao processo de maceração a frio, no qual porções de 250 mL receberam lúpulo nas concentrações de 2 g/L, em dois formatos (inteiro e picado) e armazenadas a 4°C por 2 e 4 dias. Controles sem lúpulo, mantidos sob as mesmas condições, também foram avaliados. Ao final da maceração, todas as amostras foram filtradas e submetidas às análises físico-químicas, cromáticas e antioxidantes. Os resultados demonstraram que a adição de lúpulo influenciou significativamente diversos parâmetros da bebida. Houve aumento do pH em todas as amostras saborizadas, indicando efeito tampão dos compostos do lúpulo, enquanto o teor alcoólico e os sólidos solúveis totais permaneceram estatisticamente inalterados. A acidez titulável apresentou incremento nas amostras com lúpulo picado, sugerindo maior liberação de compostos fenólicos e resinosos. O teor de flavonoides mostrou aumento significativo nas amostras maceradas com lúpulo, sobretudo na forma picada, que também apresentou tendência de maiores valores de compostos fenólicos totais. A capacidade antioxidante (CUPRAC, DPPH e ABTS) não diferiu estatisticamente entre os tratamentos, embora as amostras com lúpulo, especialmente a KP4, tenham exibido valores médios superiores ao relatado na literatura para kombuchas tradicionais. O amargor foi o parâmetro mais impactado pelo tratamento, com aumentos expressivos nas amostras contendo lúpulo picado e nos maiores tempos de maceração. De forma geral, conclui-se que a adição de lúpulo, especialmente na forma picada, promoveu maior intensidade de amargor, elevação da acidez e aumento de compostos bioativos, resultando em kombuchas com propriedades bioativas aprimoradas.

Palavras-chave: kombucha; lúpulo; antioxidantes; flavonoides; fermentação.

ABSTRACT

Kombucha is a fermented beverage whose consumption has increased significantly in recent years, driven by the search for foods and beverages associated with health and well-being, in addition to its pleasant taste. One of the current trends is the use of additional ingredients for flavoring and functional enrichment, such as fruits, spices, and herbs. In this context, hops stand out for their traditional use in the brewing industry, being responsible for providing aroma, characteristic bitterness, and supplying compounds with antioxidant activity. This study aimed to develop kombuchas flavored with hops, evaluating different preparation methods (whole and chopped hops) and cold steeping times (2 and 4 days), as well as their effects on physicochemical parameters, color, bitterness, phenolic compounds, flavonoids, and antioxidant capacity. Kombucha base was produced from a green tea infusion (1%) steeped for 10 minutes at 90°C, subsequently sweetened with sucrose and fermented with a symbiotic culture of bacteria and yeast (SCOBY), plus 10% inoculum, in a BOD incubator at $25 \pm 5^\circ\text{C}$ until reaching pH 3.5. After fermentation, the beverage underwent a cold maceration process, in which 250 mL portions received hops at concentrations of 2 g/L, in two formats (whole and chopped) and stored at 4°C for 2 and 4 days. Controls without hops, maintained under the same conditions, were also evaluated. At the end of maceration, all samples were filtered and subjected to physicochemical, color, and antioxidant analyses. The results demonstrated that the addition of hops significantly influenced several parameters of the beverage. There was an increase in pH in all flavored samples, indicating a buffering effect of hop compounds, while the alcohol content and total soluble solids remained statistically unchanged. Titratable acidity showed an increase in samples with chopped hops, suggesting a greater release of phenolic and resinous compounds. The flavonoid content showed a significant increase in samples macerated with hops, especially in chopped form, which also showed a tendency towards higher values of total phenolic compounds. Antioxidant capacity (CUPRAC, DPPH, and ABTS) did not differ statistically between treatments, although samples with hops, especially KP4, exhibited average values higher than those reported in the literature for traditional kombuchas. Bitterness was the parameter most impacted by the treatment, with significant increases in samples containing chopped hops and in those with longer maceration times. Overall, it is concluded that the addition of hops, especially in chopped form, promoted greater bitterness intensity, increased acidity, and increased bioactive compounds, resulting in kombuchas with enhanced bioactive properties.

Keywords: kombucha; hops; antioxidants; flavonoids; fermentation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Crescimento do mercado global de kombucha por região (2021–2033).....	30
Figura 2- Etapas de produção da kombucha.....	35
Figura 3- Inflorescência (cone) de plantas femininas de lúpulo.....	40
Figura 4 - Gráfico de valores de amargor (média \pm desvio padrão) das kombuchas com lúpulo e controle, aos 2 e 4 dias de maceração.....	55

LISTA DE QUADROS

Quadro 1-Trabalhos com kombuchas utilizando diferentes ervas e aditivos na etapa de saborização.....	38
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros analíticos da kombucha de acordo com a legislação brasileira.....	32
Tabela 2-Principais constituintes encontrados em flores secas de lúpulo.....	42
Tabela 3- Diferentes tratamentos aplicados as kombuchas saborizadas com lúpulo.....	46
Tabela 4- Valores médios (\pm desvio padrão) dos parâmetros físico-químicos nos diferentes tratamentos e tempos de maceração das amostras de Kombucha.....	50
Tabela 5- Valores médios (\pm desvio padrão) dos parâmetros de cor (CIELAB) das kombuchas nos diferentes tratamentos e tempos de maceração.....	52
Tabela 6- Teor de compostos bioativos e antioxidantes nas kombuchas, aos 2 e 4 dias de maceração com lúpulo (média \pm desvio padrão).....	53

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
2	OBJETIVOS.....	17
2.1	Objetivo geral.....	17
2.2	Objetivos específicos.....	17
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
3.1	Kombucha.....	18
3.1.1	Legislação aplicada a kombucha.....	19
3.1.2	Classificação e Denominação.....	20
3.1.2.1	<i>Parâmetros Analíticos.....</i>	<i>20</i>
3.1.3	Composição.....	21
3.1.3.1	<i>Chás de Camellia sinensis.....</i>	<i>21</i>
3.1.3.2	<i>SCOPY.....</i>	<i>22</i>
3.1.3.3	<i>Açúcares utilizados.....</i>	<i>23</i>
3.1.4	Elaboração da kombucha.....	24
3.1.5	Potencial bioativo da kombucha.....	25
3.1.6	Kombuchas saborizadas.....	26
3.2	Lúpulo.....	28
3.2.1	Exigências agronômicas do lúpulo (<i>Humulus lupulus</i> L.).....	30
3.2.1.1	<i>Condições edafoclimáticas.....</i>	<i>30</i>
3.2.1.2	<i>Exigências de solo.....</i>	<i>30</i>
3.2.2	Composição química do lúpulo.....	30
3.2.3	Potencial de Aplicação do Lúpulo em Kombucha.....	32

4 MATERIAL E MÉTODOS.....	34
4.1 Obtenção dos materiais.....	34
4.2 Elaboração da kombucha original.....	34
4.3 Elaboração das kombuchas com lúpulo.....	35
4.4. Análises físico-químicas.....	35
4.4.1 pH.....	35
4.4.2 Sólidos solúveis totais (°Brix).....	35
4.4.3 Acidez titulável total.....	36
4.4.4 Teor alcoólico.....	36
4.5. Parâmetros de cor.....	36
4.6. Análises espectrofotométricas.....	36
4.6.1 Teor de compostos fenólicos totais.....	37
4.6.2 Teor de flavonoides totais.....	37
4.6.3 Capacidade antioxidante.....	37
4.6.4. Amargor.....	37
4.7 Análise estatística.....	37
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
5.1 Análises físico-químicas.....	39
5.2 Análise de cor.....	40
5.3 Análises espectrofotométricas.....	42
6 CONCLUSÃO.....	46
REFERÊNCIAS.....	47

1 INTRODUÇÃO

O consumo de alimentos e bebidas fermentadas tem crescido significativamente na última década, impulsionado pelo interesse dos consumidores em produtos associados à saúde e ao bem-estar (Embrapa, 2022). Nesse contexto, a kombucha, bebida obtida pela fermentação do chá adoçado por meio de uma simbiose de leveduras e bactérias ácido-acéticas (SCOBY), tornou-se popular em diferentes partes do mundo, inclusive no Brasil (Cognitive Market Research, 2025). Além de seu perfil sensorial agradável, estudos têm demonstrado que a kombucha pode apresentar compostos bioativos com propriedades antioxidantes, antimicrobianas e de suporte ao equilíbrio intestinal (Antolak et al., 2021; Crum et al., 2016).

Uma das tendências atuais é a utilização de ingredientes adicionais para saborização e enriquecimento funcional da kombucha, como frutas, especiarias e ervas (Crum; Lagory, 2016). Entre essas possibilidades, o lúpulo (*Humulus lupulus L.*) se mostra um ingrediente de grande potencial, considerando sua ampla utilização na indústria cervejeira, onde é responsável por conferir aroma, amargor característico e também fornecer compostos com atividade antioxidante (Ditrych et al., 2025). Embora seu uso em cervejas seja consolidado, tanto na etapa de fervura, quanto durante a maturação das cervejas, utilizando a maceração à frio (*dry hopping*), sua aplicação em kombuchas ainda é escassa, abrindo espaço para pesquisas que avaliem seu impacto sensorial e funcional.

O lúpulo é rico em flavonoides, alfa-ácidos e óleos essenciais, moléculas que podem contribuir para a bioatividade da kombucha (Durello et al., 2019). No entanto, o perfil químico liberado depende diretamente do método de preparo e da forma de extração, podendo variar, por exemplo, quando o lúpulo é adicionado na etapa de saborização da bebida, usando a maceração à frio (Durello et al., 2019). Além disso, o tempo do processo exerce influência direta nas características físico-químicas da kombucha, como pH, acidez, teor de açúcares e compostos fenólicos, fatores determinantes para a formação do sabor e para a expressão das propriedades funcionais (Jayabalan et al., 2014).

Diante disso, torna-se relevante investigar a produção de kombucha saborizada com lúpulo, buscando compreender como diferentes métodos de preparo do ingrediente, aliados ao tempo de maceração à frio, influenciam nas características da bebida.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Elaborar kombuchas saborizadas com lúpulo, utilizando diferentes métodos de preparo (lúpulo inteiro e picado) e de tempos de maceração (2 e 4 dias), e avaliar os efeitos desses parâmetros sobre as características físico-químicas e bioativas da bebida.

2.2 Objetivos específicos

- Produzir kombuchas controle (sem adição de lúpulo) e kombuchas saborizadas com lúpulo inteiro e picado, maceradas por 2 e 4 dias;
- Monitorar parâmetros físico-químicos das bebidas (pH, acidez titulável, teor alcoólico e sólidos solúveis totais);
- Analisar as características de cor das amostras de kombucha de lúpulo pelo sistema CIELAB;
- Determinar o teor de compostos fenólicos totais e flavonoides;
- Avaliar a capacidade antioxidante das amostras pelos métodos DPPH, CUPRAC e ABTS;
- Determinar o amargor das amostras de kombucha.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

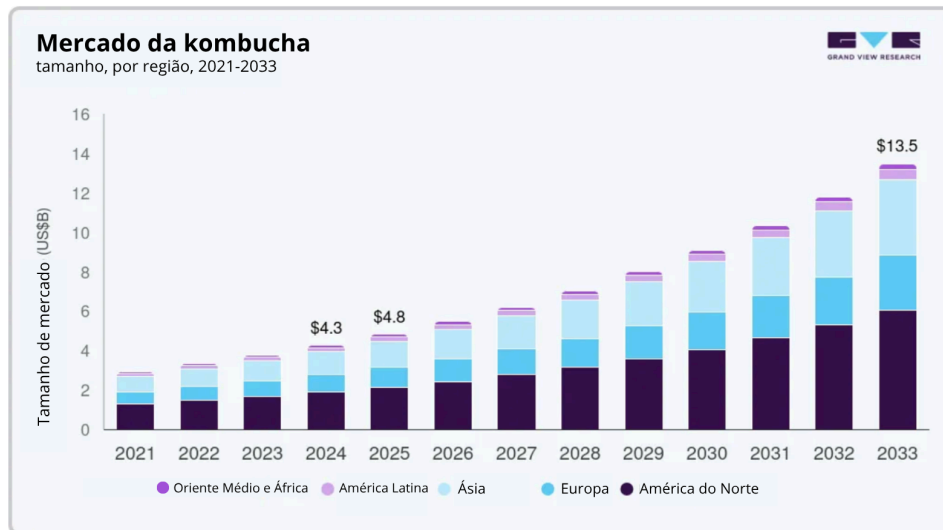
3.1. Kombucha

A kombucha é uma bebida fermentada, preparada a partir da infusão de chá de *Camellia sinensis*, açúcar e uma cultura simbiótica de bactérias e leveduras (SCOBY-Symbiotic Culture of Bacteria and Yeast), que tem um sabor levemente ácido, devido a geração de diferentes ácidos orgânicos durante a fermentação que reduzem o seu pH (Liu et al., 2023).

A bebida tem como provável berço o norte da China, onde seu uso tradicional estava associado a finalidades terapêuticas. Com o passar dos séculos, a bebida se espalhou para o Japão, Rússia e Europa. Durante o século XX, especialmente no pós-guerra, a bebida voltou a ganhar popularidade, chegando à Alemanha, França e ao norte da África (Greenwalt et al., 2000). Atualmente, o interesse crescente por alimentos e bebidas com propriedades funcionais têm impulsionado a popularização da kombucha em escala global. Em um relatório de análise de tendências, a Grand View Research (2024) estimou que o mercado mundial de kombucha movimentou cerca de USD 4,26 bilhões em 2024, com projeções de alcançar USD 9,09 bilhões até 2030, correspondendo a uma taxa de crescimento anual composta de 13,5% no período de 2025 a 2030. Esse crescimento reflete a crescente demanda por produtos naturais, orgânicos e com baixo teor de açúcar, alinhados às tendências de consumo consciente e saúde. A introdução de sabores inovadores e formulações exclusivas também tem ampliado a base de consumidores, tornando a kombucha mais atrativa para diferentes públicos.

No contexto latino-americano, a Cognitive Market Research (2025) destacou que essa região apresenta rápido crescimento, sendo o Brasil o maior mercado, responsável por aproximadamente 2,64% da participação global. Esse destaque reforça o papel do país na consolidação da kombucha como alternativa saudável às bebidas industrializadas tradicionais, em sintonia com a tendência de valorização de alimentos funcionais e naturais. A Figura 1 ilustra a evolução do mercado global de kombucha entre 2021 e 2025, além de apresentar estimativas de crescimento até 2033. Nota-se um aumento expressivo no período, com destaque para a América do Norte como principal mercado consumidor, seguida pela expansão acelerada da Ásia-Pacífico. O cenário confirma a tendência de consolidação da kombucha como bebida funcional de relevância mundial, com previsão de atingir cerca de USD 13,5 bilhões em 2033 (Grand View Research, 2024).

Figura 1- Crescimento do mercado global de kombucha por região (2021–2033).



Fonte: adaptado de Grand View Research (2024).

Para além da expansão do mercado, a kombucha chama atenção pelas razões que impulsionam seu consumo cotidiano. Em estudo realizado na Universidade Federal de Pelotas (Gonçalves, 2023), a maioria dos entrevistados declarou conhecer a bebida e associá-la a benefícios para a saúde, especialmente relacionados à melhora do funcionamento intestinal (57,9%) e ao fortalecimento do sistema imunológico (49,6%). Segundo Simões e Rodrigues (2023), entre os principais motivos relatados para o consumo, destacam-se a crença nas propriedades funcionais (81,1%), o sabor agradável (36,4%) e a refrescância (25%), além de ser vista como alternativa mais saudável aos refrigerantes industrializados (23,5%). Esses resultados evidenciam que o apelo de saudabilidade continua sendo o fator central de motivação.

3.1.1. Legislação aplicada a kombucha

No Brasil, a kombucha é regulamentada pela Instrução Normativa nº 41, de 17 de setembro de 2019, sendo definida como uma bebida fermentada obtida a partir da respiração aeróbica e fermentação anaeróbica do mosto preparado com infusão ou extrato aquoso de *Camellia sinensis* e açúcares, por meio de uma cultura simbiótica de bactérias e leveduras microbiologicamente ativas. Além de estabelecer essa definição, a normativa também determina os padrões de identidade e qualidade para o produto, bem como os ingredientes obrigatórios e opcionais permitidos em sua formulação (Brasil, 2019).

3.1.2 Classificação e Denominação

Segundo a Instrução normativa nº 41 do MAPA, a kombucha deve ser rotulada conforme os ingredientes utilizados, seguindo esta ordem:

"KOMBUCHA DE" (nome da espécie vegetal utilizada, se houver, além do chá),

"COM" (nome dos ingredientes opcionais permitidos),

"COM AROMA DE" (nome do aditivo aromatizante natural),

"GASEIFICADA" (se adicionada de gás carbônico),

"COM ÁLCOOL" ou "ALCOÓLICA" (se o teor alcoólico for acima de 0,5% v/v).

A kombucha não alcoólica produzida apenas com os ingredientes obrigatórios pode ser denominada "KOMBUCHA ORIGINAL".

A rotulagem da kombucha deve obrigatoriamente informar o teor alcoólico no rótulo principal, expresso em porcentagem por volume (% v/v), acompanhado da expressão "Teor alcoólico:". No caso das kombuchas sem álcool que apresentem teor alcoólico superior a 0,05% v/v, é necessário incluir a advertência "Pode conter álcool em até 0,5% v/v", além da declaração do teor alcoólico máximo permitido, considerando uma tolerância de 0,1% v/v. Somente os produtos com teor alcoólico de até 0,05% v/v podem utilizar expressões como "zero álcool", "0,0%" ou termos similares.

É proibido o uso de alegações funcionais ou de saúde que não sejam autorizadas pela legislação da ANVISA. Caso a kombucha seja submetida ao processo de pasteurização, o rótulo deve indicar essa informação de forma clara e destacada, utilizando a palavra "pasteurizada".

Além disso, é vedada a utilização de termos relacionados a vinhos, tais como "seco", "suave", "reserva" e a palavra "vinho", na rotulagem da kombucha. Também não é permitido o uso de expressões como "artesanal", "caseira", "bebida viva", "probiótica", "elixir", "energizante", "premium" e outras que atribuam características funcionais ou qualidades superlativas não aprovadas pela legislação vigente.

3.1.2.1 Parâmetros Analíticos

A normativa também estabelece padrões analíticos de pH, graduação alcoólica, acidez volátil e pressão da kombucha (Tabela 1).

Tabela 1 - Parâmetros analíticos da kombucha de acordo com a legislação brasileira.

Parâmetro	Mínimo	Máximo
pH	2,5	4,2
Graduação alcoólica (% v/v) kombucha sem álcool	-	0,5
Graduação alcoólica (% v/v) kombucha com álcool	0,6	8,0
Acidez volátil (mEq/L)	30	130
Pressão (atm a 20°C) na kombucha adicionada de CO ₂	1,1	3,9

Fonte: Adaptado de Brasil (2019).

3.1.3 Composição

A kombucha deve ser elaborada conforme previsto pela legislação brasileira (BRASIL, 2019), utilizando água potável, infusão ou extrato aquoso de *Camellia sinensis* e cultura simbiótica de bactérias e leveduras (SCOBY), assegurando a segurança para o consumo humano. Os microrganismos presentes no SCOBY podem permanecer na bebida final, mas não podem ser adicionados após o processo fermentativo.

São permitidos processos tecnológicos como pasteurização e filtração, além da utilização de ingredientes opcionais, incluindo infusões de outras plantas autorizadas, frutas, vegetais, especiarias, mel, melado, fibras, vitaminas, minerais, gases industriais para carbonatação, aditivos naturais e novos ingredientes aprovados pela ANVISA (RDC nº 267/2005).

É proibida a presença de contaminantes microbiológicos ou químicos acima dos limites legais, resíduos de agrotóxicos não autorizados, substâncias nocivas, ingredientes não permitidos, adulterantes, bem como a adição de ácidos voláteis que não sejam naturalmente produzidos pela fermentação.

3.1.3.1 Chás de *Camellia sinensis*

A base obrigatória da kombucha é a infusão ou extrato aquoso de *Camellia sinensis*, planta da qual se originam diferentes tipos de chá, como chá verde e chá preto. Essas variações resultam de diferentes processos de oxidação e secagem das folhas, que influenciam

diretamente a composição química (polifenóis, catequinas, cafeína) e, conseqüentemente, o perfil sensorial e funcional da bebida (Jayabalan et al., 2014).

O chá preto é obtido a partir de folhas que são esmagadas e expostas a umidade, que causa oxidação dos polifenóis, enquanto o chá verde é obtido a partir de botão e folhas, não é fermentado e ainda passa por aquecimento a vapor e secagem (Firmino; Miranda, 2015).

O chá oolong é parcialmente fermentado, resultando em características intermediárias de aroma. Entre esses chás, o chá verde se destaca por apresentar maior concentração de compostos com propriedades funcionais (Chan; Lim; Chew., 2007).

3.1.3.2 SCOPY

A cultura simbiótica de microrganismos utilizada na produção da kombucha, conhecida como SCOPY, é composta principalmente por diferentes espécies de leveduras e bactérias acéticas que atuam de forma cooperativa durante a fermentação. As leveduras, geralmente dos gêneros *Saccharomyces*, *Zygosaccharomyces*, *Brettanomyces* e *Pichia*, são responsáveis por degradar a sacarose em glicose e frutose por meio da enzima invertase. Esses açúcares simples são então metabolizados pelas próprias leveduras via glicólise, resultando na produção de etanol e dióxido de carbono (Greenwalt; Steinkraus; Ledford, 2000). Em seguida, as bactérias acéticas, como *Komagataeibacter xylinus*, *Acetobacter* e *Gluconobacter*, utilizam o etanol e os açúcares como substrato para a produção de ácidos orgânicos, especialmente ácido acético, glucônico e glucurônico, que conferem à kombucha seu sabor característico e propriedades funcionais. Além disso, algumas espécies do gênero *Komagataeibacter* têm a capacidade de sintetizar celulose bacteriana, formando uma película gelatinosa na superfície da bebida, estrutura típica do SCOPY (Liu et al., 2023).

Além dessas, bactérias lácticas, principalmente do gênero *Lactobacillus* spp., também foram detectadas em diferentes cultivos de kombucha, evidenciando uma diversidade microbiana que pode ser influenciada tanto pelo substrato quanto pelas condições ambientais (May et al., 2019).

3.1.3.3 Açúcares utilizados

Os açúcares constituem a principal fonte de carbono para os microrganismos do SCOPY, sendo essenciais para o desenvolvimento da fermentação da kombucha. A sacarose é o açúcar mais amplamente utilizado, por sua fácil disponibilidade e eficiência na condução do

processo fermentativo. Após a hidrólise enzimática, a sacarose é convertida em glicose e frutose, que servem como substrato para leveduras e bactérias, resultando na produção de etanol, dióxido de carbono e ácidos orgânicos, responsáveis pelo sabor característico da bebida (Silva, 2016).

Entretanto, estudos têm demonstrado que outros açúcares também podem ser empregados. Silva (2016), em sua pesquisa sobre a fermentação de kombucha com diferentes substratos, observou que o uso de açúcares alternativos podem modificar a acidez da bebida, o perfil sensorial e até mesmo a velocidade da fermentação. Açúcares como glicose e frutose apresentaram fermentações mais lentas em comparação à sacarose, resultando em bebidas com menor acidez ao final do processo.

Martins (2019), ao avaliar diferentes fontes de carboidratos, identificou que a substituição parcial ou total da sacarose por açúcares como melado ou glicose pode impactar diretamente tanto o crescimento microbiano quanto a aceitação sensorial da kombucha. O melado, por exemplo, conferiu um aroma mais complexo e uma composição química diferenciada, devido à presença de minerais e compostos aromáticos, mas reduziu a aceitação sensorial pelo sabor residual intenso.

Assim, a literatura aponta que, embora a sacarose seja considerada o substrato de escolha para a produção tradicional de kombucha, garantindo melhor desenvolvimento microbiano, estabilidade fermentativa e aceitação pelo consumidor, a utilização de açúcares alternativos como glicose, frutose ou melado pode representar estratégias interessantes de diversificação tecnológica, desde que os impactos na qualidade final da bebida sejam cuidadosamente avaliados.

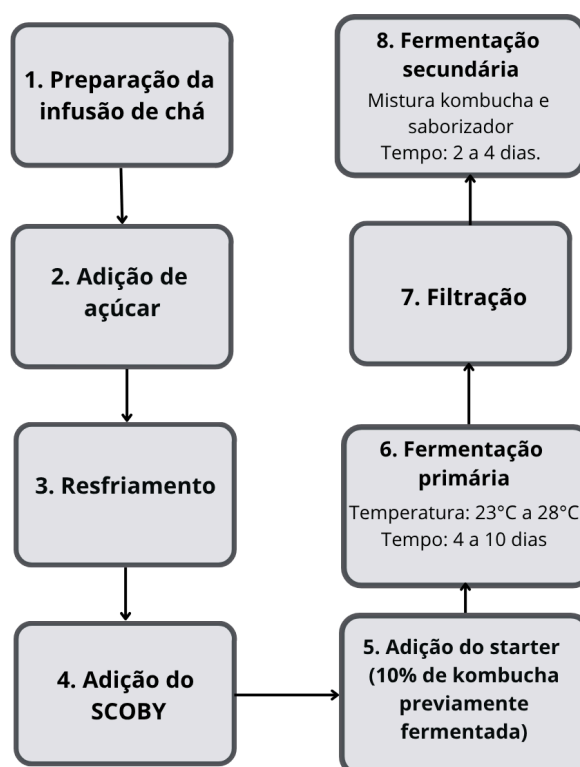
3.1.4 Elaboração da kombucha

A produção da kombucha pode ser separada em 4 etapas principais: preparação da infusão, adição da cultura de bactérias e leveduras, fermentação primária e saborização/fermentação secundária (opcional) (Figura 2).

A produção da kombucha inicia-se com a preparação da infusão de chá, geralmente utilizando-se uma concentração de 0,5% a 1% (m/v) de folhas, que são extraídas em água fervente por um período de 5 a 10 minutos. A etapa de infusão das folhas de *Camellia sinensis*, realizada com água quente, é essencial para a definição do perfil químico e sensorial da kombucha, uma vez que os compostos extraídos servem de substrato não apenas para a fermentação microbiana, mas também para a formação de compostos bioativos e metabólitos

secundários. Entre os principais compostos liberados durante a infusão estão os polifenóis, catequinas, cafeína, taninos e aminoácidos, cuja concentração final depende de variáveis como tempo de contato, temperatura da água, tipo de chá e granulometria das folhas (Dada et al., 2021).

Figura 2-Etapas de produção da kombucha.



Fonte: elaborada pela autora (2025).

A temperatura e o tempo de infusão afetam diretamente a extração de compostos fenólicos e cafeína. Temperaturas mais elevadas (acima de 85 °C) e tempos prolongados podem aumentar a extração de polifenóis, mas também favorecer a degradação de compostos termossensíveis e o desenvolvimento de sabores indesejáveis, como amargor e adstringência excessiva (Watawana et al., 2015). Estudos apontam que o chá verde tende a preservar melhor as catequinas e antioxidantes durante a fermentação, enquanto o chá preto confere coloração mais intensa e perfil de sabor mais robusto (Zhang et al., 2020). A variação na preparação da infusão, portanto, é uma ferramenta tecnológica estratégica no desenvolvimento de

kombuchas com características diferenciadas, podendo ser combinada a outros ingredientes, como frutas e ervas, para otimizar o sabor e o valor funcional da bebida.

Em seguida, adiciona-se açúcar (5 a 10%) enquanto a infusão ainda está quente para garantir sua completa dissolução. Após o resfriamento da bebida até a temperatura ambiente, é incorporada a cultura simbiótica de bactérias e leveduras (SCOBY), junto com uma fração da kombucha previamente fermentada (cerca de 10% em volume), que atua como starter para a fermentação (Watana et al., 2015).

A temperatura de fermentação geralmente ocorre entre 23° C e 28°C e o tempo de fermentação é variável de 4 até 10 dias, podendo se estender até 60 dias, dependendo das condições do processo e do pH desejado para a bebida. Tanto o tempo de fermentação quanto a temperatura exercem influência direta sobre a composição final da bebida, afetando a concentração de ácidos orgânicos, o teor de etanol e, conseqüentemente, suas características sensoriais (Greenwalt et al., 2000). A produção desses ácidos orgânicos provoca uma redução do pH ao longo do processo, sendo recomendável que o pH final esteja entre 2,5 e 4,2 para garantir a segurança microbiológica. Valores inferiores a esse intervalo podem indicar uma produção excessiva de ácido acético, conferindo à bebida um sabor demasiadamente ácido e aroma acentuado de vinagre (Santos et al., 2020)

Durante esse processo, a fermentação metabólica transforma os açúcares em ácidos orgânicos, gases e compostos bioativos, além de formar uma película característica na superfície da bebida, que, ao final da fermentação, é removida, a bebida é filtrada para eliminar resíduos sólidos e está pronta para consumo (Jayabalan et al., 2014).

Para incrementar o sabor e a efervescência, pode-se realizar uma saborização/ segunda fermentação, com chá adoçado, sucos de frutas, água de coco e/ou ervas e flores aromáticas para intensificar o sabor e melhorar a sua composição bioativa. Além disso, pode-se promover nesta etapa a carbonatação natural ou desenvolver versões alcoólicas (segunda fermentação), mantendo a bebida adicionada de novas fontes nutritivas em ambiente anaeróbico (Coelho et al., 2014).

3.1.5 Potencial bioativo da kombucha

O consumo de kombucha tem aumentado exponencialmente nos países ocidentais, devido ao aumento das buscas por alimentos funcionais e às propriedades bioativas relacionadas a bebida (Jayabalan et al., 2014). Essas propriedades bioativas são decorrentes de moléculas com potencial terapêutico ou funcional, capazes de exercer benefícios no

organismo humano, incluindo ações fisiológicas, imunológicas e comportamentais, que são originárias tanto do chá de *C. sinensis* (substrato), quanto das atividades metabólicas dos microrganismos envolvidos no processo fermentativo, bem como dos ingredientes adicionados na etapa de saborização da bebida (Antolak et al., 2021).

Para além dos ácidos orgânicos produzidos na fermentação, a kombucha também se caracteriza pela presença de compostos bioativos provenientes do chá, que sofrem modificações durante o processo de fermentação microbiana. Em uma análise de kombuchas preparadas com chá preto e chá verde, foram identificados 127 compostos fenólicos, sendo os flavonoides (70,2%) e os ácidos fenólicos (18,3%) as classes mais representativas, seguidos por polifenóis diversos, lignanas e estilbenos (Zhang et al., 2020). A diversidade desses compostos está associada a propriedades funcionais atribuídas ao consumo de kombucha, como atividades antioxidantes e anti-inflamatórias, hepatoprotetora e cardioprotetora, sendo os flavonoides e os ácidos fenólicos os principais responsáveis por esses efeitos (Greenwalt et al., 2000).

Os ácidos orgânicos formados durante a fermentação, como ácido acético, glucurônico, láctico e glucônico, também apresentam potencial antimicrobiano, inibindo patógenos como *Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium* e *Listeria monocytogenes* (Marsh et al., 2014; Greenwalt et al., 2000). Essa atividade antimicrobiana está relacionada à acidificação do meio, à presença de compostos fenólicos e à ação sinérgica entre os metabólitos produzidos.

Estudos sugerem que a kombucha pode atuar como moduladora da microbiota intestinal, favorecendo o crescimento de microrganismos benéficos, como as bactérias ácido-láticas. Essas bactérias podem contribuir para a saúde intestinal, promovendo um equilíbrio que favorece a digestão e a absorção de nutrientes (Marsh et al., 2014).

3.1.6 Kombuchas saborizadas

A saborização da kombucha, também chamada em alguns casos de segunda fermentação, representa uma prática essencial para a diversificação da bebida. Após a fermentação inicial do chá-base, ingredientes como frutas, ervas, flores e até mesmo lúpulo podem ser adicionados com o objetivo de modular o perfil sensorial e funcional da bebida. Essa etapa permite a incorporação de compostos fenólicos, antioxidantes e voláteis

aromáticos, além de favorecer a formação de novos metabólitos microbianos que contribuem para o valor nutricional e a aceitação sensorial.

Diferentes estudos têm destacado os benefícios da saborização no processamento da bebida. A adição de polpa de maracujá em kombucha de chá verde, por exemplo, melhorou a aceitação sensorial e conferiu aroma e sabor característicos (Silva, 2021). De forma semelhante, a combinação de alecrim e manga demonstrou aumento nos teores de fenólicos totais, taninos e atividade antioxidante, reforçando o potencial funcional da bebida (Luvison; Danguí; Lima, 2023). Já a incorporação de lúpulo, em diferentes abordagens de maceração, tem mostrado impacto positivo na composição volátil e no perfil sensorial, além de contribuir para a bioatividade da kombucha (Ditrych et al., 2025; Dudek et al., 2024).

Dessa forma, a saborização, após a primeira fermentação constitui-se como uma estratégia tecnológica relevante tanto para agregar valor funcional quanto para ampliar a diversidade de sabores, atendendo a um público consumidor cada vez mais interessado em bebidas artesanais e funcionais. O Quadro 1 sintetiza alguns exemplos recentes de trabalhos que aplicaram frutas, ervas e lúpulo nessa etapa, destacando ingredientes, objetivos e principais resultados.

Quadro 1-Trabalhos com kombuchas utilizando diferentes ervas e aditivos na etapa de saborização.

Referência	Ingredientes adicionados	Método de saborização	Resultados
Silva (2022)	Polpa de maracujá	Adição de 10% de polpa (m/m); fermentação secundária a temperatura ambiente por 48 h	Melhor aceitação sensorial; destaque para aroma e sabor característicos.
Crispino (2024)	Cupuaçu, taperebá e bacuri.	Adição de 20% de néctar de fruta, fermentação secundária em garrafas fechadas por 24–36h.	Aumento de compostos fenólicos, vitamina C e capacidade antioxidante; pH reduzido e maior acidez. Bacuri teve os melhores resultados antioxidantes.
Luvison et al (2023)	Alecrim e manga	Adição de 20% de polpa de manga + infusão de alecrim; fermentação secundária por 7 dias a 25 °C	Aumento dos teores de fenólicos totais, taninos e atividade antioxidante; bebida funcional com baixo valor calórico.
Ditrych et al	Lúpulo	Lúpulo moído	A adição pré-fermentação

(2025)		manualmente adicionado pré-fermentação (no chá) ou pós-fermentação	aumentou a estabilidade oxidativa e reduziu a formação de radicais; a pós-fermentação intensificou o amargor, aroma cítrico/floral e melhorou a aceitação sensorial
--------	--	--	---

Estudos mais recentes demonstram o potencial de enriquecimento da bebida por meio da maceração de ervas, como o lúpulo, como observado por Ditrych et al. (2025). Essas adições permitem a extração seletiva de compostos voláteis e bioativos, proporcionando melhorias no aroma, sabor e propriedades antioxidantes da kombucha. Dessa forma, a variação nas estratégias de maceração constitui uma ferramenta tecnológica importante para o desenvolvimento de kombuchas com características sensoriais diferenciadas e potencial funcional otimizado.

Nesse sentido, o uso de ervas, especialmente o lúpulo, na etapa de saborização da kombucha apresenta grande potencial para gerar uma bebida com apelo funcional, aromas cítricos, florais e herbais e com o amargor característico da cerveja, podendo servir como uma alternativa de consumo mais saudável do que a cerveja e com menor teor alcoólico.

3.2 Lúpulo

O lúpulo (*Humulus lupulus* Linnaeus) é uma planta pertencente à família Cannabaceae e à ordem Rosales. O gênero *Humulus* compreende três espécies principais: *H. lupulus*, *H. japonicus* e *H. yunnanensis*, sendo as duas primeiras amplamente cultivadas para fins comerciais, especialmente na indústria cervejeira (Almaguer et al., 2014). Historicamente, escritos começam a relacionar o uso do lúpulo à fabricação de cerveja a partir do século XIII, mas, o primeiro relato conhecido da funcionalidade do lúpulo em bebidas foi escrito por Hildegard Von Bingen, em 1158, em seu livro “Physica Sacra”, onde recomendou a adição dessa planta a bebidas, com finalidade de prolongar sua vida útil (Spostó et al., 2019).

Por ser uma planta dioica, o lúpulo apresenta flores masculinas e femininas em indivíduos distintos. Nas plantas femininas, desenvolvem-se estruturas reprodutivas conhecidas como cones ou estrobilos, que surgem após a polinização e medem entre 2,5 e 5 cm de comprimento (Korpelainen; Pietiläinen, 2021). Nos cones do lúpulo (Figura 3) localizam-se as glândulas de lupulina, responsáveis por armazenar os compostos de maior interesse comercial da planta, principalmente as resinas amargas (α -ácidos), que conferem o

amargor característico da cerveja, bem como os óleos essenciais, que contribuem com o aroma da bebida. A quantidade e composição desses compostos variam conforme a variedade do lúpulo, sendo a cor, a composição química e a morfologia dos cones aspectos essenciais para a diferenciação entre cultivares (Almeida, 2020).

Figura 3- Inflorescência (cone) de plantas femininas de lúpulo.



Fonte: Sposito et al. (2019).

O cultivo de lúpulo no Brasil é recente, mas vem se expandindo principalmente nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, regiões com clima mais próximo ao temperado, favorecendo o desenvolvimento da planta e a qualidade dos cones (cones de lúpulo são as flores da planta fêmea do lúpulo e fazem parte da planta utilizada na fabricação da cerveja, pois contêm resinas e óleos essenciais que proporcionam o amargor, aroma e sabor característicos da bebida, além de contribuir para a estabilidade e conservação da espuma). Entretanto, a produção nacional enfrenta desafios relacionados à cadeia produtiva não estabelecida, adaptação das cultivares ao fotoperíodo brasileiro, uso limitado de maquinário especializado e variabilidade climática. Apesar disso, algumas cultivares adaptadas ao clima brasileiro têm alcançado produção satisfatória e qualidade significativa, contribuindo para a redução de custos com importação e preservação dos óleos aromáticos, além de fortalecer a indústria cervejeira nacional (Brasil, 2022).

Historicamente, o lúpulo foi introduzido no Brasil no século XIX, com registros de plantios no Rio Grande do Sul (c. 1860) e em Petrópolis-RJ (c. 1868), por iniciativas de produtores que trouxeram mudas da Europa, principalmente Alemanha, Inglaterra e Bélgica. Apesar das dificuldades iniciais com clima e manejo, o cultivo evoluiu, e atualmente

representa uma oportunidade de desenvolvimento rural sustentável, geração de renda e emprego, além da criação de produtos com identidade nacional (Brasil, 2022).

3.2.1 Exigências agronômicas do lúpulo (*Humulus lupulus* L.)

3.2.1.1 Condições edafoclimáticas

O cultivo do lúpulo exige condições ambientais específicas para garantir a qualidade e o rendimento da produção. As principais regiões produtoras do mundo, como Alemanha e Estados Unidos, concentram-se em latitudes elevadas, com clima temperado, onde predominam temperaturas mais baixas e alta incidência de luz solar, fatores considerados ideais para o desenvolvimento da planta. Durante o crescimento vegetativo, o lúpulo demanda alta luminosidade, com necessidade de 15 a 18 horas de luz solar por dia, além de temperaturas moderadamente frias, especialmente durante o florescimento. Essas condições favorecem o acúmulo de compostos bioativos e o desenvolvimento adequado dos cones feminino (Neve, 1991).

3.2.1.2 Exigências de solo

O lúpulo apresenta sistema radicular profundo, que pode ultrapassar 2 metros, tornando essencial a escolha de solos bem drenados, preferencialmente argilosos ou arenosos profundos. Solos compactados ou encharcados prejudicam o crescimento e aumentam a incidência de doenças. O pH ideal varia entre 6,0 e 7,0, exigindo, em solos ácidos, a prática da calagem (Mapa, 2022). Além disso, recomenda-se um teor de matéria orgânica acima de 3%, o que contribui para a retenção de água e a estruturação do solo.

Do ponto de vista nutricional, a cultura demanda altos níveis de nitrogênio na fase inicial de crescimento e potássio no florescimento, favorecendo a formação dos cones. A irrigação é frequentemente necessária, sobretudo durante o verão brasileiro, para evitar déficits hídricos (Mapa, 2022; Neve, 1991).

3.2.2 Composição química do lúpulo

A composição química do lúpulo (*Humulus lupulus* L.) varia conforme a variedade cultivada, local de plantio, técnicas agrícolas, grau de maturação no momento da colheita e condições pós-colheita (secagem, peletização e armazenamento) (Almaguer et al., 2014). Em

média, o cone de lúpulo seco apresenta os seguintes constituintes apresentados na tabela 2.

Tabela 2-Principais constituintes encontrados em flores secas de lúpulo.

Constituinte:	Quantidade (%)
Resinas totais	15-30
Óleos essenciais	0,5-3
Proteínas	15
Monossacarídeos	2
Polifenóis	4
Pectinas	2
Aminoácidos	0,1
Ceras e esteróides	traços-25
Cinzas	8
Água	10
Celulose/lignina	43

Fonte: Durello (2019).

As resinas concentram os ácidos amargos, uma mistura de α -ácidos (humulona, cohumulona, adhumulona) e β -ácidos (lupulona, colupulona, adlupulona). Durante a fervura do mosto, os α -ácidos são convertidos em iso- α -ácidos, responsáveis pelo amargor característico da cerveja. Lúpulos com mais de 10% de α -ácidos são considerados de amargor, enquanto os de aroma apresentam menores teores e maiores concentrações de óleos essenciais. A isomerização dos α -ácidos é influenciada por fatores como pH, densidade do mosto, vigor e tempo de fervura (Neve, 1991; Durello et al., 2019).

Os β -ácidos possuem ação antimicrobiana, atuando sobre o gradiente de prótons das membranas celulares de microrganismos, dificultando a absorção de nutrientes e levando à morte celular, o que contribui para a estabilidade microbiológica das bebidas (Almaguer et al.,

2014). Além disso, o lúpulo contém compostos fenólicos, como flavonoides (xanthohumol, isoxanthohumol), ácidos fenólicos e taninos, com propriedades antioxidantes de interesse funcional e tecnológico (Durello et al., 2019).

Os óleos essenciais, por sua vez, são compostos voláteis que conferem características aromáticas, sendo os principais: mirceno (até 70% do total), humuleno, cariofileno, além de linalol e geraniol. Esses componentes são responsáveis pelos aromas cítricos, florais, herbais e frutados característicos, amplamente valorizados em lúpulos de aroma (Mapa, 2022). A caracterização físico-química do lúpulo por técnicas como cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) e cromatografia gasosa é essencial para definir aplicação, ponto de colheita e valor de mercado (Durello et al., 2019).

3.2.3 Potencial de Aplicação do Lúpulo em Kombucha

A incorporação do lúpulo na formulação de kombucha tem se mostrado uma estratégia para atributos funcionais e sensoriais da bebida. O estudo de Ditych et al. (2025), destacado no Quadro 1, avaliou a adição do lúpulo da variedade Cascade em diferentes momentos do processo (pré e pós-fermentação), demonstrando que, independentemente do estágio de inserção, houve um aumento significativo na atividade antioxidante da bebida. No entanto, a adição durante a pré-fermentação promoveu maior estabilidade oxidativa, sendo mais eficaz na proteção contra a formação de radicais livres ao longo do tempo de armazenamento.

Do ponto de vista sensorial, os resultados indicaram que a adição do lúpulo na pós-fermentação proporcionou um perfil mais agradável aos consumidores, com realce de notas florais e cítricas e um leve aumento no amargor. Essa combinação de benefícios sensoriais e funcionais sugere um elevado potencial de mercado para kombuchas com lúpulo.

Diante disso, a utilização do lúpulo em kombucha pode representar não apenas uma inovação tecnológica, mas também uma alternativa de substituição parcial ao consumo de cervejas, por apresentar menor teor alcoólico aliado a um elevado potencial funcional. Sensorialmente, a diversidade de óleos essenciais confere ao produto perfis aromáticos diferenciados, aproximando a kombucha da cultura dessa bebida, e ampliando seu potencial de mercado para consumidores em busca de experiências inovadoras (Mapa, 2022; Ditych et al., 2025). Entretanto, desafios tecnológicos ainda persistem, como a perda de compostos voláteis durante o processamento e a padronização do processo de maceração, principalmente

em relação à temperatura e tempo empregados, indicando a necessidade de mais estudos aplicados.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Obtenção dos materiais

As amostras de cones de lúpulo da variedade *Comet* foram coletadas em março de 2025, em um lupulal experimental da Estação Experimental da EPAGRI de São Joaquim, em Santa Catarina, Brasil (-28°16'28.2"S 49°55'51.8"W). Em seguida, foram secas em estufa de circulação forçada a 50°C por cerca de 3 dias, até umidade aproximada de 9%.

A cultura simbiótica de bactérias e leveduras (SCOBY) de chá verde, e o chá verde (*C. sinensis*) foram adquiridos da empresa Companhia dos Fermentados (Barueri, SP, Brasil). E para elaboração também foi utilizado açúcar refinado (Alto alegre, Caxias do Sul, RS, Brasil) e água mineral (Imperatriz, Santo Amaro da Imperatriz, SC, Brasil).

4.2 Elaboração da kombucha original

Todas as amostras deste estudo partiram de uma kombucha base, que foi preparada a partir de uma infusão, utilizando 1% de chá verde, por 10 minutos a 90°C, conforme demonstrado por Nishiyama et al. (2010). Em seguida o chá foi filtrado e adicionado de 5% de açúcar. Ao atingir a temperatura ambiente (25°C), a infusão foi colocada em um fermentador de vidro, e então adicionado, o SCOBY e 10% de inóculo, que é parte de uma kombucha previamente fermentada, utilizada para acelerar o início da fermentação por já conter elevada atividade microbiana, ácidos orgânicos e leveduras viáveis, e o frasco foi coberto com gaze, para permitir trocas gasosas com o ambiente. A kombucha foi fermentada em incubadora BOD (TE-371, Tecnal, Piracicaba, Brasil) a $25 \pm 5^\circ\text{C}$ até atingir o pH 3,5.

Antes da fermentação, foram avaliados os parâmetros físico-químicos iniciais: pH da infusão (6,14), pH do inóculo (3,29) e pH da kombucha antes da fermentação (4,35).

4.3 Elaboração das kombuchas com lúpulo

Após o período de fermentação, foi retirado o SCOBY e a bebida foi subdividida em 6 porções de 250 mL cada para a realização da maceração á frio (*Dry-hopping*) com o lúpulo. O lúpulo (*Humulus lupulus* L.) foi adicionado de duas formas distintas: lúpulo inteiro e lúpulo picado (cones de lúpulo cortados em pedaços de aproximadamente 10 mm, visando aumentar a área de contato da planta com a bebida), e adicionados em concentração de 2 g/L (m/v).

Cada uma dessas formas de preparo foi mantida em tempos distintos de maceração (2 e 4 dias) a 4°C, como descrito na Tabela 3. Também foram obtidas amostras controle (sem adição de lúpulo, mas com 2 e 4 dias sob refrigeração). A saborização foi conduzida em frascos de vidro, fechados, em ambiente refrigerado (4°C). Posteriormente as amostras saborizadas foram filtradas com gaze estéril a fim de retirar a parte sólida do lúpulo.

Tabela 3- Diferentes tratamentos aplicados as kombuchas saborizadas com lúpulo.

Amostra	Tratamento	Tempo de maceração
K02	Controle (sem lúpulo)	2 dias
K04	Controle (sem lúpulo)	4 dias
KI2	Lúpulo inteiro (2g/L)	2 dias
KI4	Lúpulo inteiro (2g/L)	4 dias
KP2	Lúpulo picado (2g/L)	2 dias
KP4	Lúpulo picado (2g/L)	4 dias

K02= kombucha original mantida por 2 dias em refrigeração (controle 2 dias) ; K04= kombucha original mantida por 4 dias em refrigeração (controle 4 dias); KI2= kombucha com lúpulo inteiro macerada por 2 dias em refrigeração; KI4= kombucha com lúpulo inteiro macerada por 4 dias em refrigeração; KP2= kombucha com lúpulo picado macerada por 2 dias em refrigeração; KP4= kombucha com lúpulo picado macerada por 4 dias em refrigeração.

4.4. Análises físico-químicas

4.4.1 pH

O pH das amostras foi determinado em potenciômetro digital calibrado com soluções tampão pH 4,0 e 7,0, em temperatura ambiente (25 ± 2 °C), conforme metodologia do Instituto Adolfo Lutz (2008).

4.4.2 Sólidos solúveis totais (°Brix)

O teor de sólidos solúveis totais foi determinado em refratômetro digital, utilizando cerca de 1 mL de amostra previamente homogeneizada. Os resultados foram expressos em graus Brix (°Brix), segundo metodologia da AOAC (2016).

4.4.3 Acidez titulável total

A acidez titulável total foi determinada em duplicata, conforme método oficial AOAC 942.15 (AOAC, 1995) pela titulação de 10 mL de amostra diluída em 100 mL de água destilada, com adição de uma gota de solução de fenolftaleína como indicador. A titulação foi realizada com solução de hidróxido de sódio (NaOH 0,1 mol/L), previamente padronizada (fator de correção = 0,8619), até a viragem do indicador.

Os resultados foram expressos em g de ácido acético por 100 mL de amostra, considerando que este é o ácido predominante na kombucha. O cálculo da acidez foi realizado segundo a equação:

$$\text{Acidez em mL de solução molar v/v (\%)} = (V \times f \times M \times 10) / P \quad (1)$$

onde:

V = mL de solução de hidróxido de sódio 0,1 M gasto na titulação

F = fator de correção da solução de hidróxido de sódio 0,1 M

P = volume da amostra em mL

M = molaridade do hidróxido de sódio

4.4.4 Teor alcoólico

O teor alcoólico foi determinado em duplicata por meio de ebuliômetro, utilizando amostras previamente diluídas em água destilada. Os resultados foram expressos em percentual de etanol (% v/v).

4.5. Parâmetros de cor

Os parâmetros de cor L^* , a^* , b^* , C^* , e ângulo hue (h°) foram determinados utilizando-se um colorímetro (Minolta Chroma Meter CR-400, Osaka, Japão) devidamente calibrado, ajustado para operar com uma fonte de iluminação D65 e 10° de ângulo de observação, as amostras foram colocadas em cubetas de vidro e analisadas em triplicatas.

4.6. Análises espectrofotométricas

4.6.1 Teor de compostos fenólicos totais

O teor de fenólicos totais foi determinado pelo método de Folin-Ciocalteu, conforme Singleton e Rossi (1965). Em tubos de ensaio foram adicionados 7,9 mL de água destilada, 0,1 mL de amostra e 0,5 mL de reagente de Folin-Ciocalteu. Após agitação, acrescentaram-se

1,5 mL de solução de carbonato de sódio (20 g/100 mL). As amostras permaneceram em repouso, protegidas da luz, por 2 horas em temperatura ambiente. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro a 760 nm, e os resultados expressos em mg equivalentes de ácido gálico por litro de amostra (mg EAG/L).

4.6.2 Teor de flavonoides totais

O teor de flavonoides totais foi determinado pelo método colorimétrico com cloreto de alumínio, conforme descrito por Soares et al. (2017). Aliquotas de 500 µL das amostras foram transferidas para tubos de ensaio, adicionando-se 1.800 µL de solução etanol/água (50%) e 200 µL de solução de cloreto de alumínio (5%). Após agitação, as amostras foram incubadas por 30 minutos em temperatura ambiente. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro a 425 nm, utilizando curva de calibração construída com soluções padrão de quercetina (0,02 a 1,0 mg/mL). Os resultados foram expressos em mg equivalentes de quercetina por grama de amostra (mg EQ/g).

4.6.3 Capacidade antioxidante

A capacidade antioxidante in vitro das amostras foi avaliada por diferentes métodos espectrofotométricos: o método de eliminação do radical livre estável DPPH• (2,2-difenil-1-picril-hidrazil) (Brand-Williams; Cuvelier; Berset, 1995), o método baseado na redução do cátion radical ABTS•+ (ácido 2,2'-azino-bis-3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico) (Re et al., 1999) e o método de capacidade antioxidante de redução de íons cúpricos (CUPRAC) (Apak et al., 2004). Os resultados foram expressos em equivalentes de Trolox (µM Trolox/L).

4.6.4. Amargor

O amargor das amostras de kombucha foi determinado por espectrofotometria, com os resultados expressos em Unidades Internacionais de Amargor (IBU). Para a análise, as amostras foram previamente diluídas em água destilada, conforme padronização do método, e em seguida as leituras de absorvância foram realizadas em espectrofotômetro a 275 nm, comprimento de onda característico para os iso- α -ácidos do lúpulo. Os valores obtidos foram multiplicados por 50, de acordo com a equação estabelecida para conversão em IBU (European Brewery Convention, 2005).

4.7 Análise estatística

Os resultados foram expressos em média \pm desvio padrão. A análise de variância (ANOVA) foi utilizada para identificar diferenças significativas ($p < 0,05$) entre amostras, com as diferenças avaliadas usando teste de Tukey (entre diferentes tratamentos) e teste t (entre amostras com o mesmo tratamento em diferentes tempos). A análise estatística dos dados foi realizada no software Origin.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análises físico-químicas

Os valores médios dos parâmetros físico-químicos das kombuchas estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4- Valores médios (\pm desvio padrão) dos parâmetros físico-químicos nos diferentes tratamentos e tempos de maceração das amostras de Kombucha.

Amostras	pH	SST ($^{\circ}$ Brix)	Teor alcoólico (%v/v)	Acidez (%)
KO2	3,47 \pm 0,07 ^{aB}	4,70 \pm 0,0 ^{aA}	1,20 \pm 0,0 ^{aA}	0,234 \pm 0,0035 ^{aB}
KI2	3,60 \pm 0,005 ^{aA}	4,70 \pm 0,0 ^{aA}	1,20 \pm 0,0 ^{aA}	0,232 \pm 0,0000 ^{aB}
KP2	3,61 \pm 0,005 ^{aA}	4,67 \pm 0,06 ^{aA}	1,20 \pm 0,0 ^{aA}	0,248 \pm 0,0000 ^{aA}
K04	3,47 \pm 0,01 ^{aB}	4,50 \pm 0,20 ^{aA}	1,20 \pm 0,0 ^{aA}	0,227 \pm 0,0000 ^{aB}
KI4	3,61 \pm 0,005 ^{aA}	4,70 \pm 0,00 ^{aA}	1,20 \pm 0,0 ^{aA}	0,2345 \pm 0,0035 ^{aAB}
KP4	3,61 \pm 0,005 ^{aA}	4,63 \pm 0,05 ^{aA}	1,30 \pm 0,14 ^{aA}	0,2455 \pm 0,0035 ^{aA}

^{AB} Letras maiúsculas na mesma coluna indicam diferenças significativas de diferentes tratamentos dentro do mesmo tempo de maceração ($p < 0,05$); ^a letras minúsculas na mesma coluna indicam diferença significativa no mesmo tratamento entre os tempos de maceração de 2 e 4 dias ($p < 0,05$). SST= sólidos solúveis totais. K02= kombucha original mantida por 2 dias em refrigeração (controle 2 dias) ; K04= kombucha original mantida por 4 dias em refrigeração (controle 4 dias); KI2= kombucha com lúpulo inteiro macerada por 2 dias em refrigeração; KI4= kombucha com lúpulo inteiro macerada por 4 dias em refrigeração; KP2= kombucha com lúpulo picado macerada por 2 dias em refrigeração; KP4= kombucha com lúpulo picado macerada por 4 dias em refrigeração.

O pH variou entre 3,47 e 3,61, sendo observado aumento ($p < 0,05$) após a adição do lúpulo, tanto inteiro quanto picado. Esse comportamento pode estar relacionado à presença de compostos do lúpulo com efeito tampão no meio fermentado. Estudos realizados com cervejas submetidas a *dry hopping* demonstram comportamento semelhante, com elevação consistente do pH após a adição de lúpulo, atribuída à liberação de compostos fenólicos e resinosos que modulam a disponibilidade de íons hidrogênio (Schmick, 2014). Além disso, os ácidos e polifenóis do lúpulo podem contribuir para a neutralização parcial dos ácidos orgânicos formados durante a fermentação (Bamforth, 2016). Dessa forma, o lúpulo tenderia a exercer um efeito tampão sobre o sistema, resultando em menor acidez livre e consequente elevação do pH final. Ainda assim, todos os valores mantiveram-se dentro da faixa

normalmente observada em kombuchas artesanais, entre 2,5 e 4,2 (Jayabalan et al., 2014), intervalo também estabelecido pela legislação brasileira (BRASIL, 2019).

Os sólidos solúveis totais (SST) variaram de 4,50 a 4,70 °Brix entre as amostras, sem diferenças significativas ($p > 0,05$), indicando que o consumo de açúcares foi semelhante entre os tratamentos e que a maceração, de 2 e 4 dias, não promoveu aumento de açúcares no meio.

O teor alcoólico variou entre 1,2 e 1,3% (v/v), sem diferenças significativas entre os tratamentos, porém com valores superiores a 0,5% (v/v), limite estabelecido pela Instrução Normativa nº 41, de 17 de setembro de 2019, do MAPA, para a classificação de kombuchas não alcoólicas. Segundo essa normativa, produtos com teor alcoólico acima desse valor devem ser rotulados como “kombucha alcoólica” ou “kombucha com álcool”, sendo obrigatória a declaração do teor alcoólico no rótulo principal. Dessa forma, as amostras produzidas neste estudo enquadram-se como kombuchas alcoólicas. Tal resultado pode ser atribuído à temperatura de fermentação empregada, condição que favorece uma maior atividade metabólica das leveduras presentes no SCOBY e, conseqüentemente, a produção de etanol, devido à intensificação do metabolismo microbiano, conforme descrito por Souza et al. (2018). Ainda assim, os valores observados são muito inferiores aos de bebidas como cervejas comerciais, que geralmente apresentam teor alcoólico entre 4 e 5% (v/v).

A acidez titulável variou de 0,227% a 0,248%, apresentando valores ligeiramente maiores ($p < 0,05$), nas amostras picadas (KP). Esse comportamento pode ser explicado pela liberação mais eficiente, durante a maceração, de compostos fenólicos e resinosos do lúpulo, como os ácidos fenólicos e iso- α -ácidos, cuja extração é intensificada pela maior área de contato. Esses compostos, além de contribuírem para o sabor amargo, possuem caráter ácido (Karabín et al., 2014). A presença de compostos fenólicos e de oxigênio dissolvido favorece, ainda, a oxidação parcial do etanol em ácido acético pelas bactérias acéticas (Bouchez et al., 2022), o que resulta em elevação da acidez final das amostras maceradas.

5.2 Análise de cor

A Tabela 5 apresenta os parâmetros de cor das amostras de kombucha de acordo com a escala CIELAB – cuja sigla é designada a partir da Commission Internationale de l'Eclairage (Comissão Internacional de Iluminação), que nomeou as coordenadas/eixos L^* a^* b^* . A escala CIELAB é um espaço tridimensional de cores composto por três eixos. O eixo L^* é uma escala de luminosidade, com valores que vão de 0 (preto) a 100 (branco); o a^* é o eixo

vermelho/verde; valores positivos e negativos de a^* indicam, respectivamente, tons mais próximos de vermelho ou de verde; e, por fim, o b^* é o eixo amarelo/azul; valores positivos e negativos de b^* descrevem, respectivamente, os tons mais amarelos ou mais azuis (Ly et al., 2020).

Tabela 5- Valores médios (\pm desvio padrão) dos parâmetros de cor (CIELAB) das kombuchas nos diferentes tratamentos e tempos de maceração.

Amostra	L*	a*	b*	C*	h
K02	49,83 \pm 0,39 ^{aA}	-0,53 \pm 0,05 ^{aA}	16,91 \pm 0,08 ^{aC}	16,92 \pm 0,08 ^{aD}	91,79 \pm 0,16 ^{aAB}
K04	51,47 \pm 0,69 ^{bA}	-0,47 \pm 0,08 ^{aA}	17,25 \pm 0,23 ^{aBC}	17,26 \pm 0,23 ^{aBC}	91,57 \pm 0,27 ^{aB}
KI2	50,70 \pm 0,33 ^{aA}	-0,61 \pm 0,04 ^{aA}	17,51 \pm 0,13 ^{aAB}	17,49 \pm 0,09 ^{aAB}	92,00 \pm 0,11 ^{aAB}
KI4	51,51 \pm 0,69 ^{aA}	-0,66 \pm 0,05 ^{aB}	17,12 \pm 0,06 ^{bC}	17,14 \pm 0,05 ^{bCD}	92,21 \pm 0,17 ^{aA}
KP2	50,04 \pm 0,40 ^{aA}	-0,56 \pm 0,06 ^{bA}	17,75 \pm 0,04 ^{aA}	17,76 \pm 0,04 ^{aA}	91,82 \pm 0,17 ^{bAB}
KP4	50,15 \pm 0,35 ^{aA}	-0,63 \pm 0,07 ^{cAB}	17,76 \pm 0,12 ^{aA}	17,77 \pm 0,12 ^{aA}	92,03 \pm 0,22 ^{aAA}

^{AB} Letras maiúsculas na mesma coluna indicam diferenças significativas de diferentes tratamentos dentro do mesmo tempo de maceração ($p < 0,05$); ^a letras minúsculas na mesma coluna indicam diferença significativa no mesmo tratamento entre os tempos de maceração de 2 e 4 dias ($p < 0,05$). K02= kombucha original mantida por 2 dias em refrigeração (controle 2 dias) ; K04= kombucha original mantida por 4 dias em refrigeração (controle 4 dias); KI2= kombucha com lúpulo inteiro macerada por 2 dias em refrigeração; KI4= kombucha com lúpulo inteiro macerada por 4 dias em refrigeração; KP2= kombucha com lúpulo picado macerada por 2 dias em refrigeração; KP4= kombucha com lúpulo picado macerada por 4 dias em refrigeração.

De modo geral, os valores de L^* permaneceram intermediários (próximos de 50), indicando luminosidade média e coloração equilibrada, sem escurecimento significativo ao longo da maceração. Todas as amostras apresentaram tendência a tons verde-amarelados, o que já era esperado em função da coloração natural do chá verde e do lúpulo utilizados na formulação. As amostras picadas (KP) apresentaram valores ligeiramente maiores ($p < 0,05$) de b^* , indicando uma coloração amarela mais intensa, possivelmente associada à liberação da lupulina que, como confirma Sposito et al. (2019), apresenta-se como um pó amarelado e resinoso. O parâmetro a^* apresentou valores negativos (-0,47 a -0,66), confirmando a predominância de tonalidade esverdeada, enquanto o ângulo hue (h), entre 91° e 92°, manteve-se estável, sugerindo uniformidade de cor entre os tratamentos. Esses resultados indicam que o processo de adição e maceração do lúpulo influenciou discretamente a coloração, intensificando o tom amarelado.

5.3 Análises espectrofotométricas

Os valores médios do teor de compostos bioativos e antioxidantes das kombucha estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6- Teor de compostos bioativos e antioxidantes nas kombuchas, aos 2 e 4 dias de maceração com lúpulo (média \pm desvio padrão).

Amostras	fenólicos (mg/l)	flavonoides (mg eq./ml)	cuprac (μ m trolox/ml)	DPPH (% inibição)	ABTS (μ m trolox/ml)
K02	2450,24 \pm 23,13 ^{aA}	0,494 \pm 0,005 ^{aB}	42901,66 \pm 602,77 ^{bA}	94,10 \pm 4,97 ^{aA}	76,676 \pm 0,771 ^{aB}
KI2	2394,81 \pm 66,97 ^{aA}	0,564 \pm 0,014 ^{aA}	43268,33 \pm 1032,4 ^{aA}	90,02 \pm 1,37 ^{aA}	79,349 \pm 0,303 ^{aA}
KP2	2372,59 \pm 118,8 ^{aA}	0,577 \pm 0,000 ^{aA}	43135,00 \pm 522,01 ^{aA}	86,90 \pm 2,95 ^{aA}	80,272 \pm 0,606 ^{aA}
K04	2276,29 \pm 57,01 ^{bB}	0,494 \pm 0,005 ^{aB}	44235 \pm 435,88 ^{aA}	90,59 \pm 0,54 ^{aA}	80,272 \pm 2,704 ^{aA}
KI4	2398,51 \pm 111,3 ^{aAB}	0,577 \pm 0,016 ^{aA}	43301,66 \pm 1505,26 ^{aA}	90,31 \pm 1,03 ^{aA}	80,806 \pm 1,638 ^{aA}
KP4	2472,59 \pm 27,95 ^{aA}	0,589 \pm 0,005 ^{aA}	42518,33 \pm 175,59 ^{aA}	87,64 \pm 0,39 ^{aB}	81,089 \pm 0,303 ^{aA}

^{aB} Letras maiúsculas na mesma coluna indicam diferenças significativas de diferentes tratamentos dentro do mesmo tempo de maceração ($p < 0,05$); ^a letras minúsculas na mesma coluna indicam diferença significativa no mesmo tratamento entre os tempos de maceração de 2 e 4 dias ($p < 0,05$). K02= kombucha original mantida por 2 dias em refrigeração (controle 2 dias) ; K04= kombucha original mantida por 4 dias em refrigeração (controle 4 dias); KI2= kombucha com lúpulo inteiro macerada por 2 dias em refrigeração; KI4= kombucha com lúpulo inteiro macerada por 4 dias em refrigeração; KP2= kombucha com lúpulo picado macerada por 2 dias em refrigeração; KP4= kombucha com lúpulo picado macerada por 4 dias em refrigeração.

De modo geral, o teor de compostos fenólicos não teve diferenças estatisticamente significativas entre os diferentes tempos de maceração ($p > 0,05$). No entanto, observou-se que as amostras com lúpulo picado e maceradas por 4 dias (KP4) apresentaram valores maiores em comparação às amostras K04 e KI4, no mesmo dia de maceração, o que indica que a forma de adição do lúpulo alterou o conteúdo total desses compostos.

Além disso, observou-se tendência de aumento ($p < 0,05$) no teor de flavonoides nas amostras contendo lúpulo, tanto nas preparadas com lúpulo inteiro (KI), quanto aquelas preparadas com o lúpulo picado (KP), que apresentaram os maiores valores médios. Esse comportamento pode estar relacionado à ruptura mecânica das glândulas de lupulina, aumentando a superfície de contato com o meio fermentativo e favorecendo a extração dos

compostos flavonoides. Resultados semelhantes foram relatados por Ditrych et al. (2025), ao utilizarem lúpulo picado na elaboração de kombucha.

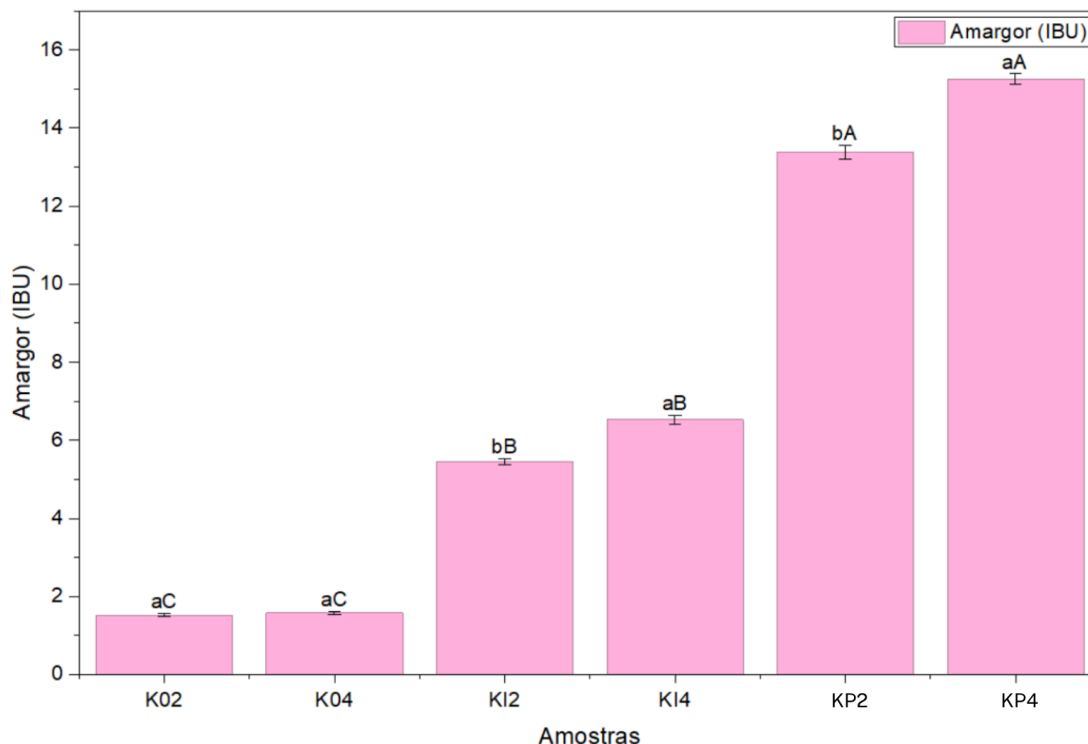
A avaliação da capacidade antioxidante pelos métodos CUPRAC, DPPH e ABTS não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos ($p > 0,05$), indicando que a adição de lúpulo, tanto inteiro quanto macerado, não alterou de forma significativa o potencial antioxidante global da bebida. Apesar disso, nota-se tendência numérica de aumento nos valores médios de ABTS e CUPRAC nas amostras com lúpulo, sugerindo possível contribuição dos compostos bioativos do vegetal, como flavonoides prenilados, xantohumol e α -ácidos, reconhecidos por seu potencial redutor (Kontek et al., 2021)

Resultados semelhantes foram descritos por Ditrych et al. (2025), que observaram incrementos discretos, porém não significativos, na atividade antioxidante de kombuchas contendo lúpulo moído. Segundo os autores, o efeito antioxidante do lúpulo pode ser limitado pela baixa solubilidade de alguns compostos amargos e pela degradação parcial de polifenóis durante a maceração à frio, usando o processo de *Dry-hopping*.

Ainda assim, a manutenção de altos valores de DPPH e ABTS em todas as amostras confirma que tanto o chá-base quanto a fermentação microbiana contribuem para a produção de uma bebida com elevada capacidade antioxidante intrínseca. A amostra KP4 apresentou a maior capacidade antioxidante entre os tratamentos, atingindo valor de 81,089 $\mu\text{mol Trolox/mL}$, resultado expressivamente superior ao relatado em diversos estudos prévios sobre kombucha tradicional. Chen e Liu (2000) relataram variação entre 13 e 30 $\mu\text{mol Trolox/mL}$, dependendo do tipo de chá utilizado. De forma semelhante, Ditrych et al. (2021) relataram faixas entre 18 e 40 $\mu\text{mol Trolox/mL}$ em bebidas fermentadas a partir de chá verde e infusões de ervas. Com isso, pode-se afirmar que as kombuchas saborizadas com lúpulo apresentaram atividade antioxidante notavelmente superior, possivelmente em decorrência da alta concentração de compostos fenólicos e flavonoides provenientes do lúpulo (Karabín et al., 2016).

O gráfico da Figura 4 apresenta os valores médios de amargor das amostras de kombucha.

Figura 4 - Gráfico de valores de amargor (média \pm desvio padrão) das kombuchas com lúpulo e controle, aos 2 e 4 dias de maceração.



Letras maiúsculas indicam diferenças significativas diferentes tratamentos dentro do mesmo tempo ($p < 0,05$); letras minúsculas indicam diferença significativa no mesmo tratamento entre os tempos de fermentação de 2 e 4 dias ($p < 0,05$). K02= kombucha original mantida por 2 dias em refrigeração (controle 2 dias); K04= kombucha original mantida por 4 dias em refrigeração (controle 4 dias); KI2= kombucha com lúpulo inteiro macerada por 2 dias em refrigeração; KI4= kombucha com lúpulo inteiro macerada por 4 dias em refrigeração; KP2= kombucha com lúpulo picado macerada por 2 dias em refrigeração; KP4= kombucha com lúpulo picado macerada por 4 dias em refrigeração.

O amargor das kombuchas variou de 1,8 a 14,5 IBU, com diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos (Figura 4). As amostras controle (K02 e K04) apresentaram os menores valores, mantendo amargor residual semelhante entre 2 e 4 dias de fermentação. A adição de lúpulo promoveu aumento expressivo no amargor, especialmente nas amostras picadas (KP). O lúpulo inteiro (KI) também elevou o amargor, porém em menor intensidade, indicando extração menos eficiente dos compostos amargos. Esse comportamento está relacionado à maior liberação de α -ácidos durante a maceração, em virtude da ruptura mecânica das glândulas de lupulina e do aumento da área de contato com o meio fermentado.

O aumento do tempo de maceração também contribuiu para o aumento do amargor, possivelmente em função da solubilização de compostos fenólicos do lúpulo e da

transformação parcial dos α -ácidos em iso- α -ácidos em meio ácido (SCHMICK, 2014). Tal comportamento reforça que tanto o método de preparo do lúpulo quanto o tempo de maceração influenciam diretamente a liberação e a estabilidade dos compostos amargos.

6 CONCLUSÃO

O presente estudo demonstrou que a adição de lúpulo, especialmente na forma picada, influencia positivamente as características físico-químicas da kombucha. Observou-se aumento significativo no pH e na acidez titulável total. As análises de cor evidenciaram coloração predominantemente verde-amarelada, com intensificação do tom amarelado nas amostras picadas, atribuída à liberação da lupulina, pigmento natural do lúpulo. O teor alcoólico manteve-se entre 1,2 e 1,3 % v/v, classificando as amostras como kombuchas alcoólicas, embora com valores inferiores aos de bebidas fermentadas tradicionais, como a cerveja e o vinho.

O teor de compostos fenólicos totais não apresentou diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos, porém as kombuchas com lúpulo picado apresentaram valores superiores, indicando extração mais eficiente de compostos bioativos pela maior área de contato. O teor de flavonoides foi maior nas amostras com lúpulo, confirmando a contribuição do vegetal para o enriquecimento funcional da bebida. A capacidade antioxidante avaliada pelos métodos CUPRAC, DPPH e ABTS não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos, porém os valores foram superiores aos relatados em estudos com kombuchas tradicionais, evidenciando o potencial do lúpulo como fonte complementar de antioxidantes. O amargor aumentou de forma expressiva nas amostras com lúpulo, principalmente naquelas com a amostra picada e submetidas à maior duração de maceração, comportamento atribuído à liberação de α -ácidos.

Dessa forma, conclui-se que a adição de lúpulo, particularmente na forma picada e com maior tempo de maceração, contribui para o aprimoramento funcional da kombucha. Os resultados obtidos reforçam o potencial tecnológico e comercial dessa bebida no mercado de produtos fermentados, abrindo perspectivas para novas pesquisas sobre estabilidade, aceitabilidade sensorial e padronização do processo de saborização com lúpulo.

REFERÊNCIAS

- ALMAGUER, C.; SCHÖNBERGER, C.; GASTL, M.; ARENDT, E. K.; BECKER, T. *Humulus lupulus* – a story that begs to be told. A review. **Journal of the Institute of Brewing**, Londres, v. 120, n. 4, p. 289–314, set. 2014. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/jib.160>. Acesso em: 19 jul. 2025.
- ALMEIDA, A. R. et al. Bioactive compounds and antioxidant activities of Brazilian hop (*Humulus lupulus* L.) extracts. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 55, n. 1, p. 340–347, 2020.
- ANTOLAK, H.; PIECHOTA, D.; KUCHARSKA, A. Kombucha Tea—A Double Power of Bioactive Compounds from Tea and Symbiotic Culture of Bacteria and Yeasts (SCOBY). **Antioxidants**, v. 10, n. 10, p. 1541, 2021.
- ANVISA – AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução RDC nº 267, de 22 de setembro de 2005. Aprova o Regulamento Técnico de Espécies Vegetais para o Preparo de Chás. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 22 set. 2005. Seção 1. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2005/res0267_22_09_2005.html. Acesso em: 24 jul. 2025.
- AOAC. *Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. 16th ed. Arlington: AOAC International, 1995. Method 942.15.
- APAK, R. et al. Cupric Ion Reducing Antioxidant Capacity Assay for Antioxidants in Human Serum and for Hydroxyl Radical Scavengers. **Methods in Molecular Biology**, [S. l.], p. 215–239, 30 set. 2009. Humana Press. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1007/978-1-60761-411-1_15. Acesso em: 15 out. 2025.
- BAMFORTH, C. pH in Brewing: An Overview. **The Modern Brewhouse**, 2016. Disponível em: <https://themodernbrewhouse.com/wp-content/uploads/2016/11/BAMFORTH-pH-in-brewing.pdf>. Acesso em: 11 out. 2025.
- BOUCHEZ, A. et al. Acetic Acid Bacteria in Sour Beer Production: Friend or Foe? **Frontiers in Microbiology**, v. 13, p. 957167, 2022. DOI: 10.3389/fmicb.2022.957167. Acesso em: 10 out. 2025.
- BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT – Food Science and Technology**, [S. l.], v. 28, n. 1, p. 25–30, 1995. Elsevier BV. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/s0023-6438\(95\)80008-5](http://dx.doi.org/10.1016/s0023-6438(95)80008-5). Acesso em: 15 out. 2025.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 41, de 17 de setembro de 2019. *Diário Oficial da União*, seção 1, Brasília, DF, 18 set. 2019. Disponível em:

<https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=18/09/2019&jornal=515&pagina=13&totalArquivos=76>. Acesso em: 20 jul. 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Lúpulo no Brasil: perspectivas e realidades*. Brasília, DF: MAPA, 2022. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/arquivos/livro_lupulo-no-brasil-perspectivas-e-realidade_baixa_semmarcacao.pdf. Acesso em: 7 set. 2025.

CHEN, C.; LIU, B. Y. Changes in major components of tea fungus metabolites during prolonged fermentation. **Journal of Applied Microbiology**, v. 89, n. 5, p. 834–839, 2000. Acesso em: 2 nov. 2025.

CHEN, G. L. et al. Phenolic and Volatile Compounds in the Production of Fruit Wines and Beverages. **ACS Omega**, v. 5, n. 45, p. 29369–29379, 2020. Acesso em: 10 out. 2025.

CHAN, E. W. C.; LIM, Y. Y.; CHEW, Y. L. Antioxidant activity of *Camellia sinensis* leaves and tea from a lowland plantation in Malaysia. **Food Chemistry**, v. 102, n. 4, p. 1214–1222, 2007.

COELHO, R. M. D. et al. Kombucha: Review. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, v. 22, p. 100272, 2020.

COGNITIVE MARKET RESEARCH. *Kombucha Market Report 2025*. Cognitive Market Research, 2025. Disponível em: <https://www.cognitivemarketresearch.com/kombucha-market-report>. Acesso em: 27 ago. 2025.

CRISPINO, A. C. S.; SILVA, L. F.; LIMA, M. F. T.; OLIVEIRA, J. A. R. de. Development of flavored kombuchas with Amazonian fruits: bioactive compounds evaluation and antioxidant capacity. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 96(Suppl. 1): e20230356, 2024.

CRUM, H.; LAGORY, A. *The Big Book of Kombucha: brewing, flavoring, and enjoying the health benefits of fermented tea*. Illustrated. Hachette UK, 2016. Storey Publishing. ISBN 978-1612124339. 400 p. Acesso em: 16 out. 2025.

DADA, A. P. et al. Caracterização de kombucha elaborado a partir de chá verde. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 15, e576101522992, 2021. Disponível em: <file:///C:/Users/SAMSUNG/Downloads/22992-Article-280817-1-10-20211203.pdf>. Acesso em: 24 jul. 2025.

DITRYCH, M. et al. Phenolic profile and antioxidant capacity of kombucha beverages enriched with fruits and herbs. **LWT – Food Science and Technology**, v. 140, p. 110764, 2021.

DITRYCH, M. et al. Kombucha fortified with Cascade hops (*Humulus lupulus* L.): enhanced antioxidative and sensory properties. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 109, n. 1, p. 27, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00253-024-13401-1>. Acesso em: 20 jul. 2025.

DURELLO, R. S.; SILVA, L. M.; BOGUSZ JR., S. Química do lúpulo. **Química Nova**, São Paulo, v. 42, n. 8, p. 900–919, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170412>. Acesso em: 20 jul. 2025.

EMBRAPA. Alimentos e bebidas fermentados e saúde: uma perspectiva contemporânea. Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2022. (Documentos, 197). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1143385/1/DOC-197.pdf>. Acesso em: 23 set. 2025.

FIRMINO, L. A.; MIRANDA, M. P. S. Polifenóis totais e flavonoides em amostras de chá verde (*Camellia sinensis* L.) de diferentes marcas comercializadas na cidade de Salvador-BA. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 17, n. 4, p. 679–684, 2015. DOI: 10.1590/1983-084X/14_109. Acesso em: 17 set. 2025.

GONÇALVES, V. de O.; LIMA, A. A. de; NUNES, E. P. O consumo de kombucha e seus benefícios à saúde: uma revisão narrativa. **Revista da Associação Brasileira de Nutrição – RASBRAN**, v. 14, n. 1, p. 49–57, 2023. Disponível em: <https://www.rasbran.com.br/rasbran/article/view/2700/426>. Acesso em: 20 jul. 2025.

GRAND VIEW RESEARCH. Kombucha Market Size, Share & Trends Analysis Report by Flavor (Original, Flavored), by Distribution Channel (Offline, Online), by Region, and Segment Forecasts, 2025–2030. San Francisco: Grand View Research, 2024. Disponível em: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/kombucha-market>. Acesso em: 27 ago. 2025.

GREENWALT, C. J.; STEINKRAUS, K. H.; LEDFORD, R. A. Kombucha, the fermented tea: microbiology, composition, and claimed health effects. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 3, n. 4, p. 41–46, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12073>. Acesso em: 13 jul. 2025.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. 4. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

JAYABALAN, R. et al. A review on kombucha tea—microbiology, composition, fermentation, beneficial effects, toxicity, and tea fungus. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 13, n. 4, p. 538–550, 2014.

KARABÍN, M. et al. Biologically active compounds from hops and prospects for their use. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 15, p. 542–567, 2016. Acesso em: 3 nov. 2025.

KONTEK, B.; JĘDRZEJEK, D.; OLESZEK, W.; OLAS, B. Antiradical and antioxidant activity *in vitro* of hops-derived extracts rich in bitter acids and xanthohumol. **Industrial Crops and Products**, v. 161, p. 113208, 2021. DOI: 10.1016/j.indcrop.2020.113208. Acesso em: 17 jul. 2025.

KORPELAINEN, H.; PIETILÄINEN, M. Hop (*Humulus lupulus* L.): Traditional and present use, and future potential. **Economic Botany**, v. 75, n. 3, p. 302–322, 2021.

LIU, C. H. et al. Kombucha: A review of production, composition, quality, and marketing. **Fermentation**, v. 9, n. 5, p. 472, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2311-5637/9/5/472>. Acesso em: 13 jul. 2025.

LUVISON, A.; DANGUI, A. Z.; LIMA, K. P. de. Desenvolvimento de kombucha de alecrim (*Rosmarinus officinalis* L.) saborizado com manga (*Mangifera indica* L.). **Revista Brasileira**

de **Tecnologia Agroindustrial**, Curitiba, v. 17, n. 1, p. 4057–4079, 2023. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rbta/article/view/15976>. Acesso em: 17 set. 2025.

LY, B. C. K. et al. Research Techniques Made Simple: cutaneous colorimetry. **Journal of Investigative Dermatology**, [S. l.], v. 140, n. 1, p. 3–12, jan. 2020. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jid.2019.11.003>. Acesso em: 10 out. 2025.

MARTINS, H. F. Desenvolvimento e caracterização de bebida probiótica a partir de kombucha acrescida de prebióticos. 2019. 144 f. Tese (Doutorado em Biotecnologia) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2019. Disponível em: http://tede2.uefs.br:8080/bitstream/tede/1814/2/Hevelynn_Franco_Martins_Tese.pdf. Acesso em: 17 set. 2025.

MAY, A. et al. Kombucha: a novel model system for cooperation and conflict in a complex multi-species microbial ecosystem. **PeerJ**, v. 7, p. e7565, 2019.

NEVE, R. A. *Hops*. 1. ed. Londres: Springer, 1991. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/502871871/Hops-Neve>. Acesso em: 19 jul. 2025.

OIV – ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DA VINHA E DO VINHO. Compendium of international methods of wine and must analysis. Paris: OIV, 2012.

SANTOS, C. M. dos et al. Kombucha: composição, produção e aspectos funcionais. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 56, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bjps/a/Tw8LRmk9FHTBrKsDvYWjypc/?lang=en>. Acesso em: 13 jul. 2025.

SCHMICK, M. J. Dry Hopping and its Effect on Beer pH. University of Wisconsin–Stout, 2014. Disponível em: <https://minds.wisconsin.edu/handle/1793/71146>. Acesso em: 11 out. 2025.

SILVA, G. S. de L. Elaboração e caracterização físico-química de bebida fermentada à base de chá preto (kombucha). 2016. 67 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016. Disponível em: https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/31905/1/TCC_Gabriella%20Saraiva%20de%20Lira%20Silva.pdf. Acesso em: 17 set. 2025.

SILVA, T. R. da. Desenvolvimento de kombucha obtida a partir de chá verde saborizado com polpa de maracujá: processo artesanal e avaliação sensorial. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Alimentos) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Campus Salgueiro, Salgueiro, 2021.

SIMÕES, G. D.; RODRIGUES, R. da S. Kombucha: conhecimento e consumo. **Revista da Associação Brasileira de Nutrição – RASBRAN**, [S. l.], v. 14, n. 1, p. 1–18, 2023. DOI: 10.47320/rasbran.2023.2700. Disponível em: <https://www.rasbran.com.br/rasbran/article/view/2700>. Acesso em: 16 out. 2025.

SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v. 16, n. 3, p. 144–158, 1965.

SOARES, L. L. et al. Spectrophotometric quantification of flavonoids in herbal material, crude extract, and fractions from leaves of *Eugenia uniflora* Linn. **Pharmacognosy Research**, [S. l.], v. 9, n. 3, p. 253, 2017. Disponível em: http://dx.doi.org/10.4103/pr.pr_143_16. Acesso em: 15 out. 2025.

SOUZA, A. C. M.; MOHAMED, M. K. Kinetic Modeling of Corn Fermentation with *Saccharomyces cerevisiae* Using a Variable Temperature Strategy. **Bioengineering**, v. 5, n. 2, p. 34, 2018. DOI: 10.3390/bioengineering5020034. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6027194/pdf/bioengineering-05-00034.pdf>. Acesso em: 11 out. 2025.

SPOSITO, M. B. et al. A cultura do lúpulo. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2019. Disponível em: <https://www.esalq.usp.br/biblioteca/sites/default/files/publicacoes-a-venda/pdf/SPR68.pdf>. Acesso em: 7 set. 2025.

WATAWANA, M. I. et al. Health, wellness, and safety aspects of the consumption of kombucha. **Journal of Chemistry**, v. 2015, p. 1–11, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2015/591869>. Acesso em: 24 jul. 2025.

ZHANG, J. et al. Phenolic profiles and antioxidant activities of kombucha beverages from different substrates. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 2020. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31955755/>. Acesso em: 13 jul. 2025.