



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

ANTONIA YVINA SILVA DOS SANTOS

**RESPOSTAS METABÓLICAS DA FERMENTAÇÃO DO CONSÓRCIO DE
KOMBUCHA AO PROCESSAMENTO ULTRASSÔNICO**

FORTALEZA

2025

ANTONIA YVINA SILVA DOS SANTOS

RESPOSTAS METABÓLICAS DA FERMENTAÇÃO DO CONSÓRCIO DE
KOMBUCHA AO PROCESSAMENTO ULTRASSÔNICO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Graduação em Ciência Biológicas do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Ciências Biológicas.

Orientadora: Prof. Dra. Sueli Rodrigues

Coorientadora: Dra. Thatyane Vidal
Fonteles

FORTALEZA

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S233r Santos, Antonia Yvina Silva dos.

Respostas metabólicas da fermentação do consórcio de Kombucha ao processamento ultrassônico / Antonia Yvina Silva dos Santos. – 2025.

48 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Curso de Ciências Biológicas, Fortaleza, 2025.

Orientação: Profa. Dra. Sueli Rodrigues.

Coorientação: Profa. Dra. Thatyane Vidal Fonteles.

1. Kombucha. 2. Ultrassom de alta intensidade. 3. SCOBY. 4. Atividade antioxidante. 5. Ácidos orgânicos. I. Título.

CDD 570

ANTONIA YVINA SILVA DOS SANTOS

RESPOSTAS METABÓLICAS DA FERMENTAÇÃO DO CONSÓRCIO DE
KOMBUCHA AO PROCESSAMENTO ULTRASSÔNICO

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Curso de Graduação em
Ciência Biológica do Centro de Ciências da
Universidade Federal do Ceará, como
requisito parcial à obtenção do grau de
Bacharel em Ciências Biológicas

Aprovado em: 11/07/2015

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Sueli Rodrigues (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dra. Thatyane Vidal Fonteles (Coorientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dra. Maria de Fátima Dantas Linhares
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dra. Ana Karoline Ferreira Leite
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

À minha mãe e irmã.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser meu refúgio e por todo Seu amor e Misericórdia. A Nossa Senhora, por seu amor e colo de Mãe.

Agradeço a toda minha família por todo apoio e incentivo. À minha mãe, Silvia, por todo seu amor e dedicação, por nunca medir esforços para me ajudar nesses anos de caminhada e por nunca me deixar desistir.

À minha orientadora, Profa. Dra. Sueli Rodrigues, pela oportunidade de compor seu grupo de pesquisa e por ter aceitado orientar esse trabalho. Agradeço a dedicação e conhecimentos compartilhados.

À Dra. Thatyane Vidal Fonteles por coorientar esse trabalho e pela dedicação e compromisso durante esses últimos anos. Agradeço por todos os conselhos, ensinamentos e sugestões.

Aos membros participantes da banca examinadora, pelo tempo, sugestões e colaboração.

À toda equipe do Labiotec pela acolhida e gentileza durante esses anos. Assim como, por tantos ensinamentos e momentos compartilhados.

Aos meus colegas de turma do curso a quem tive a oportunidade de conviver e aprender durante esses anos. Em especial, Bianca Sofia e Karla Laryssa por todos os momentos de dificuldades e alegrias.

À minha amiga, Edna Fernandes, pela amizade e por estar comigo desde o início da graduação. Sua presença sempre foi fundamental.

Ao curso e Departamento de Ciências Biológicas, assim como todo seu corpo docente por todo empenho.

À Universidade Federal do Ceará por me proporcionar essa conquista.

RESUMO

Kombucha é uma bebida fermentada de origem chinesa, tradicionalmente preparada a partir de chá verde e de um consórcio simbiótico de bactérias e leveduras (SCOBY). É amplamente conhecida por seus benefícios à saúde, sua composição é rica em compostos fenólicos, antioxidantes e ácidos orgânicos. Neste estudo, foram avaliados os efeitos do processamento ultrassônico sobre as respostas metabólicas durante a fermentação da kombucha soborizada com polpa de manga. Foram preparadas três kombuchas: Controle, US7 e US15. Obtidas pela infusão de folhas secas de *Camelia sinenses* em água quente com adição de 3% de sacarose (p/v), 20% de chá previamente fermentado (v/v) e 1% de SCOBY (p/v). A amostra Controle não foi submetida a tratamento com ultrassom, enquanto as amostras US7 e US15 foram submetidas a processamento ultrassônico a 19 kHz e intensidade de energia de 113 W/cm² durante 7 minutos e 15 minutos, respectivamente. A primeira fermentação (F1) foi conduzida durante 9 dias e após a retirada do consórcio simbiótico uma segunda fermentação (F2) foi iniciada pela adição de suco de manga e com duração de 48 horas. Os resultados revelaram diferenças na cinética de consumo de açúcar nas kombuchas processadas. Durante a primeira fermentação (F1), o consumo de sacarose foi maior na kombucha Controle em comparação com as amostras tratadas com ultrassom. Já durante a segunda fermentação (F2), o processamento por ultrassom aumentou as taxas de consumo de sacarose à medida que o tempo de processamento no ultrassom aumentava, a amostra US15 aumentou o consumo de sacarose em 19%. O ultrassom também promoveu uma maior produção de ácidos glucônico, propiônico e isobutírico nas kombuchas US7 e US15. A concentração de ácido glucônico aumentou continuamente até um máximo de 6,74 g/L no 12º dia da F2 na kombucha US15, em comparação com 4,17 g/L na amostra não tratada. Houve também mudanças notáveis no perfil de compostos bioativos, a atividade antioxidante foi maior nas amostras processadas assim como o teor de compostos fenólicos e de vitamina C. O teor de etanol permaneceu abaixo de 0,5 g/L para as kombuchas processadas, atingindo o máximo de 0,46 g/L para a kombucha US7 e 0,25 g/L na US15 após 28 dias de armazenamento refrigerado. O processamento ultrassônico, quando combinado à fermentação, pode causar atenuação da microbiota e modificações nas fibras de celulose, modulando a atividade metabólica do consórcio da kombucha. Os resultados deste estudo auxiliam no desenvolvimento de bebidas

com maior potencial bioativo e contribuem para a otimização do processo de fermentação da kombucha.

Palavras-chaves: kombucha; ultrassom de alta intensidade; SCOBY; atividade antioxidante; ácidos orgânicos

ABSTRACT

Kombucha is a fermented beverage of Chinese origin, traditionally prepared from green tea and a symbiotic consortium of bacteria and yeasts (SCOBY). It is widely known for its health benefits, as its composition is rich in phenolic compounds, antioxidants, and organic acids. In this study, the effects of ultrasonic processing on metabolic responses during the fermentation of mango-flavored kombucha were evaluated. Three kombucha samples were prepared: Control, US7, and US15. They were obtained by infusing dried *Camellia sinensis* leaves in hot water, followed by the addition of 3% sucrose (w/v), 20% previously fermented tea (v/v), and 1% SCOBY (w/v). The Control sample was not subjected to ultrasound treatment, while the US7 and US15 samples underwent ultrasonic processing at 19 kHz with an energy intensity of 113 W/cm² for 7 and 15 minutes, respectively. The first fermentation (F1) was carried out over 9 days. After removing the symbiotic consortium, a second fermentation (F2) was initiated by adding mango juice and continued for 48 hours. The results revealed significant differences in sugar consumption kinetics among the processed kombuchas. During F1, sucrose consumption was higher in the Control sample compared to the ultrasonically treated ones. However, during F2, ultrasonic processing increased sucrose consumption rates in proportion to the ultrasound exposure time, with the US15 sample showing a 19% increase in sucrose consumption. Ultrasound also promoted greater production of gluconic, propionic, and isobutyric acids in the US7 and US15 kombuchas. Gluconic acid concentration increased continuously, reaching a maximum of 6.74 g/L on the 12th day of F2 in the US15 sample, compared to 4.17 g/L in the untreated sample. Notable changes were also observed in the bioactive compound profile: the processed samples showed higher antioxidant activity, as well as increased levels of phenolic compounds and vitamin C. Ethanol content remained below 0.5 g/L in the processed kombuchas, reaching a maximum of 0.46 g/L in US7 and 0.25 g/L in US15 after 28 days of refrigerated storage. Ultrasonic processing, when combined with fermentation, can attenuate the microbiota and modify cellulose fibers, thereby modulating the metabolic activity of the kombucha consortium. The findings of this study contribute to the development of beverages with greater bioactive potential and support the optimization of the kombucha fermentation process.

Keywords: kombucha, SCOBY, high-intensity ultrasound; antioxidant activity; organic acids.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Atividade metabólica na fermentação da kombucha.	19
Figura 2 - Fenômeno de cavitação acústica.	20
Figura 3 - Esquema de produção da kombucha.	23
Figura 4 - Perfis de açúcar da fermentação da kombucha com e sem processamento ultrassônico durante 12 dias de incubação a 28 °C: (a) Amostra Controle; (b) US7 – processamento de 7 minutos (113 W/cm ²) e (c) US15 – processamento de 15 minutos (113 W/cm ²). Os resultados foram expressos como valores médios com desvio padrão (n=3).	27
Figura 5 - Ácido acético (a); ácido lático (b); ácido glucônico (c); ácido propiônico (d); ácido isobutírico (e) e concentração de etanol (f) durante a fermentação da kombucha durante 12 dias de incubação a 28 °C. Controle: kombucha não processada; US7 – processadas por ultrassom durante 7 minutos a 113 W/cm ² e US15 – processamento por ultrassom durante 7 minutos a 113 W/cm ² . Os resultados foram expressos com valores médios com desvio padrão (n=3).	30
Figura 6 - Comparação da composição de ácidos orgânicos (%) (a) e concentração de etanol (g/L) (b) durante 28 dias de armazenamento refrigerado a 4 °C. Controle: kombucha não processada; US7 – processamento por ultrassom de 7 minutos a 113 W/cm ² ; US15 – processamento por ultrassom de 15 minutos a 113 W/cm ² . Os resultados foram expressos como valores médios com desvio padrão (n=3).	34
Figura 7 - Atividade antioxidante, vitamina C e compostos fenólicos das kombuchas com e sem processamento incubadas durante 12 dias a 28 °C.	35
Figura 8 - Imagens do SCOBY obtidas por Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV). (a) amostras não processadas (Controle) 5000 x; (b) amostras não processadas (Controle) 10000 x; (c) amostra processada US7 5000 x; (d) amostra processada US7 10000 x; (e) amostra US15 5000 x; (f) amostra processada US15 10000 x.	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- pH e sólidos solúveis totais das kombuchas durante a primeira fermentação (F1) e segunda fermentação (F2).	33
Tabela 2 - Coeficiente de correlação de Pearson (R) entre a capacidade antioxidante e os compostos antioxidantes da kombucha sonicada e aromatizada com polpa de manga.....	36

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS.....	15
2.1	Objetivo geral	15
2.2	Objetivos específicos.....	15
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1	Alimentos e bebidas funcionais	16
3.2	Kombucha.....	17
3.3	Consórcio microbiano de bactérias e leveduras (SCOBY).....	18
3.4	Ultrassom e sua aplicação no processo fermentativo.....	19
4	MATERIAL E MÉTODOS	22
4.1	Preparação do chá fermentado	22
4.2	Processamento ultrassônico da kombucha	22
4.3	Saborização da kombucha	23
4.4	Análises físico-químicas.....	24
4.4.1	<i>Potencial hidrogeniônico (pH) e sólidos solúveis totais.....</i>	24
4.4.2	<i>Determinação de açúcares, ácidos orgânicos e etanol.....</i>	24
4.2.3	<i>Compostos fenólicos totais</i>	24
4.2.4	<i>Atividade antioxidante</i>	25
4.5	Análise microscópica.....	25
4.3.1	<i>Microscopia de luz</i>	25
4.3.2	<i>Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....</i>	26
4.6	Análise estatística	26
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
5.1	Efeitos do ultrassom nos perfis de açúcares e ácidos orgânicos durante a fermentação da kombucha	27
5.2	Compostos fenólicos totais, ácido ascórbico e atividade antioxidante	35
5.3	Estrutura morfológica do SCOBY	36
6	CONCLUSÃO	38
	REFERÊNCIAS.....	39

1 INTRODUÇÃO

Kombucha é uma bebida doce, fermentada de origem chinesa, tipicamente produzida a base de chá verde e/ou chá preto. O consumo da kombucha tem sido relacionado a inúmeros benefícios a saúde, incluindo atividade probiótica, antioxidante, antimicrobiana e anti-inflamatória (Zhao et al., 2025). Os principais compostos com propriedades bioativas presentes na bebida são os compostos fenólicos, com atividade antioxidante, ácido glucônico, com propriedade desintoxicante e ácido lático com ação antimicrobiana (Hou et al., 2021; Mohd Ariff et al., 2023).

A kombucha é produzida ao longo de 7 a 10 dias, pela fermentação de chá com adição de açúcar, utilizando a associação de bactérias e leveduras inseridas em uma rede de celulose, chamada SCOBY (*Symbiotic Colony of Bacteria and Yeasts*). A kombucha é rica em ácidos orgânicos e dióxido de carbono, o que confere a bebida um sabor levemente ácido e levemente carbonatado (Leal et al., 2018). Durante o estágio inicial da fermentação, leveduras convertem o açúcar em etanol e CO₂. Posteriormente, bactérias convertem glicose e etanol em ácidos orgânicos.

A composição química da kombucha depende do tempo de fermentação, do substrato utilizado, da concentração de açúcar e da temperatura. Diversos substratos podem ser utilizados para a produção da kombucha, incluindo o chá verde (*Camellia sinensis*), que é rico em flavonoides, vitaminas e outros compostos. A sacarose é a fonte de carbono mais popular na fermentação da kombucha, sendo geralmente adicionado de 5% a 15% (p/v) (Wang et al., 2022). A otimização dos parâmetros é crucial para oferecer uma bebida que atenda à demanda dos consumidores por uma bebida saudável.

A utilização de tecnologias não-térmicas, como ultrassom, na indústria alimentícia vem despertando o interesse devido à procura por alimentos com alta qualidade que preservem suas características iniciais. O objetivo do processamento ultrassônico para a extração de compostos bioativos é substituir tecnologias tradicionais de extração devido a sua baixa taxa de transferência de massas, baixo custo e eficiência (Wang et al., 2023). A fermentação aliada ao ultrassom estimula o crescimento, a proliferação e atividade metabólica de bactérias e leveduras, melhorando a eficiência do processo, o rendimento e a qualidade dos produtos (Umego et al., 2021).

Atualmente, muitos estudos vêm explorando novas alternativas de substratos e processamento, a fim de aprimorar sabor, aroma e propriedades funcionais da kombucha (Baek et al., 2025; De Fátima D. Linhares et al., 2025; Ditrych et al., 2025). A saborização através de sucos de frutas, por exemplo, é uma alternativa de ampliar e diversificar as características bioativas e sensoriais da bebida (Silva Júnior et al., 2021). A manga (*Mangifera indica* L.) é uma fruta tropical, conhecida por seu sabor e por ser rica em vitaminas A e C e potássio, se tornando uma alternativa interessante para a saborização da kombucha (Ramírez-Brewer; Quintana-Martinez; García-Zapateiro, 2025).

Embora algumas pesquisas já tenham analisado o processo de fermentação auxiliado pelo ultrassom (Hao et al., 2024; Nikolić et al., 2010; Shokri et al., 2021), ainda há necessidade de avaliar seus efeitos em alimentos como a kombucha, que possui uma variedade de microrganismo e compostos bioativos. Dessa forma esse estudo busca analisar os efeitos do ultrassom sobre o consórcio simbiótico e composição química da kombucha.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a influência do processamento por ultrassom na fermentação e composição da kombucha tradicional saborizada com suco de manga.

2.2 Objetivos específicos

- Analisar as mudanças morfológicas do SCOBY ao processamento ultrassônico;
- Avaliar o pH, a produção de ácidos orgânicos, etanol e consumo de açúcares durante a fermentação;
- Verificar a concentração dos compostos fenólicos totais durante a fermentação;
- Avaliar a atividade antioxidante da kombucha durante a fermentação.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Alimentos e bebidas funcionais

Nas últimas décadas o conceito de alimento tem evoluído de forma significativa. Não apenas mais um sinônimo de fonte de energia, mas também um instrumento de prevenção de doenças e promoção de saúde física e mental (Vignesh et al., 2024a; Ye; Georges; Selomulya, 2018).

Nesse contexto, os alimentos e bebidas funcionais têm despertado interesse global por seu valor nutricional e pela presença de constituintes essenciais para processos fisiológicos (Essa et al., 2023). O termo “alimento funcional” foi introduzido pela primeira vez no Japão, na década de 1980, e desde então se espalhou pelo mundo. No entanto, apesar de já possuir regulamentação em diversos países, as definições e significados exatos desse termo ainda não estão claros (Granato et al., 2020; Ye; Georges; Selomulya, 2018).

Alimentos e bebidas funcionais são promovidos como produtos que proporcionam benefícios a saúde, contribuindo para o bem-estar e ajudando a reduzir o risco de doenças (Barauskaite et al., 2018). Entre os principais tipos de alimentos funcionais, destacam-se os probióticos, prebióticos e simbióticos (Damián et al., 2022).

Esses produtos possuem uma composição diversificada de compostos bioativos como vitaminas, minerais, ácidos graxos essenciais e antioxidantes, no qual, lhes conferem propriedades funcionais que vão além do seu valor nutritivo, diferenciando-os de muitos alimentos convencionais (Vignesh et al., 2024b).

Alimentos fermentados são cada vez mais reconhecidos por suas propriedades funcionais. Propriedades que vão além da preservação e de atributos sensoriais, e que conferem a esses alimentos um potencial de promoção da saúde (Marco et al., 2017).

Alimentos funcionais são alimentos consumidos no dia a dia, devem possuir componentes naturais e simples que atendam às mudanças de preferências dos consumidores (Jayabalan; Waisundara, 2019). A maioria das fermentações tradicionais são conhecidas por serem bastantes simples, pois geralmente requerem poucos ingredientes com preparo e processamento mínimo (Marco et al., 2017)

Atualmente, o setor de bebidas funcionais é um dos seguimentos que mais crescem na indústria de bebida. Nesse contexto, a kombucha, uma bebida fermentada, ganhou popularidade nos últimos anos devido aos seus benefícios a saúde (Jayabalan; Waisundara, 2019). A bebida já consumida há milhares de anos no Oriente, se tornou popular no mundo pelo sabor, aroma e facilidade de preparo.

3.2 Kombucha

Kombucha é uma bebida fermentada com sabor levemente doce e ácido, tipicamente produzida a partir de chá verde ou chá preto (*Camellia sinensis*). A kombucha é originária do nordeste da China e da Coreia, mas logo foi introduzida em países como Japão e Rússia, por onde se espalhou para toda a Europa e norte da África (Wang et al., 2022). Atualmente tem produção mundial e é comercialmente produzida com diferentes sabores.

A kombucha é produzida pela fermentação de chá adoçado com uma cultura simbiótica de bactérias e leveduras inseridas em uma rede de celulose, que formam um biofilme chamado SCOBY. Em um período de 7 a 10 dias, esse consórcio simbiótico é capaz de converter o chá açucarado em uma bebida levemente carbonatada, levemente ácida e refrescante (Jayabalan; Waisundara, 2019).

Durante a fermentação, esse biofilme rico em microrganismos flutua na superfície, formando uma camada espessa na interface líquido-ar. Onde surgem condições favoráveis para interações microbianas e metabolismo cooperativo (Savary et al., 2021). No início da fermentação, leveduras decompõem a sacarose em glicose e frutose, produzindo em seguida dióxido de carbono e etanol. Enquanto, bactérias acéticas transformam o etanol em ácido acético. Além do ácido acético, outros ácidos também têm produção notável, como o glucônico, o láctico, o málico, o cítrico e o tartárico (Coelho et al., 2020; Neffe-Skocińska et al., 2017).

Composição química e características sensoriais dependem das condições de fermentação, como tempo, temperatura, pH, concentração e tipo de substrato utilizado (Mendonça et al., 2023). Alterações nesses fatores podem afetar o produto. A kombucha, contém uma grande variedade de compostos químicos, incluindo os polifenóis, açúcares, etanol, aminoácidos, minerais, vitaminas e enzimas hidrolíticas (Kapp; Sumner, 2019).

Muitos dos compostos da kombucha derivam principalmente do chá (*C. sinensis*), incluindo os minerais (potássio, manganês), vitaminas (B, C e E), assim como outros compostos presentes no substrato (Bortolomedi; Paglarini; Brod, 2022). Com destaque para os compostos fenólicos, que representam o principal grupo de antioxidantes presentes na kombucha, e no qual são responsáveis por alguns dos benefícios da bebida à saúde (Cardoso et al., 2020).

3.3 Consórcio microbiano de bactérias e leveduras (SCOBY)

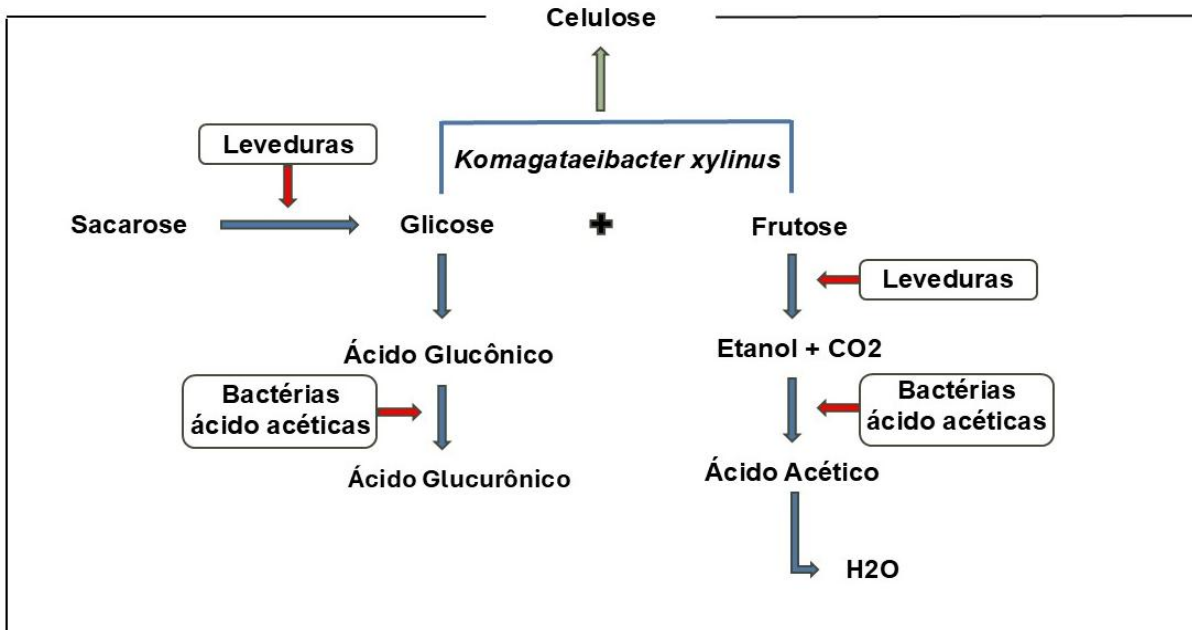
A comunidade microbiana do SCOBY é diversa, podendo ser amplamente selecionada por fatores ambientais de onde a fermentação está sendo conduzida (Kahraman-Ilikkan, 2023; Marsh et al., 2014). Origem, clima, localização geográfica e meio utilizado na fermentação, são alguns dos fatores que podem influenciar sua composição (Kahraman-Ilikkan, 2023; Reva et al., 2015). Porém, a microbiota característica da kombucha é composta principalmente por bactérias acéticas, leveduras e em menor grau, bactérias ácido lácticas (Villarreal-Soto et al., 2020).

Entre as bactérias presentes na kombucha, predominam as produtoras de ácido acético e ácido glucônico, pertencentes aos gêneros *Acetobacter* e *Gluconobacter*. *Komagataeibacter xylinus* (anteriormente *Acetobacter xylinum*) é capaz de produzir celulose e formar biofilmes a partir da glicose e da frutose, além disso pode estar envolvida no sabor doce e frutado da kombucha (Meng et al., 2024). *Gluconobacter* está envolvida na produção de ácido D-sacárico-1,4-lactona (DSL), um componente derivado do ácido D-glucárico, responsável por prevenir a formação de compostos tóxicos no fígado (Jayabalan et al., 2014). Bactérias ácido lácticas, como *Leuconostoc*, *Bifidobacterium*, *Enterococcus* e *Lactobacillus* também podem ser encontradas, porém em menor ocorrência (Coton et al., 2017).

Uma variedade de espécies de leveduras pode ser encontrada na kombucha. Alguns estudos indicam a presença de gêneros como *Zygosaccharomyces*, *Saccharomyces*, *Brettanomyces* e *Starmerella* (Gaggia et al., 2019; Harrison; Curtin, 2021; Villarreal-Soto et al., 2020). Segundo Watawana et al. (2015), *Zygosaccharomyces* é o gênero de bactérias mais abundantes no SCOBY, com uma prevalência de até 80%. As leveduras têm um papel crucial na formação de etanol e CO₂, dois dos principais produtos da fermentação da kombucha (Savary et

al., 2021). A Figura 1 esquematiza as principais atividades metabólicas durante a fermentação da kombucha.

Figura 1 - Atividade metabólica na fermentação da kombucha.



Fonte: Adaptado de Coelho *et al* (2020)

Ao longo da fermentação, o crescimento do consórcio microbiano induz a formação de um biofilme mais expresso devido ao aumento de camadas na superfície. Inicialmente, bactérias que sintetizam a celulose ficam na superfície do SCOBY, permitindo o suprimento de oxigênio suficiente para seu desenvolvimento. Enquanto leveduras se alojam na parte inferior do biofilme, protegidas do oxigênio e realizando a fermentação anaeróbica (Coelho *et al.*, 2020; Villarreal-Soto *et al.*, 2018).

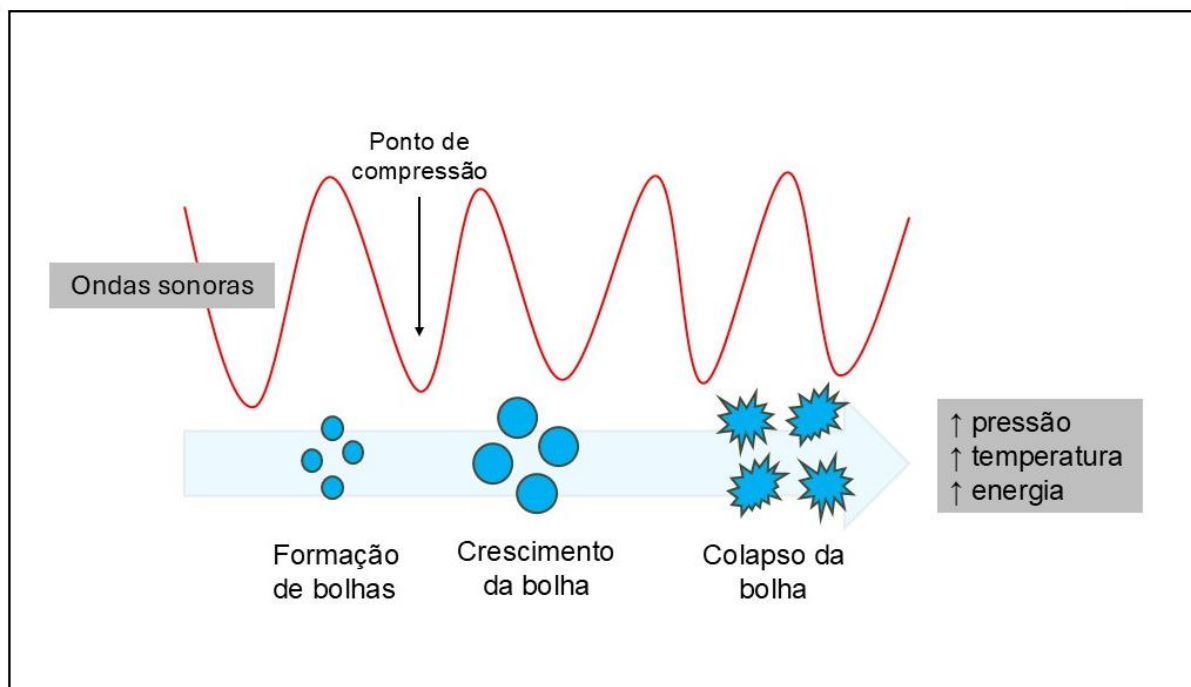
3.4 Ultrassom e sua aplicação no processo fermentativo

O ultrassom é uma tecnologia cada vez mais usada na indústria alimentícia, sendo aplicada para aprimorar vários processos e se tornando extremamente promissora no setor de processamento (Barros *et al.*, 2024; Decker *et al.*, 2024; Guimarães *et al.*, 2021). Essa tecnologia envolve ondas sonoras de alta frequência que agitam partículas de uma solução.

As ondas sonoras, geralmente acima da faixa de audição humana (maiores que 20 kHz), induzem a cavitação acústica. Quando as ondas ultrassônicas são propagadas através de meios líquidos, geram ciclos alternados de compressão e descompressão, o que produz bolhas microscópicas de gás e vapor no líquido

(Bhargava et al., 2021). Durante a descompressão essas bolhas tendem a crescer, e então colapsam violentamente na fase de compressão, o que produz uma grande quantidade de energia. Esse processo de geração, expansão e implosão de bolhas

Figura 2 - Fenômeno de cavitação acústica.



microscópicas é chamando de cavitação (Fig. 2) (Younis et al., 2025).

Fonte: adaptado de Guimarães *et al* (2019)

O ultrassom é considerado uma tecnologia promissora na indústria de alimentos por ser econômica, sustentável, de fácil operação e instalação (Carneiro; Pimentel, 2025). Atualmente, seu emprego nesse setor ressalta seu potencial para aprimorar processos biotecnológicos, como fermentação, extração, biocatálise e descarte de resíduos (Pawar; Rathod, 2020).

O uso do ultrassom no processo fermentativo vem ganhando destaque, atualmente é empregado para melhorar a eficiência do processo. Quando integrado com a fermentação, o ultrassom melhora significativamente a liberação de compostos bioativos, como fenólicos e flavonoides, além de facilitar a mistura e a homogeneização do meio, melhorando a difusão de nutrientes e gases (Zhang et al., 2025).

A aplicação do ultrassom em níveis apropriados de frequência pode melhorar a produtividade de bactérias e leveduras (He et al., 2021; Racioppo et al.,

2017). A fermentação microbiana com a aplicação de ultrassom pode ter efeitos sobre o metabolismo e permeabilidade celular, melhorando a atividade enzimática, a biossíntese de metabólitos e as taxas de crescimento celular (Dai et al., 2023). Dessa forma são preferíveis níveis de frequência mais baixos (entre 20 e 100 kHz) para o aprimoramento de sistemas microbianos, enquanto níveis de frequência mais altos (acima de 100 kHz) podem causar a ruptura celular (Pawar; Rathod, 2020).

Nesse contexto, alguns estudos já fazem o uso de ultrassom de alta intensidade para o processamento de alimentos, principalmente na fermentação, para melhorar o desempenho de microrganismo e a qualidade do produto (Al Daccache et al., 2020a; Chen et al., 2023a; Yang et al., 2024). Wang et al. (2023) estudaram o efeito do ultrassom na otimização do processo de fermentação da kombucha, os resultados indicaram que o processamento teve efeitos positivos na liberação de compostos voláteis e no tempo de fermentação, acelerando o processo.

Diante disso, o estudo dos efeitos do ultrassom na fermentação da kombucha é essencial para entender os impactos dessa tecnologia na produção de alimentos com potencial funcional, que tragam benefícios a saúde do consumidor e promovam impactos econômicos e sociais de maneira positiva.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Preparação do chá fermentado

Para a preparação do chá, folhas secas de *Camellia sinenses*, na proporção de 1% (p/v), foram infundidas por 15 minutos em água potável a 95 °C, contendo açúcar cristal 3% (p/v). Após o período de infusão, o chá foi filtrado e deixado para esfriar até atingir temperatura de 25 °C.

O início da fermentação ocorreu pela adição de uma cultura starter SCOBY, obtida pela doação do Laboratório de Microbiologia de Alimentos da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE. A partir da fermentação do chá verde adoçado (*Camellia sinensis*), com o SCOBY e chá verde previamente fermentado (20%, v/v) foram obtidos novos SCOBYS.

Para a preparação da bebida, 200 mL de chá verde adoçado foram inoculados com 20% (v/v) de chá fermentado e 1% (p/v) de SCOBY.

4.2 Processamento ultrassônico da kombucha

Três amostras da kombucha foram preparadas: Controle, US7 e US15. Controle consistiu na bebida sem processamento ultrassônico. Enquanto, US7 e US15 foram as amostras de kombucha submetidas a processamento durante 7 minutos e 15 minutos, respectivamente.

Um disruptor de células ultrassônico 500 W (Unique® DES500, São Paulo, Brasil) com macro ponta de titânio de 13 mm de diâmetro foi utilizado para o processamento da kombucha. O tratamento foi realizado a uma frequência constante de 19 kHz e com intensidade de energia ultrassônica dissipada pela ponta de titânio de 113 W/cm².

A mistura de chá verde, açúcar, chá fermentado e SCOBY foi colocada em um béquer estéril de 400 mL sem controle de temperatura. As amostras da kombucha foram processadas submergindo a macro sonda de titânio no líquido a uma profundidade de 1,5 cm. O tempo de processamento foi ajustado de acordo com estudos preliminares, a fim de limitar a degradação de compostos e manter a aparência das amostras frescas.

A fermentação ocorreu em recipientes plásticos estéreis, devidamente identificados, a uma temperatura de 28 ± 2 °C, durante 9 dias (F1). Nesse período, pH

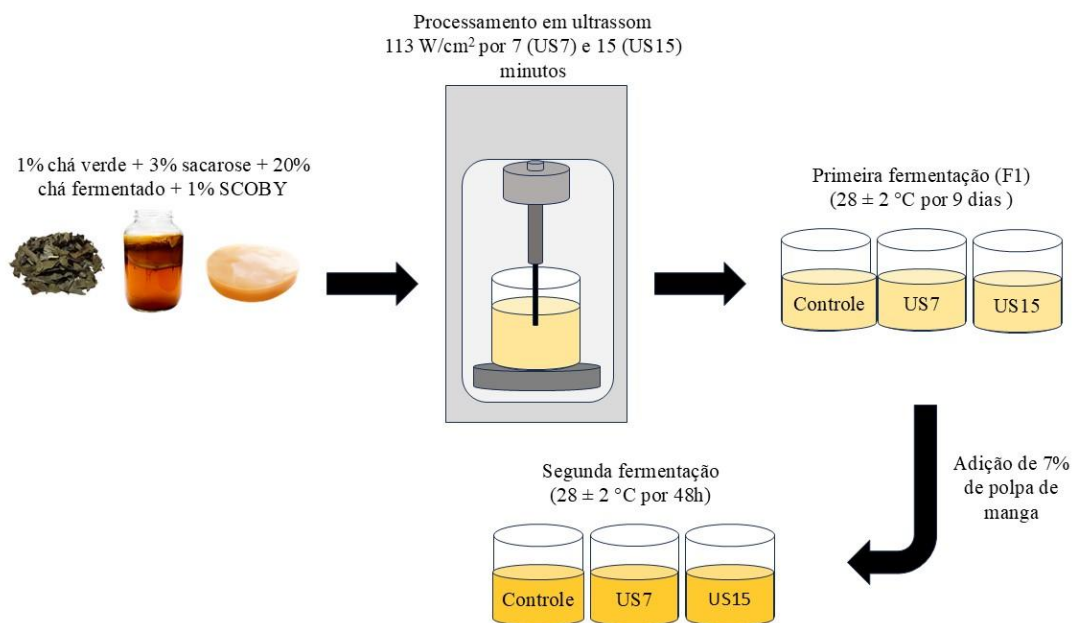
e sólidos solúveis totais foram monitorados a cada 48 h, alíquotas também foram centrifugadas e armazenadas para análises de açúcares e ácidos orgânicos por cromatografia líquida de alta eficiência.

4.3 Saborização da kombucha

No 9º dia da fermentação (F1), o SCOBY foi retirado e o chá fermentado foi filtrado. Uma segunda fermentação (F2) foi iniciada com a adição de polpa de manga as amostras Controle, US7 e US15.

A polpa de manga utilizada neste estudo foi adquirida em comércio local (Fortaleza-CE). A saborização foi feita pela adição de 7 % (v/v) de polpa de manga sem águas às bebidas fermentadas (Controle, US7 e US15). As amostras foram então incubadas a 28 ± 2 °C por 48 h, posteriormente foram envasadas e armazenadas sob refrigeração (4 ± 2 °C) por 28 dias. A cada 7 dias foram coletadas amostras para a realização das análises do pH, sólidos solúveis totais, açúcares, ácidos orgânicos e compostos bioativos. A Figura 1 mostra todo o processo de obtenção das bebidas.

Figura 3 - Esquema de produção da kombucha.



Fonte: elaborado pela autora.

4.4 Análises físico-químicas

4.4.1 Potencial hidrogeniônico (pH) e sólidos solúveis totais

O pH foi mensurado usando um potenciômetro (MS Tecnopon®, modelo mPA 210, Piracicaba, Brasil) calibrado a cada utilização com soluções tampão de pH 4,0 e pH 7,0. Valores de sólidos solúveis totais (SST), expressos em Brix^o, foram medidos utilizando um refratômetro digital portátil (HI 96801, Hanna Instruments Inc, Woonsocket, RI, USA). O equipamento foi calibrado com água destilada e as leituras realizadas em triplicata.

4.4.2 Determinação de açúcares, ácidos orgânicos e etanol

Os açúcares, ácidos orgânicos e etanol presentes na kombucha foram identificados pela técnica de cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC – High performance liquid chromatography) em um sistema Infinity 1260 (Agilent®). Glicose, frutose, sacarose e etanol foram detectados por um detector de índice de refração (IR) a 35 °C. A separação foi realizada utilizando uma coluna de cálcio Supelco (300 × 7,8 mm) a 80 °C. Água ultrapura foi a fase móvel (0,5 mL/min).

A quantificação de ácidos orgânicos foi realizada por HPLC equipado com um detector UV-DAD a 210 nm. Uma coluna Aminex BIORAD HPX-87H (300 × 7,8 mm) foi utilizada para separar os compostos a 65 °C. A fase móvel foi ácido sulfúrico 5 mM a 0,4 mL/min. Ácido ascórbico, ácido acético, ácido láctico, ácido propiônico, ácido butírico e ácido isobutírico foram identificados com base na altura relativa do pico de cada composto.

4.2.3 Compostos fenólicos totais

Os compostos fenólicos totais foram determinados utilizando a metodologia Folin-Ciocalteu (Folin; Ciocalteu, 1927), modificada de acordo com Almeida et al., (2015). A análise foi realizada pela mistura de 10 µL da amostra diluída (1:10) com 200 µL de reagente Folin-Ciocalteu, em microplaca de 96 poços. A mistura foi deixada para reagir durante 3 minutos no escuro. A reação foi então interrompida com 100 µL de carbonato de cálcio 20% (p/v). A leitura foi realizada à 765 nm em espectrofotômetro de leitor Elisa (Biotek Epoch, Winooski, VT, EUA) usando software Gen 5 1.10. Os resultados foram calculados a partir de uma curva de calibração de ácido gálico, onde os valores foram expressos em mg de ácido gálico equivalente (EAG) por 100mL da bebida.

4.2.4 Atividade antioxidante

A atividade antioxidante foi mensurada utilizando os métodos ABTS e FRAP. A determinação da atividade antioxidante total utilizando o método ABTS ocorre entre os antioxidantes presentes na amostra e o radical livre ABTS^{•+} (ácido 2,2'-azinobis 3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico e persulfato de potássio 140 mM) (Fonteles et al., 2017). A solução foi obtida através da mistura de 5000 µL da solução estoque de ABTS 7 mM e 88 µL de persulfato de potássio 140 mM, deixando-os reagir durante 16 horas a 20 °C no escuro. O radical foi diluído em etanol até atingir uma absorbância de $0,700 \pm 0,020$ a 734 nm. Uma alíquota de 30 µL de amostra diluída (1:20) foi misturada com 3000 µL de radical ABTS e após 6 minutos de reação no escuro, a leitura foi realizada a 724 nm. Para a determinação dos resultados foi utilizado uma curva de calibração e os resultados foram expressos em mg/mL da bebida.

Já o método FRAP baseia-se na transferência de elétrons, medindo a capacidade da amostra em reduzir o íon férrico (Fe^{3+}) em íon ferroso (Fe^{2+}) (Benzie; Strain, 1996). A solução de trabalho foi preparada no momento da análise, pela mistura de 2500 µL de tampão acetato 300 mM, pH 3,6, 250 µL de solução TPTZ (2, 4, 6-tripiridil-s-triazina) 10 mM em 40 mM de HCl e 250 µL de cloreto férrico 20 mM. Amostras de 15 µL foram colocadas para reagir com 250 µL de solução FRAP por 30 minutos no escuro. As leituras foram feitas a 593 nm em espectrofotômetro de leitor Elisa (Biotek Epoch, Winooski, VT, EUA) usando software Gen 5 1.10. Uma curva padrão de ácido ascórbico foi preparada, e os resultados foram expressos em mg de vitamina C equivalente (E)/100 mL de amostra.

4.5 Análise microscópica

4.3.1 Microscopia de luz

Após o processamento com ultrassom, pequenos fragmentos de SCOPY e células precipitadas do chá fermentado foram fixadas por 4h em uma solução aquosa de glutaraldeído (2,5%) e formaldeído (4,0%) recém preparado em tampão cacodilato (0,05 M, pH 7,2). Etanol foi usado para desidratar o material, logo após, foram embebidas em Historesin (Leica Historesin, Germany). As amostras foram cortadas usando um micrótomo Leica (RM2255-Leica, Germany). As finas secções foram coloridas com azul de toluidina (1%, pH 4,0). Microfotografias da estrutura celular foram obtidas utilizando um microscópio óptico Eclipse 80i (Nikon, Japão) com sistema de captura de imagens.

4.3.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

As amostras fixadas com tampão glutaraldeído e formaldeído foram pós-fixadas por uma hora em uma temperatura de 20 °C com tetróxido de ósmio (1%) com tampão cacodilato (pH 7,2) e desidratadas com acetona. A acetona foi parcialmente removida com um papel absorvente e as amostras foram fixadas em um porta-amostras (stubs) com fita condutiva de carbono. Logo após, o material foi secado em temperatura de 20 °C, pulverizado com ouro 10nm (QuorumQ150TES) e observadas com um microscópio eletrônico de varredura (Inspect F50-FEI/Quanta 450 FEG-FEI)

4.6 Análise estatística

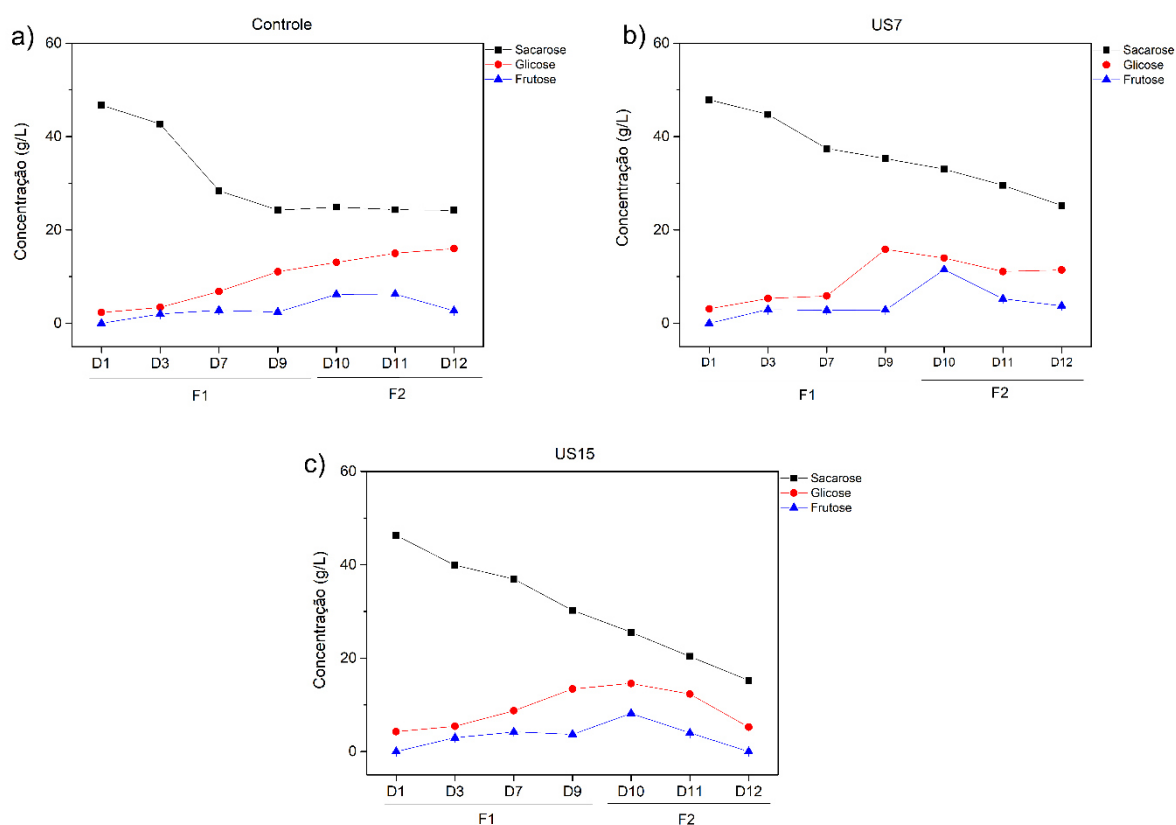
Todos os ensaios foram realizados em triplicata, e os resultados foram apresentados como médias com desvio padrão. O teste t-Student foi utilizado para comparar as médias, utilizando o software Statistica (versão 11.0, StatSoft, Hamburgo, Alemanha). A significância estatística foi estabelecida em $p < 0,05$.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Efeitos do ultrassom nos perfis de açúcares e ácidos orgânicos durante a fermentação da kombucha

A concentração inicial de sacarose na kombucha foi 45 ± 2 g/L em todos os experimentos. O uso do ultrassom como pré-tratamento não causou a hidrólise da sacarose.

Figura 4 - Perfis de açúcar da fermentação da kombucha com e sem processamento ultrassônico durante 12 dias de incubação a 28 °C: (a) Amostra Controle; (b) US7 – processamento de 7 minutos (113 W/cm^2) e (c) US15 – processamento de 15 minutos (113 W/cm^2). Os resultados foram expressos como valores médios com desvio padrão ($n=3$).



Fonte: elaborado pela autora

Foram observadas diferenças na cinética de consumo de açúcar nas kombuchas processadas com ultrassom. O consumo de sacarose ao longo dos 9 dias da primeira fermentação (F1) foi maior no controle do que nas kombuchas processadas (Fig. 4). No nono dia de fermentação, foi observada a elevação na concentração de açúcares devido à adição da polpa de manga. Já na segunda

fermentação (F2- 2 dias), o consumo de sacarose aumentou à medida que o tempo de processamento aumentava, assim o ultrassom pode ter influenciado as taxas de consumo da sacarose, aumentando o consumo de açúcar pelos microrganismos. Alguns estudos já relataram que um dos prováveis impactos do ultrassom é a melhora do consumo do substrato (Al Daccache et al., 2020b; Chen et al., 2023b). Com o aumento da transferência de massas através da membrana celular, há também uma alteração na conformação enzimática, alterando a afinidade entre enzimas e substrato, o que pode ter resultado em um maior consumo da sacarose, por exemplo, nas amostras processadas no ultrassom (Pagnossa et al., 2020). O processamento com ultrassom aumentou o consumo de sacarose em 19% na amostra processada durante 15 minutos (US15), o que resultou em níveis mais baixos de açúcar total entre as amostras após os 12 dias de fermentação.

Como esperado, em todas as kombuchas a concentração de sacarose diminuiu durante a fermentação, enquanto as concentrações de glicose e frutose aumentaram (Fig. 2). A frutose apresentou menor concentração que a glicose em todas as amostras, apesar de que durante a hidrólise da sacarose a liberação de glicose e frutose sejam iguais. Neffe-Skocińska et al (2017) em seu estudo sobre otimização do processo fermentativo da kombucha, correlacionaram o maior consumo da frutose ao aumento rápido na contagem de leveduras em kombuchas fermentadas durante 10 dias a 25 °C. Outros estudos também já relataram a preferência de gêneros específicos de *Zygosaccharomyces* pela frutose para a produção de etanol (Jayabalan et al., 2014). Dessa forma, os resultados encontrados nesse estudo sugerem que a microbiota presente nas kombuchas produzidas apresentam microrganismos com preferência pela frutose em relação glicose, devido ao maior consumo desse açúcar entre todas as amostras.

A fermentação estimulada por ultrassom pode levar ao aumento da permeabilização de membranas através da formação de poros reversíveis nas membranas celulares e a um aumento da transferência de massas (Wang et al., 2019). Com o aumento da permeabilidade da membrana microbiana há o transporte de nutrientes essenciais, como vitaminas, nucleotídeos, aminoácidos e enzimas, que podem estimular o crescimento de microrganismos (Ojha et al., 2017).

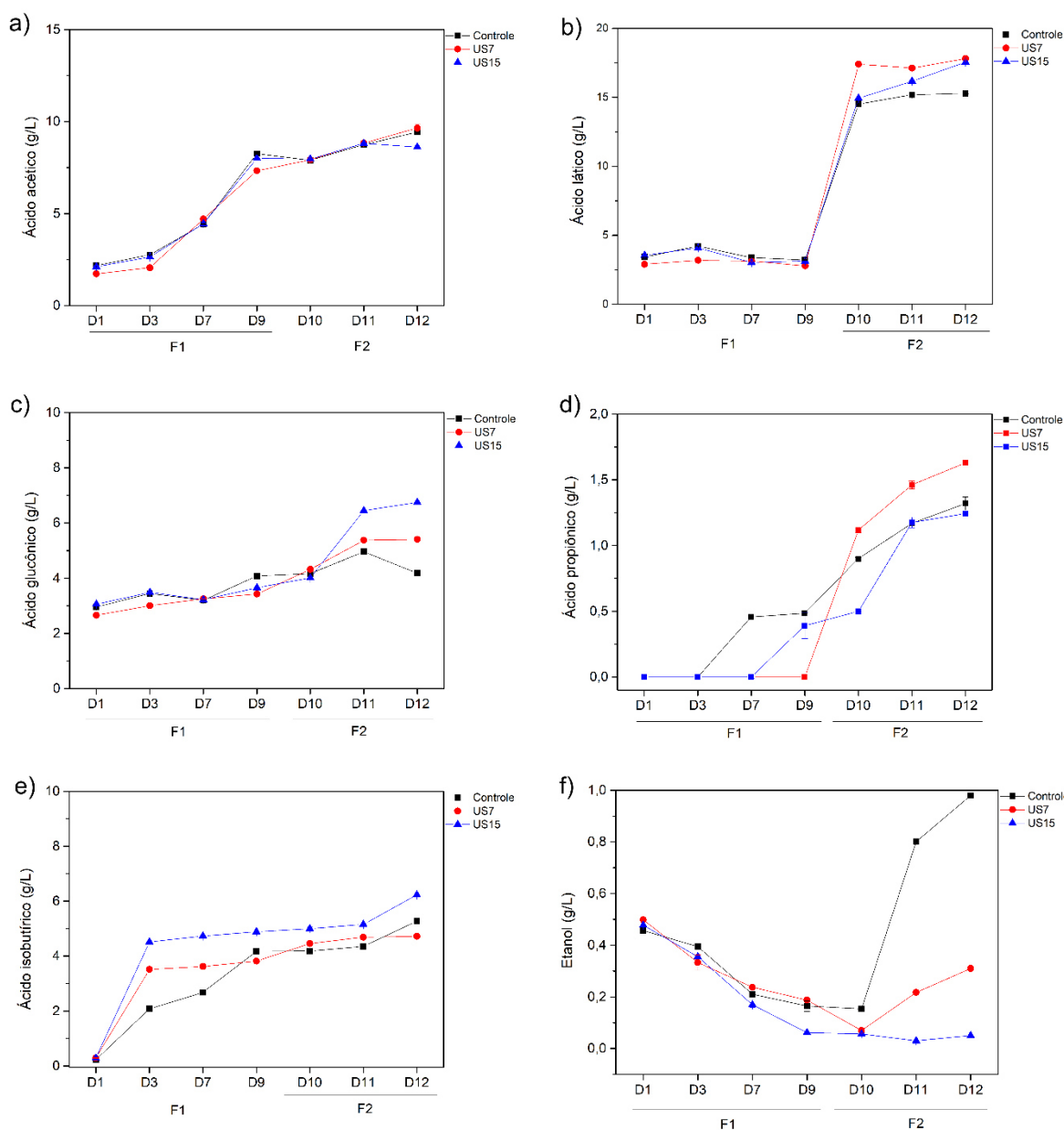
O ultrassom ainda pode induzir o crescimento seletivo da microbiota da kombucha, favorecendo alguns microrganismos em detrimento de outros. Dessa

forma, a composição microbiana pode determinar os metabólitos da fermentação. *Zygosaccharomyces* fermenta a frutose mais rapidamente em etanol e CO₂ do que a glicose. Em comparação, cepas de *Acetobacter xylinum*, convertem a glicose antes da frutose (Sievers et al., 1995). A metabolização da frutose antes da glicose observada nesse estudo pode estar relacionada às vias metabólicas da microbiota presente na kombucha e a fonte de carbono disponível.

Sacarose e a glicose não foram totalmente metabolizadas até o fim da fermentação (Fig.4). Além de aspectos sensoriais, os açúcares residuais também impactam no metabolismo e na qualidade da kombucha durante o armazenamento. Algumas leveduras continuam fermentando em condições aeróbicas na presença de quantidades suficientes de açúcares. Esse fenômeno é chamado de efeito “*Crabtree*”, que descreve a competição metabólica entre o metabolismo respiratório e o metabolismo aeróbico da glicose, observado em altas concentrações de glicose (Bishop et al., 2022; Panikov, 2011).

Enquanto leveduras metabolizam glicose e frutose em etanol e dióxido de carbono, bactérias acéticas (BAA) convertem o etanol em ácido acético. A produção de ácido acético, estimula as leveduras a produzirem mais etanol. Ácido lático e ácido acético foram os principais ácidos produzidos durante a fermentação das três kombuchas (Controle, US7 e US15) (Fig. 5 a e b).

Figura 5 - Ácido acético (a); ácido láctico (b); ácido glucônico (c); ácido propiônico (d); ácido isobutírico (e) e concentração de etanol (f) durante a fermentação da kombucha durante 12 dias de incubação a 28 °C. Controle: kombucha não processada; US7 – processadas por ultrassom durante 7 minutos a 113 W/cm² e US15 – processamento por ultrassom durante 7 minutos a 113 W/cm². Os resultados foram expressos com valores médios com desvio padrão (n=3).



Fonte: elaborado pela autora

Em relação aos níveis mais altos de ácido láctico produzido (Fig. 5b), já foi relatado que bactérias lácticas (BAL) podem compor até 30% da população microbiana da cultura SCOBY (Bogdan et al., 2018). Hooi et al. (2023) relatam kombuchas

comerciais que eram predominantemente dominadas por bactérias láticas, representadas principalmente por *Bacillus coagulans* e *Lactobacillus nagelli*. Além disso, BAL podem ser mais prevalentes na kombucha do que se pensava antes, principalmente nos estágios finais da fermentação (Marsh et al., 2014).

O acréscimo nos valores de ácido láctico (Fig.2b) são maiores no decimo dia da fermentação, o que pode estar correlacionado com a adição do suco de manga na F2. Estudos anteriores relatam que o suco de manga pode ser um meio adequado para o crescimento de bactérias láticas (Furtado et al., 2019; Liao et al., 2016). Dessa forma a produção acentuada desse ácido pode estar relacionada a composição da polpa de manga e seus efeitos sobre as bactérias ácido lácticas.

Apesar das diferenças na composição microbiana, kombuchas possuem vias metabólicas envolvidas na biossíntese de ácido graxos de cadeia curta, aminoácidos e vitamina B12 (Hooi et al., 2023). Neste estudo o aumento da produção de ácido láctico ultrassom pode ter causado uma desoxigenação na bebida, fornecendo um ambiente anaeróbico mais favorável à produção de ácido láctico.

O processamento com ultrassom antes da fermentação favoreceu a maior produção de ácidos glucônico, propiônico e isobutírico nas kombuchas processadas em comparação a kombucha não processada (Fig. 5c, d, e).

O ácido glucônico aumentou continuamente até atingir 6,74 g/L no dia 12 da segunda fermentação (F2) na kombucha US15, comparado aos 4,17 g/L da amostra controle (Fig. 5c). Os ácidos glucônico e acético são importantes compostos que contribuem para a qualidade sensorial da kombucha. O ácido glucônico fornece o sabor azedo, enquanto o ácido acético pode produzir um sabor adstringente e ácido desagradável na bebida (Li et al., 2022). A glicose é metabolizada em ácido glucônico, que posteriormente pode ser convertido em ácido glucurônico pelas bactérias acéticas (Tran et al., 2022). O fígado é capaz de produzir naturalmente o ácido glucurônico, que atua capturando toxinas no corpo permitindo sua eliminação na urina, por isso é conhecido como um desintoxicante natural, além de ser um precursor da vitamina C (Martínez-Leal; Ponce-García; Escalante-Aburto, 2020). Os ácidos produzidos durante a fermentação da kombucha ajudam a criar um ambiente intestinal favorável ao crescimento de bactérias benéficas. Esses ácidos também têm potencial de inibir

o crescimento de bactérias patogênicas, o que contribui para uma microbiota intestinal mais saudável (Sanwal et al., 2023).

As diferenças observadas nos perfis de etanol podem ser atribuídas à atenuação ultrassônica de microrganismo produtores de etanol e variações na concentração de açúcares (Fig. 5f).

O ultrassom tem sido estudado como uma técnica com potencial de melhorar a transferência de massa da glicose, etanol e dióxido de carbono, reduzindo a camada de difusão nas superfícies celulares (Permyakova et al., 2023; Soro et al., 2021; Stobienia et al., 2020). Porém, Huezo; Shah; Michel, (2019) relataram que o processamento direto e indireto com ultrassom impacta negativamente o desempenho de *Saccharomyces cerevisiae* durante a fermentação, reduzindo a absorção de glicose, a produção de etanol, a densidade e viabilidade celular.

A Tabela 1 mostra os valores de pH durante a fermentação. O pH da kombucha se aproximou de 4 logo após a inoculação. A adição da kombucha previamente fermentada reduziu o pH inicial, inibindo o crescimento de microrganismos deteriorantes e patogênicos. Neste estudo não foi observado a influência do ultrassom sobre o pH final da kombucha.

O Centro de Controle de Doenças da Colúmbia Britânica (BCCDC), no Canadá, produziu um documento com recomendações para o processo comercial de fabricação da kombucha. De acordo com o documento, os níveis de pH não devem ficar abaixo de 2,5 e os níveis de álcool não devem exceder 1% ou aumentar durante a validade do produto (BC Centre For Disease Control, 2020). No Brasil, a Instrução Normativa nº 41 de 17 de setembro de 2019 regulamenta o Padrão de Identidade e Qualidade da Kombucha, em que estabelece a faixa de 2,5 a 4,2 para o pH e a graduação alcoólica da kombucha sem álcool (até 0,5% v/v) e com álcool (0,6 a 8% v/v) (BRASIL, 2019).

Tabela 1- pH e sólidos solúveis totais das kombuchas durante a primeira fermentação (F1) e segunda fermentação (F2).

Fermentação - Dia	Amostra	pH	Sólidos solúveis totais (Brix°)
F1 – Dia 0	Controle	4,10	4,4
	US7	3,90	4,3
	US15	3,86	4,4
F1- Dia 9	Controle	3,03	3,8
	US7	3,04	3,9
	US15	3,05	3,8
F2 – Dia 12	Controle	2,98	3,5
	US7	2,88	3,6
	US15	2,79	3,7

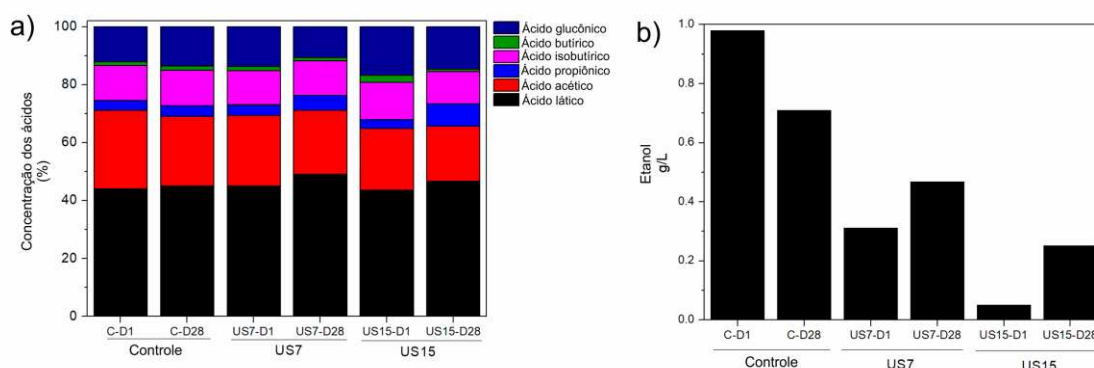
Fonte: Elaborado pela autora

Os ácidos e o etanol da kombucha variaram durante o período de armazenamento refrigerado (Fig. 6), mostrando que os microrganismos ainda continuaram ativos na fase tardia da fermentação. Kombuchas adoçadas podem passar por uma segunda fermentação anaeróbica na embalagem, o que resulta no aumento do teor alcoólico (Bishop et al., 2022).

Racioppo et al. (2017) avaliaram o efeito do ultrassom na atenuação de microrganismos dos gêneros *Lactobacillus* e *Bifidobacterium* para evitar a pós-acidificação de bebidas probióticas. Os resultados mostraram que a técnica pode ser usada para controlar e/ou modular a pós-acidificação.

O teor de etanol ficou abaixo de 0,5 g/L nas kombuchas processadas com ultrassom, com 0,46 g/L no US7 e 0,25 g/L no US15 após 28 dias de armazenamento refrigerado (Fig. 6b). Bebidas fermentadas como a kombucha podem conter baixos níveis de etanol. Embora seja comercializado como não alcoólico, seu teor de álcool deve variar de acordo com as condições de fermentação e armazenamento. Caso ultrapasse 0,5 %, isso pode impactar negativamente na percepção da kombucha como bebida saudável (Bishop et al., 2022).

Figura 6 - Comparação da composição de ácidos orgânicos (%) (a) e concentração de etanol (g/L) (b) durante 28 dias de armazenamento refrigerado a 4 °C. Controle: kombucha não processada; US7 – processamento por ultrassom de 7 minutos a 113 W/cm²; US15 – processamento por ultrassom de 15 minutos a 113 W/cm². Os resultados foram expressos como valores médios com desvio padrão (n=3).



Fonte: elaborado pela autora

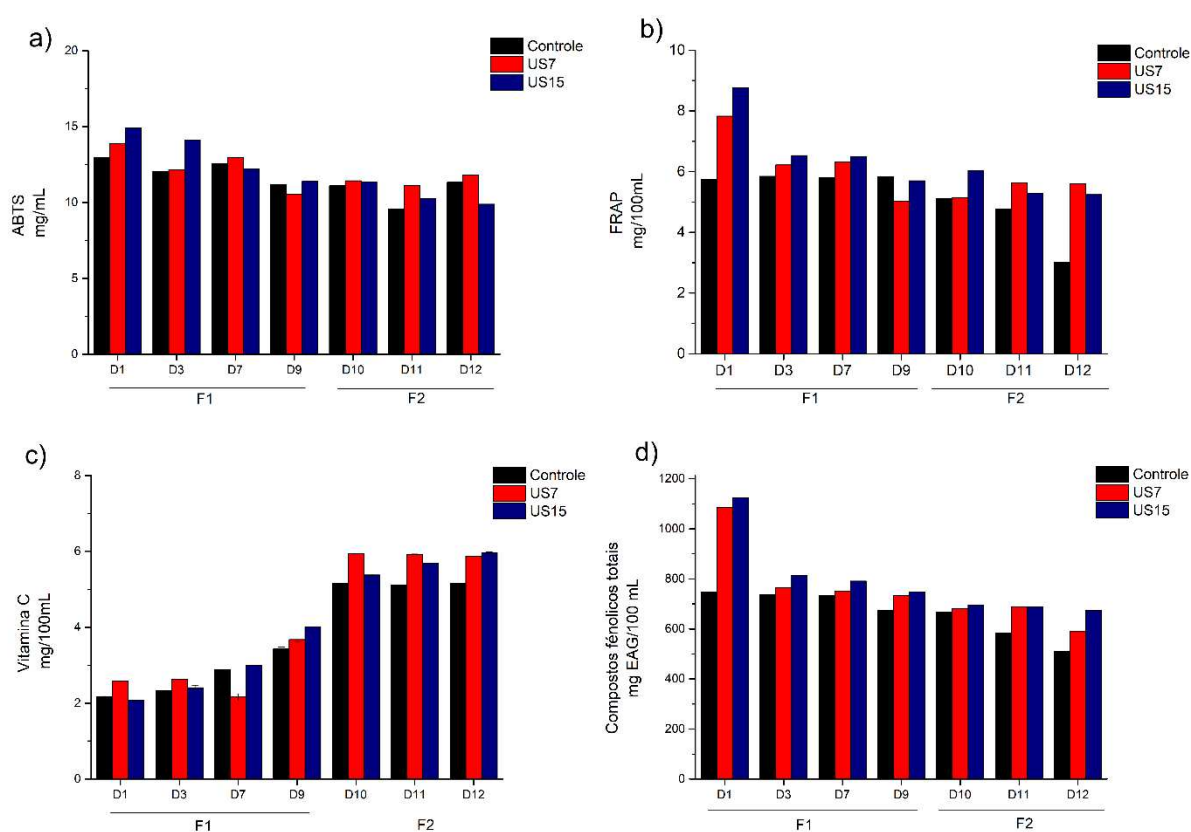
Neste estudo, as kombuchas não pasteurizadas foram mantidas em refrigeração acima 4 °C. O teor alcoólico das amostras processadas com ultrassom aumentou (+ 30% - US7; 500% US15), enquanto diminuiu no controle (- 33%). (Fig. 6b). A não pasteurização ou filtração das kombuchas favorece a fermentação anaeróbica dentro da embalagem, devido a presença de biomassa nas bebidas, aumentando o teor alcoólico (Coelho et al., 2020).

O ultrassom como pré-tratamento pode ter impacto positivo nas interações microbiológicas da kombucha. Durante o armazenamento, a kombucha não processada metabolizou etanol em ácido acético, enquanto kombuchas processadas apresentaram um microambiente que favoreceu a fermentação alcoólica. Além de outras fontes de carbono, como glicose, sacarose e glicerol, microrganismos da kombucha também podem utilizar o etanol para produzir celulose (Villarreal-Soto et al., 2020). Durante os 28 dias de armazenamento, as kombuchas mantiveram o limite de etanol em 0,5 g/L. Etanol e ácido acético presentes na bebida podem atuar como agentes antimicrobianos contra microrganismos patogênicos e deteriorantes (Mousavi et al., 2020).

5.2 Compostos fenólicos totais, ácido ascórbico e atividade antioxidante

A Fig. 7 mostra a atividade antioxidante total (ABTS e FRAP), concentração de ácido ascórbico e compostos fenólicos totais durante a fermentação (Controle, US7 e US15) em 12 dias de incubação a 28 °C.

Figura 7 - Atividade antioxidante, vitamina C e compostos fenólicos das kombuchas com e sem processamento incubadas durante 12 dias a 28 °C.



Fonte: elaborado pela autora

A atividade antioxidante total (ABTS e FRAP) teve um aumento significativo ($p > 0,05$) nas kombuchas processadas por ultrassom em comparação com o controle (Fig. 7 a e b). Contudo há um decréscimo gradual na atividade antioxidante de todas as amostras ao longo dos dias de fermentação. Compostos com alto potencial antioxidante podem ser convertidos em compostos com menor capacidade de neutralizar radicais livres, devido a alterações estruturais causadas pela ação enzimática microbológica ao longo da fermentação (Teixeira Oliveira et al., 2023).

O aumento no conteúdo de ácido ascórbico foi observado durante a fermentação (Fig.7c). Vitamina C é reconhecida como a principal vitamina da

kombucha, estando presente naturalmente nas folhas de chá verde (Antolak; Piechota; Kucharska, 2021). Na kombucha, cepas de *Gluconobacter* podem sintetizar vitamina C a partir do D-sorbitol, que é derivado do metabolismo da glicose (Antolak; Piechota; Kucharska, 2021; Lonär et al., 2006).

A capacidade do ultrassom em extrair compostos através do rompimento de estruturas complexas, como dos fenólicos, contribuiu para o aumento da concentração de compostos fenólicos na kombucha após o tratamento (Fig. 7d) (Shen et al., 2023). Embora tenha havido uma diminuição durante o período de fermentação o produto apresenta um elevado teor de compostos fenólicos totais. Os flavonoides, especialmente as catequinas, são o grupo de compostos fenólicos mais presentes e importantes da kombucha (Cardoso et al., 2020). Além desses, outros compostos podem ser identificados em kombuchas feitas com chá verde, incluindo ácido gálico e cafeína (Zhou et al., 2022).

Nesse estudo, houve uma correlação positiva entre o teor de vitamina C e atividade antioxidante ($R= 0,99$ e $0,98$ US7; $R=0.99$ US15) (Tabela 2). Esses resultados indicam que a vitamina C pode ser uma contribuinte para as propriedades antioxidantes desde produto. Outros autores também já relataram uma correlação positiva entre o teor de compostos fenólicos e de vitamina C com o potencial antioxidante da kombucha (Jakubczyk et al., 2020; Mendonça et al., 2023).

Tabela 2 - Coeficiente de correlação de Pearson (R) entre a capacidade antioxidante, vitamina C e compostos fenólicos totais (CFT) da kombucha sonicada e aromatizada com polpa de manga.

Controle			US7			US15		
R	CFT	Vit. C	R	CFT	Vit. C	R	CFT	Vit. C
ABTS	- 0,07	- 0,38	ABTS	0.54	0,98*	ABTS	0.78	0,99*
FRAP	0,48	0,18	FRAP	0.30	0,99*	FRAP	-0,37	-0,37

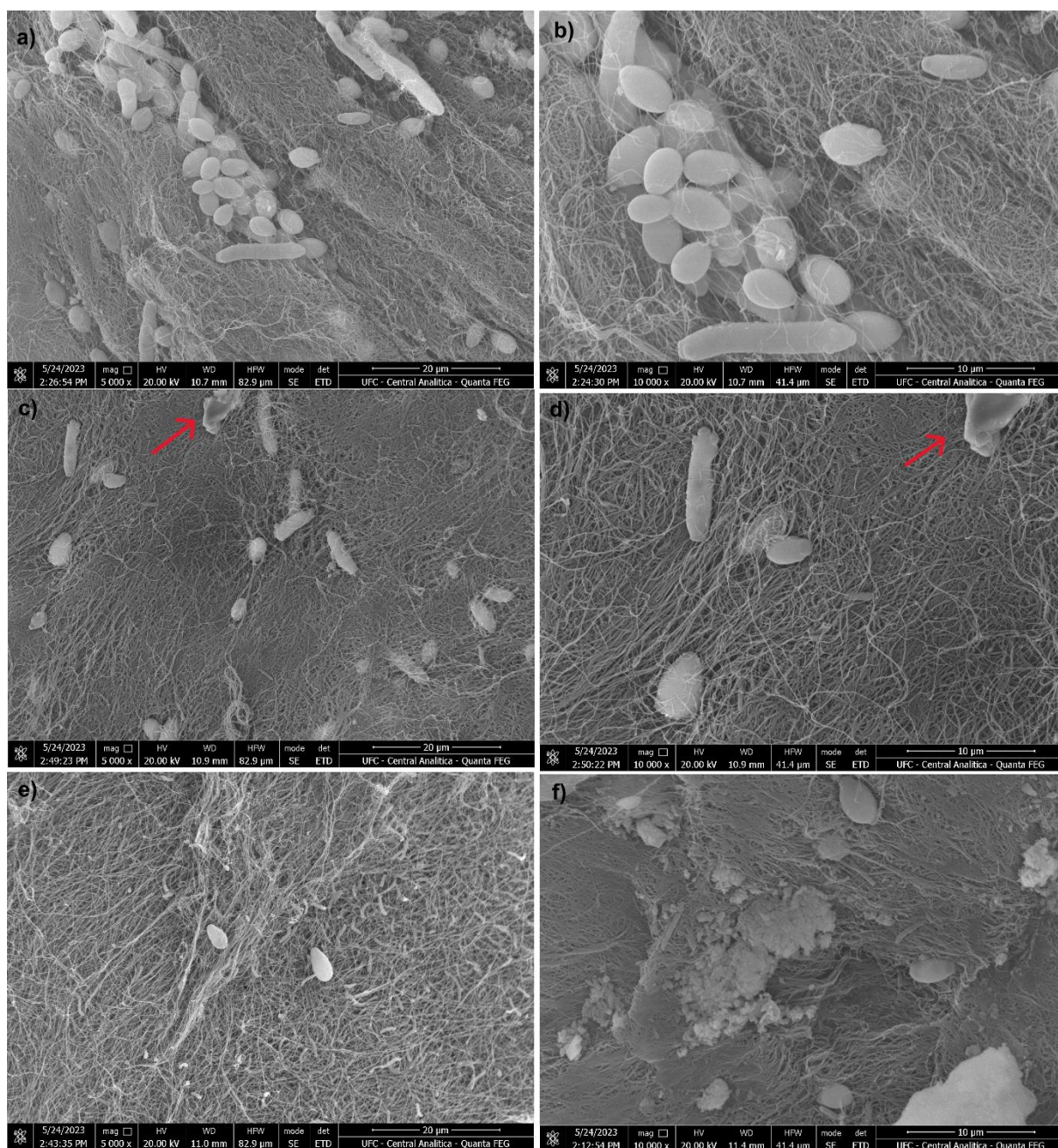
* significância estatística ($p < 0,05$)

5.3 Estrutura morfológica do SCOBY

A Figura 8 mostra as imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV), com as estruturas das amostras processadas (US7 e US15) e não

processada (Controle), possibilitando a avaliação da estrutura morfológica das fibras de celulose e das células microbianas do SCOBY.

Figura 8 - Imagens do SCOBY obtidas por Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV). (a) amostras não processadas (Controle) 5000 x; (b) amostras não processadas (Controle) 10000 x; (c) amostra processada US7 5000 x; (d) amostra processada US7 10000 x; (e) amostra US15 5000 x; (f) amostra processada US15 10000 x.



A fermentação estimulada por ultrassom aumenta a permeabilização da membrana de celulose, o que pode alterar a difusão de oxigênio no meio, favorecendo os organismos aeróbicos. Além disso, o ultrassom libera grandes quantidades de

energia, que resultam em intensas forças de cisalhamento na superfície dos tecidos, o que pode levar à formação de canais microscópicos, perda da organização tecidual e distorção nas estruturas celulares e fibrosas (Wang et al., 2019).

Os resultados mostraram que após sonificação a 19 kHz as superfícies celulares das amostras US7 e US15 apresentaram alterações (Fig. 6 c e f), quando comparadas as amostras não processadas (Fig. 6b). Os danos nas células podem estar relacionados a cavitação gerada durante o processamento do ultrassom, que pode causar micro danos na superfície celular. Wang et al. (2023) obtiveram resultados semelhantes na aplicação do processamento ultrassônico a 23 kHz durante fermentação da kombucha. Essas alterações podem acelerar a liberação do conteúdo celular e liberar fatores promotores de crescimento, como vitaminas, nucleotídeos, aminoácidos e enzimas, que podem estimular o crescimento microbiano no SCOBY.

6 CONCLUSÃO

Esse estudo demonstrou os efeitos do ultrassom de alta intensidade nos perfis de açúcares, etanol e ácidos orgânicos durante 12 dias de fermentação e 28 dias de armazenamento refrigerado da kombucha sabor manga. O processamento por ultrassom pode ter causado a atenuação da microbiota da kombucha, alterando o consumo de açúcares e a produção de ácidos e etanol.

Os resultados mostraram que de modo geral as amostras processadas com ultrassom apresentaram boas concentrações de ácidos orgânicos, compostos fenólicos e atividade antioxidante. Além disso, também apresentaram menores taxas de produção de etanol durante os 28 dias de armazenamento, ficando abaixo do exigido pela legislação. Dessa forma, o ultrassom pode ser uma alternativa promissora para otimizar a fermentação da kombucha, aprimorando as características da bebida.

REFERÊNCIAS

AL DACCACHE, Marina *et al.* Ultrasound-assisted fermentation for cider production from Lebanese apples. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 63, 1 maio 2020a.

AL DACCACHE, Marina *et al.* Ultrasound-assisted fermentation for cider production from Lebanese apples. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 63, 1 maio 2020b.

ALMEIDA, Francisca Diva Lima *et al.* Effects of atmospheric cold plasma and ozone on prebiotic orange juice. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 32, p. 127–135, 1 dez. 2015.

ANTOLAK, Hubert; PIECHOTA, Dominik; KUCHARSKA, Aleksandra. **Kombucha tea—A double power of bioactive compounds from tea and symbiotic culture of bacteria and yeasts (SCOBY)**. **Antioxidants** MDPI, , 1 out. 2021.

BAEK, Jin Seon *et al.* Development of Low-Caffeine Kombucha Using Lotus Root Tea and an Evaluation of Its Functional Properties. **Beverages**, v. 11, n. 2, 1 abr. 2025.

BARAUSKAITE, Dovile *et al.* Eating healthy to impress: How conspicuous consumption, perceived self-control motivation, and descriptive normative influence determine functional food choices. **Appetite**, v. 131, p. 59–67, 1 dez. 2018.

BARROS, Cássia P. *et al.* **A comprehensive review of the use of traditional and emerging technologies for attenuation of probiotics strains**. **Food Control** Elsevier Ltd, , 1 nov. 2024.

BC CENTRE FOR DISEASE CONTROL. **Food Safety Assessment of Kombucha Tea Recipe and Food Safety Plan**. , 2020. Disponível em: <<http://www.bccdc.ca/resource-gallery/Documents/Educational%20Materials/EH/FPS/Food/kombucha1.pdf>>. Acesso em: 28 jun. 2025

BENZIE, Iris F. F.; STRAIN, J. J. The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of “Antioxidant Power”: The FRAP Assay. **Analytical Biochemistry**, v. 239, n. 1, p. 70–76, 15 jul. 1996.

BHARGAVA, Nitya *et al.* **Advances in application of ultrasound in food processing: A review. Ultrasonics Sonochemistry** Elsevier B.V., , 1 jan. 2021.

BISHOP, Peyton *et al.* **Kombucha: Biochemical and microbiological impacts on the chemical and flavor profile. Food Chemistry Advances** Elsevier Ltd, , 1 out. 2022.

BOGDAN, Matei *et al.* **Lactic acid bacteria strains isolated from Kombucha with potential probiotic effect** *Romanian Biotechnological Letters*. [S.l.: S.n.]. Disponível em: <www.srs.ebi.ac.uk>.

BORTOLOMEDI, Bruna Milena; PAGLARINI, Camila Souza; BROD, Fábio Cristiano Angonesi. **Bioactive compounds in kombucha: A review of substrate effect and fermentation conditions. Food Chemistry**, 2022.

BRASIL. **INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 41, DE 17 DE SETEMBRO DE 2019**. Diário da União, , 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: 28 jun. 2025

CARDOSO, Rodrigo Rezende *et al.* Kombuchas from green and black teas have different phenolic profile, which impacts their antioxidant capacities, antibacterial and antiproliferative activities. **Food Research International**, v. 128, 1 fev. 2020.

CARNEIRO, Gabrielly Ribeiro; PIMENTEL, Tatiana Colombo. **Unraveling the potential of ultrasound processing from the consumer perspective: A review on sensory characteristics and perception. Food Bioscience** Elsevier Ltd, , 1 jun. 2025.

CHEN, Jinling *et al.* Ultrasound-assisted fermentation of ginkgo kernel juice by *Lactiplantibacillus plantarum*: Microbial response and juice composition development. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 99, 1 out. 2023a.

CHEN, Jinling *et al.* Ultrasound-assisted fermentation of ginkgo kernel juice by *Lactiplantibacillus plantarum*: Microbial response and juice composition development. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 99, 1 out. 2023b.

COELHO, Raquel Macedo Dantas *et al.* **Kombucha: Review. International Journal of Gastronomy and Food Science**AZTI-Tecnalia, , 1 dez. 2020.

COTON, Monika *et al.* Unraveling microbial ecology of industrial-scale Kombucha fermentations by metabarcoding and culture-based methods. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 93, n. 5, 1 maio 2017.

DAI, Chunhua *et al.* Enhancing the growth of thermophilic *Bacillus licheniformis* YYC4 by low-intensity fixed-frequency continuous ultrasound. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 100, p. 106611, 1 nov. 2023.

DAMIÁN, Morayma Ramírez *et al.* **Functional Foods, Nutraceuticals and Probiotics: A Focus on Human Health. Microorganisms**MDPI, , 1 maio 2022.

DE FÁTIMA D. LINHARES, Maria *et al.* Influence of sugar addition in Kombucha production regarding the beverage effect on human fecal microbiota composition and metabolite profile. **Food Bioscience**, v. 68, 1 jun. 2025.

DECKER, Betina Louise Angioletti *et al.* Ultrasound-assisted extraction of anthocyanins from grape pomace using acidified water: Assessing total monomeric anthocyanin and specific anthocyanin contents. **Food Research International**, v. 194, 1 out. 2024.

DITRYCH, Maciej *et al.* Kombucha fortified with Cascade hops (*Humulus lupulus* L.): enhanced antioxidative and sensory properties. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 109, n. 1, 1 dez. 2025.

ESSA, Musthafa Mohamed *et al.* **Functional foods and their impact on health.** *Journal of Food Science and Technology* Springer, , 1 mar. 2023.

FOLIN, Otto; CIOCALTEU, Vintila. **ON TYROSINE AND TRYPTOPHANE DETERMINATIONS IN PROTEINS.** [*S.l.: S.n.*].

FONTELES, Thatyane Vidal *et al.* Sonication Effect on Bioactive Compounds of Cashew Apple Bagasse. **Food and Bioprocess Technology**, v. 10, n. 10, p. 1854–1864, 1 out. 2017.

FURTADO, Livia Ladeira *et al.* Viability of probiotic bacteria in tropical mango juice and the resistance of the strains to gastrointestinal conditions simulated in vitro. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 40, n. 1, p. 149–162, 2019.

GAGGIÀ, Francesca *et al.* Kombucha beverage from green, black and rooibos teas: A comparative study looking at microbiology, chemistry and antioxidant activity. **Nutrients**, v. 11, n. 1, 1 jan. 2019.

GRANATO, Daniel *et al.* Downloaded from www.annualreviews.org. CAPES-Federal Foundation for the Coordination of Post-Graduate Studies. v. 59, p. 46, 2025.

GUIMARÃES, Jonas T. *et al.* **Current applications of high-intensity ultrasound with microbial inactivation or stimulation purposes in dairy products.** *Current Opinion in Food Science* Elsevier Ltd, , 1 dez. 2021.

HAO, Jing *et al.* Effect of ultrasound-assisted fermentation on physicochemical properties and volatile flavor compounds of Chinese rice wine. **Food Physics**, v. 1, 1 set. 2024.

HARRISON, Keisha; CURTIN, Chris. Microbial composition of scoby starter cultures used by commercial kombucha brewers in North America. **Microorganisms**, v. 9, n. 5, 1 maio 2021.

HE, Ronghai *et al.* Fermentation of *Saccharomyces cerevisiae* in a 7.5 L ultrasound-enhanced fermenter: Effect of sonication conditions on ethanol production, intracellular Ca²⁺ concentration and key regulating enzyme activity in glycolysis. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 76, 1 ago. 2021.

HOOI, Suet Li *et al.* The microbial composition and functional roles of different kombucha products in Singapore. **CYTA - Journal of Food**, v. 21, n. 1, p. 269–274, 2023.

HOU, Jie *et al.* **Antimicrobial potential of kombucha against foodborne pathogens: A review. Quality Assurance and Safety of Crops and Foods** Codon Publications, , 1 jul. 2021.

HUEZO, Luis; SHAH, Ajay; MICHEL, Frederick C. Effects of ultrasound on fermentation of glucose to ethanol by *saccharomyces cerevisiae*. **Fermentation**, v. 5, n. 1, 1 mar. 2019.

JAKUBCZYK, Karolina *et al.* Chemical profile and antioxidant activity of the kombucha beverage derived from white, green, black and red tea. **Antioxidants**, v. 9, n. 5, 1 maio 2020.

JAYABALAN, R.; WAISUNDARA, Viduranga Y. Kombucha as a functional beverage. *In: Functional and Medicinal Beverages: Volume 11: The Science of Beverages.* [S.l.]: Elsevier, 2019. p. 413–446.

JAYABALAN, Rasu *et al.* **A review on kombucha tea-microbiology, composition, fermentation, beneficial effects, toxicity, and tea fungus. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety** Blackwell Publishing Inc., , 2014.

KAHRAMAN-ILIKKAN, Özge. Microbiome composition of kombucha tea from Türkiye using high-throughput sequencing. **Journal of Food Science and Technology**, v. 60, n. 6, p. 1826–1833, 1 jun. 2023.

KAPP, Julie M.; SUMNER, Walton. Kombucha: a systematic review of the empirical evidence of human health benefit. **Annals of Epidemiology**, v. 30, p. 66–70, 1 fev. 2019.

LEAL, Jessica Martínez *et al.* A review on health benefits of kombucha nutritional compounds and metabolites. **CYTA - Journal of Food**, v. 16, n. 1, p. 390–399, 1 jan. 2018.

LI, Ruyi *et al.* Enhancing the proportion of gluconic acid with a microbial community reconstruction method to improve the taste quality of Kombucha. **LWT**, v. 155, 1 fev. 2022.

LIAO, Xue-Yi *et al.* Use of autochthonous lactic acid bacteria starters to ferment mango juice for promoting its probiotic roles. **Preparative Biochemistry & Biotechnology**, v. 46, n. 4, p. 399–405, 18 maio 2016.

LONĂR, E. *et al.* Influence of working conditions upon Kombucha conducted fermentation of black tea. **Food and Bioproducts Processing**, v. 84, n. 3 C, p. 186–192, 2006.

MARCO, Maria L. *et al.* **Health benefits of fermented foods: microbiota and beyond.** **Current Opinion in Biotechnology** Elsevier Ltd, , 1 abr. 2017.

MARSH, Alan J. *et al.* Sequence-based analysis of the bacterial and fungal compositions of multiple kombucha (tea fungus) samples. **Food Microbiology**, v. 38, p. 171–178, abr. 2014.

MARTÍNEZ-LEAL, Jessica; PONCE-GARCÍA, Nestor; ESCALANTE-ABURTO, Anayansi. Recent Evidence of the Beneficial Effects Associated with Glucuronic Acid Contained in Kombucha Beverages. **Current Nutrition Reports**, v. 9, n. 3, p. 163–170, 2020.

MENDONÇA, Gislane Romano *et al.* Kombucha based on unconventional parts of the Hibiscus sabdariffa L.: Microbiological, physico-chemical, antioxidant activity,

cytotoxicity and sensorial characteristics. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, v. 34, 1 dez. 2023.

MENG, Yang *et al.* Characterization of SCOBY-fermented kombucha from different regions and its effect on improving blood glucose. **Food Bioscience**, v. 61, 1 out. 2024.

MOHD ARIFF, Rafidah *et al.* **Recent trends in Kombucha: Conventional and alternative fermentation in development of novel beverage.** **Food Bioscience** Elsevier Ltd, , 1 jun. 2023.

MOUSAVI, Seyyed Mojtaba *et al.* **Recent Progress in Chemical Composition, Production, and Pharmaceutical Effects of Kombucha Beverage: A Complementary and Alternative Medicine.** **Evidence-based Complementary and Alternative Medicine** Hindawi Limited, , 2020.

NEFFE-SKOCIŃSKA, Katarzyna *et al.* Contenido de ácido y efectos de las condiciones de fermentación en las propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales de bebidas de té de Kombucha. **CYTA - Journal of Food**, v. 15, n. 4, p. 601–607, 2 out. 2017.

NIKOLIĆ, Svetlana *et al.* Ultrasound-assisted production of bioethanol by simultaneous saccharification and fermentation of corn meal. **Food Chemistry**, v. 122, n. 1, p. 216–222, 1 set. 2010.

OJHA, K. Shikha *et al.* Ultrasound technology for food fermentation applications. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 34, p. 410–417, 1 jan. 2017.

PAGNOSSA, Jorge Pamplona *et al.* **Ultrasound: beneficial biotechnological aspects on microorganisms-mediated processes: Ultrasound: beneficial aspects on microorganisms processes.** **Current Opinion in Food Science** Elsevier Ltd, , 1 fev. 2020.

PANIKOV, Nicolai. Microbial Growth Dynamics. In: **Comprehensive Biotechnology, 2nd edition, Elsevier**, 31 dez. 2011.

PAWAR, Shweta V.; RATHOD, Virendra K. **Role of ultrasound in assisted fermentation technologies for process enhancements. Preparative Biochemistry and Biotechnology**Taylor and Francis Inc., , 2 jul. 2020.

PERMYAKOVA, Larisa *et al.* Combined Effect of Ultrasound Treatment and a Mix of Krebs Cycle Acids on the Metabolic Processes in *Saccharomyces cerevisiae*. **Fermentation**, v. 9, n. 2, 1 fev. 2023.

RACIOPPO, Angela *et al.* Ultrasound attenuation of lactobacilli and bifidobacteria: Effect on some technological and probiotic properties. **International Journal of Food Microbiology**, v. 243, p. 78–83, 21 fev. 2017.

RAMÍREZ-BREWER, David; QUINTANA-MARTINEZ, Somaris Elena; GARCÍA-ZAPATEIRO, Luis A. Obtaining and characterization of natural extracts from mango (*Mangifera Indica*) peel and its effect on the rheological behavior in new mango kernel starch hydrogels. **Food Chemistry**, v. 462, 1 jan. 2025.

REVA, Oleg N. *et al.* Metabarcoding of the kombucha microbial community grown in different microenvironments. **AMB Express**, v. 5, n. 1, 12 dez. 2015.

SANWAL, Nikita *et al.* **Kombucha fermentation: Recent trends in process dynamics, functional bioactivities, toxicity management, and potential applications. Food Chemistry Advances**Elsevier Ltd, , 1 dez. 2023.

SAVARY, Océane *et al.* Tailor-made microbial consortium for Kombucha fermentation: Microbiota-induced biochemical changes and biofilm formation. **Food Research International**, v. 147, 1 set. 2021.

SHEN, Lipeng *et al.* **A comprehensive review of ultrasonic assisted extraction (UAE) for bioactive components: Principles, advantages, equipment, and combined technologies. Ultrasonics Sonochemistry**Elsevier B.V., , 1 dez. 2023.

SHOKRI, Sajad *et al.* Ultrasound-assisted fermentation for enhancing metabolic and probiotic activities of *LactoBacillus brevis*. **Chemical Engineering and Processing - Process Intensification**, v. 166, 1 set. 2021.

SIEVERS, Martin *et al.* **Microbiology and Fermentation Balance in a Kombucha Beverage Obtained from a Tea Fungus Fermentation ~System**. *Appl. Microbiol. [S.l.: S.n.]*.

SILVA JÚNIOR, Jayme César da *et al.* Traditional and flavored kombuchas with pitanga and umbu-cajá pulps: Chemical properties, antioxidants, and bioactive compounds. **Food Bioscience**, v. 44, 1 dez. 2021.

SORO, Arturo B. *et al.* Ultrasound assisted modulation of yeast growth and inactivation kinetics. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 80, 1 dez. 2021.

STOBIENIA, Mônica *et al.* Evaluation of Ultrasound Waves on *S. cerevisiae* Stimulation in the Bioethanol Production from Rice Bran. **BioEnergy Research**, v. 13, n. 1, p. 314–324, 2020.

TEIXEIRA OLIVEIRA, Jordan *et al.* Green tea and kombucha characterization: Phenolic composition, antioxidant capacity and enzymatic inhibition potential. **Food Chemistry**, v. 408, 15 maio 2023.

TRAN, Thierry *et al.* Non-Targeted Metabolomic Analysis of the Kombucha Production Process. **Metabolites**, v. 12, n. 2, 1 fev. 2022.

UMEGO, Ekene Christopher *et al.* Ultrasound-assisted fermentation: Mechanisms, technologies, and challenges. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 45, n. 6, 1 jun. 2021.

VIGNESH, Arumugam *et al.* **A review on the influence of nutraceuticals and functional foods on health**. **Food Chemistry Advances** Elsevier Ltd, , 1 dez. 2024a.

VIGNESH, Arumugam *et al.* **A review on the influence of nutraceuticals and functional foods on health.** *Food Chemistry Advances* Elsevier Ltd, , 1 dez. 2024b.

VILLARREAL-SOTO, Silvia Alejandra *et al.* **Understanding Kombucha Tea Fermentation: A Review.** *Journal of Food Science* Blackwell Publishing Inc., , 1 mar. 2018.

VILLARREAL-SOTO, Silvia Alejandra *et al.* Metabolome-microbiome signatures in the fermented beverage, Kombucha. *International Journal of Food Microbiology*, v. 333, 16 nov. 2020.

WANG, Boying *et al.* **Kombucha: Production and Microbiological Research †.** *Foods* MDPI, , 1 nov. 2022.

WANG, Jin *et al.* Influence of high-intensity ultrasound on bioactive compounds of strawberry juice: Profiles of ascorbic acid, phenolics, antioxidant activity and microstructure. *Food Control*, v. 96, p. 128–136, 1 fev. 2019.

WANG, Zhen *et al.* Identification of volatile compounds and metabolic pathway during ultrasound-assisted kombucha fermentation by HS-SPME-GC/MS combined with metabolomic analysis. *Ultrasonics Sonochemistry*, v. 94, 1 mar. 2023.

WATAWANA, Mindani *et al.* Enhancement of the antioxidant and starch hydrolase inhibitory activities of king coconut water (*Cocos nucifera* var. *aurantiaca*) by fermentation with kombucha 'tea fungus'. *International Journal of Food Science & Technology*, v. 51, p. n/a-n/a, 1 dez. 2015.

YANG, Jie *et al.* Ultrasound-assisted fermentation of *Porphyra yezoensis* sauce at different growth stages using *Lactiplantibacillus plantarum*: Metabolic response and biological activity. *Ultrasonics Sonochemistry*, v. 102, 1 jan. 2024.

YE, Qianyu; GEORGES, Nicolas; SELOMULYA, Cordelia. **Microencapsulation of active ingredients in functional foods: From research stage to commercial food products.** *Trends in Food Science and Technology* Elsevier Ltd, , 1 ago. 2018.

YOUNIS, Kaiser *et al.* **Non-thermal processing techniques for sustainable food supply chains.** *Sustainable Futures* Elsevier Ltd, , 1 jun. 2025.

ZHANG, Shuai *et al.* Mechanistic understanding of corn processing by-products valorization via microbial ultrasound-assisted fermentation: Community succession and metabolic changes. *Ultrasonics Sonochemistry*, v. 120, p. 107429, set. 2025.

ZHAO, Tianhui *et al.* **Novel kombucha-based energy drinks: Supplementation, efficacy, and safety.** *Journal of Food Composition and Analysis* Academic Press Inc., , 1 ago. 2025.

ZHOU, Dan Dan *et al.* Fermentation with Tea Residues Enhances Antioxidant Activities and Polyphenol Contents in Kombucha Beverages. *Antioxidants*, v. 11, n. 1, 1 jan. 2022.