

Potencial nutricional e biotecnológico do *SCOBY* produzido na fermentação de chá verde

Nutritional and biotechnological potential of *SCOBY* produced in green tea fermentation

Potencial nutricional y biotecnológico del *SCOBY* producido em la fermentación del té verde

Recebido: 13/08/2022 | Revisado: 23/08/2022 | Aceito: 25/08/2022 | Publicado: 03/09/2022

Marcos Garcia Costa Morais

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0102-9951>
Universidade Estadual da Paraíba, Brasil
E-mail: nutrimarcosgarcia@gmail.com

Micaela de Sousa Menezes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7897-5946>
Universidade Estadual da Paraíba, Brasil
E-mail: micaelamenezes@outlook.com

Carolini Bravo Trindade Bordulis

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5123-8690>
Universidade Federal do Rio Grande, Brasil
E-mail: carolinintrindade@hotmail.com

Priscila Antão dos Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2169-0699>
Centro Universitário Maurício de Nassau
E-mail: priscilaantao@hotmail.com

Maysla Rayssa Silva Costa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2203-1257>
Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
E-mail: mayslarayssa45@gmail.com

Taisa Paiva de Lima

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4295-1600>
Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
E-mail: taisapaiva.bd@gmail.com

Resumo

A kombucha é uma bebida milenar com alegação de propriedades funcionais que vem se popularizando no Brasil, resultado da fermentação de chá verde e/ou preto por uma associação simbiótica de bactérias e leveduras, *SCOBY* (*Symbiotic Culture Of Bacteria and Yeast*). Tem como objetivo realizar uma revisão integrativa da literatura para descrever os principais atributos biológicos da Kombucha, a fim de demonstrar os benefícios à saúde, na perspectiva atual do mercado e seu potencial biotecnológico. A kombucha, é uma bebida fermentada à base de chá e de origem asiática, produzida por uma técnica de fermentação de chá preto ou verde adoçado, promovida por uma cultura de leveduras e bactérias. A composição química é variável tanto quantitativa quanto qualitativamente, pois depende da fermentação e substratos utilizados no chá inicial, estando relacionada aos ingredientes utilizados em sua fabricação e aos processos aplicados. Seu consumo frequente apresenta benefícios relacionados à sua atividade antioxidante com potencial habilidade de eliminação de radicais livres, e com isso atraindo o interesse do mercado global, em 2019, a indústria de kombucha valia US\$ 1,67 bilhão e deve crescer cada vez mais. Portanto, a utilização do *SCOBY* como forma de obtenção de celulose bacteriana torna-se uma alternativa com potencial de rentabilidade, na caracterização da composição centesimal do *SCOBY*, encontra-se teores de proteínas e fibras alimentares em sua composição centesimal, de forma a constituir uma fonte alternativa na alimentação humana.

Palavras-chave: Celulose bacteriana; Alimento funcional; Fibra alimentar; Proteínas não convencionais.

Abstract

Kombucha is an ancient beverage with claims of functional properties that has become popular in Brazil, resulting from the fermentation of green and/or black tea by a symbiotic association of bacteria and yeast, *SCOBY* (*Symbiotic Culture Of Bacteria and Yeast*). It aims to carry out an integrative review of the literature to describe the main biological attributes of Kombucha, in order to demonstrate the health benefits, in the current perspective of the market and its biotechnological potential. Kombucha is a fermented tea-based drink of Asian origin, produced by a technique of fermenting sweetened black or green tea, promoted by a culture of yeast and bacteria. The chemical composition is variable both quantitatively and qualitatively, as it depends on the fermentation and substrates used in the initial tea, being related to the ingredients used in its manufacture and the processes applied. Its frequent consumption has benefits related to its antioxidant activity with potential ability to scavenge free radicals, and with that attracting the interest of the global market, in 2019, the kombucha industry was worth US\$ 1.67 billion and is expected to grow

more and more. Therefore, the use of SCOBY as a way of obtaining bacterial cellulose becomes an alternative with potential for profitability, in the characterization of the proximate composition of SCOBY, it is found levels of protein and dietary fiber in its proximate composition, in order to constitute a alternative source of human food.

Keywords: Bacterial cellulose; Functional food; Dietary fiber; Unconventional proteins.

Resumen

La kombucha es una bebida antigua con afirmaciones de propiedades funcionales que se ha vuelto popular en Brasil, como resultado de la fermentación del té verde y/o negro por una asociación simbiótica de bacterias y levaduras, SCOBY (Symbiotic Culture Of Bacteria and Yeast). Tiene como objetivo realizar una revisión integradora de la literatura para describir los principales atributos biológicos de la Kombucha, con el fin de demostrar los beneficios para la salud, en la perspectiva actual del mercado y su potencial biotecnológico. La kombucha es una bebida fermentada a base de té de origen asiático, producida mediante una técnica de fermentación de té negro o verde endulzado, promovida por un cultivo de levaduras y bacterias. La composición química es variable tanto cuantitativa como cualitativamente, ya que depende de la fermentación y sustratos utilizados en el té inicial, estando relacionada con los ingredientes utilizados en su elaboración y los procesos aplicados. Su consumo frecuente tiene beneficios relacionados con su actividad antioxidante con capacidad potencial para eliminar los radicales libres, y con eso atrayendo el interés del mercado global, en 2019, la industria de la kombucha tuvo un valor de US\$ 1,67 mil millones y se espera que crezca cada vez más. Por lo tanto, el uso de SCOBY como forma de obtención de celulosa bacteriana se convierte en una alternativa con potencial de rentabilidad, en la caracterización de la composición próxima de SCOBY se encuentra niveles de proteína y fibra dietética en su composición próxima, con el fin de constituir una fuente alternativa de alimentación humana.

Palabras clave: Celulosa bacteriana; Comida funcional; Fibra dietética; Proteínas no convencionales.

1. Introdução

A kombucha é uma bebida milenar caracterizada por ser refrescante, adocicada e levemente ácida, obtida tradicionalmente da fermentação da infusão de folhas de chás preto ou verde, envolvendo uma associação simbiótica de bactérias e leveduras, acomodadas numa matriz de celulose sintetizada por bactérias acéticas, resultando em um produto com alta aceitação sensorial (Greenwalt et al., 1998; Santos, 2016). A sua origem ainda é incerta, mas acredita-se que tenha surgido na Manchúria, no nordeste da China, sendo conhecida como o chá da imortalidade (Kaufmann, 2013), no entanto vem se popularizando no Ocidente devido às suas inúmeras propriedades benéficas, principalmente nos Estados Unidos e na Europa, em virtude dos efeitos terapêuticos e sua relação com o retardo no envelhecimento (Chakravorty et al., 2016; Jayabalan et al., 2014).

Nesse contexto, os metabólitos resultantes das atividades microbiológicas são os principais constituintes associados aos efeitos benéficos à saúde. Ácidos orgânicos, catequinas, flavonoides e compostos fenólicos tem sido de interesse em pesquisas para explicar a correlação com as propriedades terapêuticas (Vitas et al., 2013). Entre as várias alegações, os benefícios antimicrobianos, antioxidantes, antidiabéticos e anticancerígenos tem se destacado e despertado o interesse do consumidor (Chakravorty et al., 2019; Kapp & Sumner, 2019).

A kombucha resulta da fermentação realizada a partir de chá adoçado pela ação da cultura simbiótica de bactérias (primordialmente por bactérias acéticas) e leveduras, constituída por uma película gelatinosa de celulose bacteriana (CB) na superfície do líquido chamada *SCOBY* (*Symbiotic Culture of Bacteria and Yeasts*), que é responsável pela fermentação do chá e por uma nova película que se forma por camadas (Chen & Liu, 2000). Desse modo, a bebida é formada, essencialmente, por duas partes distintas: uma película celulósica e um caldo em forma líquida que é principalmente acidificado (Blauth, 2019).

Existem diferenças na composição, atividade biológica e dos micro-organismos presentes na kombucha, sendo variável de acordo com a quantidade de folhas do chá utilizado, concentração e escolha do açúcar, tempo de fermentação e composição do *SCOBY* (Cardoso et al., 2020). Durante o processo de fermentação, o chá começa a liberar um aroma fermentado e há formação de bolhas de gás, resultado do ácido carbônico produzido na reação. O *SCOBY* é constituído majoritariamente por proteína e fibras, sempre formando um novo *SCOBY* na superfície do recipiente a cada nova fermentação, o qual deve ser guardada uma parte para a próxima fermentação e assim sucessivamente, podendo gerar um excedente que

pode ser aproveitado, tanto como fonte de nutrientes na alimentação humana quanto para obtenção de CB (JAYABALAN et al., 2014).

A celulose é considerada o material orgânico mais abundante na natureza, podendo ser de origem vegetal ou microbiana. A celulose vegetal é a mais utilizada pela sua maior disponibilidade e consequente facilidade de obtenção, porém exige etapas de tratamento para sua obtenção e utilização. Um processo que visa otimizar as propriedades tecnológicas da celulose e tem resultados promissores é a obtenção de nanofibras a partir destes resíduos celulósicos para geração de novos produtos, como material de reforço de filmes e embalagens biodegradáveis. Dentro deste contexto, a celulose proveniente de bactérias tem se mostrado uma alternativa interessante, pois apresenta maior grau de pureza, não contendo em sua composição a presença de lignina e hemicelulose, diminuindo assim a quantidade de reagentes e etapas para sua extração e posterior aplicação (Qing et al., 2013).

Dessa forma, materiais celulósicos de origem bacteriana têm atraído crescente interesse como alternativa aos materiais sintéticos, especialmente como carga e reforço para compósitos. Essa substituição dá-se em virtude da CB ter estrutura semelhante à da celulose vegetal e apresentar vantagens como fibras de caráter nanométrico, alta biodegradabilidade, baixos custo e impacto ambiental (Neves et al., 2018). Nessa perspectiva, estudos recentes já demonstraram a capacidade de utilização da celulose obtida através do *SCOBY* em filmes com atividade antimicrobiana (Battikh et al., 2013), curativos medicamentosos (El-Wakil et al., 2019), membranas de filtração (Eggensperger et al., 2020) e na indústria têxtil (Santos, 2020).

A purificação da celulose bacteriana é uma etapa fundamental na produção de subprodutos derivado da CB. Para a CB, o tratamento com hidróxido de sódio destina-se à remoção de compostos orgânicos (como ácidos nucleicos e proteínas) e células residuais das bactérias e leveduras. Contudo, este processamento químico muitas vezes não é feito de maneira efetiva, resultando em membranas ainda com bactérias ativas em seu interior (Saska et al., 2012).

Consequentemente, estudos que avaliem a viabilidade de utilização e caracterização dos filmes de CB formados na produção de kombucha, obtidos a partir de diferentes tratamentos para possíveis aplicações que se enquadrem nas necessidades da atual sociedade é de suma importância para agregar conhecimento e formas de aproveitamento desse biofilme, além de conhecer sua composição nutricional para verificar o potencial como alimento voltado a necessidades específicas à saúde. Destarte, para a problemática inerente, este estudo elegeu-se como questão norteadora: O que a literatura tem apontado a respeito dos benefícios do *SCOBY* da kombucha, referente às questões nutricionais, de mercado, composição centesimal e biotecnológica?

Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo realizar uma revisão integrativa da literatura para descrever os principais atributos biológicos do *SCOBY* da Kombucha a fim de demonstrar os benefícios à saúde, na perspectiva atual do mercado e por fim, seu potencial biotecnológico.

2. Metodologia

Estudo teórico do tipo revisão integrativa da literatura (RIL), com a finalidade de reunir, sintetizar e contextualizar resultados de estudos já realizados, e contribuir com o aprofundamento do conhecimento relativo ao tema investigado. A RIL foi desenvolvida de acordo com as seguintes etapas: definição do objetivo; elaboração da questão norteadora; definição das bases de dados e estabelecimento de critérios para inclusão e exclusão de estudos/amostragem ou busca na literatura; definição das informações extraídas dos estudos selecionados; avaliação dos estudos incluídos na revisão integrativa; interpretação dos resultados e, por último, apresentação da revisão/síntese do conhecimento (Souza, 2010).

2.1 Identificação

Para identificar os estudos que abordavam, foram realizadas buscas sistematizadas na base de dados ScienceDirect, Scopus e SciELO. Os termos de busca utilizados nas bases foram: Kombucha, Fermentation, Scoby, Potential in the Market e Microbiological. As buscas foram limitadas por tipo de artigo. A última busca foi realizada em 10 de setembro de 2022. Para a seleção dos estudos, utilizou-se como critério de inclusão de estudos de diferentes países, completos, que abordassem o tema “Potencial Nutricional e biotecnológico do scoby da Kombucha”, no idioma inglês e entre os anos 2000 e 2022.

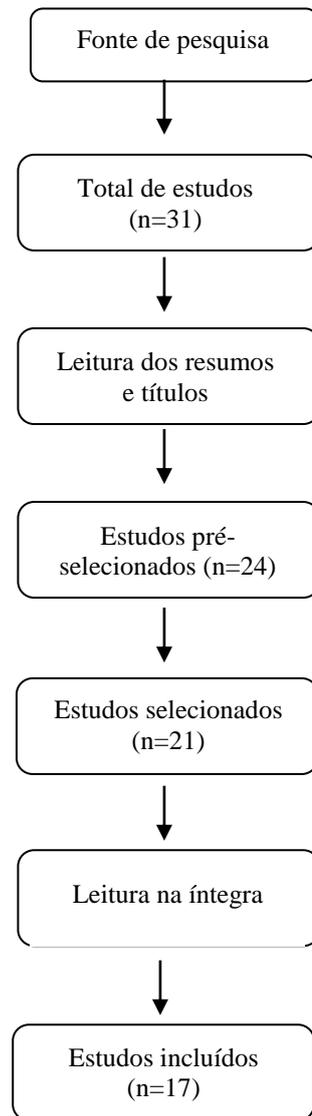
2.2 Pré-Seleção

Para chegar a pré-seleção, buscou-se os títulos e/ou palavras chaves que poderiam ter relação com a temática da revisão deste trabalho. Em seguida, foi realizada uma leitura para melhor entendimento do conteúdo dos mesmos. Na pré-seleção, foram descartados artigos que não tinham qualquer relação direta com o assunto. Com isso, foram descartados 11 artigos. Depois de uma reunião com os pesquisadores deste trabalho para discutir as abordagens dos artigos, foram selecionados 17 artigos para discutir a temática do artigo (Figura 1).

2.3 Análise dos Artigos Pré-Selecionados

A avaliação para a seleção dos artigos foi realizada pelos autores deste trabalho e, em seguida, apresentada a todos os pesquisadores para verificar se havia divergência de opiniões, e estas foram sanadas por meio de um consenso. A seleção inicialmente foi realizada através de títulos, seguida por resumos, e quando selecionados, por leitura completa dos artigos.

Figura 1 - Fluxograma da revisão integrativa do trabalho.



Fonte: Autores (2022).

3. Resultados e Discussão

A kombucha, de acordo Jayabalan et al. (2014), é uma bebida fermentada à base de chá e de origem asiática, tradicional na China, produzida por uma técnica de fermentação de chá preto ou verde adoçado, promovida por uma cultura de leveduras e bactérias de diversos gêneros, denominada *SCOBY*.

O relato do primeiro consumo de kombucha remete a 220 a.C. na região da Manchúria, durante a dinastia Chin, onde foi valorizada por suas supostas propriedades benéficas à saúde (Jayabalan et al., 2014). No entanto, por volta de 414 d.C. a bebida foi levada para o Japão por um médico coreano chamado Kombu, para curar os problemas digestivos do rei japonês Ikyo, originando então o nome kombucha no Japão (Dutta & Paul, 2019; Chakravorty et al., 2019).

A bebida era frequentemente preparada em locais ou casas religiosas, os quais eram necessariamente mantidos limpos e assim tendo menores riscos de contaminação. Essa prática fez com que a produção da kombucha passasse a ser considerada “divina” e a venda do *SCOBY* um ato profano, o qual passou a ser distribuído entre as famílias como um presente. Em

decorrência da história da kombucha, até hoje, em alguns países das regiões da Ásia, existem crenças religiosas e tabus associados com a bebida e o *SCOBY* (Dutta & Paul, 2019).

O consumo de kombucha foi se expandindo, sendo introduzida na Europa, entretanto seu consumo aumentou depois da Segunda Guerra Mundial, se popularizando em diferentes classes econômicas. O alto consumo na Europa advém a uma escassez inevitável de chá e açúcar, itens básicos para a fermentação (Jayabalan et al., 2014). Por volta da década de 40 do século passado, alguns estudos empíricos foram desenvolvidos por médicos de um hospital em Omsk (região da Rússia) que indicaram que pacientes que ingeriram kombucha regularmente encontraram alívio de uma variedade de doenças, incluindo inflamação aguda, angina e problemas digestivos. Posteriormente, na década de 1960, os resultados foram comprovados através de cientistas suíços, que relataram que beber kombucha era igualmente benéfico como comer iogurte. Após o incidente de Chernobyl, estudos russos indicaram que as pessoas que consumiam kombucha regularmente eram mais resistentes aos efeitos da radiação nuclear (Chandrakala et al., 2019).

Assim, a popularidade da bebida cresceu ao longo dos anos, principalmente nas últimas duas décadas, e sua produção comercial registrou uma ampliação notável, especialmente nos Estados Unidos, além de outras partes do mundo (Chandrakala et al., 2019). Há uma alta demanda na América do Norte e na Europa, sendo que os Estados Unidos têm a maior participação de mercado. Em 2016, responderam por aproximadamente 51% das vendas mundiais. Espera-se um crescimento moderado na América Latina nos próximos anos, mais alto no Brasil, Venezuela e Argentina (Jayabalan & Waisundara, 2019).

No Brasil, não existem registros de dados de consumo e produção disponíveis. No entanto, a produção industrial e comercialização da bebida é uma realidade nacional e, para tanto, recentemente foi publicado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), a Instrução Normativa nº 41, de 17 de setembro de 2019, que estabelece o Padrão de Identidade e Qualidade (PIQ) da kombucha. Este documento define a kombucha como “a bebida fermentada obtida através da respiração aeróbia e fermentação anaeróbia do modo obtido pela infusão ou extrato de *Camellia sinensis* e açúcares por cultura simbiótica de bactérias e leveduras microbiologicamente ativas (*SCOBY*)” (MAPA, 2019). Por esta mesma legislação, é limitada a graduação alcoólica de 0,5% (v/v) para alegações de kombucha “sem álcool”, e de 0,6 a 8,0% para a kombucha alcoólica. Para a alegação de kombucha “zero álcool”, o produto pode conter até no máximo 0,05% de álcool.

3.1 Produção da Kombucha

A kombucha é uma bebida com características refrescantes e levemente adocicada, obtida a partir do processo de fermentação do chá adoçado pela ação de um biofilme formado pela associação simbiótica de bactérias e leveduras. Este processo ocorre através da infusão de folhas de *Camellia sinensis*, sendo o chá preto e chá verde os mais utilizados para o preparo, seja por meio da combinação de ambos ou isoladamente. No entanto, de acordo com o recém estabelecido Padrão de Identidade e Qualidade da kombucha, são citados como ingredientes obrigatórios: água potável; infusão ou extrato aquoso de *Camellia sinensis*; açúcares; a cultura de bactérias e leveduras adequadas para fermentação alcoólica e acética, desde que garantida a sua inocuidade à saúde humana. Além destes, ingredientes opcionais também são citados como permitidos para utilização na produção da kombucha, como: a infusão de espécies vegetais em água, ou seus extratos; frutas; vegetais; especiarias; mel, melado e outros açúcares de origem vegetal; gás carbônico industrialmente puro. Ainda, segundo a legislação, só poderão ser adicionadas fibras, vitaminas, sais minerais, outros nutrientes, aditivos aromatizantes naturais e corantes naturais em kombucha não alcoólica (Jayabalan et al., 2014; Mapa, 2019).

Em escala artesanal, geralmente, se tem como referência a quantidade de 1 L de água potável para 50 g de sacarose para ocorrer a fermentação (Dutta & Paul, 2019). No entanto, diferentes proporções de chás e açúcares são reportadas no preparo do kombucha. De acordo com Malbaša et al. (2008), Pure e Pure (2016) e Kallel et al. (2012), em suas pesquisas foram utilizadas quantidades de 70, 20 e 100 g L⁻¹ de sacarose para 5, 10 e 12 g L⁻¹ de folhas de chá, respectivamente. Outras

formulações com substratos e infusões já foram testadas, como soro de soja (Tu et al., 2019) e suco de grama de trigo (Sun et al., 2015).

Para a fermentação artesanal, o *SCOBY* é adicionado ao chá base em um recipiente de vidro no qual deve ter um gargalo largo de modo a permitir fácil acesso e área de superfície suficiente para a troca de ar com o ambiente. A fermentação da kombucha é realizada em duas fases: a primeira fase é o chá líquido; e a segunda é a parte sólida (*SCOBY*). Os mesmos micro-organismos estão presentes tanto no líquido quanto no *SCOBY*, porém em concentrações diferentes entre eles (Villarreal-Soto et al., 2018). O processo fermentativo é iniciado pelas leveduras que realizam a hidrólise da sacarose, convertendo-a em glicose e frutose, resultando na produção de etanol, glicerol e dióxido de carbono. Na sequência, as bactérias oxidam etanol produzindo ácido acético e transformam a glicose em ácido glicurônico (Gaggia et al., 2019). Além disso, a glicose é usada por algumas bactérias, principalmente da espécie *Komagataeibacter*, para produzir um novo *SCOBY* (Coton et al., 2017).

A cada fermentação forma-se um novo *SCOBY* na superfície do recipiente, sendo que parte do mesmo deve ser guardado juntamente com um percentual de seu líquido já fermentado para a próxima fermentação. Ao longo de sua fermentação, a kombucha desenvolve sabor ácido, originado principalmente do ácido acético, diminuindo sua aceitação sensorial. Além disso, outros ácidos orgânicos são gerados, ocasionando redução do pH da bebida (Chakravorty et al., 2016). O tempo ideal de fermentação varia de 7 a 12 dias com temperatura entre 22 e 30 °C em recipiente aberto com proteção para que haja passagem de ar, mas sem entrada de insetos ou sujidades (Dufresne & Farnworth, 2000)

3.2 Microbiologia do *Scoby*

O *SCOBY* utilizado para a fermentação da kombucha é uma cultura em matriz esponjosa celulósica em formato de sino, também é conhecido como “fungo do chá”, “mãe kombucha” e “mãe do vinagre”, crescendo em condições adequadas de pH e temperatura (BLANC, 1996). Este biofilme celulósico é adicionado ao chá ou substrato a ser fermentado, sendo chamado de “cultura mãe”. À medida que a fermentação evolui, uma nova camada de *SCOBY* se forma na superfície do líquido, que poderá ser utilizado para inocular um próximo substrato (Dutta & Paul, 2019).

Embora a microbiota envolvida na fermentação da kombucha seja diferente de acordo com a localização geográfica na qual se encontra, da fonte do inóculo e do tempo de fermentação (Malbaša et al., 2008), pode se apontar as principais famílias, gêneros e espécies de leveduras e bactérias presentes em ambas as porções da kombucha. Os procariotos mais abundantes no *SCOBY* são as bactérias do gênero *Acetobacter* e *Gluconobacter*. A principal bactéria responsável por criar a rede celulósica flutuante na superfície do líquido é *Acetobacter xylinum*. Esta rede, que é um metabólito secundário da fermentação da kombucha, serve como a estrutura base física para o desenvolvimento simbiótico, sendo uma das características singulares da cultura (Jayabalan et al., 2014; Dutta & Paul, 2019).

Dutta e Paul (2019), descreveram como as principais bactérias identificadas no *SCOBY*, *Acetobacter xylinoides*, *Komagataeibacter xylinus*, *Gluconacetobacter xylinus*, *Acetobacter aceti* e *Acetobacter pasteurianus*. A taxonomia da *Gluconacetobacter* foi recentemente atualizada e este gênero foi subdividido em três gêneros: *Nguyenibacter*, *Komagataeibacter* e *Gluconacetobacter*, porém as bases de dados microbianas não foram modificadas ainda para suportar a reclassificação (Filippis et al., 2018). Além de bactérias acéticas existem muitas espécies de leveduras na kombucha. Um grande espectro de leveduras já foi encontrado, incluindo *Saccharomyces*, *Saccharomicodes*, *Schizosaccharomyces*, *Brettanomyces/Dekkera*, *Candida*, *Torulospora*, *Koleckera*, *Pichia*, *Mycotorula* e *Mycoderma* (Jayabalan et al., 2014).

3.3 Composição Química da Kombucha e do *Scoby*

Diversos fatores, como tempo de fermentação e substratos utilizados no chá inicial, podem interferir de forma quantitativa quanto qualitativamente na composição química da kombucha, pois estão intimamente relacionadas aos ingredientes utilizados em sua fabricação e aos processos aplicados. Porém, alguns componentes, como ácidos orgânicos, vitaminas, polifenóis e aminoácidos, estão comprovadamente presentes na maioria (Jayabalan et al., 2014; MARSH et al., 2014).

Entre os ácidos orgânicos presentes, glicurônico, glicônicos, láctico, málico e cítrico, são os mais importantes produzidos durante a fermentação. O ácido láctico se mostra mais presente em preparações com base de chá verde se comparado a outros chás, como chá preto. Enquanto, o ácido glicurônico é importante para saúde presente na kombucha e é o resultado de um processo microbiológico de oxidação da glicose (Jayabalan et al., 2014; Nguyen et al., 2015).

O substrato utilizado pelos micro-organismos é a sacarose. Provou-se que a simbiose de bactérias e leveduras é responsável pela hidrólise enzimática extracelular de sacarose em glicose e frutose, seguida da transformação de glicose e frutose em etanol e CO₂ pelas leveduras, enquanto as bactérias convertem a glicose em ácido glicônico e frutose em ácido acético como consequência das reações da cadeia metabólica (Reiss, 1994).

Ao caracterizar a composição do *SCOBY* da kombucha, encontra-se grande quantidade de proteína bruta, fibra bruta, aminoácidos, sódio, potássio e magnésio. Com base em suas características bioquímicas, o *SCOBY* pode ser utilizado na formulação de alimentos para animais, bem como material de bioabsorção e embalagem de alimentos (Jayabalan et al., 2010).

De acordo com Murugesan et al. (2005), a composição dos *SCOBYs* apresenta uma quantidade de proteína relevante, além de fibras insolúveis e outros nutrientes. Com isso, se apresenta como um alimento interessante na introdução da dieta de várias pessoas e como forma de suprir um problema de quem cultiva de forma artesanal em casa e se depara com um excesso de *SCOBY*, proveniente das fermentações, surgindo uma nova colônia-filha. Dessa forma, a introdução de *SCOBY* na culinária vem crescendo em diferentes preparações, como em panquecas, molhos, vitaminas e biscoitos (Sacks, 2021). Portanto, há uma grande oportunidade de agregar valor ao processo de produção de kombucha e converter esse subproduto em uma nova fonte da alimentação, sendo introduzido no cardápio.

3.4 Benefícios da Kombucha

Por tratar-se de uma bebida tradicional, a kombucha é consumida em todo o mundo, por suas supostas propriedades profiláticas e terapêuticas. Um dos benefícios comprovados está relacionado à sua atividade antioxidante com potencial habilidade de eliminação de radicais livres, sendo essa atividade benéfica proveniente da utilização de *Camellia sinensis* como matéria-prima. Mesmo que alguns benefícios ainda permaneçam como relatos empíricos não científicos, existem algumas investigações já realizadas sobre contribuições da bebida para a saúde humana (Dufresne & Farnworth, 2000; Jayabalan et al., 2007).

Dufresne e Farnworth (2000) realizaram uma revisão de literatura acerca dos benefícios já investigados até os anos 2000, quando já se sabia sobre sua capacidade antioxidante preventiva. Paludo (2017) investigou a capacidade antioxidante a partir das concentrações de compostos fenólicos, os quais são capazes de eliminar espécies de radicais livres e ativos de oxigênio. Jayabalan et al. (2014) apontam que a kombucha reduz problemas durante o ciclo menstrual, reduz complicações causadas por álcool, desintoxica o sangue e estimula a produção de interferon, que são mediadores importantes de respostas imunológicas.

De acordo com Moura (2019), na literatura existem diversos relatos de benefícios dessa bebida milenar, como a redução dos sintomas de doenças crônicas ou de propriedades curativas. Porém, só na última década é que se observou uma

explosão em sua popularidade principalmente em países como os Estados Unidos, que atualmente possui um mercado bem estabelecido para esse produto.

Em um estudo de Yang et al. (2009), demonstrou-se que houve perda de peso causada pelo consumo de kombucha quando analisado o efeito hipolipidêmico *in vivo* em ratos, o qual foi conectado à interação da kombucha com a inibição da lipase e, como resultado, uma restrição na ingestão de calorias. Dentre os resultados do mesmo estudo também houve diminuição no colesterol total e redução do número de gotículas de gordura nos ratos (Yang et al., 2009). Devido ao baixo pH e à presença de ácido acético, foi demonstrado que a kombucha apresenta propriedade antimicrobiana e inibe o crescimento de bactérias patogênicas (Battikh et al., 2013; Greenwalt et al., 1998).

Conforme aponta Suhre (2000), acerca dos efeitos colaterais, apesar de existirem casos isolados de toxicidade, reações alérgicas, icterícias, náuseas, vômito, dor de cabeça e pescoço, não há evidências científicas suficientes para finalizar as análises de toxicidade da bebida.

3.5 Mercado Atual e Perspectivas

De acordo com Agarwa e Bhonsle (2020), o tamanho do mercado global de kombucha valia US\$ 1,67 bilhão em 2019 e deve crescer a uma taxa de crescimento anual composta baseada em receita de 19,7% durante o período de previsão. Espera-se que a crescente preferência do consumidor por bebidas funcionais em relação a bebidas carbonatadas e sucos, juntamente com a conscientização sobre os benefícios nutricionais inerentes ao produto, estimule o crescimento.

Os mercados locais de países como Reino Unido, França, Rússia, Alemanha e partes do resto da Europa são os maiores consumidores desse tipo de bebida. Especificamente, o Reino Unido dominou esse mercado europeu, gerando as mais altas receitas no ano de 2018. Devido à crescente conscientização sobre as bebidas do tipo kombucha no mercado do Reino Unido, vários consumidores estão dispostos a gastar muito com essas bebidas para melhorar sua saúde. Ademais, espera-se que a mudança no estilo de vida possa impulsionar o mercado na Alemanha, tornando o mercado consumidor de kombucha que mais cresce na região até o final de 2027 (Agarwa & Bhonsle, 2020).

No Brasil, o mercado para esse tipo específico de produto é ainda embrionário, mas pesquisas revelam que ele vem crescendo e a tendência é aumentar cada vez mais nos próximos anos. Segundo os dados da Euromonitor International, em 2015 apenas no Brasil, o volume de vendas de alimentos e bebidas saudáveis atingiu aproximadamente US\$ 27,5 bilhões, colocando o Brasil na quinta posição de maior mercado para esse ramo de alimento e bebida.

Esse mercado, de acordo com a Associação Brasileira das Indústrias de Refrigerantes e Bebidas não alcoólicas (ABIR, 2020), cresceu 100% no Brasil entre 2010 e 2020. E a agência prevê um crescimento do setor nos próximos anos, em que produtos que apresentem maior grau de diversificação se destacarão por consequência do novo comportamento do consumidor, cada vez mais interessado no mercado de bebidas saudáveis.

3.6 Celulose Bacteriana

A celulose é o material orgânico renovável mais abundante produzido na biosfera. É amplamente distribuída em plantas superiores, em alguns animais marinhos e também em algas, fungos e bactérias. Independentemente de sua origem, a celulose consiste em longas cadeias lineares homopoliméricas de centenas a 20.000 unidades de D-glicose, nas quais o segmento de repetição, chamado celobiose, é um dímero de duas unidades de glicose unidas por ligações β (1 \rightarrow 4). O polímero linear de celulose é fortemente associado através das ligações de hidrogênio que são responsáveis pela formação das fibras de celulose. Moléculas de celulose formam ligações de hidrogênio intra e intermoleculares, sendo que o primeiro tipo de interação é responsável pela rigidez da cadeia e o segundo pela formação da fibra vegetal (Habibi et al., 2010).

A celulose bacteriana (CB) é conhecida por fornecer proteção às bactérias, garantir um ambiente rico em oxigênio, proporcionar melhor capacidade de absorção e proteger de condições ambientais indesejáveis, como baixo teor de água e pH extremo. Embora a estrutura química da CB seja semelhante à da celulose vegetal, não requer procedimentos de tratamento extra antes de seu uso, pois não contém lignina, hemicelulose, pectina, arabinose e outros elementos derivados de plantas (Al-Kalifawi & Hassan, 2014; Machado et al., 2016). Sabe-se que hidróxido de sódio, ácido sulfúrico e outros produtos químicos utilizados na purificação da celulose vegetal causam poluição ambiental (Al-Kalifawi & Hassan, 2014; Suwanposri et al., 2014). Portanto, é muito importante aumentar a produção de celulose bacteriana, que é um nanomaterial ecologicamente correto e renovável. Além disso, a CB apresenta nanoestrutura microfibrilar, alta resistência mecânica, alta elasticidade, estabilidade térmica, alta capacidade de absorção de líquidos (Suwanposri et al., 2014) e excelente afinidade biológica (Al-Kalifawi & Hassan, 2014).

A CB possui distintas vantagens quando comparada a fontes tradicionais de celulose (obtidas de plantas), mesmo que ambas possuam a mesma estrutura química. A CB possui menor densidade, maiores índices de cristalinidade, capacidade de retenção de água, força mecânica (resistência à tração) devido à sua estrutura de rede e à sua alta pureza, sendo esta última relacionada ao fato de não conter lignina, pectina e hemicelulose na sua composição (Iguchi et al., 2000).

Esta ausência de impurezas na estrutura da CB faz com que ela seja facilmente purificada utilizando apenas hidróxido de sódio (Goh et al., 2012), ao contrário da celulose originária de plantas, em que são realizadas diversas etapas de extração e purificação. Além disso, a CB foi considerada não tóxica por ingestão, contato com a pele ou inalação, e não desencadeia nenhuma outra resposta inflamatória ou oxidativa ao estresse em nível celular (Dourado et al., 2017).

A celulose obtida através de processos microbianos é muitas vezes chamada de nanocelulose devido à sua cristalinidade e às nanodimensões de suas fibras, que apresentam diâmetros que variam de 25 a 100 nm e cerca de 100 µm de comprimento (Lee et al., 2014; Semjonovs et al., 2017). Outra característica vantajosa da CB é que ela possui suas nanofibras aleatoriamente alinhadas nas membranas e estas podem ser facilmente orientadas uniaxialmente ou uniplanarmente se for aplicada uma tensão durante sua secagem. Quando ainda úmidas, as películas de CB podem ser facilmente desintegradas em nanofibras, diferentemente da nano ou microcelulose obtida de plantas, que precisa ser produzida a partir da homogeneização ou fibrilação para obter dimensões na escala nano (Lee et al., 2014). A principal característica da matriz de CB é que, em vez de apresentar estrutura concentrada de moléculas, ela apresenta arranjo de nanofibras, podendo ser considerada como uma estrutura supra-molecular de dimensões nanométricas (Torres et al., 2019). De acordo com Habibi et al. (2010), a CB é um material de propriedades promissoras e se mostra vantajosa quanto às etapas de purificação e posteriores aplicações quando comparada a outras fontes de celulose.

O desenvolvimento de novos filmes biodegradáveis a partir de CB se mostra bastante promissor. Em um estudo de Viana e colaboradores (2018), os autores avaliaram as propriedades de filmes de purês de frutas (goiaba e manga) compostos por CB combinada ou não com pectina e em diferentes proporções. A substituição parcial ou total da pectina por CB resultou em melhores propriedades físicas dos filmes comestíveis (aqueles com ou sem purê de frutas), tornando-os mais fortes, mais rígidos e mais resistentes à água.

Em outro estudo, desenvolvido por Fernandes et al. (2009), os filmes utilizando matrizes de quitosana adicionados de CB demonstraram melhores propriedades mecânicas, alta transparência e flexibilidade. Esta combinação de filmes renováveis com nanofibras de quitosana e celulose bacteriana também apresentaram estabilidade térmica e baixa permeabilidade ao oxigênio.

3.7 *Scoby* como Fonte de Celulose Bacteriana

Um dos grandes fatores que dificultam a ampla utilização da CB é o alto custo de produção. Uma alternativa promissora, com o aumento da produção e comercialização de kombucha, é a possibilidade de aproveitar seu subproduto proveniente do processo fermentativo, o *SCOBY*.

Dessa forma, essas vantagens da utilização da CB aumenta o interesse de muitos cientistas para o desenvolvimento de biomateriais sustentáveis obtidos por fontes renováveis. Entre eles se destaca a membrana de celulose bacteriana (MCB), obtida como subproduto da fermentação da bebida probiótica com o processo kombucha através do *SCOBY* (Teoh et al., 2004), sendo aplicado em diferentes áreas como biotecnologia, farmácia, ciências biomédicas, embalagens de base biológica, papel e indústria de alimentos (Iguchi et al., 2000)

A CB possui uma ampla variedade de aplicações no mercado mundial devido às inúmeras propriedades conferidas pelas fibras cristalinas e de nanodimensões, sendo o principal tipo de fibra encontrada na celulose contida no *SCOBY* (Lee et al., 2014). A formação da película é dada principalmente pela bactéria *Komagataeibacter xylinus* e outras cepas da família *Acetobacteraceae*. Entretanto, outras linhagens de bactérias encontradas na película já foram reportadas como cepas produtoras de celulose (Sinir et al., 2019).

Os resultados apresentados por Al-Kalifawi e Hassan (2014) mostraram que diversos fatores como a concentração de sacarose, de nitrogênio, temperatura, períodos de incubação, profundidade, área superficial de contato com o caldo e a condição estática do caldo influenciaram no rendimento de celulose bacteriana produzida. Cafeína e xantinas encontradas no chá também foram relacionadas à capacidade de estimular a síntese da celulose bacteriana (Jaybalan & Waisundara, 2019).

A composição da CB tem sido investigada para melhor compreensão das propriedades do material. A avaliação da celulose bacteriana produzida a partir de kombucha fermentada durante oito dias revelou que o material é composto por uma rede ultrafina compacta com presença de ligações β (1 \rightarrow 4). Os resultados mostraram também que a celulose está livre de contaminantes como lignina e hemicelulose. Fibras com diâmetro menor que 100 nm formam uma rede entrelaçada tridimensional que melhora as propriedades mecânicas da matriz. A rede ainda é composta aleatoriamente por feixe de fibras de 20 a 70 nm de largura, com cerca de 3 a 10 fibrilas com um diâmetro 24 entre 7 a 10 nm (Goh et al., 2012; Zhu et al., 2014; Emiljanowicz & Malinowska-Pańczyk, 2019).

3.8 Tratamentos do *Scoby*

Uma etapa crucial na produção de subprodutos de celulose bacteriana é a purificação, que consiste no tratamento com hidróxido de sódio para remoção de compostos orgânicos e células da bactéria residual, que ocorrem durante o processamento. Contudo, este processamento químico muitas vezes não é feito de maneira efetiva, resultando em membranas ainda com bactérias ativas em seu interior (Saska et al., 2012).

No estudo de Sederaviciute et al. (2019), no pré-tratamento do *SCOBY* para obtenção da celulose bacteriana, foram estudadas três amostras: uma amostra controle, onde a membrana não sofreu nenhum tratamento; CB_H2O, com lavagem em água deionizada e solução alcalina fraca; e CB_NaOH, com lavagem com NaOH 0,5%. As amostras foram mantidas agitadas até 24 h a $30 \pm 0,2$ °C na velocidade de 120 rpm. Os experimentos confirmaram que as amostras lavadas apresentaram maior estabilidade térmica, o que pode ser atribuído à maior cristalinidade e forma mais pura de celulose. A análise de FT-IR comprovou que a solução alcalina e a água utilizada na lavagem da CB têm influência nas mudanças da estrutura das membranas: após o pré-tratamento, os picos de cristalinidade obtidos foram mais intensos, as áreas amorfas diminuíram e o açúcar foi removido da membrana. Os experimentos também mostraram que procedimentos de lavagem menos agressivos, e mesmo lavagem com água pura, poderiam resultar em uma membrana de celulose bacteriana de *SCOBY* com propriedades muito semelhantes.

Dima et al. (2017) testaram duas soluções alcalinas, NaOH 1 e 4 mol L⁻¹, usando uma relação sólido líquido de 1:2, observando que o tratamento com a solução de NaOH 1 mol L⁻¹ levou a aproximadamente 85% de purificação, e a concentração mais alta de 4 mol L⁻¹ garantiu quase 97% de remoção de impurezas do *SCOBY*, aumentando a cristalinidade das membranas.

No estudo de Avcioglu, Birben e Bilkay (2021), visando à otimização das condições de fermentação para produção de celulose bacteriana, utilizaram solução de NaOH 1 mol L⁻¹ a 80 °C por 1 h para o tratamento das membranas, visando sua caracterização.

No estudo de Leonarski (2020), amostras de celulose obtidas na produção de kombucha utilizando subprodutos de acerola foram purificadas para remover impurezas e micro-organismos aderidos, a fim de caracterizá-las. A purificação foi realizada por imersão da celulose em NaOH 0,1 mol L⁻¹ por pelo menos 24 h a 50 °C. As membranas foram lavadas com água até pH neutro, congeladas por 24 h e liofilizadas por 48 h. Em outro procedimento, Leonarski (2020) purificou as membranas de celulose bacteriana por imersão em NaOH 0,1 mol L⁻¹ a 90°C por cerca de 1-2 h. As membranas foram lavadas com água destilada a 50 °C por 24 h e depois lavadas a cada hora até que o pH fosse neutro.

4. Conclusão

Percebeu-se, graças ao método da Revisão Integrativa da Literatura, que o crescimento mundial do mercado da kombucha e o aproveitamento de subprodutos gerados vêm aumentando na literatura. A utilização do *SCOBY* excedente como forma de obtenção de celulose bacteriana torna-se uma alternativa com potencial de rentabilidade. Além disso, na caracterização da composição centesimal do *SCOBY*, encontra-se teores de proteínas e fibras alimentares em sua composição centesimal, de forma a constituir uma fonte alternativa destes compostos na alimentação humana, visando atender um público com necessidades específicas, podendo ser direcionado a uma alimentação vegana como também para auxiliar na função intestinal.

Assim, almeja-se que novos estudos possam consolidar a importância e incentivo do crescimento do mercado na distribuição do *SCOBY* e contribuir com a difusão em toda sua potencialidade nas perspectivas inerentes às áreas da estética, processos industriais; produção de alimentos; produção de biofilmes.

Referências

- Abir. (2000). Associação Brasileira das Indústrias de Refrigerantes e Bebidas não alcoólicas. <https://abir.org.br>.
- Agarwa, A., & D., B. C. (2020). *Kombucha Market Size, Share & Trends Analysis Report By Flavor (Original, Flavored)*. <https://www.researchandmarkets.com/reports/4613440/kombucha-market-size-share-and-trends-analysis>.
- Al-Kalifawi, E. J., & Hassan, I. A. (2014). Factors influence on the yield of bacterial cellulose of Kombucha (Khubdat Humza). *Baghdad Science Journal*, 11(3), 1420-1428.
- Avcioglu, N. H., Birben, M., & Bilkay, I. S. (2021). Optimization and physicochemical characterization of enhanced microbial cellulose production with a new Kombucha consortium. *Process Biochemistry*, 108, 60-68.
- Battikh, H., Kamel, C., Amina, B., & Emna, A. (2013). Antibacterial and antifungal activities of black and green kombucha teas. *Journal of Food Biochemistry*, 37(2), 231-236.
- Blanc, P. J. (1996). Characterization of the tea fungus metabolites. *Biotechnology Letters*, 18(2), 138-142.
- Blauth, C. M. (2019). *Kombucha: tecnologia e produção*. (Trabalho de conclusão de curso) Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre. Porto Alegre, Brasil.
- Brasil (2019). Ministério Da Agricultura, Pecuária E Abastecimento. Constituição (2019). Instrução Normativa nº 41, de 17 de setembro de 2019. <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/legislacao-1/biblioteca-de-normas-vinhos-e-bebidas/instrucao-normativa-no-41-de-17-de-setembro-de-2019.pdf/view>>

- Borges, A., Medina, B., Conte-Junior, C., & Freitas, M. (2013). Aceitação sensorial e perfil de textura instrumental da carne cozida do pacu (*Piaractus mesopotamicus*), do tambaqui (*Colossoma macropomum*) e do seu híbrido tambacu eviscerados e estocados em gelo. *Revista Brasileira de Ciência Veterinária*, 20(3), 160-165.
- Cardoso, R. R., Neto, R., D'almeida, C. T. S., Nascimento, P. N., Pressete, G. T., Azevedo, L., Martino, H. S. D., Camerone, L. C., Ferreira, M. S. L., & Barrosa, F. A. R. (2020). Kombuchas from green and black teas have different phenolic profile, which impacts their antioxidant capacities, antibacterial and antiproliferative activities. *Food Research International*, 128, 108782.
- Chakravorty, S., Bhattacharya, S., Bhattacharya, D., Sarkar, S., & Gachhui, R. (2019). Kombucha: a promising functional beverage prepared from tea. *Non-alcoholic beverages*, 285-327.
- Chakravorty, S., Bhattacharya, S., Chatzinotas, A., Chakraborty, W., Bhattacharya, D., & Gachhui, R. (2016). Kombucha tea fermentation: microbial and biochemical dynamics. *International Journal of Food Microbiology*, 220, 63-72.
- Chandrakala, S. K., Lobo, R. O., & Dias, F. O. (2019). Kombucha (bio-tea): an elixir for life? *Nutrients in beverages*, 591-616.
- Chen, C., & Liu, B. Y. (2000). Changes in major components of tea fungus metabolites during prolonged fermentation. *Journal of Applied Microbiology*, 89(5), 834-839.
- Coton, M., Pawtowski, A., Taminiau, B., Burgaud, G., & Deniel, F. (2017). Unraveling microbial ecology of industrial-scale Kombucha fermentations by metabarcoding and culture-based methods. *FEMS Microbiology Ecology*, 93(5), 751-762.
- Dima, S. O., Panaitescu, D. M., Orban, C., Ghiurea, M., Doncea, S. M., Fierascu, R. C., Nistor, C. L., Alexandrescu, E., Nicolae, C.A., Trică, B., Moraru, A., & Oancea, F. (2017). Bacterial nanocellulose from side-streams of kombucha beverages production: preparation and physical-chemical properties. *Polymers*, 9(8),374-380, 2017.
- Domskiene, J., Sederaviciute, F., & Simonaityte, J. (2019). Kombucha bacterial cellulose for sustainable fashion. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 31, 644–652.
- Dourado, F., Gama, M., & Rodrigues, A. C. (2017). A review on the toxicology and dietetic role of bacterial cellulose. *Toxicology Reports*, 4, 543-553.
- Dufresne, C., & Farnworth, E. (2000). Tea, Kombucha, and health: a review. *Food Research International*, 33(6), 409-421.
- Dutta, H., & Paul, S. K. (2019). Kombucha drink: production, quality, and safety aspects. *Production and management of beverages*. 259-288.
- Eggersperger, C. G., Giagnorio, M., Holland, M. C., Dobosz, K. M., Schiffman, J. D., Tiraferri, A., & Zodrow, K. R. (2020) Sustainable living filtration membranes. *Environmental Science & Technology Letters*, 7(3), 213-218.
- El-Wakil, N. A., Hassan, E. A., Hassan, M. L., & El-Salam, S. S. (2019). Bacterial cellulose/phytochemical's extracts biocomposites for potential active wound dressings. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(26), 26529-26541.
- Emiljanowicz, K., & Malinowska-Pañczyk, E. (2020). Kombucha from alternative raw materials – the review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(19), 185-3194.
- Euromonitor Internacional, (2019). Euromonitor. <https://www.euromonitor.com/article/de-volta-ao-basico-uma-tendencia-de-consumo-em-alimentos-e-bebidas-no-brasil>.
- Fernandes, S. C. M., Oliveira, L., Freire, S. R., Silvestre, A. J. D., Neto, C. P., Gandini, A., & Desbrières, J. (2009). Novel transparent nanocomposite films based on chitosan and bacterial cellulose. *Green Chemistry*, 11(12), 2023-2029.
- Filippis, F., Troise, A. D., Vitaglione, P., & Ercolini, D. (2018). Different temperatures select distinctive acetic acid bacteria species and promotes organic acids production during Kombucha tea fermentation. *Food Microbiology*, 73, 11-16.
- Gaggia, F., Baffoni, L., Galiano, M., Nielsen, D. S., Jakobsen, N. N., Castro-Mejía, J. L., Bosì, S., Truzzi, F., Musumeci, F., Dinelli, G., & Gioia, D. (2019). Kombucha beverage from green, black and rooibos teas: a comparative study looking at microbiology, chemistry and antioxidant activity. *Nutrients*, 11(1), 1-22.
- Goh, W. N.; Rosma, A., Kaur, B., Fazilah, A., Karim, A. A., & Bhat, R. (2012). Microstructure and physical properties of microbial cellulose produced during fermentation of black tea broth (Kombucha). II. *International Food Research Journal*, 19(1), 153-158.
- Greenwalt, C. J., Ledford, R. A., & Steinkraus, K. H. (1998). Determination and characterization of the antimicrobial activity of the fermented tea kombucha. *LWT-Food Science and Technology*, 31(3), 291-296.
- Habibi, Y., Lucia, L. A., & Rojas, O. J. (2010). Cellulose nanocrystals: chemistry, self-assembly, and applications. *Chemical Reviews*, 110(6), 3479-3500.
- Iguchi, M., Yamanaka, S., & Budhiono, A. (2000). Bacterial cellulose—a masterpiece of nature's arts. *Journal of Materials Science*, 35(2), 261-270.
- Jayabalan, R., Malbaša, R. V., Lončar, E. S., Vitas, J. S., & Sathishkumar, M. (2014). A review on kombucha tea—microbiology, composition, fermentation, beneficial effects, toxicity, and tea fungus. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(4), 538-550.
- Jayabalan, R., Malini, K., Sathishkumar, M., Swaminathan, K., & Yun, S. E. (2010). Biochemical characteristics of tea fungus produced during kombucha fermentation. *Food Science and Biotechnology*, 19(3), 843-847.
- Jayabalan, R., Marimuthu, S., & Swaminathan, K. (2007). Changes in content of organic acids and tea polyphenols during kombucha tea fermentation. *Food Chemistry*, 102(1), 392-398.
- Jayabalan, R., & Waisundara, V. Y. (2019). Kombucha as a functional beverage. *Functional and Medicinal Beverages*. 413-446.

- Kallel, L., Desseaux, V., Hamdi, M., Stocker, P., & Ajandouz, E. H. (2012). Insights into the fermentation biochemistry of Kombucha teas and potential impacts of Kombucha drinking on starch digestion. *Food Research International*, 49(1), 226-232.
- Kapp, J. M., & Sumner, W. (2019). Kombucha: a systematic review of the empirical evidence of human health benefit. *Annals of Epidemiology*, 30, 66-70.
- Kaufmann, K. (2013). *Kombucha Rediscovered!: Revised Edition The Medicinal Benefits of an Ancient Healing Tea*. Book Publishing Company, <https://bityli.com/ztXWt>.
- Lee, K. Y., Buldum, G., Mantalaris, A., & Bismarck, A. (2014). More than meets the eye in bacterial cellulose: biosynthesis, bioprocessing, and applications in advanced fiber composites. *Macromolecular Bioscience*, 14(1), 10-32.
- Leonarski, E. (2020) Produção de bebida tipo kombucha e celulose bacteriana utilizando subproduto da acerola como matéria-prima. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil.
- Machado, R. T. A., Gutierrez, J., Tercjak, A., Trovatti, E., Uahib, F.G.M., Moreno, G.P., Nascimento, P.; Berreta, A. A., Ribeiro, S. J. L., & Barud, H.S. (2016). *Komagataeibacter rhaeticus* as an alternative bacteria for cellulose production. *Carbohydrate Polymers*, 152, 841-849.
- Malbaša, R., Lončar, E., Djurić, M., & Došenović, I. (2008). Effect of sucrose concentration on the products of Kombucha fermentation on molasses. *Food Chemistry*, 108(3), 926-932.
- Marsh, A. J., O'sullivan, O., Hill, C., Ross, R. P., & Cotter, P. D. (2014). Sequence-based analysis of the bacterial and fungal compositions of multiple kombucha (tea fungus) samples. *Food Microbiology*, 38, 171-178.
- Mei, J. Y., Yuan, Y., Wu, Y., & Li, C. Y. (2013). Characterization and antimicrobial properties of water chestnut starch-chitosan edible films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 61, 169-174, 2013.
- Moura, A. B. (2019) Monitoramento do processo fermentativo da kombucha de chá mate. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Nutrição) – Centro Acadêmico de Vitória, Universidade Federal de Pernambuco, Vitória de Santo Antão, Brasil.
- Murugesan, G. S., Sathishkumar, M., & Swaminathan, K. (2005). Supplementation of waste tea fungal biomass as a dietary ingredient for broiler chicks. *Bioresource Technology*, 96(16), 1743-1748.
- Neves, E. Z.; Garcia, M. C. F.; Apati, G. P.; Pezzin, A. P. T.; Schneider, A. L. S. (2018). Development of bacterial cellulose membranes with incorporation of plant extract. In Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Foz do Iguaçu, Anais. Foz do Iguaçu: 2018.
- Nguyen, N. K., Nguyen, P. B., Nguyen, H. T., & Le, P. H. (2015). Screening the optimal ratio of symbiosis between isolated yeast and acetic bacteria strain from traditional Kombucha for high-level production of glucuronic acid. *LWT – Food Science and Technology*, 64(2), 1149-1155.
- Paludo, N. (2017). Desenvolvimento e caracterização de kombucha obtida a partir de chá verde e extrato de erva-mate: processo artesanal e escala laboratorial. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia de Alimentos) - Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.
- Pure, A. E., & Pure, M. E. (2016). Antioxidant, antibacterial and color analysis of garlic fermented in kombucha and red grape vinegar. *Applied Food Biotechnology*, 3(4), 246-252.
- Qing, Y., Sabo, R., Zhu, J. Y., Agarwal, U., Cai, Z., & Wu, Y. (2013). A comparative study of cellulose nanofibrils disintegrated via multiple processing approaches. *Carbohydrate Polymers*, 97(1), 226-234.
- Rapacci, M. (1997). Estudo comparativo das características físicas e químicas, reológicas e sensoriais do requeijão cremoso obtido por fermentação láctica e acidificação direta. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo.
- Reiss, J. Influence of different sugars on the metabolism of the tea fungus. (1994). *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und-Forschung*, 198(3), 258-261.
- Sacks, K. (2021). Keep your extra scoby from going to waste these recipes and ideas. <https://foodprint.org/blog/kombucha-scoby/>
- Santos, A. R. (2020). Avaliação cinética da fermentação de chá de erva-mate tostada por SCOBY de kombucha. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia de Alimentos), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Brasil.
- Santos, M. J. (2016). Kombucha: caracterização da microbiota e desenvolvimento de novos produtos alimentares para uso em restauração. Dissertação (Mestrado em Ciências Gastronômicas), Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal.
- Sederaviciute, F., Bekampiene, P., & Domskiene, J. (2019). Effect of pretreatment procedure on properties of Kombucha fermented bacterial cellulose membrane. *Polymer Testing*, 78, 105941 – 105951.
- Semjonovs, P. (2017). Cellulose synthesis by *Komagataeibacter rhaeticus* strain P 1463 isolated from Kombucha. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 101(3), 1003-1012.
- Sinir, G. O., Tamer, C. C., & Suna, S. (2019). Kombucha tea: a promising fermented functional beverage. *Fermented beverages*, 401-432.
- Standard, A.S.T.M. (2009) Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting", ASTM International, West Conshohocken www.astm.org/Standards.
- Souza, M.T., Silva, M.D. & Carvalho, R. (2010). Revisão Integrativa: O Que É E Como Fazer. Einstein (São Paulo), 8(1), 102-106. <<https://doi.org/10.1590/S1679-45082010RW1134>>. <https://doi.org/10.1590/S1679-45082010RW1134>

- Suhre, T. (2020) Kombuchas produzidas e comercializadas no Brasil: características físico-químicas e composição microbiana. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.
- Sun, T., Li, J., & Chen, C. (2015). Effects of blending wheatgrass juice on enhancing phenolic compounds and antioxidant activities of traditional kombucha beverage. *Journal of Food and Drug Analysis*, 23(4), 709-718.
- Suwanposri, A., Yukphan, P., Yamada, Y., & Ochaikul, D. (2014). Statistical optimisation of culture conditions for biocellulose production by *Komagataeibacter* sp. PAPI using soya bean whey. *Maejo International Journal of Science and Technology*, 8(1), 1.
- Teoh, A. L., Heard, G., & Cox, J. (2004). Yeast ecology of Kombucha fermentation. *International Journal of Food Microbiology*, 95(2), 119-126.
- Torres, F. G., Arroyo, J. J., & Troncoso, O. P. (2019). Bacterial cellulose nanocomposites: an all-nano type of material. *Materials Science and Engineering C*, 98, 1277-1293.
- Tu, C., Tang, S., Azi, F., Hu, W., & Dong, M. (2019). Use of kombucha consortium to transform soy whey into a novel functional beverage. *Journal of Functional Foods*, 52, 81-89.
- Viana, R. M., Sá, M. S. M., Barros, M. O., Borges, M. F., & Azeredo, H. M. C. (2018). Nanofibrillated bacterial cellulose and pectin edible films added with fruit purees. *Carbohydrate Polymers*, 196, 27-32.
- Villarreal-Soto, S. A., Beaufort, S., Bouajila, J., Souchard, J. P., & Taillandier, P. (2018). Understanding kombucha tea fermentation: a review. *Journal of Food Science*, 83(3), 580-588.
- Vitas, J. S., Malbasa, R. V., Grahovac, J. A., & Loncar, E. S. (2013). Activity of kombucha fermented milk products with stinging nettle and winter savory. *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly*, 19(1), 129-139.
- Yang, Z. W., Ji, B. P., Zhou, F., Luo, Y., & Yang, Li. (2009). Hypocholesterolaemic and antioxidant effects of kombucha tea in high cholesterol fed mice. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89(1), 150-156.
- Zhu, C., Li, F., Zhou, X., Lin, L., & Zhang, T. (2014). Kombucha-synthesized bacterial cellulose: preparation, characterization, and biocompatibility evaluation. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*, 102(5), 1548-1557.