



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

GEOVANA PIVETA RIBEIRO

**DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO FERMENTADO
SIMBIÓTICO A BASE DE AVEIA (AVENA SATIVA L.) COMO
ALTERNATIVA AO IOGURTE CONVENCIONAL**

Londrina
2021

GEOVANA PIVETA RIBEIRO

**DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO FERMENTADO
SIMBIÓTICO A BASE DE AVEIA (*AVENA SATIVA* L.) COMO
ALTERNATIVA AO IOGURTE CONVENCIONAL**

Tese apresentada à Universidade Estadual de Londrina - UEL, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Ciência de Alimentos.

Orientadora: Prof^a Dr^a Wilma Aparecida Spinosa
Co-orientadora: Prof^a Dr^a Mariana Souza Costa

Londrina
2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Ribeiro, Geovana Piveta.

Desenvolvimento de produto fermentado simbiótico a base de aveia (*Avena sativa* L.) como alternativa ao iogurte convencional. / Geovana Piveta Ribeiro. - Londrina, 2021.
87 f. : il.

Orientador: Wilma Aparecida Spinosa.

Coorientador: Mariana Souza Costa.

Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos, 2021.

Inclui bibliografia.

1. Fermentação - Tese. 2. b-glucana - Tese. 3. Dureza - Tese. 4. Viscosidade - Tese. I. Spinosa, Wilma Aparecida. II. Costa, Mariana Souza. III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos. IV. Título.

CDU 641.1

GEOVANA PIVETA RIBEIRO

**DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO FERMENTADO
SIMBIÓTICO A BASE DE AVEIA (AVENA SATIVA L.) COMO
ALTERNATIVA AO IOGURTE CONVENCIONAL**

Tese apresentada à Universidade Estadual de Londrina - UEL, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Ciência de Alimentos.

BANCA EXAMINADORA

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Wilma Aparecida
Spinosa
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof^a Dr^a Giselle Aparecida Nobre Costa
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof^o Dr^o Pedro de Oliva Neto
Universidade Estadual Paulista – UNESP

Dr^a Bruna Yumi Yoshida
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Dr^a Fernanda Carla Henrique Bana
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Londrina, 13 de setembro de 2021.

Dedico essa tese a Deus, meu marido, família e amigos. Me sustentaram até aqui, e independente das dificuldades, me acompanharam ao longo dessa jornada intensa e repleta de amor.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por me capacitar, me fortalecer e trazer essa vitória para a minha vida. Obrigada, meu Pai!

À minha família, por todo suporte e incentivo a alcançar meus sonhos, meus projetos de vida.

À minha orientadora Prof^a Wilma, por todo o conhecimento transmitido.

À empresa SL Cereais e Alimentos Ltda, aqui representada por José Maurício Thomaz Ribeiro Setti, Cristiane Fiorentin, Rafael Mizubuti Brito e Mariana Souza Costa, por todo apoio financeiro, técnico e científico. Grata por meu crescimento pessoal e profissional.

Aos componentes da equipe sensorial, amigos e colegas que de uma forma direta ou indireta, contribuíram e auxiliaram na elaboração do presente estudo, pela paciência, atenção e força que prestaram em momentos menos fáceis.

Aos professores componentes das bancas avaliadoras, pelas contribuições oferecidas.

À Central de Análises – UTFPR Campus Pato Branco pela análise de microscopia eletrônica de varredura e Centro de Qualidade Analítica pela análise de cromatografia líquida de alta eficiência.

“Experiência não é o que acontece com o homem, é o que o homem faz com o que lhe acontece”.

Aldous Huxley

RIBEIRO, Geovana Piveta. **Desenvolvimento de produto fermentado simbiótico a base de aveia (*Avena sativa* L.) como alternativa ao iogurte convencional**. 2021. 87f. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2021.

RESUMO

A busca por produtos de origem vegetal em substituição aos produtos lácteos vem crescendo consideravelmente nos últimos anos, principalmente pelo aumento do número de pessoas intolerantes à lactose aliada à busca por melhor qualidade de vida. O objetivo do trabalho foi desenvolver um produto fermentado não lácteo à base de extrato de aveia com características sensoriais semelhantes às de um iogurte convencional. Foi elaborado um extrato vegetal à base de farelo de aveia e analisada a fermentação deste com cepas de *Lactobacillus acidophilus* LA-5, *Bifidobacterium animalis* BB-12 e *Streptococcus thermophilus* nos tempos 0, 2, 4, 8 e 16 horas, a 43 °C. Foram determinados os valores de pH, acidez titulável, sólidos solúveis totais, viscosidade, cor, teor de β -glucana e contagem de células viáveis. A fermentação por quatro horas foi suficiente para atingir pH 4,67 e este foi considerado o tempo padrão para a elaboração do fermentado de aveia. O fermentado de aveia teve seus parâmetros de textura (dureza, coesividade, gomosidade, elasticidade e viscosidade) avaliados por meio de técnicas instrumentais (texturômetro e viscosímetro) e sensoriais (análise descritiva) e comparados com produtos lácteos comerciais. O gel do fermentado de aveia e dos produtos comerciais também foi analisado por meio de microscopia eletrônica de varredura. Além disso, fez-se análise dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos do fermentado durante o armazenamento a 4 °C nos tempos 0, 7, 14 e 21 dias e a aceitação sensorial e teor de ácidos orgânicos do produto desenvolvido e armazenado por sete dias. Foi possível observar o comportamento do crescimento dos diferentes tipos de microrganismos na matriz vegetal por até dezesseis horas de fermentação, sendo que a fermentação por quatro horas foi suficiente para obter um produto fermentado de aveia com características sensoriais semelhantes à de um iogurte convencional e com contagens de células viáveis em nível mínimo de 10^6 UFC/g para cada uma das cepas. Houve correlação positiva e significativa entre os parâmetros de textura obtidos pela técnica sensorial, se mostrando uma excelente matriz na percepção sensorial para o desenvolvimento de novos produtos. O gel do fermentado de aveia se apresentou íntegro e uniforme, concluindo que a concentração do farelo no extrato, a mistura das culturas e a quantidade do inóculo utilizados foram eficientes para elaborar um produto fermentado de aveia. O produto desenvolvido e armazenado a 4°C por sete dias não apresentou sinérese e foi bem aceito pelos avaliadores, se mostrando uma alternativa ao público vegano, vegetariano e intolerante à lactose.

Palavras-chave: Fermentação. β -glucana. Dureza. Viscosidade. Microscopia.

RIBEIRO, Geovana Piveta. **Development of a symbiotic fermented product based on oat (*Avena sativa* L.) as an alternative to conventional yoghurt.** 2021. 87f. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2021.

ABSTRACT

The search for plant-based products to replace dairy products has grown considerably in recent years, mainly due to the increase in the number of lactose-intolerant people combined with the search for a better quality of life. The aim of the work was to develop a non-dairy fermented product based on oat extract with sensory characteristics similar to a conventional yoghurt. A plant extract based on oat bran was prepared and its fermentation with strains of *Lactobacillus acidophilus* LA-5, *Bifidobacterium animalis* BB-12 and *Streptococcus thermophilus* was analyzed at times 0, 2, 4, 8 and 16 hours, at 43 °C. Values of pH, titratable acidity, total soluble solids, viscosity, color, β -glucan content and viable cell count were determined. Fermentation for four hours was enough to reach pH 4.67 and this was considered the standard time for the elaboration of the oat fermented. The oat fermented had its texture parameters (hardness, cohesiveness, gummy, elasticity and viscosity) evaluated through instrumental techniques (texturometer and viscometer) and sensorial (descriptive analysis) and compared with commercial dairy products. The gel of fermented oat and commercial products was also analyzed using scanning electron microscopy. In addition, the physicochemical and microbiological parameters of the fermented were analyzed during storage at 4 °C at times 0, 7, 14 and 21 days and the sensory acceptance and organic acid content of the product developed and stored for seven days. It was possible to observe the growth behavior of different types of microorganisms in the plant matrix for up to sixteen hours of fermentation, and fermentation for four hours was sufficient to obtain a fermented oat product with sensory characteristics similar to that of a conventional yogurt and with counts of viable cells at a minimum level of 10^6 CFU/g for each of the strains. There was a positive and significant correlation between the texture parameters obtained by the sensory technique, showing an excellent matrix in sensory perception for the development of new products. The oat fermented gel was intact and uniform, concluding that the concentration of bran in the extract, the mixture of cultures and the amount of inoculum used were efficient to prepare a fermented oat product. The product developed and stored at 4°C for seven days did not present syneresis and was well accepted by the evaluators, showing itself as an alternative to the vegan, vegetarian and lactose intolerant public.

Key words: Fermentation. β -glucan. Hardness. Viscosity. Microscopy.

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| CAPÍTULO 1 | 10 |
| 1 INTRODUÇÃO GERAL | 11 |
| 2 OBJETIVO..... | 13 |
| 2.1 OBJETIVO GERAL..... | 13 |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 13 |
| 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 14 |
| 3.1 AVEIA..... | 14 |
| 3.1.1 Extrato Vegetal..... | 17 |
| 3.2 IOGURTE | 17 |
| 3.2.1 Fermentado Vegetal Tipo Iogurte | 23 |
| 3.3 β-GLUCANA..... | 24 |
| 3.4 SIMBIÓTICOS | 26 |
| 4 CONSIDERAÇÕES GERAIS | 27 |
| | |
| CAPÍTULO 2 | 34 |
| FERMENTAÇÃO DE EXTRATO VEGETAL DE AVEIA COM CEPAS DE <i>LACTOBACILLUS ACIDOPHILUS</i> LA-5, <i>BIFIDOBACTERIUM ANIMALIS</i> BB-12 E <i>STREPTOCOCCUS THERMOPHILUS</i> : PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS, MICROBIOLÓGICAS E SENSORIAIS | 35 |
| | |
| CAPÍTULO 3 | 59 |
| CORRELAÇÃO ENTRE O PERFIL DE TEXTURA INSTRUMENTAL E SENSORIAL DE FERMENTADO DE AVEIA COMPARADO A IOGURTE LÁCTEO | 60 |
| | |
| CONCLUSÃO GERAL | 87 |

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO GERAL

O aumento da demanda por alimentos saudáveis estimula o desenvolvimento de produtos funcionais. Os produtos lácteos fermentados são bons substratos para bactérias probióticas, cujas características são muito bem estudadas e aceitas em alimentos. No entanto, alterações como intolerância à lactose e alergia à proteína do leite de vaca, além do aumento do vegetarianismo e veganismo vêm motivando a busca por produtos alternativos, incluindo matrizes de frutas, vegetais e cereais (ASPRI; PAPADEMÁS; TSALTAS, 2020). Dentre os cereais, a aveia vem se destacando, principalmente devido ao alto teor de β -glucana, uma fibra solúvel caracterizada como prebiótico por ser capaz de estimular o crescimento das bactérias benéficas do cólon (TSETSEGMAA; TSETSEGEE, 2012). Além disso, a fermentação de cereais por bactérias ácido lácticas e bifidobactérias pode aumentar a biodisponibilidade de vários minerais e melhorar as características sensoriais (ENUJIUGHA; BADEJO, 2015). Quando um produto tem agentes probióticos e prebióticos em sua formulação pode ser chamado de simbiótico, uma vez que essa combinação atua sinergicamente propiciando benefícios à saúde do hospedeiro (KAZEMI et al., 2021).

Os produtos fermentados à base de plantas representam um segmento importante entre as alternativas não lácteas. São produzidos pela fermentação de extratos aquosos obtidos de diferentes matérias-primas, com tais extratos, tendo aparência e consistência semelhante ao leite de vaca (SETHI; TYAGI; ANURAG, 2016). Entretanto, a fabricação de um produto fermentado à base de extrato de aveia puro ainda é um desafio, uma vez que por si só as bases não são capazes de formar um gel análogo aos dos iogurtes tradicionais. Com a acidificação do meio, desestabilização das proteínas, há ocorrência de um gel fraco e com separação de soro (WALSH et al., 2010), por isso, esses produtos normalmente são adicionados de hidrocoloides e/ou agentes gelificantes a fim de estabilizar as partículas em suspensão, contribuindo para a formação de um gel com características similares à de um iogurte (GRASSO; ALONSO-MIRAVALLÉS; O'MAHONY, 2020).

A funcionalidade da β -glucana da aveia pode ser aumentada pela relação simbiótica entre ela e as bactérias probióticas. A fibra favorece o crescimento das bactérias e produção de exopolissacarídeos, contribuindo para o valor nutritivo e

formação do gel, aumento da viscosidade e redução da sinérese na elaboração de um produto fermentado a base de aveia (SUKHOVA et al., 2020). Embora as pesquisas estejam avançando na área de fermentação com ingredientes vegetais, ainda são necessários mais estudos para compreender melhor a influência da fermentação do extrato vegetal e o impacto nas características finais dos produtos. Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi desenvolver um produto fermentado simbiótico à base de extrato de aveia com características sensoriais similares às de um iogurte convencional.

2 OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

Elaborar um produto fermentado à base de extrato de aveia com características de textura similares às de um iogurte comercial.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar e caracterizar o extrato de aveia quanto à composição química (carboidratos, proteínas e lipídeos).
- Analisar a cinética de fermentação do extrato de aveia utilizando cepas de *Lactobacillus acidophilus* LA-5, *Bifidobacterium animalis* BB-12 e *Streptococcus thermophilus*.
- Comparar os parâmetros de textura de um fermentado de extrato aquoso de aveia com um iogurte lácteo comercial do tipo natural integral por meio de técnicas instrumentais e sensoriais visando a formulação de um novo produto.
- Analisar a composição química (carboidratos, proteínas e lipídeos) e o teor de ácidos orgânicos do produto fermentado à base de extrato de aveia.
- Avaliar a aceitação sensorial do produto fermentado à base de extrato aveia.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 AVEIA

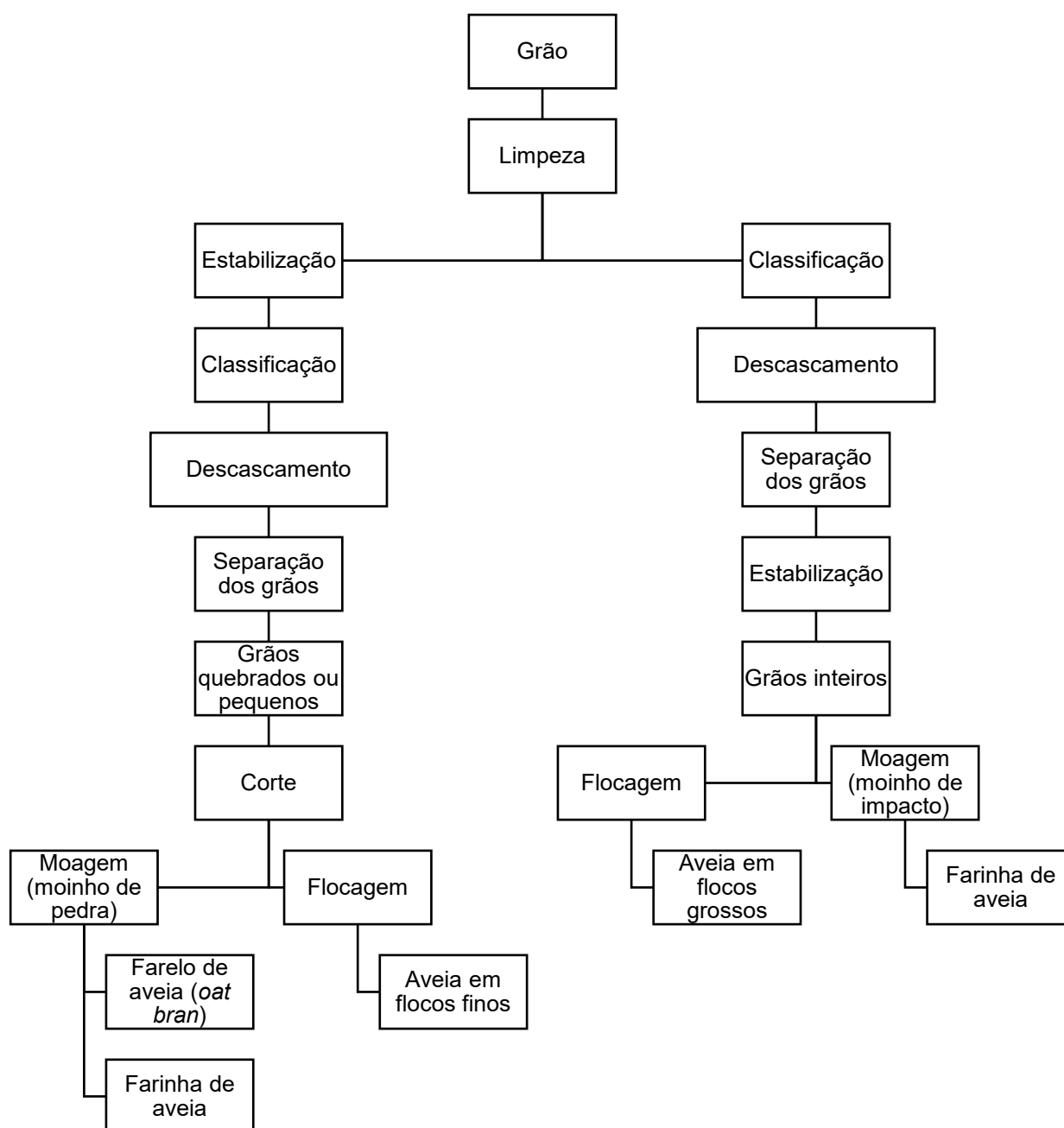
A aveia é uma gramínea pertencente à família *Poaceae*, tribo *Aveneae* e gênero *Avena*, bastante utilizada para ração animal, alimentação humana e fins industriais. É o sétimo cereal economicamente mais importante depois do milho, arroz, trigo, cevada, sorgo e painço (BOCZKOWSKA; PODYMA; ŁAPIŃSKI, 2016). Morfologicamente, pode ser classificada como nuda ou com casca, o que influencia na composição química e valor nutritivo (BIEL; KAZIMIERSKA; BASHUTSKA, 2020). A composição nutricional também é afetada de acordo com o local de plantio, condições climáticas, tratamento do solo, tratamento térmico para o consumo e da forma como este é apresentado em diversos produtos do cotidiano (MALANCHEN et al., 2019). Em média, os grãos de *Avena sativa* L. apresentam 66,2% de carboidratos, 10,5% de fibras, 6,8% de lipídeos e 16,5% de proteínas (AHMAD et al., 2014).

Os carboidratos consistem em pequenas frações de monossacarídeos e outras frações de amido, hemicelulose, celulose e lignina, sendo a β -glucana o componente mais importante da fração de hemicelulose. Definida como um polissacarídeo não amiláceo solúvel em água, responsável pela viscosidade e propriedades de gel dos produtos derivados de aveia (KRIGER et al., 2018). Dos lipídeos, a maior de concentração é de ácidos graxos poli-insaturados, seguido de mono-insaturados e saturados. Além disso, apresenta quantidades adequadas de ferro, magnésio, fósforo, potássio, zinco, folato, vitamina E e vitamina K (INGLETT; CHEN; LIU, 2015). Quanto às proteínas, independente da variedade do grão, consistem principalmente em albuminas, globulinas, prolaminas e glutelinas, com boas proporções dos aminoácidos ácido glutâmico, ácido aspártico, arginina, leucina e valina, sendo a aveia considerada um cereal com proteína de alto valor biológico (KRIGER et al., 2018).

De acordo com variações no processo de moagem (Figura 1), do grão inteiro podem ser produzidos farelo de aveia, farinha de aveia, aveia em flocos finos e aveia em flocos grossos, que se diferenciam quanto aos valores nutricionais. Golebiewska et al. (2018) analisaram o conteúdo de nutrientes e compostos bioativos em diferentes produtos de aveia disponíveis no mercado e observaram que o farelo

apresenta maiores teores de proteínas, lipídeos e fibras que a farinha e os flocos. O farelo apresenta em média 15,4% de proteínas, 7,3% de lipídeos e 9,5% de fibras (sendo 4,3% de β -glucana), enquanto que a farinha e os flocos apresentam em média 14,6% de proteínas, 7,2% de lipídeos e 9,2% de fibras (sendo 4% de β -glucana).

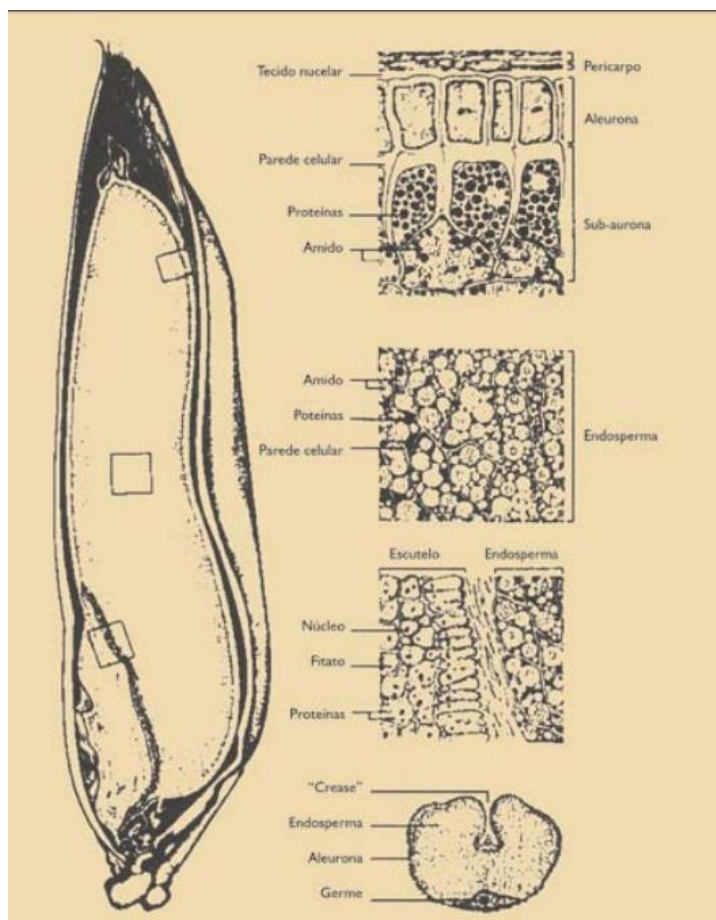
Figura 1 – Processo de moagem do grão de aveia



Fonte: Adaptado de RASANE et al. (2015).

O farelo da aveia (*oat bran*) é proveniente da camada externa do grão (*Avena sativa* L.) (Figura 2) e se destaca dos demais derivados justamente devido à maior concentração de β -glucana, uma fibra solúvel que tem alta capacidade em ser fermentada e formar soluções altamente viscosas podendo ser utilizada como ingrediente alimentar. Esta propriedade de formar géis viscosos beneficia a saúde, melhorando resistência à insulina, dislipidemia, hipertensão e obesidade. Nas indústrias vem sendo utilizada em produtos de panificação, sobremesas congeladas, bebidas, sopas e sorvetes, principalmente como substituto de gordura (AHMAD et al., 2014). Saini, Kaur e Bajwa (2019) incorporaram o *oat bran* à uma formulação de *kulfi*, uma sobremesa láctea típica da Índia, e observaram que o aumento da concentração de *oat bran* favoreceu o aumento da viscosidade do produto, além de melhorar os teores de lipídeos, proteínas, cinzas e sólidos totais. Os autores concluíram que 1,5% de *oat bran* foi suficiente para obter a textura mais agradável, acima destes valores o produto ficou duro e com textura arenosa.

Figura 2 – Seções longitudinal e transversal de um grão de aveia



Fonte: FULCHER; IRVING; FRANCISCO, 1989.

3.1.1 Extrato Vegetal

Um número crescente de consumidores, por razões médicas ou de estilo de vida, tem buscado alternativas ao leite de vaca, o que tem impulsionado os pesquisadores e indústrias a investirem no mercado de produtos não lácteos à base de plantas. Estudos apontam que o mercado de extrato de aveia, conhecido popularmente como “leite de aveia”, deve ultrapassar US\$ 490 milhões até 2026 (KHANDVE, 2020).

O produto é resultado da mistura da farinha de aveia com água, passando por reações enzimáticas ou outras técnicas de extração e posterior filtração e pasteurização (DEMIR; SIMSEK; YILDIRIM, 2020). Comparado ao leite de vaca integral, apresenta menos calorias, proteínas e gorduras e mais carboidratos e fibras (COOPER; RIVERO-MENDOZA; DAHL, 2020). Tem consistência lisa, odor e sabor neutros, o que o torna viável para ser consumido com café e chás ou como ingrediente em outras preparações, inclusive como substrato para produtos fermentados, melhorando as características sensoriais (EL-BATAWY; MAHDY; GOHARI, 2019).

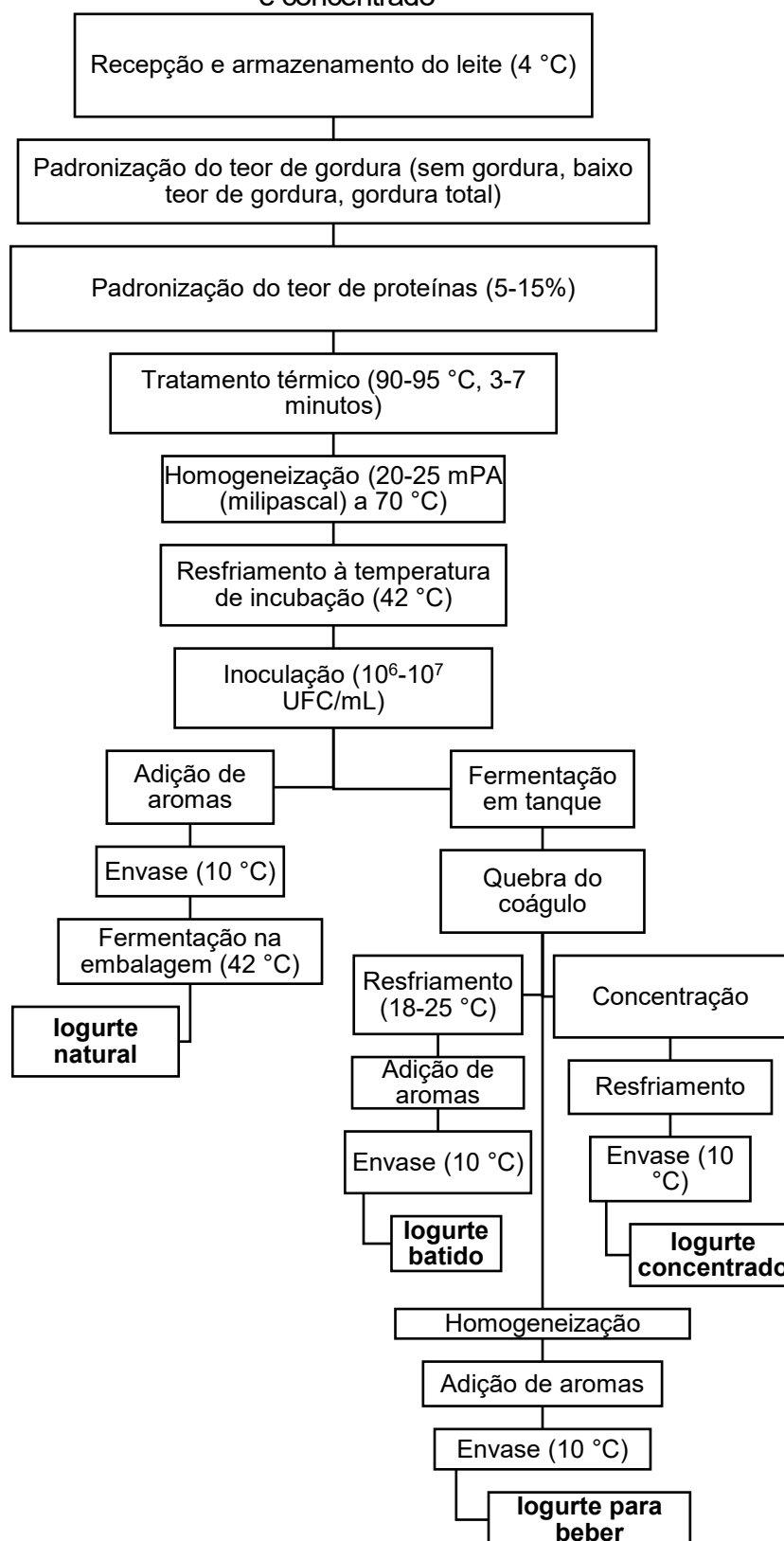
El-Batawy, Mahdy e Gohari (2019) produziram extrato de aveia através de hidrólise enzimática com α -amilase e obtiveram produto final com 21,5% de matéria seca, 2,2% de proteína, 1,8% de lipídeos e 0,3% de cinzas. Em geral, faz-se o tratamento enzimático a fim de hidrolisar o amido e prevenir a gelatinização e formação de grumos em altas temperaturas, embora não seja uma etapa obrigatória. Bernat et al. (2014) produziram o extrato apenas pela imersão e trituração da aveia em água na proporção 8:100 (m/v). Os autores realizaram três ciclos de moagem a 90 °C por 20 minutos seguido de homogeneização e obtiveram produto final com 6,5% de matéria seca, 0,65% de proteína, 0,09% de lipídeos e 0,09% de cinzas.

3.2 IOGURTE

O iogurte é um produto lácteo fermentado obtido a partir da fermentação do leite por duas espécies principais de bactérias ácido lácticas, *Streptococcus thermophilus* e *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, cuja fermentação ocasiona acidificação e coagulação das proteínas do leite, permitindo aumento da vida útil e alteração das propriedades sensoriais e nutricionais (MORELL et al., 2015). De forma geral, a fabricação do iogurte é organizada em três etapas

principais, sendo (1) a preparação da mistura e tratamentos físicos correspondentes (pasteurização, homogeneização e resfriamento); (2) processo fermentativo; e (3) pós-tratamento e embalagem. Variações em cada uma dessas etapas são capazes de influenciar na qualidade do produto final. A figura 3 ilustra o processo produtivo dos quatro tipos principais de iogurte: natural, batido, para beber e concentrado (CORRIEU; BÉAL, 2016).

Figura 3 - Diagrama dos processos de produção dos iogurtes tipo natural, batido, para beber e concentrado



Fonte: Adaptado de CORRIEU; BÉAL (2016).

A primeira etapa consiste principalmente na padronização do teor de gordura e proteína do leite, que influenciam significativamente na consistência do iogurte. Quanto maior o teor de proteína, principalmente de caseína, maior a densidade da matriz do iogurte e melhor a firmeza do gel e capacidade de retenção de água, reduzindo a sinérese (NARAYANA; GUPTA, 2018). E quanto maior o teor de lipídeos, maior a firmeza do gel e viscosidade do iogurte, pois os glóbulos de gordura interagem com as proteínas do soro e micelas de caseína, evitando a separação do soro e melhorando a estrutura do gel. Nessa etapa também são importantes os processos de homogeneização e pasteurização do leite, que diminuem o tamanho dos glóbulos de gordura e desnaturam algumas proteínas, favorecendo a interação entre eles e consequentemente melhorando a densidade e força do gel (SODINI et al., 2010). Além disso, a pasteurização é eficaz para reduzir a contagem total de bactérias, eliminar as bactérias patogênicas e inativar as peroxidases (SALIH; ABDULLAHI; TAWHEEL, 2018).

Na etapa da fermentação, as cepas de *Streptococcus thermophilus* e *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, através de uma via metabólica homofermentativa, transformam um mol de lactose em um mol de galactose mais dois mols de ácido láctico, juntamente com a produção de energia intracelular na forma de dois mols de ATP. Essa síntese de ácido láctico extracelular ocasiona uma acidificação do meio, que desestabiliza as micelas de caseína, favorecendo a coagulação, resultado da formação de uma rede tridimensional ao atingir o ponto isoelétrico (pH 4,6), compondo o gel característico do iogurte. Além disso, durante a fermentação, o sistema proteolítico das bactérias ácido lácticas degrada as caseínas em peptídeos e aminoácidos livres que são essenciais para o crescimento bacteriano e formação do sabor. Nesse processo também são formados acetaldeído e exopolissacarídeos, que contribuem respectivamente para o aroma e textura do produto final (CORRIEU; BÉAL, 2016).

O *Streptococcus thermophilus* é uma bactéria Gram-positiva, anaeróbica, termofílica, com temperatura ótima de crescimento entre 40–45 °C. É frequentemente utilizada em conjunto com outras culturas lácteas por exibir sistema proteolítico limitado. Apresenta grande importância na produção de exopolissacarídeos, além de conferir propriedades probióticas (HARNETT et al., 2020), uma vez que são resistentes às condições do trato-gastrointestinal e aderem

às células intestinais conferindo benefícios à saúde do hospedeiro (IYER et al., 2010). Sua relação simbiótica com culturas de *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* já é bem estabelecida. Sabe-se que o crescimento de *Streptococcus thermophilus* é favorecido pela atividade proteolítica do *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, e o desenvolvimento deste é estimulado pela síntese de ácido fórmico, ácido fólico e gás carbônico pelo *Streptococcus thermophilus*. E por isso, iogurtes produzidos pela combinação dessas duas cepas apresentam bons resultados em relação à textura, sabor e apelo nutricional (LI et al., 2012). O *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* é uma bactéria Gram-positiva, anaeróbia facultativa, termofílica, com temperatura ótima de crescimento entre 42-50 °C, também capaz de produzir exopolissacarídeos e conferir propriedades probióticas (NISHIMURA, 2014). No entanto, por apresentar uma forte tolerância aos ácidos, pode ocasionar pós acidificação do iogurte, resultando em uma textura indesejável, sinérese e gosto ácido excessivo (LIU; JIAO; HUO, 2013).

A legislação, por meio da Instrução Normativa nº 46 de 23 de outubro de 2007, exige para fabricação de iogurtes a presença de *Streptococcus thermophilus* e *Lactobacillus bulgaricus*, que podem ser acompanhadas de outras culturas bacterianas de forma complementar a fim de contribuir para as características do produto final (BRASIL, 2007). Muitas destas outras culturas utilizam vias heterofermentativas para produzir energia juntamente com ácido láctico, induzindo diferentes taxas de acidificação e conseqüentemente diferentes propriedades sensoriais no produto final (CORRIEU; BÉAL, 2016). Siddiq e Hamid (2017) avaliaram o efeito da adição de *Lactobacillus acidophilus* e *Lactobacillus plantarum* na qualidade de iogurtes em comparação com amostras produzidas apenas com *Streptococcus thermophilus* e *Lactobacillus bulgaricus* e observaram que as amostras com *Lactobacillus acidophilus* e *L. plantarum* apresentaram menor teor de lipídeos, maior acidez e maior teor de proteínas que a amostra padrão, sugerindo que essas cepas apresentam maior atividade lipolítica, maior potencialidade em converter a lactose em ácido láctico e maior efeito protetor ao conteúdo proteico. A utilização de *Lactobacillus acidophilus* e *L. plantarum* também influenciou na cor, sabor e textura das amostras, aumentando a aceitabilidade destas em relação à amostra padrão. O *Lactobacillus acidophilus* é uma bactéria Gram-positiva, microaerófila, com temperatura ótima de crescimento de 45 °C e muitas cepas com propriedades probióticas reconhecidas (SELLE; KLAENHAMMER; RUSSELL, 2014). A *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis*

também é bastante utilizada em produtos fermentados com apelo probiótico. É uma bactéria Gram-positiva, anaeróbia estrita, com temperatura ótima de crescimento entre 37 e 41 °C. Çınar et al. (2020) estudaram a textura e propriedades sensoriais de iogurte de marmelo contendo *Bifidobacterium animalis* ssp. *lactis* e observaram melhora na capacidade de retenção de água e propriedades sensoriais utilizando 1% de pó de marmelo e 0,02% de *B. lactis* para atingir 10^8 UCF/g.

Probióticos são microrganismos vivos que, quando administrados em quantidades adequadas, conferem benefício à saúde do hospedeiro (FAO/OMS, 2001). Sua aplicação em produtos alimentícios tem aumentado devido à eficácia e segurança alimentar comprovadas de diversas cepas, capazes de se adaptar a matrizes alimentares variadas (PIMENTEL et al., 2020), embora as bases lácteas ainda sejam as mais utilizadas para carrear e entregar os benefícios do consumo destes microrganismos. Dentre os benefícios associados estão a estimulação do sistema imunológico, redução do colesterol sérico e fortalecimento da barreira intestinal, reduzindo sintomas de intolerâncias e melhorando a síntese de alguns micronutrientes, principalmente vitaminas do complexo B (PRIYASHANTHA; TURKMEN; JAYARATHNA, 2019).

A taxa e temperatura de inoculação também influenciam as propriedades físicas e estruturais dos géis de iogurte. Lee e Lucey (2004) estudaram esse efeito e observaram que alta taxa de inoculação (2%) e menor temperatura de incubação (40 °C) produzem iogurtes com menor separação do soro e menos defeitos de textura. Os autores observaram que os géis obtidos com menores taxas de inoculação (0,5%) exibiram poros maiores, devido a maiores valores de pH, que favorecem a repulsão eletrostática entre os resíduos de fosfoserina expostos. E quando essa taxa aumenta, o pH é reduzido e as caseínas ficam menos sensíveis à rearranjos, tornando o gel mais rígido e com melhor estrutura. Por outro lado, quando a temperatura de incubação é mais alta (45,7 °C), pode ocorrer uma diminuição da área de contato entre as partículas de caseína, aumentando a susceptibilidade à rearranjos, o que produz um gel fraco e com poros maiores.

A taxa de acidificação atua diretamente no tempo do processo, que varia entre 3 a 8 horas dependendo do tipo de iogurte, composição da cultura bacteriana e temperatura de fermentação. Por fim, o processo de acidificação é controlado pelo pH, sendo a fermentação interrompida pela etapa de resfriamento

quando o iogurte apresenta pH final entre 4,5 e 4,8. Em geral, são resfriados entre 18 e 25 °C onde podem ser adicionados de aromas, açúcares, frutas ou outros aditivos, e depois resfriados até 10 °C para serem embalados e comercializados (CORRIEU; BÉAL, 2016).

Nesta última etapa, pode ocorrer uma pós-acidificação durante o armazenamento, caracterizada pelo acúmulo de ácidos orgânicos e redução de pH, atribuída ao metabolismo contínuo das bactérias no meio. E como isso afeta a qualidade e estabilidade em produtos fermentados, deve ser controlada, comumente pela utilização de cepas probióticas como *Bifidobacterium* spp. e *Lactobacillus acidophilus* em relação ao *Lactobacillus bulgaricus*, justificado pela baixa taxa proteolítica promovida por estes microrganismos (CAMPOS et al., 2016).

3.2.1 Fermentado Vegetal Tipo Iogurte

Os fermentados vegetais tipo iogurte são produtos obtidos pela fermentação, mas por estes muitas vezes apresentarem menor teor de proteínas e lipídeos em relação à base láctea, podem tornar o processo relativamente longo e muitas vezes com problemas de textura (SIM; HUA; HENRY, 2020). Grasso, Alonso-Miravalles e O'mahony (2020) avaliaram os parâmetros físico-químicos e sensoriais de iogurtes *plant-based* comerciais comparando com iogurte lácteo como padrão e observaram que os iogurtes de soja, coco e caju apresentaram valores de dureza e aceitabilidade próximos à da amostra láctea, principalmente devido à presença de hidrocolóides específicos, adoçantes e aromatizantes nas formulações. A base de soja apresentava pectina, a base de coco apresentava amido de milho modificado e a base de caju apresentava amido de tapioca.

O mercado de iogurtes com aditivos sintéticos para melhorar a textura vem crescendo, mas o desejo dos consumidores é cada vez mais adquirir produtos naturais e de alto valor nutricional e por isso a utilização de matérias-primas da própria planta vem aumentando. Esses ingredientes são capazes de fornecer proteínas, polissacarídeos, vitaminas e minerais que afetam positivamente as propriedades estruturais e sensoriais dos iogurtes (MELNYK et al., 2020). Sim, Hua e Henry (2020) observaram que a padronização dos extratos vegetais com 12% (m/m) de proteínas e 5% (m/m) de lipídeos é eficaz para obter uma textura próxima à de iogurtes lácteos, mas não avaliaram a aceitabilidade dos produtos desenvolvidos com proteínas de

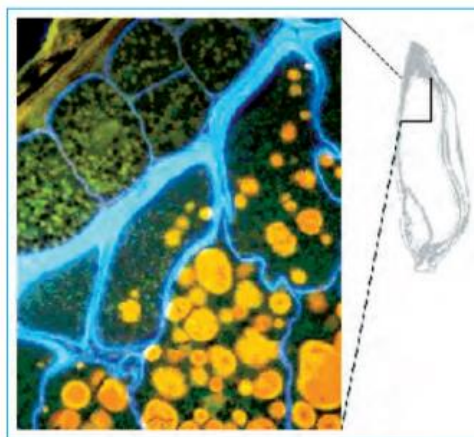
feijão mungo, grão de bico, lentilha e feijão e óleo de girassol. Raikos et al. (2020) ao desenvolverem iogurte de aveia utilizaram extrato vegetal com 12% de sólidos e avaliaram a adição de (1) 3% de óleo vegetal, (2) 3% de aquafaba e (3) 1,5% de óleo vegetal + 1,5% de aquafaba. Os resultados mostram que a adição da aquafaba diminuiu a separação do soro e a adição do óleo vegetal, isolado ou em conjunto com a aquafaba melhorou a capacidade de retenção de água. Esse comportamento é justificado pela melhora da densidade do gel de proteínas e amido pela adição da aquafaba, que adicionado de óleo teve a estrutura consolidada, contribuindo para uma textura mais adequada.

Sim, Hua e Henry (2020) mencionam que nesse tipo de produto vegetal o tratamento térmico é importante para a gelatinização do amido e desnaturação das proteínas, que influenciam no aumento da viscosidade e melhora da estrutura do gel. Raikos et al. (2020) aqueceram o extrato de aveia até 90 °C por 30 minutos antes de resfriar até a temperatura de incubação (50 °C) e observaram melhora na textura. Por fim, os iogurtes vegetais são capazes de incorporar as propriedades probióticas dos microrganismos com as prebióticas das fibras. Bernat et al. (2014) fermentaram extrato de aveia com *Lactobacillus reuteri* e *Streptococcus thermophilus* e conseguiram obter uma formulação que se manteve viável por 28 dias com contagem de células em nível de 10^7 UFC/mL, aliada a um bom teor de β -glucana e outros oligossacarídeos. Estes autores observaram que as bactérias não tem preferência pela β -glucana como fonte de carbono, embora tenham capacidade de hidrolisar outros frutanos a fim de liberar glicose e frutose como fonte de energia. Além disso, as bactérias ácido lácticas hidrolisam as proteínas a fim de obter aminoácidos para sua nutrição.

3.3 β -GLUCANA

Os cereais integrais são as principais fontes de fibras alimentares e, especialmente aveia e cevada são ricos em β -glucana, uma fibra solúvel em água encontrada nas paredes celulares do endosperma e concentradas na camada de aleurona desses grãos (KURTULDU; OZCAN, 2017) (Figura 4).

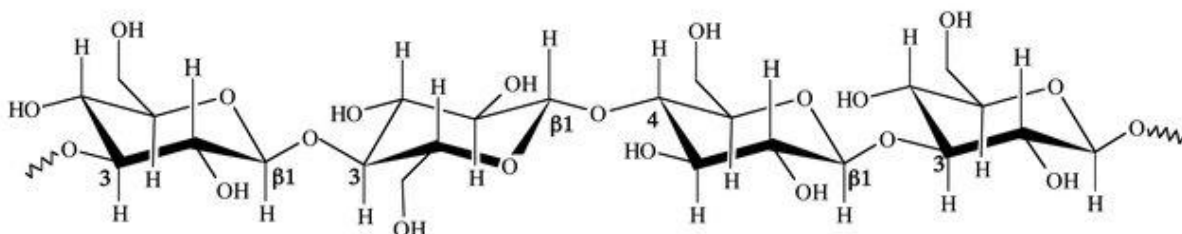
Figura 4 – Seção com coloração fluorescente de um grão de aveia demonstrando a β -glucana presente na parede celular



Fonte: PILLAI; REDMOND; RÖDING, 2005.

Estruturalmente consiste em monômeros de β -D-glicose em uma cadeia linear cujas moléculas estão unidas por ligações consecutivas do tipo $\beta(1\rightarrow4)$ (70%) que são separadas por ligações simples do tipo $\beta(1\rightarrow3)$ (30%) (Figura 5). A ligação $\beta(1\rightarrow3)$ nunca é consecutiva, e esta é a razão da flexibilidade, solubilidade e capacidade de ligação de água desta fibra (MENKOVSKA et al., 2017).

Figura 5 – Estrutura química da β -glucana da aveia



Fonte: PILLAI; REDMOND; RÖDING, 2005.

Essas propriedades explicam a capacidade da β -glucana em formar soluções altamente viscosas e justificam seus benefícios à saúde e aplicação como ingrediente alimentar. Com o aumento da viscosidade do bolo alimentar, há redução no tempo de digestão e absorção subsequentes, contribuindo positivamente para a redução do colesterol sérico, regulação da secreção da insulina e absorção da glicose. Além disso, pode ser utilizada para substituir estabilizantes e espessantes convencionalmente utilizados como goma arábica, carragena, amidos modificados,

celuloses, goma xantana e goma guar (AHMAD; KALEEM, 2018). Outros benefícios associados ao consumo de β -glucana são aumento da saciedade pelo aumento do volume intestinal e servir de substrato às bactérias do cólon favorecendo à produção de ácidos graxos de cadeia curta como propionato, acetato e butirato que são importantes na prevenção de cânceres (KURTULDU; OZCAN, 2017).

3.4 SIMBIÓTICOS

A palavra simbiótico faz menção à sinergismo, ou seja, é o termo utilizado para produtos em que os compostos prebióticos favorecem seletivamente o crescimento dos probióticos. Por definição, prebiótico é um componente alimentar não digerível que confere benefícios à saúde do hospedeiro (PANDEY; NAIK; VAKIL, 2015) e probiótico é o microrganismo vivo que, quando administrado em quantidades adequadas, confere benefício à saúde do indivíduo (BRASIL, 2018).

De acordo com Wang (2009) existem cinco critérios básicos para classificação dos componentes alimentares como prebióticos. O primeiro critério assume que os prebióticos não são digeríveis ou são apenas parcialmente digeríveis na parte superior do trato gastrointestinal, alcançando o cólon onde serão fermentados seletivamente por bactérias potencialmente benéficas (segundo critério). O terceiro critério é que esta fermentação leva a um aumento dos ácidos graxos de cadeia curta, aumento da massa fecal, redução do pH e leva a uma consequente melhora do sistema imunológico. O prebiótico também deve estimular o crescimento e atividade de bactérias que tem efeito protetor à saúde do hospedeiro e por fim, deve ser capaz de resistir às condições de processamento de alimentos e permanecer inalterado e disponível para o metabolismo microbiano no intestino. Já os critérios de seleção de cepas probióticas incluem histórico de uso seguro, identificação precisa de fenótipo e genótipo, resistência à sais biliares, enzimas e pH estomacal, atividade antagônica para patógenos, capacidade de sobreviver e manter atividade metabólica no intestino do hospedeiro, e alta taxa de sobrevivência durante o processamento e armazenamento de produtos alimentícios (MARKOWIAK; SLIZEWSKA, 2017).

Sendo assim, os benefícios associados ao consumo de simbióticos incluem microbiota intestinal equilibrada, melhora da função hepática e imunológica e redução da incidência de infecções bacterianas, cânceres e alterações gastrointestinais (PANDEY; NAIK; VAKIL, 2015).

4 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Pesquisas recentes mostram que em alguns anos o consumo de fermentados à base de vegetais pode superar o consumo de iogurtes lácteos, principalmente pelo aumento do número de pessoas intolerantes à lactose, de consumidores se abstendo do consumo de laticínios por questões de saúde e o crescimento do veganismo e vegetarianismo. O mercado global desse tipo de iogurte atingiu um valor de US\$1,94 bilhão em 2020, e espera-se que atinja uma taxa de crescimento anual composta de 17% entre 2021 e 2026. De acordo com a *Plant Based Food Association*, 33% dos americanos tem substituído o consumo de lácteos e carnes por alternativas vegetais e a América Latina é o quinto mercado mais importante para a indústria de alimentos saudáveis em todo o mundo (IMARC, 2021). Sendo assim, o objetivo do trabalho foi desenvolver um produto fermentado com características de textura e sensoriais similares às de um iogurte lácteo natural integral, isento de lactose, à base de extrato vegetal de aveia. E com isso, obter resultados de interesse científico e tecnológico para produção de artigos científicos, além de operar uma área de interesse para o setor alimentício.

REFERÊNCIAS

AHMAD, Asif; KALEEM, Muhammad. β -Glucan as a Food Ingredient. **Biopolymers for Food Design**, 2018.

AHMAD, M.; ZAFFAR, G.; DAR, Z. A. M.; HABIB, M. A review on oat (*Avena sativa* L.) as a dual-purpose crop. **Sci. Res. Essays**, v. 9, 2014.

ASPRI, Maria; PAPADEMAS, Photis; TSALTAS, Dimitrios. Review on Non-Dairy Probiotics and Their Use in Non-Dairy Based Products. **Fermentation.**, v.6, n.30, 2020.

BERNAT, N.; CHÁFER, M.; GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, C.; RODRÍGUEZ-GARCÍA, J.; CHIRALT, A. Optimisation of oat milk formulation to obtain fermented derivatives by using probiotic *Lactobacillus reuteri* microorganisms. **Food Sci. Technol. Int.**, v. 0, n. 0, 2014.

BIEL, Wioletta; KAZIMIERSKA, Katarzyna; BASHUTSKA, Ulyana. Nutritional value of wheat, triticale, barley and oat grains. **Acta Sci. Pol. Zootechnica**, v. 19, n. 2, 2020.

BOCZKOWSKA, M.; PODYMA, W.; ŁAPIŃSKI, B. **Oat**. In Genetic and Genomic Resources for Grain Cereals Improvement. Academic Press, p. 159-225, 2016.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 46 de 23 de outubro de 2007. Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Leites Fermentados. **Diário Oficial da União**, Brasília, 24 out. 2007.

BRASIL. Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução da Diretoria Colegiada. RDC Nº 243, de 26 de Julho de 2018. Requisitos sanitários dos suplementos alimentares. **Diário Oficial da União**, Brasília, 27 jul. 2018.

CAMPOS, Daniela Cavalcante Dos Santos; NEVES, Leandro Timoni Buchidid Carmago; FLACH, Adriana; COSTA, Luiz Antonio Mendonça Alves; SOUSA, Beatriz Oliveira de. Post-Acidification and Evaluation of Anthocyanins Stability and Antioxidant Activity In Açai Fermented Milk and Yogurts (*Euterpe oleracea* Mart.). **Rev. Bras. Frutic.**, v. 39, n.5, 2016.

ÇINAR, Ş. Burak; KOÇ, G. Çalışkan; Dirim, S.N.; ÜNAL, Gülfem; AKALIN, Ayşe Sibel. Textural and sensorial characteristics of set-type yogurt containing *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* Bb-12 and quince powder. **Food Measure**, v.

14, 2020.

COOPER, Hannah; RIVERO-MENDOZA, Daniela; DAHL, Wendy J. Plant-Based Milks: Oat. **Food Sci. Nutr.**, v. 10, n.5, 2020.

CORRIEU G.; BÉAL C. **Yogurt**: The Product and its Manufacture. In: Caballero, B., Finglas, P., and Toldrá, F. (eds.) *The Encyclopedia of Food and Health* vol. 5, pp. 617-624. Oxford: Academic Press, 2016.

DEMIR, Hande; SIMSEK, Meric; YILDIRIM, Gülşah. Effect of oat milk pasteurization type on the characteristics of oat milk yogurts. **LWT - Food Sci. Technol.**, v. 135, 2020.

EL-BATAWY, Osama Ibrahim; MAHDY, Samar Mohamed; GOHARI, Safaa Talaat. Development of Functional Fermented Oat Milk by Using Probiotic Strains and Whey Protein. **Int. J. Dairy Sci.**, v. 14, n. 1, 2019.

ENUJIUGHA, V.N.; BADEJO, A.A. Probiotic potentials of cereal-based beverages. **Crit. Ver. Food Sci. Nutr.**, v. 57, p. 790-804, 2015.

FAO/WHO. Health and nutritional properties of probiotics in food including powder milk with live lactic acid bacteria. Report of a joint FAO/WHO expert consultation on evaluation of health and nutritional properties of probiotics in food including powder milk with live lactic acid bacteria. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, p. 1-4, 2001.

FULCHER, R. G.; IRVING, D.W.; DE FRANCISCO, A. Fluorescence microscopy: applications in food analysis. In: MUNCK, L.; de FRANCISCO, A. **Fluorescence Analysis in Foods**. U.K: Longman Scientific and Technical. p.59-109. 1989.

GOKAVI, Sumangala; ZHANG, Lanwei; HUANG, Ming-Kuei; ZHAO, Xin; GUO, Mingruo. Oat-based Symbiotic Beverage Fermented by *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus paracasei* ssp. *casei*, and *Lactobacillus acidophilus*. **J. Food Sci.**, v. 70, n. 4, 2005.

GOLEBIEWSKA, K.; FRÁS, A.; GOŁĘBIEWSKI, D.; MAŃKOWSKI, D.R.; BOROS, D. Content of nutrient and bioactive non-nutrient components in different oat products. **Qual. Assur. Saf. Crop. Foods**, v. 10, n. 3, 2018.

GRASSO, Nadia; ALONSO-MIRAVALLS, Loreto; O'MAHONY, James A.

Composition, Physicochemical and Sensorial Properties of Commercial Plant-Based Yogurts. **Foods**, v. 9, n. 252, 2020.

HARNETT, J.; PATRICK, A.; CADDICK, C.; PEARCE, L.; DAVEY, G. *Streptococcus thermophilus*. **Reference Module in Food Science**, v. 5, 2020.

Vegan Yogurt Market: Global Industry Trends, Share, Size, Growth, Opportunity and Forecast 2021-2026. **Imarc**, 2021. Disponível em: <
<https://www.imarcgroup.com/vegan-yogurt-market>>. Acesso em: 25 jul. 2021.

INGLETT, George E.; CHEN, Diejun; LIU, Sean X. Functional Properties of Teff and Oat Composites. **Nutr. Food Sci.**, v. 6, 2015.

IYER, Ramya; TOMAR, S.K.; KAPILA, Suman; MANI, Jiju; SINGH, Rameshwar. Probiotic properties of folate producing *Streptococcus thermophilus* strains. **Food Res. Int.**, v. 43, 2010.

KAZEMIA, Asma; SOLTANI, Sepideh; NASRIC, Fatemeh; CLARK, Cain C. T.; KOLAHDOUZ-MOHAMMADI, Roya. The effect of probiotics, paraprobiotics, synbiotics, fermented foods and other microbial forms on immunoglobulin production: a systematic review and meta-analysis of clinical trials. **Int. J. Food Sci. Nutr.**, v. 72, n. 5, p. 632-649, 2021.

KHANDVE, Sushant Arun. **Oat Milk Market Analysis - 2020 to 2026**. Gminsights, 2020.

KRIGER, Olga V.; KASHIRSKIKH, Egor V.; BABICH, Olga O.; NOSKOVA, Svetlana Yu. Oat Protein Concentrate Production. **Foods Raw Mater.**, v. 6, n. 1, 2018.

KURTULDU, Okan; OZCAN, Tulay. Effect of b-glucan on the properties of probiotic set yoghurt with *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* strain Bb-12. **Int. J. Dairy Technol.**, v. 70, 2017.

LEE, W. J.; LUCEY, J. A. Structure and Physical Properties of Yogurt Gels: Effect of Inoculation Rate and Incubation Temperature. **J. Dairy Sci.**, v. 87, n. 10, 2004.

LI, Su; WALSH, Helen; GOKAVI, Sumangala; GUO, Mingruo. Interactions between *Lactobacillus acidophilus* strains and the starter cultures, *Lactobacillus bulgaricus* and *Streptococcus thermophilus* during fermentation of goats' milk. **African J. Biotechnol.**, v. 11, n. 51, 2012.

LIU, Fei; JIAO, Yuehua; HUO, Guicheng. Optimization of co-culture condition for *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* with Weak Post-acidification Ability and *Streptococcus thermophilus*. **Adv. Mat. Res.**, v. 655-657, 2013.

MALANCHEN, Bruno Eduardo; SILVA, Flavio Aparecido Da; GOTTARDI, Thainara; TERRA, Daiana Alves; BERNARDI, Daniela Miotto. Composition and Functional Physiological Properties of The Oat. **FAG Journal of Health**, v. 1, n. 2, 2019.

MARKOWIAK, Paulina; SLIZEWSKA, Katarzyna. Effects of Probiotics, Prebiotics, and Synbiotics on Human Health. **Nutr.**, v. 9, n. 1021, 2017.

MELNYK, O.P.; KIIKO, V. V.; ZOLOTOVERKH, K. V; IANCHYK, M. V. Using of plant raw materials in the production of prophylactic yogurts. **Food Sci. Technol.**, v. 14, n. 2, 2020.

MENKOVSKA, Mirjana; DAMJANOVSKI, Dragan; LEVKOV, Vesna; GJORGOVSKA, Natasha; KNEZEVIC, Desimir; NIKOLOVA, Nedeljka; STANOEVI, Vinko. Content of B-glucan in cereals grown by organic and conventional farming. **Banat's J. Biotech.**, v. 3., 2017.

MORELL, P.; PIQUERAS-FISZMAN, B.; HERNANDO, I.; FISZMAN, S. How is an ideal satiating yogurt described? A case study with added-protein yogurts. **Food Res. Int.**, v. 78, 2015.

NARAYANA, Narayana Mudiyansele Nayana Kumari; GUPTA, Vijay Kumar. Storage Changes And Shelf Life Of Strawberry Set Yogurt Made By Milk Standardized Using Ultrafiltered Skim Milk Retentate. **Int. J. Sci. Res.**, v. 7, n. 8, 2018.

NISHIMURA, Junko. Exopolysaccharides Produced from *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*. **Adv. Microb.**, v. 4, 2014.

PANDEY, Kavita. R.; NAIK, Suresh. R.; VAKIL, Babu. V. Probiotics, prebiotics and synbiotics- a review. **J Food Sci Technol**, v. 7, 2015.

PILLAI, Ravi; REDMOND, Mark; RÖDING, Joachim. Anti-Wrinkle Therapy: Significant New Findings in the Non-Invasive Cosmetic Treatment of Skin Wrinkles with Beta-Glucan. **IFSCC Magazine**, v. 8, n.1, 2005.

PIMENTEL, Tatiana Colombo; COSTA, Whyara Karoline Almeida da; BARÃO, Carlos Eduardo; ROSSET, Michele; MAGNANI, Marciane. Vegan probiotic products: a modern tendency or the newest challenge in functional foods. **Food Res. Int.**, v. 140, 2020.

PRIYASHANTHA, Hasitha; TÜRKMEN, Nazlı; JAYARATHNA, Shishanthi. Challenges in probiotic dairy-based beverages. **New Food**, v. 5, 2019.

RAIKOS, Vassilios; JUSKAITE, Lina; VAS, Frazer; HAYES, Helen E. Physicochemical properties, texture, and probiotic survivability of oat-based yogurt using aquafaba as a gelling agent. **Food Sci. Nutr.** v. o, p. 1-7, 2020.

RASANE, Prasad; JHA, Alok; SABIKHI, Latha; KUMAR, Arvind; UNNIKRIISHNAN, V. S. Nutritional advantages of oats and opportunities for its processing as value added foods - a review. **J. Food Sci. Technol.**, v. 52, n. 2, 2015.

SAINI, Mehak; KAUR, Jaspreet; BAJWA, Usha. Development of oat bran incorporated kulfi. **Indian J. Dairy Sci.**, v. 72, n. 6, 2019.

SALIH, Noura K. M; ABDULLAHI, Nura; TAWHEEL, Hayyan Al. Latent Period of *Pseudomonas aeruginosa* in Dairy Product (Yogurt and Pasteurized Milk). **J. Environ. Sci., Toxicol. Food Technol.**, v. 12, n. 6, 2018.

SELLE, K.M.; KLAENHAMMER, T.R.; RUSSELL, W.M. **Lactobacillus** | *Lactobacillus acidophilus*. Encyclopedia of Food Microbiology (Second Edition), p. 412-417, 2014.

SETHI, S.; TYAGI, S.K.; ANURAG, R.K. Plant-based milk alternatives an emerging segment of functional beverages: a review. **J. Food Sci. Technol.** v. 53, p. 3408–3423, 2016.

SIDDIQ, Hind Ali Mohamed; HAMID, Omer Ibrahim Ahmed. Effect of *Lactobacillus acidophilus* and *Lactobacillus plantarum* on the quality of yogurt. **Bioteknologi**, v. 14, n. 2, 2017.

SIM, Shaun Y. J.; HUA, Xin Yi; HENRY, Christiani Jeyakumar. A Novel Approach to Structure Plant-Based Yogurts Using High Pressure Processing. **Foods**, v. 9, 2020.

SODINI, Isabele; REMEUF, Florent; HADDAD, Samia; CORRIEU, Georges. The Relative Effect of Milk Base, Starter, and Process on Yogurt Texture: A Review. **Crit.**

Ver. Food Sci. Nutr., v. 44, n. 2, 2010.

SUKHOVA, I. V.; ROMANOVA, T. N.; KOROSTELEVA, L. A.; BAIMISHEV, R. H.; DOLGOSHEVA, E. V. The effect of hydrated oatmeal on quality of the symbiotic fermented milk product. **Int. Sci.-Prac. Conf. Agri. Food Sec.**, v. 17, 2020.

TSETSEGMAA, R.; TSETSEGEE, D. Evaluation of a Fermented Oat Beverage. **Proceedings of IFOST-2012**. 176-179.

WALSH, Helen; ROSS, Jane; HENDRICKS, Gregory; GUO, Mingruo. Physico-Chemical Properties, Probiotic Survivability, Microstructure, and Acceptability of a Yogurt-Like Symbiotic Oats-Based Product Using Pre-Polymerized Whey Protein as a Gelation Agent. **J. Food Sci.**, v. 75, n. 5, 2010.

WANG, Y. Prebiotics: Present and future in food science and technology. **Food Res. Int.** v. 42, 8–12, 2009.

CAPÍTULO 2

**FERMENTAÇÃO DE EXTRATO VEGETAL DE AVEIA COM CEPAS DE
LACTOBACILLUS ACIDOPHILUS LA-5, BIFIDOBACTERIUM ANIMALIS BB-12 E
STREPTOCOCCUS THERMOPHILUS: PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS,
MICROBIOLÓGICAS E SENSORIAIS**

Geovana Piveta Ribeiro³

Mariana Souza Costa²

Wilma Aparecida Spinosa¹

³Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos,
Universidade Estadual de Londrina - UEL, CEP: 86057-970 Londrina, PR, Brasil,
piveta.geovana@hotmail.com

²Pesquisadora Sênior da empresa SL Cereais e Alimentos Ltda., CEP: 86828-000
Mauá da Serra, PR, Brasil, marianasouza.costa@yahoo.com.br

¹Professor do Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos, Universidade
Estadual de Londrina - UEL, CEP: 86057-970 Londrina, PR, Brasil,
wilma.spinosa@uel.br (Autor Correspondente)

RESUMO

A fermentação de extratos vegetais por bactérias ácido lácticas e bifidobactérias tem se mostrado uma importante alternativa para melhorar os perfis nutricionais, sensoriais e de textura no desenvolvimento de novos produtos em substituição a produtos lácteos. O objetivo deste trabalho foi estudar a fermentação de um extrato vegetal de aveia com cepas de *Lactobacillus acidophilus* LA-5, *Bifidobacterium animalis* BB-12 e *Streptococcus thermophilus* e avaliar os parâmetros físico-químicos, a viabilidade microbiológica e a aceitação sensorial do produto desenvolvido. O estudo do processo fermentativo foi realizado nos tempos 0, 2, 4, 8 e 16 horas, a 43 °C e foram determinados os valores de pH, acidez total titulável, sólidos solúveis totais, viscosidade, cor, teor de β -glucana e contagem de células viáveis. A fermentação por 4 horas foi suficiente para atingir pH de 4,67 e contagem de células viáveis em nível de 10^6 UFC/g e por isso este tempo foi considerado padrão para a elaboração do fermentado de aveia. O produto foi desenvolvido e os mesmos parâmetros físico-químicos e microbiológicos avaliados ao longo dos dias 0, 7, 14 e 21 de armazenamento a 4 °C. O armazenamento por até 7 dias não ocasionou sinérese e

alteração na cor. Além disso, o produto armazenado por este período foi bem aceito pelos avaliadores com relação a aparência, aroma, sabor, textura e aceitação global. A fermentação do extrato de aveia com cepas de *Lactobacillus acidophilus* LA-5, *Bifidobacterium animalis* BB-12 e *Streptococcus thermophilus* foi tecnologicamente viável e a quantidade de inóculo foi eficiente para elaborar um produto fermentado de aveia similar a um iogurte convencional, acessível ao público vegano, vegetariano e intolerante à lactose.

Palavras-chave: viscosidade, β -glucana, aceitação sensorial, ácidos orgânicos, farelo de aveia.

1. INTRODUÇÃO

Muitos consumidores têm buscado alternativas ao leite de vaca por questões de sustentabilidade, saúde, estilo de vida e alimentação, resultando em um aumento no desenvolvimento de produtos à base de cereais, sementes ou leguminosas. Entretanto, estas alternativas *plant based* são frequentemente desequilibradas nutricionalmente e com perfis de sabor que limitam sua aceitação. Por isso, a fermentação tem sido realizada com o objetivo de melhorar os perfis sensoriais e nutricionais, além de propriedades de textura (Tangyu et al., 2019). A fermentação de cereais por bactérias ácido lácticas e bifidobactérias pode aumentar a biodisponibilidade de vários minerais, melhorar a digestibilidade e conseqüentemente as características sensoriais. Além disso, as fibras presentes nestes cereais podem estimular o crescimento destas bactérias benéficas, colaborando para condições intestinais saudáveis dos consumidores (Gupta; Bajaj, 2017).

A aveia é um cereal com excelentes propriedades nutricionais, boa composição em aminoácidos, ácidos graxos, vitaminas, minerais, antioxidantes e fibras, principalmente β -glucana, que contribui positivamente para a viscosidade e solubilidade da molécula, trazendo benefícios tanto tecnológicos no desenvolvimento

de novos produtos, quanto de saúde para quem os consome (Silva; Silva; Ribeiro, 2019). Algumas das bactérias já estudadas para o desenvolvimento de produtos à base de cereais são *Lactobacillus delbrueckii*, *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus rhamnosus* e do gênero *Bifidobacterium* (Masiá; Jensen; Buldo, 2020).

Lactobacillus acidophilus é bastante utilizado pela indústria a fim de obter produtos de fermentação de alta qualidade (Meng et al., 2021). É uma bactéria Gram-positiva, resistente à digestão gastrointestinal. Algumas linhagens apresentam efeito probiótico, com benefícios no tratamento da diarreia, função imunológica e anti-inflamatória. *Bifidobacterium animalis* também é Gram-positivo oriundo do intestino grosso de humanos, e muitas linhagens apresentam efeitos probióticos com benefícios à saúde, sendo os principais relacionados à redução dos níveis de colesterol e tratamento de doenças inflamatórias intestinais (Güney; Güngörmüşler, 2020). *Streptococcus thermophilus* é uma espécie iniciadora essencial, Gram-positiva, utilizada na elaboração de vários produtos fermentados e que em conjunto com outras culturas bacterianas contribui positivamente para a saúde intestinal. Quando crescem em matrizes vegetais, essas bactérias consomem carboidratos e conseqüentemente produzem ácidos, que levam a formação de um gel e contribuem para o aroma do produto (Boulay; Haddad; Rul, 2020). Além disso, a maioria dessas bactérias apresentam boas propriedades enzimáticas que degradam proteínas, outros compostos indigeríveis e alguns fatores antinutricionais, afetando positivamente as propriedades sensoriais e nutricionais (Samtiya et al., 2021).

Duru et al. (2019) desenvolveram um produto fermentado à base de aveia com cepas de *Lactobacillus acidophilus* e *Streptococcus thermophilus* adicionado de isoflavonas, e observaram que o extrato foi capaz de melhorar a capacidade antioxidante mas houve uma redução na contagem de bactérias probióticas durante o

armazenamento, além disso, o aroma do produto não foi bem aceito pelos avaliadores. Asadzadeh et al. (2020) utilizaram farelo de aveia para desenvolver um produto fermentado com *Bifidobacterium lactis*, e obtiveram um produto com boas qualidades funcionais, associando as propriedades nutricionais da aveia e das bactérias probióticas, entretanto utilizaram xarope de frutose, pectina e óleo de uva para melhorar a textura e aceitação do produto.

Embora a fermentação de extratos de aveia por bactérias ácido lácticas e bifidobactérias já tenha sido estudada por outros pesquisadores, é essencial entender o efeito que diferentes culturas bacterianas causam sob diferentes matérias-primas vegetais, tanto com foco nos parâmetros físicos quanto na aceitação sensorial. E fazer isso, sem a adição de produtos sintéticos ou melhoradores é um grande desafio, uma vez que o desejo dos consumidores é cada vez mais adquirir produtos naturais e de alto valor nutricional. Por isso, o objetivo deste trabalho foi estudar a fermentação de um extrato vegetal de aveia com cepas de *Lactobacillus acidophilus* LA-5, *Bifidobacterium animalis* BB-12 e *Streptococcus thermophilus*, sem adição de outros ingredientes, e avaliar os parâmetros físico-químicos, a viabilidade microbiológica e a aceitação sensorial do produto desenvolvido.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material

2.1.1 Aveia

O farelo de aveia utilizado para o preparo do extrato vegetal e consequente fermentado de aveia foi gentilmente doado pela empresa SL Cereais e Alimentos Ltda

(Mauá da Serra-PR, Brasil). De acordo com o laudo técnico, o produto apresentava 5,88 g/100g de lipídeos, 20,90 g/100g de proteínas e 54,19 g/100g de carboidratos, ausência de micotoxinas e materiais estranhos e/ou impurezas, além de cor, odor e sabor conforme padrão.

2.2 Métodos

2.2.1 Obtenção e fermentação do extrato de aveia

O extrato de aveia foi produzido pela homogeneização de 13% (m:m) de farelo de aveia em água potável, seguido de pasteurização em banho maria a 65 °C por 20 minutos, resfriamento em água gelada e armazenamento a 4 °C até a fermentação. Esta proporção foi definida com base em testes preliminares, a fim de se obter um extrato vegetal com 12% de sólidos solúveis totais (Raikos et al., 2020).

O estudo do processo fermentativo foi realizado utilizando-se cepas de *Lactobacillus acidophilus* LA-5, *Bifidobacterium animalis* BB-12 e *Streptococcus thermophilus* (BioRich®). Antes da inoculação, o extrato foi aquecido em banho maria até 40 °C, e o inóculo adicionado na proporção sugerida pelo fabricante (400mg para 1 litro de extrato). A fermentação aconteceu em um reator comercial (Izumi, Brasil) a 43 °C e foram coletadas amostras dos tempos 0, 2, 4, 8 e 16 horas para as determinações de pH, acidez total titulável, sólidos solúveis totais, viscosidade, cor, teor de β -glucana e contagem de células viáveis.

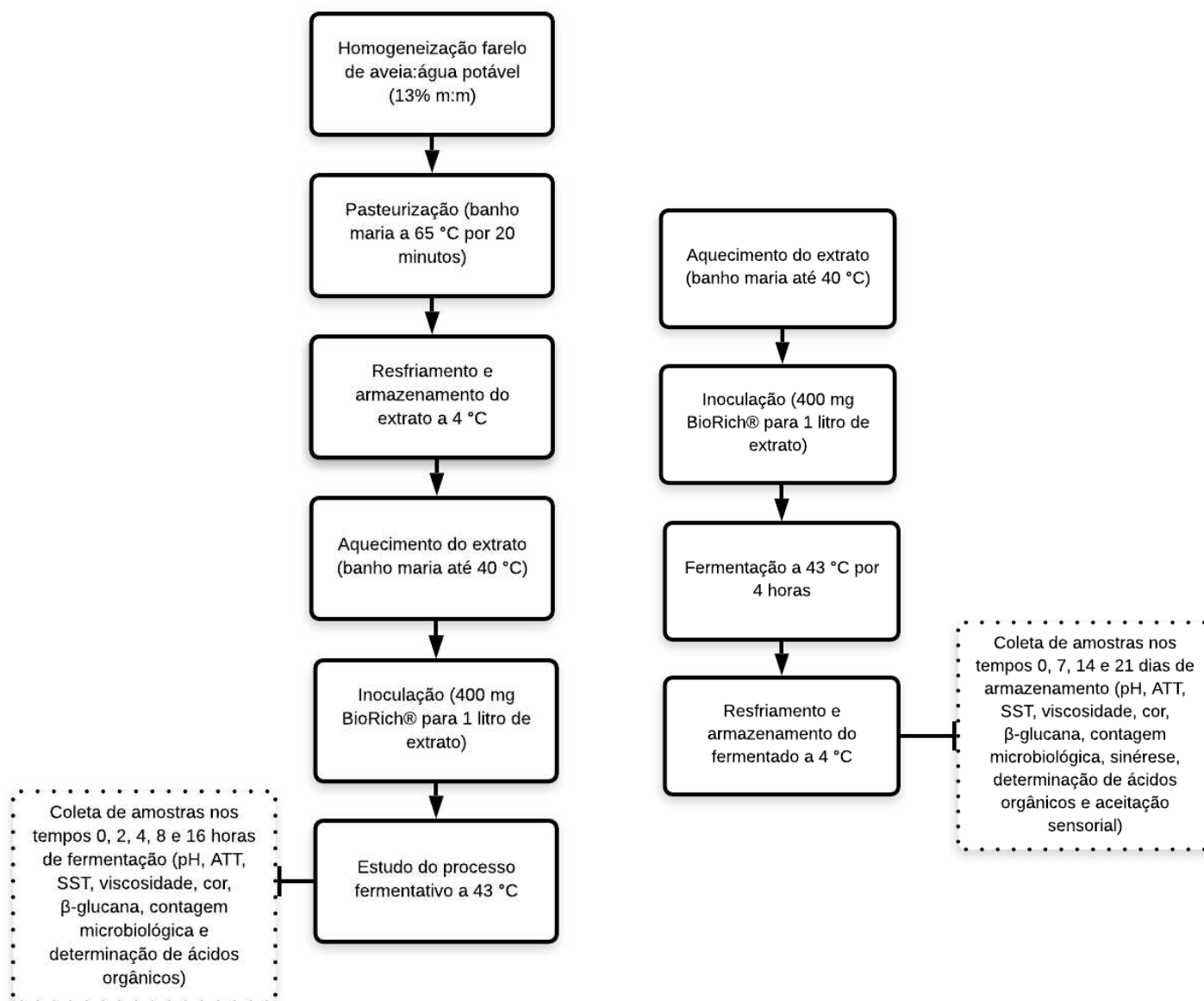
Uma vez observada que a fermentação por quatro horas foi suficiente para atingir pH 4,67, este foi considerado o tempo padrão para a elaboração do fermentado de aveia. O processo fermentativo foi repetido nas mesmas condições até quatro horas, sendo interrompido pelo resfriamento e armazenamento a 4 °C para as

determinações de pH, acidez total titulável, sólidos solúveis totais, viscosidade, cor, teor de β -glucana, contagem de células viáveis e sinérese nos dias 0, 7, 14 e 21 de armazenamento. A organização metodológica está ilustrada na figura 1.

FIGURA 1 – FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA DE TRABALHO DO (A) ESTUDO DO PROCESSO FERMENTATIVO E (B) ELABORAÇÃO DO FERMENTADO DE AVEIA

a)

b)



ATT= acidez total titulável; SST= sólidos solúveis totais

2.2.2 Análises físico-químicas

O pH foi avaliado em um medidor digital de pH (Gehaka - PG2000, Brasil). A acidez total titulável foi quantificada pela titulação de 10 mL de amostra com NaOH 0,1 N utilizando fenolftaleína como indicador e expressando os resultados em g de ácido láctico/100g de produto (Soukoulis et al. 2007). Os sólidos solúveis totais foram expressos em °Brix, medido com refratômetro digital de bancada (Metler Toledo - LiquiPhysics™ Excellence RM40, Reino Unido) a 10°C. Os parâmetros de cor no sistema Cielab L* (luminosidade), a* (componente vermelho-verde) e b* (componente amarelo-azul) foram determinados a 25 °C, em colorímetro (Konica Minolta - Chroma Meter CR-4000, Japão) com iluminante D65 (luz natural do dia). Para leitura as amostras foram colocadas em cubetas com área de 16 cm² e ângulo de 45/0° de iluminação e 10° de observação. O teor de β-glucana foi determinado com kit enzimático (Mixed-Linkage beta-glucan-(K-BGLU 02/17)) da Megazyme (Megazyme, Irlanda) de acordo com o método oficial 995.16 da AOAC (AOAC, 2005).

2.2.3 Viscosidade

A viscosidade foi analisada no viscosímetro Brookfield (modelo DV-I +, Estados Unidos). A análise foi realizada a 10 °C, com 300 mL de amostra em um béquer de 400 mL de capacidade. O *spindle* utilizado para todas as amostras foi o S63, a 20 rpm, para deixar o torque entre 10 e 80% conforme orientação do fabricante. A leitura foi registrada após 40 segundos de rotação, em 10 repetições.

2.2.4 Contagem microbiológica

Para a seleção de *Lactobacillus acidophilus* LA-5, *Bifidobacterium animalis* BB-

12 e *Streptococcus thermophilus* diferentes meios foram preparados. A contagem foi realizada, após diluições em série, utilizando-se ágar MRS com solução de maltose 2% (m:m) com plaqueamento em superfície para *Lactobacillus acidophilus* LA-5 e ágar MRS com solução de glicose 2% (m:m) com plaqueamento em profundidade (*pour plate*) para *Bifidobacterium animalis* BB-12 (Walsh et al., 2010). *Streptococcus thermophilus* foi cultivado em ágar M-17 com plaqueamento em superfície (Raikos et al., 2020). Todos os meios foram incubados em triplicata a 37 °C por 48 horas e os resultados expressos em unidades formadoras de colônias por grama (UFC/g).

2.2.5 Identificação de ácidos orgânicos

Cromatografia líquida de alta eficiência foi realizada para identificar e quantificar os ácidos orgânicos do fermentado de aveia no tempo 0 e 4 horas de fermentação e 7 dias de armazenamento. Os ácidos orgânicos (ácido cítrico, láctico, málico e oxálico) foram determinados de acordo com a metodologia descrita no capítulo 37 da AOAC e expressos em mg/100g (AOAC, 2019).

2.2.6 Sinérese

A sinérese foi determinada pela separação gravitacional de 50g de amostra que foram pesadas sobre papel filtro disposto sob um funil e mantido reservado para drenagem por 120 minutos a 4 °C, o líquido separado foi determinado pela diferença de massa entre o frasco de massa conhecida e sistema líquido coletado e frasco coletor (Sinérese (%) = (peso do líquido coletado/peso inicial da amostra) x 100) (Raikos et al., 2020).

2.2.7 Aceitação sensorial

Como o produto fermentado por 4 horas e armazenado por 7 dias apresentou bons parâmetros de contagem microbiológica, sem a ocorrência de sinérese, foi considerada a amostra referência para a aceitação sensorial. A aceitação foi medida com escala hedônica híbrida de 10 cm (Villanueva et al., 2005), onde 0 = desgostei extremamente, 5 = nem gostei, nem desgostei e 10 = gostei extremamente e avaliaram-se os atributos aparência, aroma, sabor, textura e aceitação global com 100 consumidores voluntários, previamente esclarecidos sobre o teste, após assinarem o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido – TCLE. Para o teste, porções de 15 gramas a 10 °C foram apresentadas em copos descartáveis, codificados com números aleatórios de três dígitos, acompanhadas de colher descartável. Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Universidade Estadual de Londrina, parecer n° 3.852.821.

2.2.7 Análise estatística

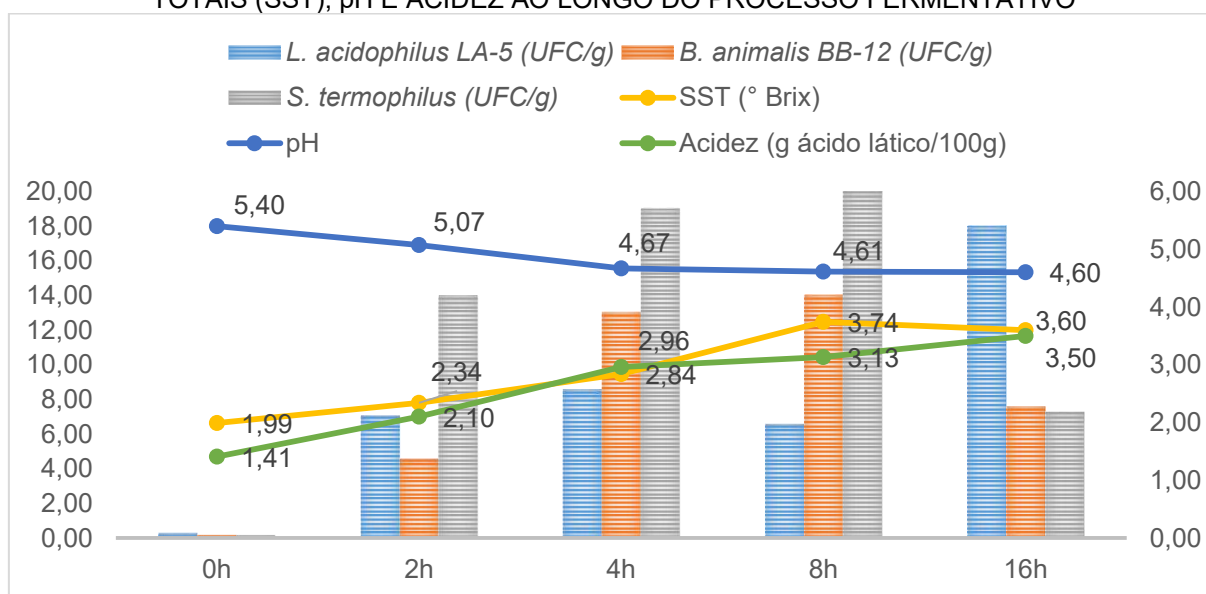
Os dados foram tratados por análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey em nível de 5% de significância, empregando-se o software Statistica 10.0.

3. RESULTADOS

Com o objetivo de determinar o tempo de fermentação necessário para se obter o fermentado de aveia foram avaliados o crescimento dos microrganismos, sólidos

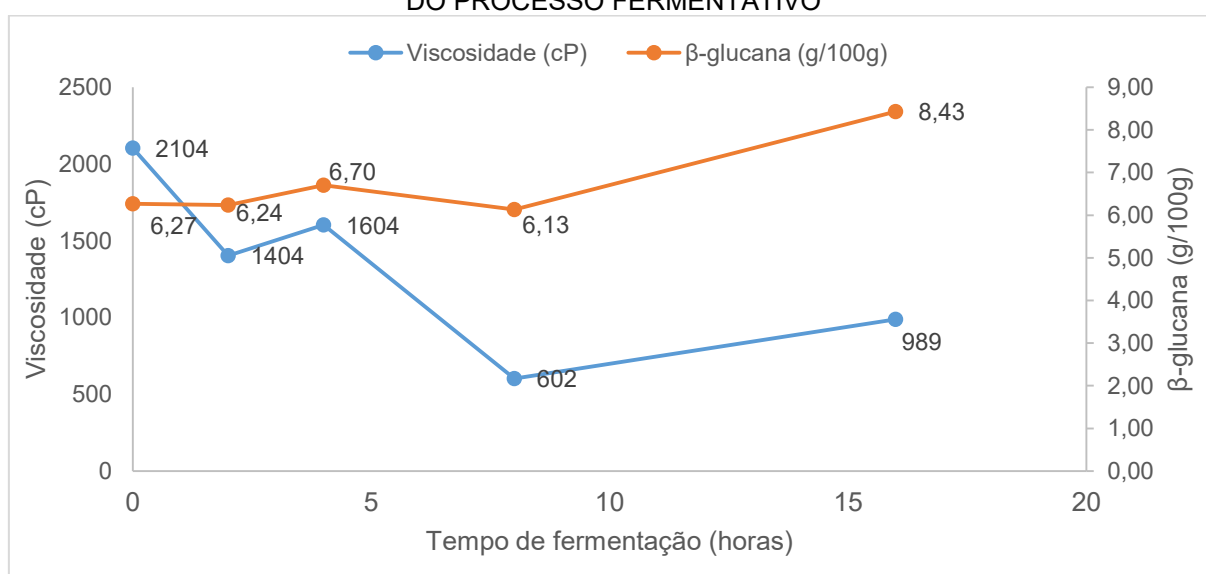
solúveis totais expressos em °Brix, redução do pH e aumento da acidez ao longo das dezesseis horas de processo fermentativo (Figura 2). A fermentação iniciou com contagens em nível de 10^5 UFC/g para todas as espécies, 1,99 °Brix, pH de 5,40 e acidez de 1,41 g/100g de ácido láctico. Nas primeiras duas horas de fermentação já houve crescimento exponencial de todas as culturas, com aumento significativo dos sólidos e acidez e redução do pH. Após quatro horas de fermentação não houve mais redução significativa do pH, sugerindo o ponto final da fermentação. Entre quatro e oito horas de processo, o crescimento de *Bifidobacterium animalis* BB-12 e *Streptococcus thermophilus* supera o crescimento de *Lactobacillus acidophilus* LA-5, e a partir deste tempo há redução no número de células viáveis dessas espécies e crescimento apenas de *Lactobacillus acidophilus* LA-5. A contagem de *Lactobacillus acidophilus* LA-5, *Bifidobacterium animalis* BB-12 e *Streptococcus thermophilus* após as dezesseis horas de fermentação foi de $1,8 \times 10^7$ UFC/g, $7,6 \times 10^6$ UFC/g e $7,3 \times 10^6$ UFC/g, respectivamente, e o produto neste tempo atingiu 3,60 °Brix, pH de 4,60 e acidez de 3,50 g/100g de ácido láctico.

FIGURA 2 – CRESCIMENTO DOS MICRORGANISMOS E VALORES DE SÓLIDOS SOLÚVEIS TOTAIS (SST), pH E ACIDEZ AO LONGO DO PROCESSO FERMENTATIVO



A figura 3 mostra a relação entre a viscosidade e o teor de β -glucana ao longo do processo fermentativo. Nas primeiras duas horas de fermentação houve uma queda na viscosidade e o teor de β -glucana permaneceu estável, porém entre duas e quatro horas de fermentação houve um aumento no teor de fibras e na viscosidade. Esse mesmo comportamento foi observado entre oito e dezesseis horas de fermentação, sugerindo que um aumento no teor de β -glucana influencia diretamente na viscosidade do produto.

FIGURA 3 – VISCOSIDADE E TEOR DE β -GLUCANA DO FERMENTADO DE AVEIA AO LONGO DO PROCESSO FERMENTATIVO



A fim de se observar as demais mudanças ao longo do processo fermentativo foram avaliados os parâmetros de cor (Tabela 1) e teor de ácidos orgânicos (Tabela 2). Nota-se que houve um aumento no parâmetro luminosidade o que indica que o produto foi se tornando mais claro ao longo do processo, havendo diferença após duas horas e após oito horas de fermentação. Não houve variação nos parâmetros a^* e b^* , que correspondem aos componentes verde-vermelho e amarelo-azul,

respectivamente. Com relação aos ácidos, observa-se que houve síntese dos ácidos cítrico, láctico, málico e oxálico.

TABELA 1 – PARÂMETROS DE COR AO LONGO DO PROCESSO FERMENTATIVO

| Tempo | Cor | | |
|----------|--------------------------|------------------------|-------------------------|
| | L* | a* | b* |
| 0 horas | 67,47±0,20 ^c | 1,22±0,06 ^a | 11,34±0,66 ^a |
| 2 horas | 69,07±0,08 ^b | 1,37±0,09 ^a | 11,57±0,06 ^a |
| 4 horas | 70,14±0,18 ^{ab} | 1,40±0,11 ^a | 11,71±0,64 ^a |
| 8 horas | 70,73±0,54 ^a | 1,21±0,05 ^a | 11,64±0,06 ^a |
| 16 horas | 70,90±0,30 ^a | 1,26±0,05 ^a | 12,22±0,06 ^a |

Média ± Desvio padrão; Médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna, não apresentam diferença significativa pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). L*: luminosidade (0: preto e 100: branco); a*: componente verde-vermelho (-a*: verde, +a*: vermelho); b*: componente amarelo-azul (-b*: azul, +b*: amarelo).

TABELA 2 – TEORES DOS ÁCIDOS ORGÂNICOS AO LONGO DE 4 HORAS DE FERMENTAÇÃO

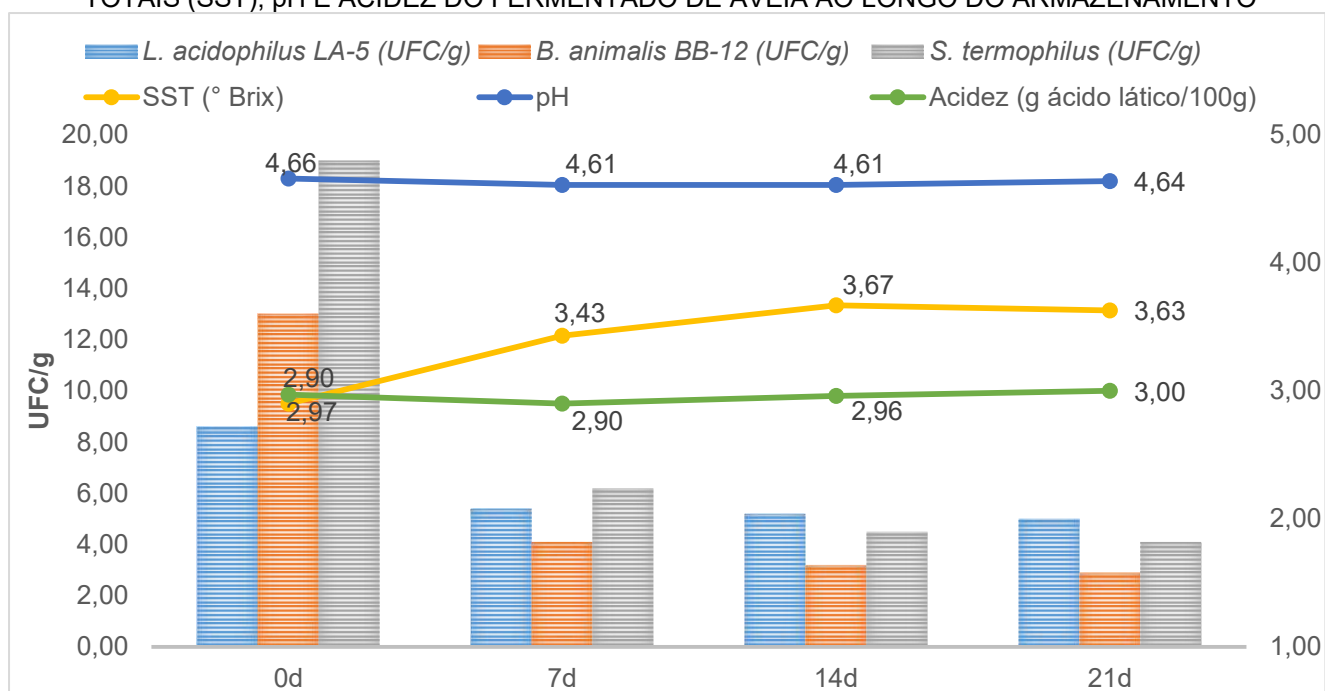
| | 0 horas | 4 horas |
|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Ácido cítrico (mg/100g) | 0,60±0,03 ^b | 7,60±0,01 ^a |
| Ácido láctico (mg/100g) | 15,20±0,02 ^b | 119,70±0,15 ^a |
| Ácido málico (mg/100g) | 6,99±0,02 ^b | 7,50±0,01 ^a |
| Ácido oxálico (mg/100g) | 0,59±0,17 ^b | 6,50±0,10 ^a |

Média ± Desvio padrão; Médias seguidas pela mesma letra na mesma linha, não apresentam diferença significativa pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

Uma vez observada que a fermentação por quatro horas foi suficiente para atingir pH estável, este foi considerado o tempo padrão para a elaboração do fermentado de aveia, que teve seus parâmetros físicos e microbiológicos analisados nos tempos 0, 7, 14 e 21 dias de armazenamento. A figura 4 mostra que os valores de sólidos solúveis totais, pH e acidez se mantiveram estáveis ao longo de todo o período de armazenamento, mesmo havendo uma queda na contagem de células todos os microrganismos. O fermentado de aveia apresentava no início do armazenamento contagem de $8,6 \times 10^6$ UFC/g de *Lactobacillus acidophilus* LA-5, $1,3 \times 10^7$ UFC/g de *Bifidobacterium animalis* BB-12 e $1,9 \times 10^7$ UFC/g de *Streptococcus*

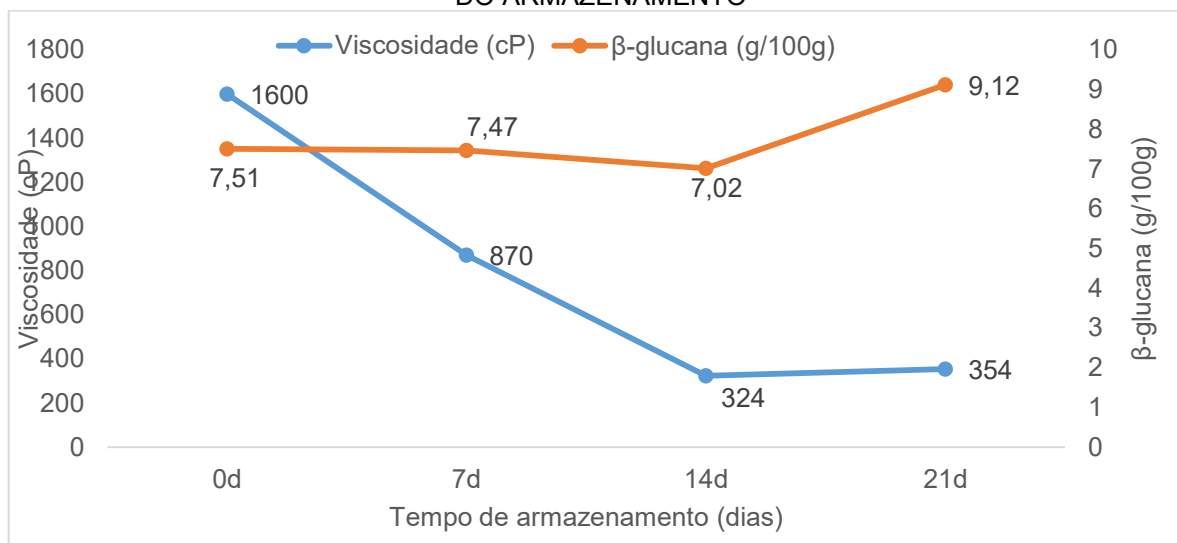
thermophilus e ao final dos vinte e um dias de armazenamento, $5,0 \times 10^6$ UFC/g de *Lactobacillus acidophilus* LA-5, $2,9 \times 10^6$ UFC/g de *Bifidobacterium animalis* BB-12 e $4,1 \times 10^6$ UFC/g de *Streptococcus thermophilus*.

FIGURA 4 – CRESCIMENTO DOS MICRORGANISMOS E VALORES DE SÓLIDOS SOLÚVEIS TOTAIS (SST), pH E ACIDEZ DO FERMENTADO DE AVEIA AO LONGO DO ARMAZENAMENTO



A relação viscosidade e teor de β -glucana ao longo do armazenamento está ilustrada na figura 5 e difere do comportamento observado durante o processo fermentativo. Nos primeiros sete dias de armazenamento, mesmo o teor de fibras se mantendo estável, houve uma queda significativa na viscosidade do produto, que ainda apresentou uma redução até o décimo quarto dia de armazenamento. Entre os dias quatorze e vinte e um, mesmo havendo um aumento no teor de β -glucana, não houve variação significativa na viscosidade do produto.

FIGURA 5 – VISCOSIDADE E TEOR DE β -GLUCANA DO FERMENTADO DE AVEIA AO LONGO DO ARMAZENAMENTO



Com relação aos parâmetros de cor e sinérese (Tabela 3) observa-se que não houve variação nos parâmetros a^* (componente verde-vermelho) e b^* (componente amarelo-azul), entretanto houve um aumento de luminosidade após vinte e um dias de armazenamento. Além disso, nota-se que a sinérese começou a ocorrer no décimo quarto dia e não diferiu até o tempo final de armazenamento estudado. Comparando o teor de ácidos orgânicos do fermentado de aveia armazenado por sete dias com o resultado da fermentação por quatro horas (Tabela 4), observa-se que houve redução apenas nos teores de ácido cítrico e málico.

TABELA 3 – PARÂMETROS DE COR E PORCENTAGEM DE SINÉRESE DO FERMENTADO DE AVEIA AO LONGO DO ARMAZENAMENTO

| Tempo | Cor | | | Sinérese (%) |
|---------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| | L* | a* | b* | |
| 0 dias | 70,12 \pm 0,10 ^b | 1,38 \pm 0,09 ^a | 11,70 \pm 0,50 ^a | nd |
| 7 dias | 69,76 \pm 0,53 ^b | 1,94 \pm 0,91 ^a | 12,20 \pm 0,86 ^a | nd |
| 14 dias | 69,80 \pm 0,78 ^b | 2,03 \pm 0,88 ^a | 12,10 \pm 1,00 ^a | 0,52 \pm 0,01 ^a |
| 21 dias | 72,48 \pm 0,25 ^a | 1,79 \pm 0,04 ^a | 10,80 \pm 0,18 ^a | 0,60 \pm 0,01 ^a |

Média \pm Desvio padrão; Médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna, não apresentam diferença significativa pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). L*: luminosidade (0: preto e 100: branco); a^* : componente verde-vermelho ($-a^*$: verde, $+a^*$: vermelho); b^* : componente amarelo-azul ($-b^*$: azul, $+b^*$: amarelo). nd= não detectado.

TABELA 4 – TEORES DOS ÁCIDOS ORGÂNICOS (MG/100G) DO PRODUTO FERMENTADO E ARMAZENADO POR 0 E 7 DIAS

| | 0 dias | 7 dias |
|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Ácido cítrico (mg/100g) | 7,60±0,01 ^a | 7,10±0,01 ^b |
| Ácido láctico (mg/100g) | 119,70±0,15 ^a | 127,40±0,01 ^a |
| Ácido málico (mg/100g) | 7,50±0,01 ^a | 7,10±0,02 ^b |
| Ácido oxálico (mg/100g) | 6,50±0,10 ^a | 6,40±0,17 ^a |

Média ± Desvio padrão; Médias seguidas pela mesma letra na mesma linha, não apresentam diferença significativa pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

A fim de se avaliar a aceitação do produto desenvolvido, foi realizado o teste de aceitação com o fermentado de aveia armazenado por 7 dias. As notas de aceitação em todos os atributos avaliados foram superiores a 6,0 (em escala de 10 cm) indicando aprovação do produto (Tabela 5), sendo a maior média 7,81 para o atributo textura e a menor média 6,04 para o atributo sabor.

TABELA 5 – INTENSIDADE MÉDIA DOS ATRIBUTOS SENSORIAIS DO FERMENTADO DE AVEIA

| Aparência | Aroma | Sabor | Textura | Aceitação Global |
|-----------|-----------|-----------|-----------|------------------|
| 7,88±1,35 | 7,49±1,92 | 6,04±1,95 | 7,81±1,75 | 7,24±1,61 |

Média ± Desvio padrão. Valores médios de 100 avaliadores.

4. DISCUSSÃO

O crescimento mais rápido de *Streptococcus thermophilus* do que *Lactobacillus acidophilus* no início do processo (Figura 2) também foi observado por Meng et al. (2021) ao estudarem a fermentação de leite de vaca com cepas de *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii ssp. bulgaricus* e *Lactobacillus acidophilus*. Os autores atribuem esse comportamento à alta exigência nutricional das cepas de *Lactobacillus acidophilus*, que requerem uma variedade de vitaminas, íons e aminoácidos liberados somente após a atividade das outras bactérias utilizadas no

meio. A presença do microrganismo *Streptococcus thermophilus* favorece o processo por se tratar de uma cultura *starter*. Ela causa uma rápida acidificação do meio relacionada à produção de ácido láctico e também é capaz de produzir compostos secundários da fermentação como ácido fórmico, acetaldeído e/ou diacetil que favorecem o crescimento das demais espécies além de contribuir para as propriedades aromáticas e de textura dos produtos fermentados (Uriot et al., 2017). Desta forma, o processo de fermentação inicia-se com mais rapidez com o inóculo de *Streptococcus thermophilus*, continuando com os inóculos de *Lactobacillus acidophilus* LA-5 e *Bifidobacterium animalis* ssp. *lactis*, nos quais o pH ótimo para início da atividade está situado entre 5,5 e 6,2 (Brandão et al., 2021). A contagem final em nível de 10^6 UFC/g corrobora os resultados de El-Batawy, Mahdy e Gohari (2019). Estes autores fermentaram extrato de aveia com *Streptococcus salivarius* sub sp. *thermophilus*, *Lactobacillus acidophilus* e *Bifidobacterium bifidum* e obtiveram contagens de $8,06 \times 10^6$ UFC/g de *Streptococcus thermophilus*, $7,01 \times 10^6$ UFC/g de *Lactobacillus acidophilus* e $7,15 \times 10^6$ UFC/g de *Bifidobacterium bifidum* no produto recém fermentado por dezesseis horas e concluíram que o principal substrato da aveia utilizado por estas bactérias é a maltose.

O tempo de quatro horas de fermentação até obter o pH final de 4,67 (Figura 2) é menor em relação a outros trabalhos publicados na literatura. Asadzadeh et al. (2020) compararam a fermentação de extratos elaborados com 5, 10 e 15% (m:m) de farelo de aveia em água para elaborar uma bebida prebiótica de uva utilizando *Bifidobacterium lactis* e após setenta e duas horas de fermentação o pH final médio foi de 5,60, independente da concentração de farelo utilizada. Raikos et al. (2020) obtiveram pH final de 4,0 após seis horas de fermentação de um extrato de aveia (12% (m:m) aveia:água) enriquecido com aquafaba utilizando *Bifidobacterium lactis*,

Lactobacillus acidophilus, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *lactis*, e *Streptococcus thermophilus*. El-Batawy, Mahdy e Gohari (2019) fermentaram extrato de aveia (21% de matéria seca) com *S. salivarius* subsp. *thermophilus*, *Lactobacillus acidophilus* e *Bifidobacterium bifidum* por dezesseis horas e o pH final foi 4,7.

Entretanto, a concentração de inóculo e temperatura do processo também influenciam no tempo de fermentação, o que pode ter contribuído para o menor tempo obtido. Raikos et al. (2020) utilizaram 0,25% (m:m) a 43 °C, El-Batawy, Mahdy e Gohari (2019) 3% (m:m) a 39 °C e Asadzadeh et al. (2020) fermentaram a 37 °C com uma concentração de inóculo a fim de obter contagem inicial ao nível de 10⁹ UCF/g. Com isso observa-se que a concentração de farelo de aveia escolhida na preparação do extrato vegetal, a mistura da cultura láctea utilizada e a quantidade de inóculo foram eficientes para otimizar o tempo de fermentação e elaborar um produto fermentado de aveia. Além disso, a fermentação com culturas lácteas mistas apresenta sempre menor tempo de processo do que com culturas lácteas puras, uma vez que os diferentes microrganismos atuam em faixas de pHs diferentes, tornando o processo de fermentação mais rápido (Brandão et al, 2021).

A concentração de farelo de aveia utilizada na elaboração do extrato vegetal a ser fermentado influencia no teor de β -glucana, que tem importância tanto em efeitos tecnológicos no desenvolvimento de novos produtos quanto em efeitos fisiológicos para quem os consome. Embora Tsetsegmaa e Tsetsegee (2012) citem que o teor de β -glucana não altera durante a fermentação por esta não ser utilizada pelas bactérias ácido lácticas como substrato, observamos neste estudo um aumento na sua concentração (Figura 3), o que pode ser resultado da hidrólise do amido e das proteínas ao longo do processo fermentativo, tornando as fibras mais disponíveis no

meio. O efeito da β -glucana no aumento da viscosidade é devido à molécula ter alta capacidade de retenção de água e solubilidade, além das propriedades de geleificação após aquecimento, capaz de formar uma rede de polissacarídeos no qual moléculas de proteínas e lipídeos ficam incorporadas (El-Batawy; Mahdy; Gohari, 2019). Os valores de viscosidade durante todos os tempos analisados foram superiores aos obtidos por Gokavi et al. (2005) ao fermentarem um extrato com 5% de farinha de aveia integral (m:v) com *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus paracasei* ssp. *casei* e *Lactobacillus acidophilus* por 12 horas (420 cP).

O aumento do parâmetro luminosidade (L^*) ao longo do processo fermentativo (Tabela 1) pode ser justificado pelo aumento no teor de β -glucanas. Esse mesmo comportamento foi observado por Raza et al. (2021) ao testarem diferentes concentrações de farinha de grão de bico na elaboração de iogurtes e observaram que a adição da farinha leva a um aumento no teor de fibras e consequentemente na luminosidade dos produtos quando comparado com as amostras controle. Os valores de L^* foram próximos ao do fermentado de aveia desenvolvido por Bernat et al. (2014), 69,9.

A tendência de produção do ácido láctico (Tabela 2) foi coincidente com o crescimento microbiano e com os resultados obtidos por Gallo et al. (2020) ao estudarem a fermentação de uma mistura de farinhas de aveia e arroz (50:50) com 2% de glicose (m:v) utilizando *Lactobacillus paracasei* (1250mg/L).

Ao longo do armazenamento a estabilidade do pH (Figura 4) difere dos resultados de Duru et al. (2019) que não observaram variação ao longo da primeira semana de armazenamento a 4 °C, porém, ao final dos 28 dias o pH caiu de 4,9 para 2,9. El-Batawy, Mahdy e Gohari (2019) também observaram um aumento da acidez ao longo de 21 dias de armazenamento a 4 °C, de 0,83 % para 1,21 %. Ambos

atribuem esse comportamento à atividade dos microrganismos que pode continuar mesmo após a fermentação ter sido interrompida pela refrigeração. Porém, a redução na contagem de células viáveis ao longo do período de armazenamento estudado pode ter sido suficiente para diminuir a atividade microbiana e não causar alteração nos valores de pH e acidez. A diminuição foi exponencial para todos os microrganismos assim como Asadzadeh et al. (2020) observaram no suco de uva probiótico com *Bifidobacterium lactis*. A viabilidade diminuiu extremamente com o aumento do tempo de armazenamento, e os autores citam que a redução pode ser influenciada pelo conteúdo de oxigênio, temperatura, presença de outros microrganismos e compostos inibidores além dos valores de pH e tempo de armazenamento.

Durante o processo fermentativo o teor de β -glucana influenciou diretamente a viscosidade do produto, porém isso não foi observado ao longo do armazenamento (Figura 5). Mesmo a quantidade de β -glucanas se mantendo estável no início, aconteceu uma redução significativa na viscosidade, a qual pode estar sendo influenciada pela sinérese. Esse fenômeno que ocorre devido ao encolhimento do gel e leva à separação do soro também foi relatado por Raikos et al. (2020) após 3 semanas de armazenamento de um fermentado de aveia a 4 °C, mesmo que os autores tenham utilizado aquafaba na formulação como agente geleificante a fim de melhorar a consistência e textura. Assim como aconteceu durante o processo fermentativo, o armazenamento ocasionou um aumento na luminosidade do produto, confirmado no tempo vinte e um dias (Tabela 3). E diferente do processo fermentativo, ao longo do armazenamento houve redução na concentração dos ácidos cítrico e málico (Tabela 4), o que pode sugerir a necessidade de controle da luz e variação de temperatura do local de armazenamento, uma vez que esses ácidos são sensíveis a

luminosidade (Borges et al., 2011) e aumento de temperatura (Scherer; Rybka; Godoy, 2008), respectivamente. Além disso, os ácidos podem estar sendo metabolizados pelas bactérias ácido lácticas remanescentes.

Por fim, a aceitabilidade (Tabela 5) foi superior ao do produto fermentado de aveia desenvolvido por Duru et al. (2019). Convertendo para uma escala de 10 pontos, o produto elaborado por estes autores apresentou média de 4,88 para aroma, 3,88 para sabor e 5,50 para aceitação global. Importante notar que nesse caso também não foram utilizados corantes e/ou aromatizantes e a menor aceitação foi com relação ao atributo sabor, sendo justificado pela ausência de gosto doce.

5. CONCLUSÃO

A fermentação do extrato de aveia com cepas de *Lactobacillus acidophilus* LA-5, *Bifidobacterium animalis* BB-12 e *Streptococcus thermophilus* foi tecnologicamente viável e o produto obtido apresentou características físico-químicas, microbiológicas e sensoriais adequadas. Foi possível observar o comportamento de crescimento dos diferentes tipos de microrganismos na matriz vegetal por até dezesseis horas de fermentação, sendo a fermentação por quatro horas suficiente para elaborar o produto, e que armazenado por até sete dias não apresentou sinérese e foi bem aceito pelos avaliadores. Além disso, o novo produto se destaca como uma importante alternativa ao público intolerante à lactose, alérgico à proteína do leite de vaca, vegetariano e vegano.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à empresa SL Cereais e Alimentos Ltda. por apoio técnico e financeiro e Centro de Qualidade Analítica pela análise de cromatografia líquida de alta eficiência.

DECLARAÇÕES ÉTICAS

Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Universidade Estadual de Londrina, parecer nº 3.852.821.

REFERÊNCIAS

- Asadzadeh, A.; Jalali, H.; Azizi, M. H.; Nafchi, A. M., 2020. Production of oat bran functional probiotic beverage using *Bifidobacterium lactis*. J. Food Meas., 15, 1301-1309.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 2005. Official Methods of Analysis of AOAC International. 18.ed. AOAC, Gaithersburg, Maryland.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 2019. Official Methods of Analysis of AOAC International. 21.ed. AOAC, Gaithersburg, Maryland.
- Bernat, N.; Cháfer, M.; González-Martínez, C.; Rodríguez-García, J.; Chiralt, A., 2014. Optimisation of oat milk formulation to obtain fermented derivatives by using probiotic *Lactobacillus reuteri* microorganisms. Food Sci. Technol. Int., 0, 0.
- Borges, P. R. S.; Carvalho, E. E. N.; Boas, E. V. de B. V.; Lima, J. P.; Rodrigues, L. F., 2011. Study of the psycho-chemical stability of 'Pérola' pineapple juice. Ciênc. agrotec., 35, 4, 742-750.
- Boulay, M.; Haddad, M.; Rul, F., 2020. *Streptococcus thermophilus* growth in soya milk: Sucrose consumption, nitrogen metabolism, soya protein hydrolysis and

role of the cell-wall protease PrtS. *Int. J. Food Microbiol.*, 335, 16.

- Brandão, H. C. A. D. N. T de M.; Brandão, W. A. P. L. N. T. de M.; Mendonça, S. N. T. G.; Felsner, M. L., 2021. Probiotic fermented rice extract beverage: an alternative food for lactose intolerants and people allergic to bovine milk and soy protein. *Braz. J. Food Technol.*, 24.
- Duru, K. C.; Kovaleva, E. G.; Danilova, I. G.; Belousova, A. V., 2019. Production and assessment of novel probiotic fermented oat flour enriched with isoflavones. *LWT - Food Sci. Technol*, 111, 9-15.
- El-Batawy, Osama Ibrahim; Mahdy, Samar Mohamed; Gohari, Safaa Talaat. 2019. Development of Functional Fermented Oat Milk by Using Probiotic Strains and Whey Protein. *Int. J. Dairy Sci.*, 14, 1.
- Gallo, M.; Passannanti, F.; Cante, R. C.; Nigro, F.; Schiattarella, P.; Zappulla, S.; Budelli, A.; Nigro, R., 2020. Lactic fermentation of cereals aqueous mixture of oat and rice flours with and without glucose addition. *Heliyon*, 6.
- Gokavi, Sumangala; Zhang, Lanwei; Huang, Ming-Kuei; Zhao, Xin; Guo, Mingruo., 2005. Oat-based Symbiotic Beverage Fermented by *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus paracasei* ssp. *casei*, and *Lactobacillus acidophilus*. *J. Food Sci.*, 70, 4.
- Güney, D.; Güngörmüşler, M., 2020. Development and Comparative Evaluation of a Novel Fermented Juice Mixture with Probiotic Strains of Lactic Acid Bacteria and Bifidobacteria. *Probiotics Antimicrob. Proteins*, 13, 495-505.
- Gupta, M.; Bajaj, B. K., 2017. Development of fermented oat flour beverage as a potential probiotic vehicle. *Food Bioscience*, 20, 104-109.
- Li, Su; Walsh, Helen; Gokavi, Sumangala; Guo, Mingruo, 2012. Interactions between *Lactobacillus acidophilus* strains and the starter cultures, *Lactobacillus bulgaricus*

and *Streptococcus thermophilus* during fermentation of goats' milk. African J. Biotechnol., 11, 51.

Masiá, C.; Jensen, P. E.; Buldo, P., 2020. Effect of *Lactobacillus rhamnosus* on Physicochemical Properties of Fermented Plant-Based Raw Materials. Foods, 9, 1182.

Meng, L.; Li, S.; Liu, G.; Fan, X.; Qiao, Y.; Zhang, A.; Lin, Y.; Zhao, X.; Huang, K., Feng, Z., 2021. The nutrient requirements of *Lactobacillus acidophilus* LA-5 and their application to fermented milk. J. Dairy Sci., 104, 138–150.

Raikos, V.; Juskaite, L.; Vas, F.; Hayes, H. E., 2020. Physicochemical properties, texture, and probiotic survivability of oat-based yogurt using aquafaba as a gelling agent. Food Sci Nutr., 0, 1-7.

Raza, H.; Ameer, K.; Zaaboul, F.; Shoaib, M.; Chao, C-C.; Ali, B.; Shahzad, M. T.; Abid, M.; Ren, X.; Zhang, L., 2021. Physicochemical, Rheological, & Sensory Characteristics of Yogurt Fortified with BallMilled Roasted Chickpea Powder (*Cicer arietinum* L.). Food Sci. Technol, Ahead of Print.

Samtiya, M.; Aluko, R. E.; Puniya, A. K.; Dhewa, T. (2021). Enhancing Micronutrients Bioavailability through Fermentation of Plant-Based Foods: A Concise Review. Fermentation, 7, 63.

Scherer, R.; Rybka, A. C. P.; Godoy, H. T., 2008. Simultaneous determination of tartaric, malic, ascorbic and citric acids in acerola, açai and cashew pulps, and stability evaluation in cashew juices. Quim. Nova, 31, 5, 1137-1140.

Silva, A. R. A.; Silva, M. M. N.; Ribeiro, B. D., 2019. Health Issues and Technological Aspects of Plant-based Alternative Milk. Food Res. Int., 131.

Soukoulis, C., Panagiotidis, P., Koureli, R., & Tzia, C., 2007. Industrial yogurt manufacture: Monitoring of fermentation process and improvement of final

product quality. *J. Dairy Sci.*, 90, 6, 2641–2654.

Statsoft, Inc. (2004). *Statistica (Data Analysis Software System)*, version 10.0.

www.statsoft.com.

Tangyu, M.; Muller, J.; Bolten, C. J.; Wittmann, C., 2019. Fermentation of plant-based milk alternatives for improved flavour and nutritional value, *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 103, 9263–9275.

Tsetsegmaa, R.; Tsetsegee, D., 2012. Evaluation of a Fermented Oat Beverage. *Proceedings of IFOST*, 176-179.

Uriot, O.; Denis, S.; Junjua, M.; Roussel, Y.; Dary-Mourot, A.; Blanquet-Diot, S., 2017. *Streptococcus thermophilus*: From yogurt starter to a new promising probiotic candidate? *J. Funct. Foods*, 37, 74–89.

Villanueva, Nilda D. M. ; Petenate, Ademir J.; Da Silva, Maria A. A. P., 2005. Performance of the hybrid hedonic scale as compared to the traditional hedonic, self-adjusting and ranking scales. *Food Qual. Prefer.*, 16, 8, 691-703.

Walsh, H.; Ross, J.; Hendricks, G.; Guo, M., 2010. Physico-Chemical Properties, Probiotic Survivability, Microstructure, and Acceptability of a Yogurt-Like Symbiotic Oats-Based Product Using Pre-Polymerized Whey Protein as a Gelation Agent. *J. Food Sci.*, 75, 10.

CAPÍTULO 3

CORRELAÇÃO ENTRE O PERFIL DE TEXTURA INSTRUMENTAL E SENSORIAL DE FERMENTADO DE AVEIA COMPARADO A IOGURTE LÁCTEO

Desenvolvimento de Fermentado de Aveia

Geovana Piveta Ribeiro³

Mariana Souza Costa²

Wilma Aparecida Spinosa¹

³Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos, Universidade Estadual de Londrina - UEL, CEP: 86057-970 Londrina, PR, Brasil, piveta.geovana@hotmail.com

²Pesquisadora Sênior da empresa SL Cereais e Alimentos Ltda., CEP: 86828-000 Mauá da Serra, PR, Brasil, marianasouza.costa@yahoo.com.br

¹Professor do Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos, Universidade Estadual de Londrina - UEL, CEP: 86057-970 Londrina, PR, Brasil, wilma.spinosa@uel.br (Autor Correspondente)

RESUMO

Correlacionar os dados instrumentais e sensoriais de textura de produtos alimentícios é importante para definir parâmetros de processamento, além de estimar a aceitação por parte dos consumidores. O objetivo deste trabalho foi desenvolver um fermentado de extrato de aveia e realizar um estudo comparativo entre os parâmetros de textura instrumental e sensorial deste, comparado a amostras comerciais de iogurte visando definir as melhores características para a formulação de um novo produto. Os parâmetros de textura instrumental foram obtidos por texturômetro (dureza, coesividade, gomosidade e elasticidade) e viscosímetro (viscosidade) e a intensidade média dos mesmos parâmetros foi obtida por meio de análise sensorial descritiva. O gel do fermentado de aveia também foi comparado às amostras comerciais por meio de microscopia eletrônica de varredura. As amostras comerciais escolhidas para a comparação foram duas marcas de iogurte tipo natural integral, uma vez que o fermentado de aveia foi formulado baseado na tecnologia do iogurte tradicional. Os resultados não mostraram correlação positiva e significativa ou negativa e significativa entre os parâmetros obtidos pelas técnicas sensoriais e instrumentais. Entretanto,

houve correlação positiva e significativa entre todos os parâmetros sensoriais. Sensorialmente, o fermentado de aveia se mostrou mais gomoso e elástico que as amostras comerciais. Foi possível desenvolver um fermentado de aveia e identificar suas características de textura tanto por análises instrumentais quanto por técnica sensorial. O gel do produto desenvolvido se apresentou íntegro e uniforme, assim como o dos produtos já disponíveis no mercado. A utilização de métodos instrumentais pode ser útil para otimizar tempo e custos no desenvolvimento de novos produtos, embora a percepção sensorial seja mais importante para prever a aceitação por possíveis consumidores.

Palavras-chave: dureza, extrato vegetal, β -glucana, análise sensorial descritiva.

1. INTRODUÇÃO

O aumento da demanda por produtos alternativos ao leite de vaca tem crescido nos últimos anos devido à conscientização ao consumo de produtos sustentáveis, bem como por razões médicas como intolerância à lactose e alergias ao leite. E isso tem impulsionado o desenvolvimento de produtos à base de vegetais, principalmente fermentados do tipo iogurte, uma vez que oferecem alternativas saudáveis e palatáveis (Mäkinen et al., 2016). Dentre os extratos vegetais, o de aveia vem se destacando por apresentar odor e sabor neutros, além de ótimas propriedades nutricionais (El-Batawy; Mahdy; Gohari, 2019) incluindo alto teor de β -glucana. Esta fibra solúvel tem alta capacidade de ser fermentada e formar soluções altamente viscosas, contribuindo para a textura de iogurtes (Ahmad et al., 2014), além de conferir benefícios à saúde do consumidor como controle da glicemia e da concentração plasmática de colesterol LDL e melhora da composição da microbiota intestinal (El Khoury et al., 2012).

A estabilidade e viscosidade de produtos fermentados é consequência do coágulo formado após a fermentação de carboidratos e produção de ácidos por

microrganismos, que ocasiona a redução do pH do meio com consequente coagulação das proteínas (Kose, Altun, & Kose, 2018). Esse processo fermentativo caracteriza o iogurte como um produto semi-sólido (Freitas, 2017), e é influenciado pelos parâmetros de processo e composição inicial do leite, que afetam as propriedades físicas e estruturais dos géis (Ziarno & Zarena, 2020). Por isso, a fermentação em bases não lácteas ainda apresenta alguns desafios. Especificamente o extrato de aveia, apresenta menos proteínas e gorduras e mais carboidratos e fibras que o leite de vaca integral (Cooper; Rivero-Mendoza; Dahl, 2020), afetando a textura final do produto fermentado.

Os parâmetros de textura podem ser avaliados por métodos objetivos (instrumentais ou sensorial com painéis treinados) ou por métodos subjetivos (painel do consumidor). Dentre os instrumentais, o analisador do perfil de textura (TPA) e o viscosímetro são comumente utilizados. O TPA é um teste de compressão de dois ciclos que simula as duas primeiras mordidas a um alimento e pode ser utilizado em produtos sólidos e semi-sólidos, e o viscosímetro mede a resistência de um fluido a uma determinada força (Bourne, 2002; Szczesniak, 2002). Além disso, o desenvolvimento de alimentos com textura adequada envolve o comportamento do consumidor (OSullivan, 2020), o que justifica a correlação de medidas instrumentais com avaliações sensoriais descritivas. Esse conhecimento permite prever aceitação de novos produtos, escolher instrumentos de controle de qualidade durante o processo, entender o que está sendo percebido durante a avaliação sensorial e otimizar métodos instrumentais que complementem a avaliação sensorial (Szczesniak, 2002).

Alguns estudos correlacionaram dados de textura instrumentais com sensoriais. Conti-Silva et al. (2018) avaliaram a viscosidade de diferentes materiais

líquidos e semi-sólidos (água, iogurte de morango, leite condensado, mel, creme de leite, *petit suisse* e doce de leite) por meio de analisador de textura e análise descritiva quantitativa e estabeleceram correlação entre essas análises. Os autores observaram que as técnicas utilizadas foram capazes de discriminar a textura das amostras e houve correlação positiva e significativa entre os parâmetros. Loredó e Guerrero (2011) verificaram que uma equipe treinada foi capaz de descrever a textura de diversas amostras de alimentos de acordo com escalas de referência padrão. Janhøj, Bom Frøst e Ipsen (2008) investigaram as relações entre os parâmetros instrumentais e sensoriais de bebidas lácteas acidificadas e observaram boa descrição por parâmetros sensoriais, mesmo sendo difícil a correlação com os parâmetros físicos. Entretanto poucos estudos correlacionaram dados instrumentais e sensoriais de textura de produtos fermentados à base de aveia.

Greis et al. (2020) compararam sensorialmente diferentes produtos fermentados à base de aveia com iogurtes lácteos e observaram que os parâmetros normalmente utilizados para descrever os produtos lácteos também são relevantes para descrever produtos não lácteos. Estes autores testaram cinco fermentados à base de aveia comparando com dois tipos de iogurte lácteo com 2,5 e 4% de gordura e concluíram que a percepção sensorial é um processo dinâmico e influenciado por diversos fatores além da composição química, mas não fizeram a correlação com métodos instrumentais. Raikos et al. (2020) desenvolveram produtos fermentados à base de aveia e analisaram os parâmetros instrumentais de dureza, adesividade, coesividade, elasticidade, gomosidade e mastigabilidade, mas não compararam com os mesmos parâmetros sensoriais. Embora produtos fermentados à base de aveia já tenham sido desenvolvidos e suas características de textura estudadas por outros pesquisadores, a correlação entre análise sensorial e instrumental de textura, somada

à comparação com um produto comercial, não foi pesquisada anteriormente.

O maior desafio enfrentado na formulação de fermentados à base de extratos vegetais é em relação à textura e por isso comparar os parâmetros de dureza, coesividade, elasticidade, gomosidade e viscosidade com produtos de referência do mercado fornece informações importantes que auxiliam no desenvolvimento de uma formulação adequada e aceita pelos consumidores (Grasso, Alonso-Miravalles e O'mahony; 2020). Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi desenvolver e avaliar os parâmetros de textura de um fermentado de aveia comparado a produtos comerciais através de análises instrumentais e sensoriais, e estabelecer uma correlação entre esses dados.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material

2.1.1 Aveia

O farelo de aveia utilizado para o preparo do extrato vegetal e consequente fermentado de aveia foi gentilmente doado pela empresa SL Cereais e Alimentos Ltda (Mauá da Serra-PR, Brasil). De acordo com o laudo técnico, o farelo apresentava 5,88 g/100g de lipídeos, 20,90 g/100g de proteínas e 54,19 g/100g de carboidratos, ausência de micotoxinas e materiais estranhos e/ou impurezas, além de cor, odor e sabor conforme padrão.

2.1.2 Iogurtes Comerciais

Foram adquiridas amostras de duas marcas comerciais de iogurte lácteo do

tipo natural integral (marcas A e B) em mercado local (Londrina-PR, Brasil). De acordo com o rótulo, a marca A apresentava 3 g/100g de lipídeos, 4,2 g/100g de proteínas e 5,5 g/100g de carboidratos e a marca B, 4,1 g/100g de lipídeos, 4 g/100g de proteínas e 5,4 g/100g de carboidratos.

2.2 Métodos

2.2.1 Obtenção e fermentação do extrato de aveia

O extrato de aveia foi produzido pela homogeneização de 13% (m:m) de farelo de aveia em água potável, seguido de pasteurização em banho maria a 65 °C por 20 minutos, resfriamento em água gelada e armazenamento a 4 °C até a fermentação. Esta proporção foi definida com base em testes preliminares, a fim de se obter um extrato vegetal com 12% de sólidos solúveis totais (Raikos et al., 2020).

O fermentado de aveia foi elaborado utilizando-se cepas de *Lactobacillus acidophilus* LA-5, *Bifidobacterium animalis* BB-12 e *Streptococcus thermophilus* (BioRich®). Antes da inoculação, o extrato foi aquecido em banho maria até 40 °C, e o inóculo adicionado na proporção sugerida pelo fabricante (400mg para 1 litro de extrato). A fermentação ocorreu em reator comercial (Izumi, Brasil) a 43 °C por 4 horas (até atingir pH 4,6) e foi interrompida pelo resfriamento do produto a 4 °C. Todas as análises foram efetuadas em triplicata.

2.2.2 Caracterização do extrato e fermentado de aveia

Foram determinados os teores de umidade, cinzas, proteínas e lipídeos dos extrato e fermentado de aveia em triplicata. Umidade foi determinada por secagem em estufa a 105 °C até peso constante (método n° 990.20) (AOAC, 2019), cinzas por

incineração em mufla a 550 °C por 5 horas (método n° 925.23) (AOAC, 2019), conteúdo de nitrogênio total por Kjeldahl utilizando 5,83 como fator de correção para proteínas (método n° 991.20) (AOAC, 2019), lipídeos por extração a frio com clorofórmio, metanol e água na proporção de 1:2:0,8 (v/v) (Bligh; Dyer, 1959) e carboidratos por diferença (Carboidratos (%) = 100 - (umidade+cinzas+proteínas+lipídeos)). Os resultados foram expressos em g/100g em base seca.

2.2.3 *Análise instrumental de textura*

A análise do perfil de textura (TPA) do fermentado de aveia e das duas marcas de iogurtes comerciais foi realizada utilizando Texturômetro TA-XT2i (Extralab, Itatiba, Brasil) e os parâmetros de dureza, coesividade, elasticidade e gomosidade foram analisados no software *Texture Expert* (Stable Micro Systems Ltd, Reino Unido). O texturômetro foi equipado com célula de carga 25 Kg e probe cilíndrico de alumínio de 25 mm. As condições do teste foram: velocidade pré-teste 2,0 mm/s; velocidade do teste 1,0 mm/s; velocidade pós-teste 10,0 mm/s distância que o dispositivo penetra na amostra 12,5 mm (50%); tempo de contato 5 s; e força de contato 5 g (Conti-Silva et al., 2018). As amostras foram mantidas durante toda análise na temperatura de 10 °C e em recipiente de alumínio de 30 mm de diâmetro e 40 mm de altura. As amostras foram analisadas com 10 repetições.

A viscosidade do fermentado de aveia e das duas marcas de iogurtes comerciais foi analisada no viscosímetro Brookfield (modelo DV-I +, Estados Unidos). A análise foi realizada a 10 °C, com 300 mL de amostra em um béquer de 400 mL de capacidade. O *spindle* utilizado para todas as amostras foi o S63, a 20 rpm, para deixar o torque entre 10 e 80% conforme orientação do fabricante. A leitura foi

registrada após 40 segundos de rotação, em 10 repetições.

2.2.4 Análise sensorial de textura

Quinze avaliadores foram selecionados de acordo com a facilidade em descrever diferentes texturas, através da seleção das amostras de referência. Em consenso determinaram essas amostras e as definições de dureza, coesividade, viscosidade, elasticidade e gomosidade (Tabela 1) para compor os extremos da escala de 9 cm ancorada em 0,5. Após, seguiram-se cinco sessões de treinamento com as amostras de referência e posteriormente foi realizada a seleção final dos avaliadores, no qual os mesmos avaliaram 3 amostras diferentes (iogurtes comerciais do tipo batido, natural integral e grego) em 3 repetições, empregando-se a ficha de avaliação (escala de 9 cm, ancorada em 0,5 para todos os parâmetros). Os critérios de seleção de cada avaliador foram o poder de discriminação de amostras (p de $F_{amostra} \leq 0,05$), repetibilidade de avaliação (p de $F_{repetições} \geq 0,5$) e a concordância de cada avaliador com a equipe para cada parâmetro (Damásio; Costell, 1991). Foram considerados treinados treze avaliadores, e estes compuseram a equipe sensorial. A análise sensorial foi realizada em cabines fechadas, com luz branca e temperatura controlada de 24 °C. O fermentado de aveia e as duas marcas de iogurte natural integral foram apresentadas de forma monádica em copos de plásticos codificados com três dígitos, contendo aproximadamente 40 g, com uma colher. Entre as amostras os avaliadores intercalaram com água para limpar o paladar. A temperatura das amostras foi mantida a 10 °C. O delineamento experimental foi de blocos casualizados repetido quatro vezes, sendo tratamento as amostras e blocos os avaliadores.

TABELA 1. DEFINIÇÃO DOS TERMOS E SUAS RESPECTIVAS REFERÊNCIAS

| Termo | Descritor | Definição | Referência |
|--------------|------------------|--|--|
| Dureza | | Força para comprimir a amostra entre os dentes | Fraca: 30mL de leite fermentado desnatado Frimesa 10 °C (0,17 N) Intensa: 20g de queijo Polenghi Frescatino 10 °C (3,05 N) |
| Coesividade | | Deformação da amostra entre os dentes | Pouco: 30mL de leite fermentado desnatado Frimesa 10 °C (0,08) Muito: 20g de sobremesa láctea sabor brigadeiro Dr. Oetker 10 °C (1) |
| Elasticidade | | Recuperação da amostra após compressão com a língua no céu da boca | Pouco: 30mL de bebida láctea UHT sabor chocolate (Pepsico) 10 °C (0,07) Muito: 20g de sobremesa láctea sabor brigadeiro Dr. Oetker 10 °C (1,87) |
| Gomosidade | | Quantidade de movimento necessário para a amostra se desintegrar | Pouco: 30mL de bebida láctea fermentada sabor coco Vidativa 10 °C (0,07) Muito: 20g de queijo Polenghi Frescatino 10 °C (0,98) |
| Viscosidade | | Força para sugar a amostra da colher | Pouco: 30mL de leite condensado Nestlé diluído em água mineral (1:1) 25 °C (80 cP) Muito: 30mL de leite condensado Nestlé 10 °C (7112 cP) |

2.2.5 Microscopia Eletrônica de Varredura

A microscopia do fermentado de aveia e amostras dos iogurtes comerciais foi realizada em Microscópio Eletrônico de Varredura – MEV (modelo TM3000, Hitachi) com filamento de tungstênio. As amostras foram previamente liofilizadas em liofilizador de laboratório modelo Alpha 1-2 LDplus (Christ, Alemanha) e depositadas em uma câmara para amostras de 70 mm de diâmetro e 50 mm preparadas com fita de carbono e cobre. As imagens foram geradas com magnificação de 800x e em seguida realizadas correções de foco, brilho e contraste.

2.2.6 Análise Estatística

Os dados do perfil de textura, viscosidade e análise sensorial foram analisados pela análise de variância (ANOVA) e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, em nível de 5% de significância. A análise de correlação de Pearson foi realizada nas três amostras considerando os valores médios dos parâmetros sensoriais e os valores obtidos na análise do texturômetro e viscosímetro. Na análise de componente principal (ACP), foram fixados os valores médios dos testes sensoriais e instrumentais nas colunas (variáveis), os materiais nas linhas (casos) e os dados foram padronizados antes da análise. A ACP foi realizada com base na matriz de correlação e sem rotação fatorial empregando-se o software Statistica 10.0. (StatSoft, Estados Unidos da América).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Composição química

O fermentado de aveia foi formulado baseado na tecnologia do iogurte natural integral, o qual é obtido por meio da fermentação do leite sem adição de outros ingredientes e sem homogeneização após a fermentação. A tabela 2 mostra a diferença na composição química do fermentado com relação aos produtos comerciais e do fermentado com o extrato de aveia. Conforme esperado, o fermentado de aveia apresentou menor teor de proteínas e lipídeos e maior teor de carboidratos que os iogurtes integrais, uma vez que o extrato vegetal apresenta essa característica. O extrato de aveia utilizado para a elaboração do fermentado apresentou 6,15 g/100g

de carboidratos, 2,08 g/100g de proteínas e 0,86 g/100g de lipídeos enquanto que um leite de vaca integral apresenta em média 4,9 g/100g de carboidratos, 3,4 g/100g de proteínas e 4 g/100g de lipídeos (Foroutan et al., 2019).

Analisando a diferença de composição entre o extrato e o fermentado de aveia, observa-se que o processo fermentativo ocasionou aumento nos teores de carboidratos, proteínas e gorduras totais, o que pode ser devido à produção de diversas enzimas pelos microrganismos utilizados na fermentação. Estas enzimas hidrolisam lipídeos, carboidratos e outros constituintes, transformando-os em compostos mais digeríveis, aumentando conseqüentemente seus teores no produto fermentado final (Samtiya et al., 2021). Crowley, Mahony e van Sinderen (2013) citam que as bactérias ácido lácticas apresentam atividade enzimática forte, incluindo proteinases, peptidases, lipases e amilases. Especificamente, *Streptococcus thermophilus* consegue garantir a síntese proteica de duas formas principais: sintetizando aminoácidos via intracelular e/ou pelo transporte de proteínas e peptídeos do meio extracelular para posterior hidrólise com amino e oligopeptidases (Boulay; Haddad; Rul, 2020). E embora os polissacarídeos, principal fonte de carboidrato da aveia, não sejam a fonte de carbono preferida pelas bactérias ácido lácticas, elas conseguem hidrolisar parte destes compostos a fim de obter nutrientes para seu crescimento (Bernat et al., 2014).

TABELA 2. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO EXTRATO E FERMENTADO DE AVEIA E IOGURTES LÁCTEOS COMERCIAIS

| Amostras | Carboidratos (g/100g) | Proteínas (g/100g) | Gorduras Totais (g/100g) |
|-------------------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|
| Extrato de Aveia | 6,15±0,01 ^b | 2,08±0,01 ^d | 0,86±0,01 ^d |
| Fermentado de Aveia | 6,27±0,01 ^a | 2,14±0,01 ^c | 0,98±0,01 ^c |
| logurte Natural Integral Marca A | 5,50±0,01 ^c | 4,20±0,01 ^a | 3,00±0,01 ^b |
| logurte Natural Integral Marca B | 5,40±0,01 ^d | 4,00±0,01 ^b | 4,10±0,01 ^a |

Média ± Desvio Padrão. Médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna, não apresentam diferença significativa pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

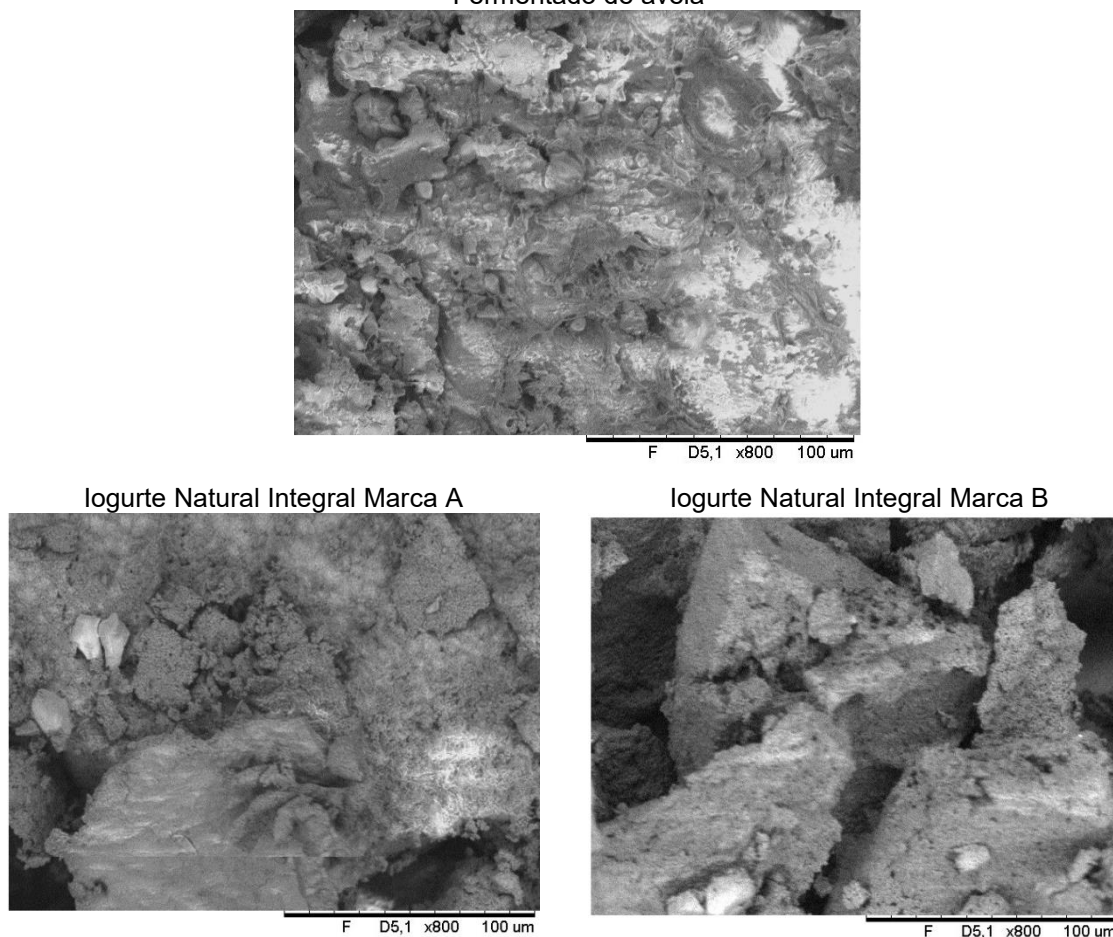
Durante a fermentação do leite por bactérias ácido lácticas ocorre a formação de uma rede coesa de proteínas, responsável pela estrutura cremosa característica dos iogurtes. Por meio da acidificação, a fermentação afeta a estabilidade das micelas de caseína, reduzindo sua carga, provocando coagulação e conduzindo à formação de um gel (Montemurro et al., 2021). De acordo com Pontonio e Rizzello (2021) um dos principais desafios enfrentado pelos fabricantes de produtos fermentados similares à iogurtes, à base de extratos vegetais é com relação à textura, uma vez que as partículas se desestabilizam com esta redução do pH, precipitando, resultando em um gel fraco e com separação do soro.

A fim de se comparar a estrutura do coágulo formado durante a fermentação do extrato vegetal, foram registradas imagens através da microscopia eletrônica de varredura (Figura 1). Observa-se que o gel do fermentado de aveia se apresenta íntegro e uniforme, demonstrando a estabilidade do gel formado. Montemurro et al. (2021) citam que a coesividade de um gel de amido pode ser melhorada pela fermentação como consequência da desnaturação das proteínas aprisionadas na matriz gelatinizada induzida pela redução do pH, e por isso a importância do tratamento térmico do extrato de aveia antes da fermentação. O tratamento térmico provoca gelatinização do amido e desnaturação proteica, influenciando no aumento da viscosidade e melhora da estrutura do gel (Sim; Hua; Henry, 2020). Além disso, a estabilidade do gel formado no fermentado de aveia pode ser consequência da interação das β -glucanas com as proteínas, uma vez que durante a fermentação ocorre aumento nas concentrações de carboidratos e proteínas. Song et al. (2020) analisaram as propriedades de microestrutura de um produto semelhante a iogurte à base de milho adicionado de proteína do soro do leite e goma xantana e observaram uma rede compacta e uniforme, atribuindo esse resultado à interação polissacarídeos-

proteínas, capaz de promover a estabilização da emulsão e géis de fermentação por meio do espessamento da solução.

Os géis dos iogurtes integrais também se apresentam densos e com menor porosidade, entretanto são menos uniformes que o gel do fermentado de aveia. Há ainda uma diferença entre as marcas A e B, sendo o gel da marca B mais descontínuo, o que pode ser devido principalmente ao maior teor lipídico. Em geral, quanto maior o conteúdo total de sólidos, maior a densidade da rede de proteínas (Akalin et al., 2012).

FIGURA 1. MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA DO FERMENTADO DE AVEIA E IOGURTES INTEGRAIS COMERCIAIS



3.2 Análise instrumental de textura

Analisando os dados dos parâmetros de textura instrumental (Tabela 3) verificou-se que houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre os produtos analisados. O fermentado de aveia apresentou dureza igual ao do iogurte marca B e inferior ao da marca A. A dureza é o parâmetro de textura mais importante para a avaliação de iogurtes e é considerada um indicador válido da firmeza dos produtos (Bourne, 2002), sendo influenciada pelo teor e tamanho dos glóbulos de gordura, matriz proteica, tempo e temperatura de incubação e quantidade de cultura. Em geral, glóbulos maiores reduzem a dureza em produtos fermentados, devido ao enfraquecimento da rede de gel (Kose, Altun, & Kose, 2018) e quanto maior o tempo de fermentação e quantidade de cultura, maior a dureza do produto final. Além disso, altas temperaturas durante a fermentação podem originar uma rede de proteínas mais fraca e conseqüentemente um gel de menor firmeza (Sah et al., 2016).

Mesmo o fermentado de aveia ter apresentado menos proteínas e lipídeos que as amostras comerciais, a interação entre polissacarídeos-proteínas que a aveia apresenta pode ter contribuído para a estabilidade do gel, conforme observado na microscopia, aumentando a dureza do produto vegetal. A β -glucana da aveia se encontra na forma de polímeros lineares de unidades β -D-anidroglicopiranosil conectadas por uma mistura de ligações (1 \rightarrow 3) e (1 \rightarrow 4). A agregação destas cadeias, por meio de pontes de hidrogênio, é capaz de gerar uma rede tridimensional e formar um gel viscoso, principalmente após aquecimento (Kale; Hamaker; Bordenave, 2014).

TABELA 3. PARÂMETROS DE TEXTURA INSTRUMENTAL DO FERMENTADO DE AVEIA E IOGURTES INTEGRAIS COMERCIAIS

| Amostras | Dureza (N) | Coesividade | Gomosidade | Elasticidade (m) | Viscosidade (cP) |
|-----------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|
| Fermentado de Aveia | | | | | |
| F | 0,22±0,01 ^b | 0,71±0,03 ^a | 0,16±0,01 ^a | 0,95±0,02 ^a | 3958±30,19 ^a |
| Iogurtes Lácteos Comerciais | | | | | |
| A | 0,25±0,02 ^a | 0,69±0,03 ^{ab} | 0,17±0,02 ^a | 0,94±0,02 ^a | 1798±12,86 ^b |
| B | 0,23±0,01 ^{ab} | 0,67±0,02 ^b | 0,15±0,01 ^a | 0,95±0,01 ^a | 685±15,53 ^c |

Média ± Desvio Padrão. Médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna, não apresentam diferença significativa pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

A coesividade, definida como a razão entre a área da força positiva durante a segunda compressão e a área da primeira compressão, indica a capacidade do produto se manter alinhado (Chandra; Shamasundar, 2015). Com relação a esse parâmetro, o fermentado de aveia apresentou coesividade igual ao do iogurte marca A e superior ao da marca B. O valor foi próximo ao da amostra controle do fermentado de aveia obtido por Raikos et al. (2020), que determinaram 0,67 de coesividade. Entretanto os dados diferem da pesquisa de Jovanović et al. (2020). Estes autores observaram que a coesividade de iogurtes tradicionais adicionados de farinha de bagaço de maçã é proporcional à dureza, ou seja, as amostras mais duras foram também as mais coesas. Neste caso, o fermentado de aveia apresentou maior coesividade, mas não maior dureza.

A gomosidade é o produto da dureza pela coesividade, e é uma característica dos alimentos semi-sólidos com baixo grau de dureza e alto grau de coesão (Yildiz et al., 2015) e a elasticidade é a capacidade de recuperação da amostra contra a primeira compressão aplicada durante a análise (Kose; Altun; Kose, 2018). Não houve diferença estatística entre o fermentado de aveia produzido e os produtos comerciais nestes parâmetros. Já com relação à viscosidade, o fermentado de aveia apresentou viscosidade superior às demais amostras. Jovanović et al. (2020) citam que a viscosidade é proporcional à dureza e coesividade, sendo influenciada pela concentração e interação entre as macromoléculas, principalmente lipídeos e

proteínas. Isleten e Karagul-Yuceer (2006) utilizaram um melhorador de textura à base de proteínas do leite para observar as mudanças nos parâmetros de textura em iogurtes desnatados, e observaram que a viscosidade foi de 5243 cP na amostra controle para 7363 cP na amostra com o melhorador. Esses mesmos autores testaram o caseinato de sódio e também verificaram aumento de viscosidade (7120 cP) em relação a amostra controle, justificando que houve um aumento das ligações no gel proteico, aumentando a capacidade de retenção de água e conseqüentemente a viscosidade. Assim como a dureza, a viscosidade do fermentado de aveia pode ser conseqüência do gel formado pela interação das moléculas de β -glucana e possível interação entre elas e proteínas.

3.3 Análise sensorial de textura

A equipe sensorial conseguiu diferenciar as amostras de acordo com os parâmetros de textura (Tabela 4). Os avaliadores não observaram diferença com relação à dureza, coesividade e viscosidade e atribuíram maior valor médio para gomosidade e elasticidade ao fermentado de aveia. Sensorialmente, a dureza é considerada a força para obter uma certa deformação (Loredo; Guerrero, 2011), e assim como para a avaliação instrumental, é influenciada principalmente pelo teor de lipídeos (Greis et al., 2020). Janhøj, Bom Frøst e Ipsen (2008) comentam a difícil correlação dos parâmetros sensoriais com os parâmetros instrumentais, uma vez que sensorialmente outros parâmetros estão envolvidos e não apenas a composição química do produto e isso pode ser verificado neste estudo. Mesmo o fermentado de aveia apresentar menos lipídeos que as bases lácteas, a dureza foi percebida pelos avaliadores de forma equivalente à das amostras comerciais, concluindo que o gel formado durante o desenvolvimento deste novo produto é análogo a um produto já

disponível no mercado.

Os resultados de coesividade, gomosidade, elasticidade e viscosidade diferem dos obtidos por Isleten e Karagul-Yuceer (2006) que verificaram que um maior teor de proteínas favorece o aumento da consistência do produto e essas características são perceptíveis pelos avaliadores. Apesar do fermentado de aveia apresentar menos proteína do que os iogurtes comerciais, a interação proteína-polissacarídeo pode ter aumentado o espessamento do gel e os avaliadores conseguiram perceber essa diferença.

TABELA 4. INTENSIDADE MÉDIA DOS PARÂMETROS DE TEXTURA SENSORIAL DO FERMENTADO DE AVEIA E IOGURTES INTEGRAIS COMERCIAIS

| Amostras | Dureza | Coesividade | Gomosidade | Elasticidade | Viscosidade |
|-----------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Fermentado de Aveia | | | | | |
| F | 3,70±1,78 ^a | 4,31±1,84 ^a | 4,56±1,40 ^a | 4,49±1,45 ^a | 4,98±1,80 ^a |
| Iogurtes Lácteos Comerciais | | | | | |
| A | 3,21 ± 1,34 ^a | 3,42 ± 1,32 ^a | 3,01 ± 1,16 ^b | 3,29 ± 1,08 ^b | 3,78 ± 1,18 ^a |
| B | 3,51 ± 1,24 ^a | 3,32 ± 1,10 ^a | 3,03 ± 1,00 ^b | 3,22 ± 0,89 ^b | 3,86 ± 1,11 ^a |

Média ± Desvio Padrão. Médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna, não apresentam diferença significativa pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). Escala de Intensidade de 9 cm. Valores médios de 13 avaliadores.

3.4 Correlação dos parâmetros de textura instrumentais e sensoriais

Analisando a correlação entre os dados instrumentais e sensoriais, observa-se que não houve correlação positiva e significativa, nem correlação negativa e significativa entre os parâmetros avaliados (Tabela 5). Porém houve correlação positiva e significativa entre todos os parâmetros obtidos pelo método sensorial. A falta de correlação significativa entre os métodos pode ser justificada pela complexidade da matriz alimentar, que faz com que os avaliadores percebam as características sensoriais como um todo e não como um estímulo único e específico como ocorre na determinação instrumental. Esses dados corroboram a pesquisa de Janhøj, Bom Frøst e Ipsen (2008) ao investigarem relações entre os parâmetros

instrumentais e sensoriais de bebidas lácteas. Os autores observaram boa descrição por parâmetros sensoriais, mesmo sendo difícil a correlação com os parâmetros físicos.

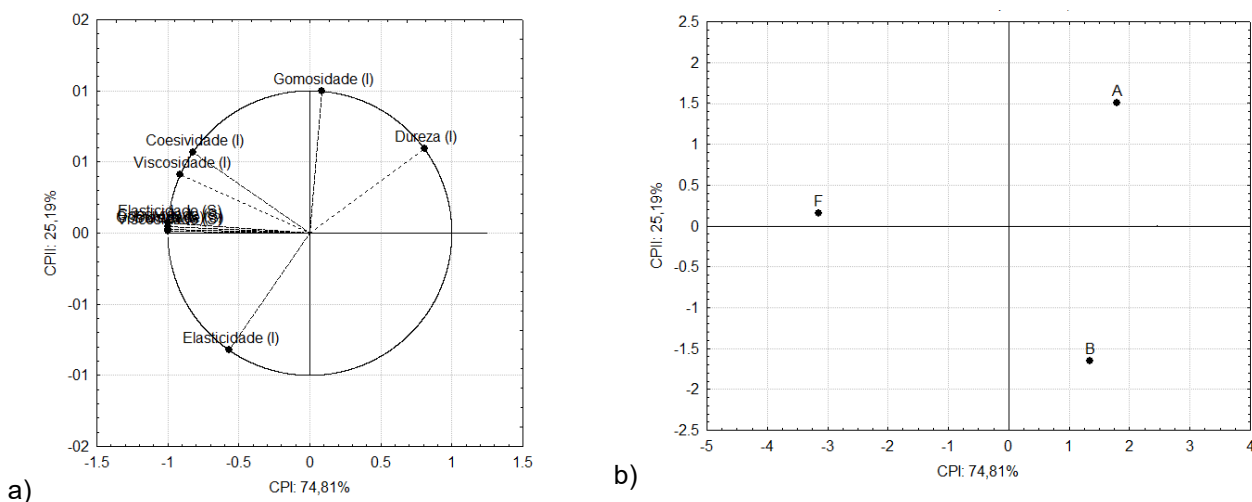
TABELA 5. COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE OS PARÂMETROS DE TEXTURA INSTRUMENTAL (I) E SENSORIAL (S)

| | Dureza (I) | Dureza (S) | Coesiv. (I) | Coesiv. (S) | Gomosid. (I) | Gomosid. (S) | Elasticid. (I) | Elasticid. (S) | Viscosid. (I) | Viscosid. (S) |
|----------------|------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|----------------|----------------|---------------|---------------|
| Dureza (I) | 1,00 | | | | | | | | | |
| Dureza (S) | -0,79 | 1,00 | | | | | | | | |
| Coesiv. (I) | -0,33 | 0,84 | 1,00 | | | | | | | |
| Coesiv. (S) | -0,78 | 1,00 | 0,85 | 1,00 | | | | | | |
| Gomosid. (I) | 0,65 | -0,05 | 0,50 | -0,04 | 1,00 | | | | | |
| Gomosid. (S) | -0,79 | 1,00 | 0,84 | 1,00 | -0,06 | 1,00 | | | | |
| Elasticid. (I) | -0,94 | 0,55 | -0,00 | 0,53 | -0,87 | 0,55 | 1,00 | | | |
| Elasticid. (S) | -0,76 | 1,00 | 0,86 | 1,00 | -0,01 | 1,00 | 0,51 | 1,00 | | |
| Viscosid. (I) | -0,49 | 0,92 | 0,98 | 0,93 | 0,33 | 0,92 | 0,18 | 0,94 | 1,00 | |
| Viscosid. (S) | -0,80 | 1,00 | 0,83 | 1,00 | -0,07 | 1,00 | 0,56 | 1,00 | 0,92 | 1,00 |

Valores em negrito são significativos ($p < 0,05$). Coesiv.= Coesividade; Gomosid.= Gomosidade; Elasticid.= Elasticidade; Viscosid.= Viscosidade.

A ACP foi realizada a fim de verificar a interação entre o fermentado de aveia e os produtos comerciais (Figura 2A). Os dois primeiros componentes principais (CP) tiveram uma explicação acumulada de 100% da variabilidade dos dados originais, atendendo aos critérios mínimos sugeridos por Jolliffe (2002) (70%). Os parâmetros que apresentaram correlação (r) maior ou igual a $\pm 0,65$ foram considerados importantes (Chapman et al., 2001). Nesse caso, a maioria dos parâmetros contribuiu para a explicação do CP I (74,81%), e apenas os parâmetros gomosidade instrumental e elasticidade instrumental contribuíram para a explicação do CP II (25,19%). Na Figura 2B, cada ponto corresponde a uma amostra. De acordo com a localização no plano CP I x CP II, nota-se que o fermentado de aveia se diferencia das amostras comerciais, sendo caracterizado por maior dureza sensorial, maior coesividade instrumental e sensorial, maior gomosidade sensorial, maior elasticidade sensorial e maior viscosidade instrumental e sensorial. Revers et al. (2016) descreve que o maior teor lipídico do produto favorece a percepção sensorial pelos avaliadores, o que difere do observado neste estudo. Mesmo o fermentado de aveia apresentando menor teor lipídico quando comparado aos produtos comerciais, os avaliadores conseguiram diferenciar e atribuíram maiores valores médios para coesividade, gomosidade, elasticidade e viscosidade, confirmando o observado por Song et al. (2020) de que a relação proteínas-polissacarídeos melhora a viscosidade de produtos fermentados, contribuindo para a percepção sensorial.

FIGURA 2. PROJEÇÕES DOS PARÂMETROS DE TEXTURA (A) E AMOSTRAS DO FERMENTADO DE AVEIA E IOGURTES INTEGRAIS COMERCIAIS (B) NO PLANO FATORIAL (CP I x CP II)



F= fermentado de aveia; A= iogurte natural integral marca A; B= iogurte natural integral marca B

CONCLUSÃO

Foi possível desenvolver um fermentado de aveia com características de textura semelhantes às de um iogurte comercial, as quais foram identificadas tanto por análises instrumentais quanto perceptíveis sensorialmente. Não houve correlação positiva e significativa ou negativa e significativa entre os métodos. Instrumentalmente o fermentado de aveia foi considerado mais viscoso que as amostras comerciais, e sensorialmente, mais gomoso e elástico. A utilização de métodos instrumentais pode ser útil para otimizar tempo e custos no desenvolvimento de novos produtos, mas a percepção sensorial é mais importante por prever a aceitação por possíveis consumidores. Além disso, o novo produto se destaca como uma importante alternativa ao público intolerante à lactose, alérgico à proteína do leite de vaca, vegetariano e vegano.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à empresa SL Cereais e Alimentos Ltda. por apoio técnico e financeiro e a Central de Análises – UTFPR Campus Pato Branco pela análise de microscopia eletrônica de varredura.

DECLARAÇÕES ÉTICAS

Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Universidade Estadual de Londrina, parecer n° 3.852.821.

REFERÊNCIAS

- Ahmad, M.; Zaffar, G.; Dar, Z. A. M.; Habib, M. (2014) A review on oat (*Avena sativa* L.) as a dual-purpose crop. *Sci. Res. Essays*, v. 9.
- Ahmad, I.; Xiong, Z.; Xiong, H.; Din, Z.U.; Bakhsh Javaid, A.; Nawaz, A.; Walayata, N. (2019). Enzymatic Hydrolyzed Potato Powder Stabilizes the Properties and Rheological Performance of Yogurt. *Preprints*.
- Akalin, A. S.; Unal, G.; Dinkci, N.; Hayaloglu, A. A. (2012). Microstructural, textural, and sensory characteristics of probiotic yogurts fortified with sodium calcium caseinate or whey protein concentrate. *J. Dairy Sci.*, 95, 7.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (2019). Official Methods of Analysis of AOAC International. 21.ed. AOAC, Gaithersburg, Maryland.
- Bernat, N.; Cháfer, M.; González-Martínez, C.; Rodríguez-García, J.; Chiralt, A. (2014). Optimisation of oat milk formulation to obtain fermented derivatives by using probiotic *Lactobacillus reuteri* microorganisms. *Food Sci. Technol. Int.*, v. 0, n. 0, 2014.
- Bligh, E.G.; Dyer, W.J. (1959). A rapid method for total lipid extraction and purification,

Can. J. Biochem. Physiol., 37, 8.

- Bonacina, M. S.; Baccin, M. A.; Rosa, L. S. (2017). Características sensoriais e instrumentais do leite pasteurizado integral. *Rev. Inst. Laticínios Cândido Tostes*, 72, 3, 139-151.
- Boulay, M.; Haddad, M.; Rul, F. (2020). *Streptococcus thermophilus* growth in soya milk: Sucrose consumption, nitrogen metabolism, soya protein hydrolysis and role of the cell-wall protease PrtS. *Int. J. Food Microbiol.*, 335, 16.
- Bourne, M. C. *Food texture and viscosity: concept and measurement*. 2nd ed. San Diego: Academic Press; 2002
- Chandra, M.V.; Shamasundar, B.A. (2015). Texture Profile Analysis and Functional Properties of Gelatin from the Skin of Three Species of Fresh Water Fish, *Int. J. Food Prop.*, 18:3, 572-584.
- Cooper, Hannah; Rivero-Mendoza, Daniela; Dahl, Wendy J. (2020). Plant-Based Milks: Oat. *Food Sci. Hum. Nutr.*, 10, 5.
- Conti-Silva, A. C.; Ichiba, A. K. T.; Silveira, A. L.; Albano, K. M.; Nicoletti, V. R. (2018). Viscosity of liquid and semisolid materials: Establishing correlations between instrumental analyses and sensory characteristics. *J. Texture Stud.*, 49, 569-577.
- Crowley, Sarah; Mahony, Jennifer, van Sinderen, Douwe. (2013). Current perspectives on antifungal lactic acid bacteria as natural bio-preservatives. *Trends Food Sci. Technol.*, v. 33, n. 2, 93-109.
- Damásio, M. H; Costell E. (1991). Analisis sensorial descriptivo: generación de descriptores y selección de catadores. *Rev. Agroq. Tecnol. Alimen.*, Valencia, 31, 2, 165-178.
- El-Batawy, Osama Ibrahim; Mahdy, Samar Mohamed; Gohari, Safaa Talaat. (2019). Development of Functional Fermented Oat Milk by Using Probiotic Strains and

Whey Protein. *Int. J. Dairy Sci.*, 14, 1.

El Khoury, D.; Cuda, C.; Luhovyy, B. L.; Anderson, G. H. (2012). Beta Glucan: Health Benefits in Obesity and Metabolic Syndrome. *J. Nutr. Metab.*, 2012.

Foroutan, Aidin; Guo, An Chi; Vazquez-Fresno, Rosa; Lipfert, Matthias; Zhang, Lun; Zheng, Jiamin; Badran, Hasan; Budinski, Zachary; Mandal, Rupasri; Ametaj, Burim N.; Wishart, David S. (2019). Chemical Composition of Commercial Cow's Milk. *J. Agric. Food Chem.* 67, 17, 4897–4914.

Freitas, M. (2017). The Benefits of Yogurt, Cultures, and Fermentation. *The Microbiota in Gastrointestinal Pathophysiology*, Chap. 24, 209-223.

Grasso, Nadia; Alonso-Miravalles, Loreto; O'mahony, James A. (2020). Composition, Physicochemical and Sensorial Properties of Commercial Plant-Based Yogurts. *Foods*, 9, 252.

Greis, M.; Sainio, T.; Katina, K.; Kinchla, A.J.; Nolden, A.; Partanen, R.; Seppä, L.. (2020). Dynamic texture perception in plant-based yogurt alternatives: identifying temporal drivers of liking by TDS, *Food Qual. Prefer.*, 86.

Isleten, M.; Karagul-Yuccer, Y. (2006) Effects of dried dairy ingredients on physical and sensory properties of nonfat yogurt. *J. Dairy Sci.*, 89, 8, 2865-2872.

Jaworska, D.; Waszkiewicz-Robak, B.; Kolanowski, W.; Swiderski, F. (2005). Relative importance of texture properties in the sensory quality and acceptance of natural yogurts. *Int. J. Dairy Technol.*, 58, 1, 39-46.

Janhøj, T.; Bom Frøst, M.; & Ipsen, R. (2008). Sensory and rheological characterization of acidified milk drinks. *Food Hydrocolloids*, 22, 798-806.

Jovanović, M.; Petrović, M.; Mioćinović, J.; Zlatanović, S.; Petronijević, J. L.; Mitić-Culafić, D.; Gorjanović, S. (2020). Bioactivity and Sensory Properties of Probiotic Yogurt Fortified with Apple Pomace Flour. *Foods*, 9, 763.

- Kale, M.; Hamaker, B.; Bordenave, N. (2014). Oat β -Glucans: Physicochemistry and Nutritional Properties. *Oats Nutrition and Technology*, 1 ed, John Wiley & Sons.
- Kose, Y. E.; Altun, I.; Kose, S. (2018). Determination of Texture Profile Analysis of Yogurt Produced By Industrial and Traditional Method. *Int. J. Sci. Technol. Res.*, 4, 8.
- Loredo, A. B. G.; Guerrero, S. N. (2011). Correlation between instrumental and sensory ratings by evaluation of some texture reference scales. *J. Food Sci. Technol.*, 46, 1977–1985.
- Mäkinen, O. E., Wanhalinna, V., Zannini, E., & Arendt, E. K. (2016). Foods for special dietary needs: Non-dairy plant based milk substitutes and fermented dairy-type products. *J. Critical Rev. Food Sci.*, 56(3), 339-349.
- Minim, V. P. R.; Silva, R. de C. dos S. N.; Milagres, M. P.; Martins, E. M. F.; Sampaio, S. C. S. A.; Vasconcelos, C. M. (2010). Contribution of sensory attributes for chessecurd acceptability. *Rev. Inst. Latic. "Cândido Tostes"*, 65, 372, 34:42.
- OSullivan, Maurice G. (2020). Magnitude estimation—alignment of sensory and instrumental analysis. book: *Salt, Fat and Sugar Reduction*, Elsevier.
- Penna, A. L. B.; Oliveira, M. N.; Baruffaldi, R. (1997). Análise de consistência de iogurte: correlação entre medida sensorial e instrumental. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, 17, 2.
- Pontonio, E.; Rizzello, C. G. (2021). Milk Alternatives and Non-Dairy Fermented Products: Trends and Challenges. *Foods*, 10, 222.
- Raikos, V.; Juskaite, L.; Vas, F.; Hayes, H. E. (2020). Physicochemical properties, texture, and probiotic survivability of oat-based yogurt using aquafaba as a gelling agent. *Food Sci Nutr.*, v. o, p. 1-7.
- Revers, L. M.; Danielli, A. J.; Iltchenco, S.; Zeni, J.; Steffens, C.; Steffens, J. (2016).

Obtenção e caracterização de iogurtes elaborados com leites de ovelha e de vaca. *Rev. Ceres*, 63, 6, 747-753.

Sah, B.N.P.; Vasiljevic, T.; Mckechnie, S.; Donkor, O.N. (2016). Physicochemical, textural and rheological properties of probiotic yoğurt fortified with fibre-rich pineapple peel powder during refrigerated storage. *LWT- Food Sci. Technol.*, 65, 978-986.

Samtiya, M.; Aluko, R. E.; Puniya, A. K.; Dhewa, T. (2021). Enhancing Micronutrients Bioavailability through Fermentation of Plant-Based Foods: A Concise Review. *Fermentation*, 7, 63.

Santana, L. R. R.; Santos, L. C. S.; Natalicio, M. A.; Mondragon-Bernal, O. L.; Elias, E. M.; Silva, C. B.; Zepka, L. Q.; Martins, I. S. L.; Vernaza, M. G.; Castillo-Pizarro, C.; Bolini, H. M. A. (2006). Perfil sensorial de iogurte light, sabor pêssego. *Food Sci. Technol.*, 26, 3, 619-625.

Sim, Shaun Y. J.; Hua, Xin Yi; Henry, Christiani Jeyakumar. (2020). A Novel Approach to Structure Plant-Based Yogurts Using High Pressure Processing. *Foods*, v. 9.

Song, X.; Sun, X.; Ban, Q.; Cheng, J.; Zhang, S.; Guo, M. (2020). Gelation and microstructural properties of a millet-based yogurt-like product using polymerized whey protein and xanthan gum as thickening agents. *J. Food Sci.*, 0, 0.

Statsoft, Inc. (2004). Statistica (Data Analysis Software System), version 10.0. www.statsoft.com.

Stone, H.; Sidel, J. L. (2004). Sensory evaluation practices. Philadelphia, EUA: *Academic Press, Elsevier*.

Szczesniak, A. S. (2002). Texture is a sensory property. *Food Qual. Prefer.*, 13, 215–225.

Tangyu, M.; Muller, J.; Bolten, C. J.; Wittmann, C.. (2019). Fermentation of plant-based

milk alternatives for improved flavour and nutritional value. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 103, 9263–9275.

Vieira, A. F.; Silva, R. R. L.; Alves, D. E. G.; Morais, H. M. B. R.; Santos, D. C. (2017).

Processamento e caracterização de iogurte de limão. *R. bras. Tecnol. Agroindustr.*, 11, 2, 2420-2436.

Yildiz, O., Yurt, B., Toker, O.S., Ceylan, M.M., Yilmaz, M.T., Baştürk, A. (2015).

Pasting, textural and sensory characteristics of the Kofter, A fruit-based dessert: Effect of molasses and water concentration. *Int. J. Food Eng.*, 11, 3, 349–358.

Ziarno, M.; Zareba, D. (2020). The effect of the addition of microbial transglutaminase

before the fermentation process on the quality characteristics of three types of yogurt. *Food Sci. Biotechnol.*, 29, 1, 109–119.

CONCLUSÃO GERAL

Foi possível elaborar um produto fermentado à base de extrato de aveia com características de textura e sensoriais similares às de um iogurte convencional. A fermentação com cepas de *Lactobacillus acidophilus*, *Bifidobacterium animalis* BB-12 e *S. thermophilus* foi viável e o produto fermentado e armazenado por sete dias a 4 °C apresentou características físico-químicas e microbiológicas adequadas, além de ser bem aceito pelos consumidores. Houve correlação positiva e significativa entre os parâmetros de textura obtidos pela técnica sensorial, se mostrando uma importante escolha às técnicas instrumentais na percepção sensorial durante o desenvolvimento de novos produtos. Os resultados obtidos são de interesse científico e tecnológico, contribuindo para os setores acadêmico e industrial. Além disso, o produto desenvolvido é uma importante alternativa ao público vegano, vegetariano e intolerante à lactose.