



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
FACULDADE DE FARMÁCIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DE ALIMENTOS

STHEFANE PIRES DOS SANTOS

**LEITELHO COMO UM INGREDIENTE FUNCIONAL E
SUSTENTÁVEL PARA A INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA**

UFBA

SALVADOR

2025



STHEFANE PIRES DOS SANTOS

**LEITELHO COMO UM INGREDIENTE FUNCIONAL E
SUSTENTÁVEL PARA A INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos (PGAli) da Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre/Doutor em Ciência de Alimentos.

Cláudio Vaz Di Mambro Ribeiro

Orientador

Carolina Oliveira de Souza

Coorientador

SALVADOR

2025

STHEFANE PIRES DOS SANTOS

**LEITELHO COMO UM INGREDIENTE FUNCIONAL E
SUSTENTÁVEL PARA A INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA**

A Comissão Julgadora dos trabalhos de defesa de Dissertação de Mestrado da candidata ***Sthefane Pires dos Santos***, em sessão pública realizada em 19/03/2025.

Dr. Cláudio Vaz Di Mambro Ribeiro (Orientador)

Faculdade de Farmácia

Universidade Federal da Bahia (UFBA, Salvador, BA)

Dr. Renato Souza Cruz (Membro interno)

Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS, Feira de Santana, BA)

Dr. Christiano Vieira Pires (Membro externo)

Departamento de Engenharia de Alimentos

Universidade Federal São João Del-Rei (UFSJ, Minas Gerais, MG)

Salvador, 19 de março de 2025.

Dedico este trabalho,

À Deus, a minha mãe, ao meu pai, a toda minha família, pelo apoio inestimável, e a todos que me inspiraram a nunca desistir. Esta jornada é dedicada a vocês.

Meus agradecimentos,

A Deus, fonte infinita de força, sabedoria e serenidade, por guiar cada passo desta jornada e iluminar meu caminho nos momentos mais desafiadores.

Aos meus amados pais, Núbia e Geilson, pelo amor incondicional, ensinamentos de vida e apoio contínuo, que foram pilares fundamentais em minha trajetória acadêmica. Ao meu irmão, cunhada e sobrinhos, pela presença acolhedora e incentivo constante. À minha família, por suas palavras de encorajamento e carinho, que sempre me motivaram a seguir em frente. Amo vocês!

Ao meu querido orientador, Professor Cláudio Vaz Di Mambro Ribeiro, por sua paciência, dedicação e orientação científica ímpar ao longo de toda a minha trajetória. A confiança que depositou em mim, mesmo nos momentos mais desafiadores, fez toda a diferença e me incentivou a buscar sempre o melhor. Cada conselho e apoio me impulsionaram a crescer como pessoa e profissional. Minha eterna gratidão!

À minha coorientadora, Professora Carolina Oliveira de Souza, por sua colaboração e suporte ao longo desta pesquisa. Seu apoio foi fundamental para minha evolução acadêmica e pessoal, e sou imensamente grata pela parceria e confiança.

Ao corpo docente e técnico do Programa de Pós-graduação em Ciência de Alimentos (PGAli), por todo ensinamento e suporte.

Aos integrantes do LABPAN e LABEA, pelos momentos de aprendizado compartilhado e pela troca constante de experiências. Foi um privilégio aprender com todos vocês, e sou grata por cada oportunidade que tive nesses laboratórios.

Aos meus amigos, cuja amizade verdadeira é motivo de grande gratidão. Cada conversa, gesto de apoio e incentivo deixou marcas importantes. Embora sejam muitos para citar individualmente, cada um ocupa um lugar especial nesta jornada, e a contribuição de todos foi fundamental para que eu chegasse até aqui. Agradeço do fundo do coração por todas as risadas, os momentos de descontração e, claro, pelos ombros que me ampararam nas dificuldades. Não teria sido a mesma coisa sem vocês.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudos concedida (nº do processo: 88887.831956/2023-00).

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, deixo meu mais sincero e profundo agradecimento.

*“Nada temos a temer quanto ao futuro, a menos que nos esqueçamos
como Deus tem nos conduzido no passado”. - Ellen G. White*

RESUMO

A busca por ingredientes funcionais e sustentáveis tem impulsionado a valorização de coprodutos agroindustriais, reduzindo desperdícios e agregando valor à cadeia produtiva. O leiteiro, subproduto da fabricação de manteiga, destaca-se por suas propriedades tecnológicas e nutricionais, sendo rico em proteínas, lipídios e compostos bioativos da Membrana do Glóbulo de Gordura do Leite (MGGL). Sua aplicação na indústria alimentícia pode representar uma alternativa sustentável e inovadora, especialmente no desenvolvimento de produtos enriquecidos. O estudo prospectivo revelou que a MGGL tem sido explorada em pesquisas científicas e inovações tecnológicas, com destaque para sua aplicação em fórmulas infantis, mas com potencial de exploração em outras áreas. O crescente interesse acadêmico e industrial por esse composto bioativo reforça o potencial do leiteiro como ingrediente funcional no desenvolvimento de novos alimentos enriquecidos. Considerando a necessidade da indústria por ingredientes sustentáveis e funcionais, este estudo teve como objetivo avaliar o leiteiro em pó como ingrediente funcional em massas alimentícias, analisando suas propriedades nutricionais e tecnológicas, com foco na melhoria da qualidade do produto e em seu potencial como alternativa sustentável para a indústria alimentícia. Para o desenvolvimento das massas alimentícias, foram elaboradas duas formulações: controle (sem adição de leiteiro) e uma formulação contendo a concentração otimizada de leiteiro, definida com base nos resultados das análises reológicas. As massas foram detalhadas quanto às propriedades tecnológicas, físico-químicas, incluindo qualidade de cozimento, perfil de textura, cor e composição nutricional. A partir dos dados reológicos, a concentração de 11,06% de leiteiro foi definida para a formulação da massa alimentícia. A adição de leiteiro influenciou significativamente as propriedades tecnológicas e físico-químicas da massa. O tempo ótimo de cozimento aumentou em 2,15 min, refletindo uma estrutura mais densa que dificultou a hidratação e a gelatinização do amido. A absorção de água (225,5%) e a expansão de volume (110,8%) diminuíram em relação ao controle, enquanto a perda de cozimento foi maior (10,60%), ultrapassando o limite aceitável. A textura da massa também foi alterada, resultando em maior firmeza (174,8g) e força de cisalhamento (6,40g.cm), indicando uma rede proteica mais compacta. A análise de cor revelou aumento significativo na luminosidade ($L^* = 77,1$) e redução no parâmetro a^* (0,08), sem alteração significativa no b^* . A diferença total de cor ($\Delta E^* = 10,3$) indicou uma mudança perceptível na coloração da massa enriquecida. Além disso a massa com adição de 11,06% de leiteiro obteve altos teores de proteínas totais (15,8g/100g), lipídios (1,65g/100g) e minerais (2,14g/100g), sobressaindo à formulação controle. Os resultados da pesquisa permitiram concluir que a adição de 11,06% de leiteiro à massa melhorou as propriedades reológicas, equilibrando resistência e extensibilidade. O leiteiro também melhorou a luminosidade e a consistência da massa, além de enriquecer nutricionalmente com proteínas, lipídios e minerais, tornando-a mais funcional. No entanto, houve aumento no tempo de cozimento e perda de sólidos. Pesquisas futuras podem focar em minimizar efeitos negativos e explorar a biodisponibilidade proteica para validar os benefícios nutricionais.

Palavras-chave: Alimento funcional. Macarrão. MGGL. Novos produtos. Sustentabilidade.

ABSTRACT

The search for functional and sustainable ingredients has driven the valorization of agro-industrial by-products, reducing waste and adding value to the production chain. Buttermilk, a by-product of butter production, stands out for its technological and nutritional properties, being rich in proteins, lipids and bioactive compounds from the Milk Fat Globule Membrane (MFGM). Its application in the food industry may represent a sustainable and innovative alternative, especially in the development of enriched products. The prospective study revealed that MFGM has been explored in scientific research and technological innovations, with emphasis on its application in infant formulas, but with potential for exploration in other areas. The growing academic and industrial interest in this bioactive compound reinforces the potential of buttermilk as a functional ingredient in the development of new enriched foods. Considering the industry's need for sustainable and functional ingredients, this study aimed to evaluate buttermilk powder as a functional ingredient in pasta, analyzing its nutritional and technological properties, focusing on improving product quality and its potential as a sustainable alternative for the food industry. For the development of pasta, two formulations were developed: control (without addition of buttermilk) and a formulation containing the optimized concentration of buttermilk, defined based on the results of rheological analyses. The doughs were detailed regarding technological and physicochemical properties, including cooking quality, texture profile, color and nutritional composition. Based on the rheological data, the concentration of 11.06% buttermilk was defined for the pasta formulation. The addition of buttermilk significantly influenced the technological and physicochemical properties of the dough. The optimal cooking time increased by 2.15 min, reflecting a denser structure that hindered starch hydration and gelatinization. Water absorption (225.5%) and volume expansion (110.8%) decreased in relation to the control, while cooking loss was higher (10.60%), exceeding the acceptable limit. The dough texture was also altered, resulting in greater firmness (174.8 g) and shear force (6.40 g.cm), indicating a more compact protein network. Color analysis revealed a significant increase in luminosity ($L^* = 77.1$) and reduction in the a^* parameter (0.08), with no significant change in b^* . The total color difference ($\Delta E^* = 10.3$) indicated a noticeable change in the color of the enriched dough. In addition, the dough with the addition of 11.06% buttermilk obtained high levels of total proteins (15.8 g/100 g), lipids (1.65 g/100 g) and minerals (2.14 g/100 g), surpassing the control formulation. The results of the research allowed us to conclude that the addition of 11.06% buttermilk to the dough improved the rheological properties, balancing resistance and extensibility. Buttermilk also improved the luminosity and consistency of the dough, in addition to enriching it nutritionally with proteins, lipids and minerals, making it more functional. However, there was an increase in cooking time and loss of solids. Future research can focus on minimizing negative effects and exploring protein bioavailability to validate the nutritional benefits.

Keywords: Functional food. Pasta. MGGL. New product. Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

<i>DISSERTAÇÃO – Leiteiro como um ingrediente funcional e sustentável para a indústria alimentícia.....</i>	12
Figura 1 Fluxograma da produção de manteiga	17
<i>MANUSCRITO: Membrana do glóbulo de gordura do leite: uma abordagem cienciométrica e tecnológica.....</i>	31
Figura 1 Evolução temporal das publicações científicas e citações sobre estudos sobre a membrana do glóbulo de gordura do leite.....	34
Figura 2 Principais periódicos e número de publicações sobre membrana do glóbulo de gordura do leite.....	36
Figura 3 Distribuição geográfica das publicações sobre a membrana do glóbulo de gordura do leite ao longo dos anos.....	37
Figura 4 Rede de coocorrência de palavras-chave de publicações sobre MGGL.....	38
Figura 5 Número de documentos de patentes com membrana de glóbulo de gordura do leite em sua formulação, acessados em The Lens.....	40
Figura 6 Distribuições mundiais de documentos de patentes relacionadas à membrana do glóbulo de gordura do leite, obtidas no The Lens.....	41
Figura 7 Concentração de áreas e distribuição dos requerentes de patentes sobre membrana de glóbulos de gordura do leite, obtidas do The Lens.....	42
<i>MANUSCRITO: Efeitos da adição de leiteiro em pó nas propriedades reológicas, tecnológicas e nutricionais de massas alimentícias.....</i>	50
Figura 1 Comportamento reológico das massas alimentícias com diferentes concentrações de leiteiro: (a) resistência à extensão e (b) extensibilidade.....	59
Figura 2 Fotografia das amostras de massa seca: (a) massas de farinha de trigo semolina (0%) e (b) massa com adição de leiteiro (11,06%)	64

LISTA DE TABELAS

<i>DISSERTAÇÃO – Leitelho como um ingrediente funcional e sustentável para a indústria alimentícia.....</i>	12
Tabela 1 Volume estimado de efluentes em diferentes processos de fabricação de laticínios.....	15
Tabela 2 Composição média do leite desnatado em comparação ao leitelho.....	18
Tabela 3 Composição média estimada da membrana do glóbulo de gordura do leite.....	19
Tabela 4 Compostos funcionais utilizados na funcionalização de massas alimentícias, com indicação de seus principais componentes funcionais, seu nível de enriquecimento, efeitos nutricionais e tecnológicos e sensoriais do produto final da massa alimentícia.....	23
<i>MANUSCRITO: Efeitos da adição de leitelho em pó nas propriedades reológicas, tecnológicas e nutricionais de massas alimentícias.....</i>	50
Tabela 1 Caracterização do leitelho em pó e da farinha de trigo semolina.....	57
Tabela 2 Parâmetros estimados e coeficientes ajustados do modelo de regressão quadrática para as propriedades de resistência à extensão e extensibilidade.....	60
Tabela 3 Propriedades de cozimento das formulações controle e com adição de leitelho..	61
Tabela 4 Perfil de textura das formulações controle e com adição de leitelho.....	63
Tabela 5 Análise de cor das formulações controle e com adição de leitelho.....	64
Tabela 6 Composição química (g/100g) e e valor energético (Kcal/100g) das formulações controle e com adição de leitelho.....	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAA	Capacidade de Absorção de Água
CAO	Capacidade de Absorção de Óleo
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
MGGL	Membrana do Glóbulo de Gordura do Leite

SUMÁRIO

<i>CAPÍTULO I – Leiteiro como um ingrediente funcional e sustentável para a indústria alimentícia.....</i>	12
1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	13
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
4 MATERIAL E MÉTODOS	26
5 RESULTADOS.....	29
5.1 Manuscrito: Membrana do glóbulo de gordura do leite: uma abordagem cienciométrica e tecnológica.....	30
5.2 Manuscrito: Efeitos da adição de leiteiro em pó nas propriedades reológicas, tecnológicas e nutricionais de massas alimentícias.....	61
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	78
REFERÊNCIAS	80

1 INTRODUÇÃO

A crescente geração de resíduos e coprodutos pela agroindústria exige soluções sustentáveis para minimizar os impactos ambientais e otimizar a utilização desses recursos (Capanoglu; Nemli; Tomas-Barberan, 2022; Ribeiro *et al.*, 2022). A economia circular surge como um modelo viável ao possibilitar a valorização desses coprodutos em ingredientes funcionais e tecnologicamente aplicáveis, em consonância com as metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da agenda 2030, estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (Osorio; Flórez-López; Grande-Tovar, 2021; ONU, 2015).

Entre os setores agroindustriais, a indústria láctea tem apresentado um crescimento expressivo, impulsionando a produção de leite e derivados lácteos (Jaganmai; Jinka 2017). Esse avanço, no entanto, resulta na geração substancial de coprodutos que, quando não gerenciados adequadamente, podem representar riscos ambientais devido à sua elevada carga orgânica (Ahmad *et al.*, 2019). Dentre esses coprodutos, o leitelho, obtido durante o processamento da manteiga, destaca-se pelo seu teor de proteínas, lipídios e compostos bioativos, incluindo a membrana do glóbulo de gordura do leite (MGGL) (Ali, 2019).

A valorização do leitelho pode otimizar seu uso na indústria alimentícia, reduzindo impactos ambientais e alinhando-se à busca por ingredientes funcionais e sustentáveis (McDonagh *et al.*, 2024). Estudos recentes têm destacado seu potencial como ingrediente funcional em uma variedade de produtos (Al-Jahani, 2017; Hashem, 2018; Kumari; Wijayasekara; Liyanapathirana, 2022; Skryplonek; Dmytrów; Mituniewicz-Matek, 2019; Zhao; Feng; Mao, 2020; Rasouli Pirouzian *et al.*, 2021). No entanto, a sua aplicação ainda é limitada e a investigação de novas matrizes alimentares pode ampliar seu potencial de uso, agregando valor ao coproduto e promovendo formulações mais equilibradas e sustentáveis.

Desta forma, este estudo busca ampliar as possibilidades de aplicação do leitelho na indústria alimentícia, explorando seu potencial tecnológico e funcional em novas matrizes. Essa abordagem, além de agregar valor a esse coproduto, atende à crescente demanda por ingredientes mais saudáveis e sustentáveis.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

- ✓ Avaliar o leiteiro em pó como ingrediente funcional em massas alimentícias, analisando suas propriedades nutricionais e tecnológicas, com foco na melhoria da qualidade do produto e em seu potencial como alternativa sustentável para a indústria alimentícia.

2.2 Objetivos específicos

- ✓ Realizar uma revisão e prospecção cienciométrica e tecnológica sobre a membrana do glóbulo de gordura do leite;
- ✓ Avaliar as propriedades tecnológicas da farinha e do leiteiro, com ênfase na capacidade de absorção de água e óleo;
- ✓ Avaliar a influência da adição do leiteiro em pó nas propriedades reológicas da farinha de trigo semolina;
- ✓ Determinar a concentração ótima de leiteiro em pó para o desenvolvimento da massa alimentícia, com base na análise reológica;
- ✓ Avaliar as propriedades tecnológicas e físico-químicas da massa alimentícia enriquecida com leiteiro em pó.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Indústria láctea

3.1.1. Leite e derivados lácteos

O leite, como produto central da indústria láctea, é amplamente valorizado por suas qualidades nutricionais e versatilidade (Chon *et al.*, 2016). Composto por água, proteínas, gorduras, carboidratos, vitaminas e minerais, o leite resulta de uma interação complexa entre fatores genéticos, fisiológicos e ambientais (Faye; Konuspayeva, 2012). Essa combinação de nutrientes o torna um alimento quase completo e benéfico para a saúde humana ao longo da vida (Kailasapathy, 2015).

Além do aspecto nutricional, a produção e processamento de leite têm um impacto econômico e social. O setor gera milhões de empregos e sustenta a subsistência de agricultores, produtores e trabalhadores ao longo de toda a cadeia de suprimento, especialmente nos países em desenvolvimento (FAO, 2024a). Além disso, o leite está integrado às tradições culturais e práticas alimentares de diversas regiões, desempenhando um papel importante na segurança alimentar e no desenvolvimento rural (FAO, 2024b).

A versatilidade do leite é evidenciada pela sua capacidade de ser transformado em diversos produtos, que variam tanto em características organolépticas quanto em composição físico-química e potencial tecnológico de processamento (Faye; Konuspayeva, 2012). Exemplos incluem queijos com diferentes texturas e sabores (Moatsou, 2019), iogurtes de variadas consistências (El-Abbadi; Dao; Meydani, 2014), manteiga (Rønholt; Mortensen; Knudsen, 2013) e bebidas lácteas fermentadas (Andrade *et al.*, 2019). Essa diversidade não apenas enriquece a dieta global, mas também impulsiona o crescimento das indústrias de laticínios (Chokshi *et al.*, 2016).

No entanto, o crescimento acelerado do setor aumenta a produtividade, mas também impõe desafios consideráveis relacionados à gestão de efluentes líquidos. A grande quantidade desses efluentes gerados por unidade de produção causa impactos ambientais diretos e representa sérios riscos à saúde humana (Ahmad *et al.*, 2019). Esses desafios demandam uma abordagem sustentável e eficiente para minimizar os danos ambientais e proteger a saúde pública.

3.1.2 Efluentes líquidos lácteos e impactos ambientais

Dentro do setor alimentício, as indústrias de laticínios destacam-se como uma das maiores geradoras de resíduos (Ahmad *et al.*, 2019). Esses aspectos incluem, em sua maioria,

os efluentes líquidos industriais, que sem o tratamento e gerenciamento adequado, podem causar impactos ambientais substanciais ao alterar as características físicas, químicas e biológicas dos ecossistemas circundantes (Maganha, 2008).

Os efluentes são gerados pelo elevado consumo de água durante as operações de processamento lácteo e de limpeza, podendo resultar em vazões de efluentes que variam de 1,1 a 6,8 m³ por metro cúbico de leite processado (Saraiva; Pereira, 2009). Essa variação é influenciada pelo tipo de produto processado, capacidade produtiva da indústria, método de produção e pelas práticas operacionais (Maganha, 2008). A Tabela 1 apresenta o volume estimado de efluentes gerados em diferentes processos de fabricação de laticínios.

Tabela 1. Volume estimado de efluentes em diferentes processos de fabricação de laticínios

Tipo de produto	Volume de efluentes líquidos (litro/kg de leite processado)
Produtos “brancos” (leite, cremes e iogurtes)	3
Produtos “amarelos” (manteiga e queijos)	4
Produtos “especiais” (concentrados de leite ou soro e produtos lácteos desidratados)	5

Fonte: Maganha (2008).

A composição dos efluentes reflete as características específicas de cada operação, mas, normalmente, apresentam sólidos suspensos e concentrações elevadas de matéria orgânica, alto teor de nitrogênio e fósforo e presença de óleo e graxas (Ahmad *et al.*, 2019; Ashekuzzaman *et al.*, 2019). Esses efluentes são caracterizados por alta Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (Yonar; Sivrioğlu; Özenin, 2018), indicando a alta carga poluente que pode comprometer o ecossistema (Verma; Singh, 2017).

Para mitigar as repercussões ambientais e promover a sustentabilidade, abordagens de tratamento e gerenciamento destes efluentes são aplicadas, que consistem em três subsistemas: tratamento preliminar, primário e secundário. O tratamento preliminar se encarrega da separação dos sólidos grosseiros por meio de peneiras estáticas autolimpantes. Em seguida, o tratamento primário visa a remoção de sólidos suspensos, óleos, gorduras e outros materiais flutuantes, utilizando processos físicos e, em alguns casos, físico-químicos, como flotação e coagulação (Ahmad *et al.*, 2019; Couto; Melo; Massarani, 2004; Kurylets *et al.*, 2022). Finalmente, o tratamento secundário emprega processos biológicos aeróbicos e anaeróbicos para decompor a matéria orgânica (Ahmad *et al.*, 2019; Omil *et al.*, 2003).

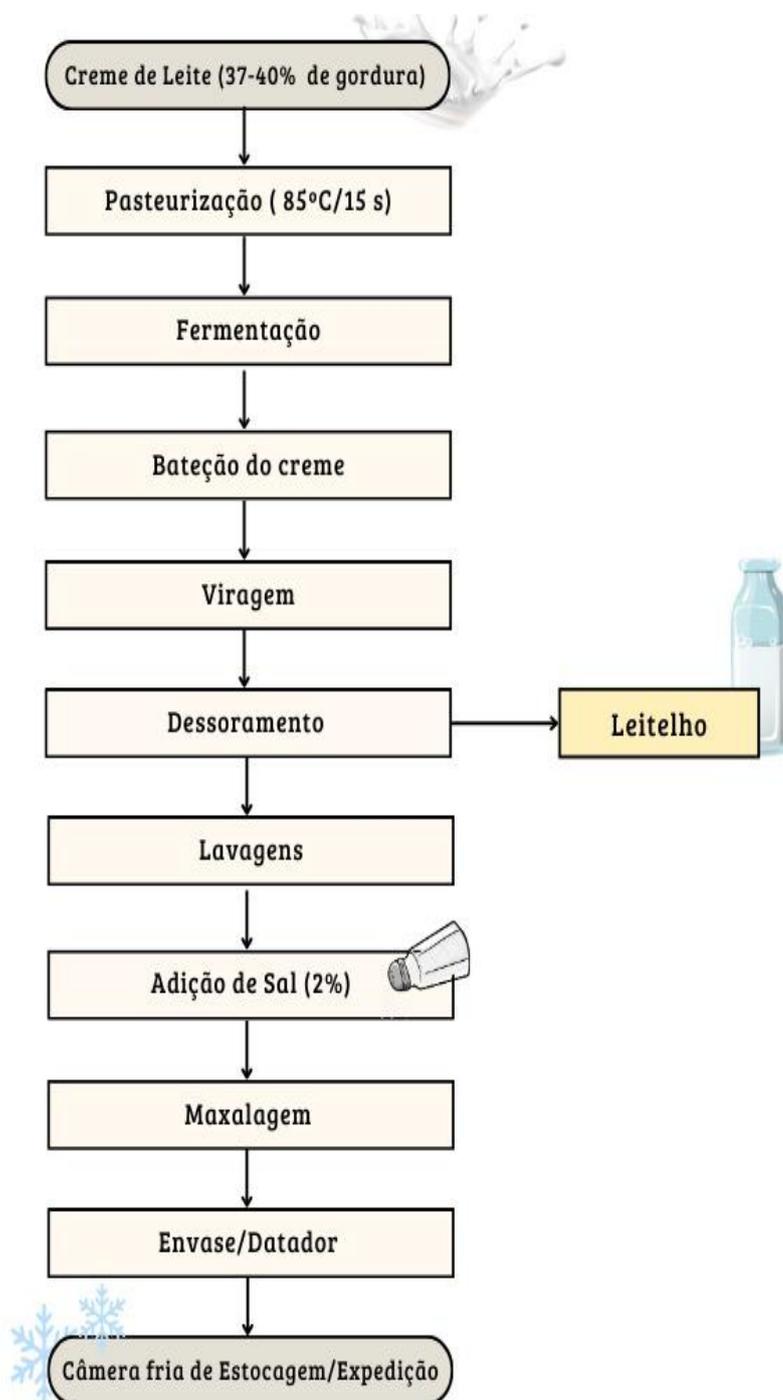
A remoção efetiva de DBO ocorre no tratamento secundário, onde a matéria orgânica é convertida principalmente em metano, gás carbônico e água (Feam, 2015). O tratamento biológico anaeróbico é frequentemente preferido devido à sua eficiência na remoção de DBO, que varia de 50% a 60% (Ahmad *et al.*, 2019). No entanto, a DBO do efluente ainda é elevada, o que pode exigir uma unidade adicional de tratamento, como o uso de lagoas facultativas, para garantir a conformidade com os padrões ambientais (Feam, 2015).

Por outro lado, além dos tratamentos convencionais, que focam na remoção de sólidos e na decomposição de matéria orgânica, a valorização de subprodutos como o soro de leite e o leitelho tem ganhado destaque (Barukčić; Lisak Jakopović; Božanić, 2019). Estes subprodutos, ricos em nutrientes, podem ser transformados em produtos de alto valor, proporcionando não apenas a redução dos custos de descarte, mas também a recuperação de lucros e a promoção da sustentabilidade econômica e ambiental (Barukčić; Lisak Jakopović; Božanić, 2019; Baskaran; Palmowski; Watson, 2003). Essa abordagem integrada, que alia o tratamento eficiente à valorização dos resíduos, representa um avanço significativo na gestão dos recursos industriais e na proteção dos ecossistemas.

3.2 Leitelho

3.2.1 Origem e produção do leitelho

O leitelho é um subproduto aquoso, de volume considerável, da fabricação da manteiga obtido pela agitação do creme de leite padronizado com uma concentração de 37 a 40% de gordura (Feam, 2015; Silva, 1996) Nesse processo, o creme, que é uma emulsão de óleo em água, é submetido a uma desestabilização mecânica na presença de ar, resultando na coalescência dos glóbulos de gordura e na inversão das fases, o que leva à formação da manteiga (uma emulsão de água em óleo) e à liberação da fase aquosa, conhecida como leitelho (Conway; Gauthier; Pouliote, 2014; Costa *et al.*, 2022; Vanderghem *et al.*, 2010). A figura 1 ilustra o fluxograma do processo de fabricação da manteiga e a obtenção do leitelho.

Fig. 1. Fluxograma da produção de manteiga

Fonte: Adaptado de Feam (2015).

3.2.2 Composição química do leitelho

O leitelho é composto por lactose, minerais e proteínas em proporções que são bastante semelhantes às do leite desnatado, como pode ser observado na Tabela 2 (Vanderghem *et al.*, 2010). Entretanto, sua composição difere pela quantidade significativa de proteínas específicas,

Fosfo e esfingolipídios (Smoczyński; Staniewski; Kielczewska, 2012). Esses compostos provêm da membrana do glóbulo de gordura do leite (MGGL), que se rompe durante o processo de agitação na produção de manteiga, se dispersam e se incorporam ao leitelho (Ali, 2019; Conway; Gauthier; Pouliot, 2014; Lambert *et al.*, 2016). Essa característica enriquece o leitelho, tornando-o um subproduto valioso.

Tabela 2. Composição média do leite desnatado em comparação ao leitelho

Componentes	Leite desnatado (%)	Leitelho (%)
Umidade	91,2	88,0-92,2
Matéria seca	8,8	8,0-12,0
Lactose	4,1-4,7	3,6-6,7
Proteína	3,4-3,7	2,4-3,5
Lipídios totais	0,1-0,2	0,5-1,5
Lipídios polares	0,02	0,1-0,2
Minerais	0,9	0,6-0,8

Fonte: Adaptado de Vanderghem *et al.* (2008).

3.2.3. Estrutura e composição da membrana do glóbulo de gordura do leite

Os glóbulos de gordura do leite são partículas esféricas compostas por um núcleo de triglicerídeos envolvido pela MGGL (Lopez, 2010). Essa membrana é uma estrutura fina, de 10-50 nm de espessura, complexa e única, que garante a estabilidade dos glóbulos e permite sua dispersão na fase aquosa (Guggisberg *et al.*, 2012; Thum *et al.*, 2023).

Estruturalmente, esta membrana é composta por camada tripla: (1) uma camada externa, formada por uma bicamada de lipídios polares e proteínas, que atua como a espinha dorsal da MGGL; (2) uma camada intermediária, rica em proteínas, especialmente glicoproteínas, densa em elétrons, e que confere resistência estrutural e participa de interações com componentes externos; e (3) uma camada interna, constituída por uma monocamada de lipídios polares, que está em contato direto com o núcleo lipídico do glóbulo (Dewettinck *et al.*, 2008; Vanderghem *et al.*, 2010).

A composição bruta da MGGL, com a distribuição de seus principais componentes, é apresentada na Tabela 3. Essa composição pode variar devido aos métodos de isolamento e análise (Dewettinck *et al.*, 2008).

Tabela 3. Composição média estimada da membrana do glóbulo de gordura do leite

Componente	Mg 100 g ⁻¹ glóbulos de gordura	g 100 g ⁻¹ Matéria seca do MGGL
Proteína	1800	70
Fosfolipídios	650	25
Cerebrosídeos	80	3
Colesterol	40	2
Monoglicerídeos	+ ^a	?
Água	+	–
Carotenoides + Vit. A	0.04	0.0
Fe	0.3	0.0
Cu	0.01	0.0
Total	42570	100

Fonte: Walstra *et al.* (2006) apud Dewettinck *et al.* (2008)

a+; presente, mas quantidade desconhecida

As proteínas do MGGL, que representam cerca de 25% a 70% da massa total da membrana, dependendo da fonte do leite, compõem entre 1% a 2% do total de proteínas presentes no leite (Fong; Norris; MacGibbon, 2007; Riccio, 2004). Entre as principais proteínas identificadas na MGGL estão a Mucina 1 (MUC1), Mucina 15 (MUC15), Butirofilina (BTN), Xantina desidrogenase/oxidase (XDH/XO), Cluster de Diferenciação 36 (CD36), adipofilina (ADPH), lactadherina (PAS 6/7) e a proteína de ligação a ácidos graxos (Dewettinck *et al.*, 2008; Jiménez-Flores; Brisson, 2008; Smoczyński; Staniewski; Kiełczewska, 2012; Vanderghem *et al.*, 2010). Destacam-se a BTN e a XDH/XO, que juntas correspondem a aproximadamente 52% da proteína total da MGGL (Lopez, 2011).

A fração lipídica da MGGL é composta por lipídios neutros e polares. Os lipídios neutros são majoritariamente triglicerídeos (56%), acompanhados por menores quantidades de diglicerídeos, monoglicerídeos, colesterol e seus ésteres (Dewettinck *et al.*, 2008; Fong; Norris; MacGibbon, 2007; Vanderghem *et al.*, 2010). Já os lipídios polares, destacam-se os fosfolipídios e esfingolipídios, dentre eles: fosfatidilcolina (FC: 31–36%), fosfatidiletanolamina (FE: 27-30,5), fosfatidilinositol (FI: 7,1-11%), fosfatidilserina (FS: 4-5%), e esfingomiéline (EM: 19,9 – 22%) (Dewettinck *et al.*, 2008; Lopez, 2011; Singh, 2006).

3.2.4 Alternativas para aproveitamento do leite

A composição nutricional do leiteiro, enriquecida por compostos derivados da MGGL, como proteínas específicas e lipídios bioativos, confere a este coproduto propriedades tecnológicas e biológicas distintas (Mascarello *et al.*, 2019). Dentre essas propriedades, destacam-se suas capacidades emulsificantes e espumantes, que facilitam sua revalorização e uso em diversas aplicações alimentícias (Sodini *et al.*, 2006). Além disso, alguns compostos presentes no leiteiro demonstram potencial anti-inflamatório, antimicrobiano e imunológico, proporcionando benefícios adicionais à saúde (Castro Gómez *et al.*, 2016; Jean *et al.*, 2016; Wong; Kitts, 2003b). Esses atributos ampliam suas possíveis aplicações e aumentam seu valor no mercado alimentício e de suplementos.

Para otimizar a utilização do leiteiro, técnicas avançadas de processamento são aplicadas para transformá-lo em pó. Métodos como a secagem por atomização (Muthukumar; Tranchant, 2020) e a liofilização (Nowak; Jakubczyk, 2020) não só facilitam o armazenamento e transporte, mas também elevam seu valor agregado, ampliando suas possibilidades de uso em formulações de novos produtos e alimentos funcionais, atendendo às demandas do mercado (Boylston, 2019).

O desenvolvimento de bebidas lácteas fermentadas exemplifica bem o potencial do leiteiro. Uma bebida fermentada contendo leiteiro, probióticos e raiz de beterraba vermelha demonstrou alto valor nutricional e boa aceitabilidade, indicando a possibilidade de criar produtos simbióticos (Hashem, 2018). Da mesma forma, uma bebida fermentada com leiteiro, cevada e frutooligossacarídeo também obteve resultados positivos em termos de aceitação sensorial, sem gosto residual ou sensação desagradável (Sheth; Hirdyani, 2016).

Na fabricação de sorvetes, o leiteiro tem mostrado benefícios significativos. Um estudo sobre sorvetes com teor reduzido de gordura, utilizando leiteiro e aveia, revelou que a fórmula com 4% de farinha de aveia foi a mais bem aceita sensorialmente, oferecendo uma opção inovadora e saudável (Kumari; Wijayasekara; Liyanapathirana, 2022). Outra pesquisa mostrou que a incorporação de leiteiro em pó em concentrações de 5% a 40%, substituindo parte do leite em pó desnatado, resultou em maior índice de consistência, teor de gordura e cinzas, além de reduzir a separação de fases e a dureza do sorvete (Özsungur; Kanca; Gürsoy, 2022). A substituição total do leite desnatado por leiteiro também obteve melhor aceitação sensorial e maior intenção de compra (Ramos *et al.*, 2021).

Em demais produtos lácteos como o iogurte desnatado, a adição de leiteiro reduz a acidez, intensifica o aroma e sabor leitoso e melhora as propriedades texturais (Zhao *et al.*, 2018). A incorporação de leiteiro em pó (0,5% a 4%) acelera a fermentação, aumenta a viscosidade e a retenção de água, e reduz a separação do soro, promovendo maior firmeza e

estabilidade durante o armazenamento (Zhao; Feng; Mao, 2020). Em relação aos queijos, a avaliação de diferentes tipos de leite para a produção de queijo Quark mostrou que o tipo de leite afeta a dureza, adesividade e coesão do queijo, mas todos mantiveram alta qualidade sensorial (Skryplonek; Dmytrów; Mituniewicz-Małek, 2019).

Na panificação, o leite também tem mostrado resultados promissores como ingrediente funcional. A incorporação de 50% e 100% de leite em massas para pães demonstrou viabilidade e boa aceitação, com a formulação de 50% sendo a mais destacada. A presença de cálcio no leite resultou em um aumento desse nutriente nas amostras comparadas ao padrão, indicando benefícios nutricionais (Gonzales *et al.*, 2009). Outro estudo sobre a adição de leite em pão de forma e pão sírio revelou que a inclusão de 30%, 60% e 90% de leite aumentou as concentrações de proteínas, lipídios e minerais, com a formulação de 30% sendo a mais adequada (Al-Jahani, 2017).

Na área de confeitaria e chocolates, formulações de chocolates ao leite composto foram investigadas utilizando um planejamento de misturas de leite, soro de leite e leite, todos em pó. Os resultados indicaram que a combinação de leite, soro de leite e leite resultou em maior aceitabilidade pelos consumidores, em comparação ao chocolate produzido apenas com leite, sugerindo a viabilidade de adicionar esses compostos ao chocolate (Rasouli Pirouzian *et al.*, 2021).

Além disso, uma abordagem inovadora para o leite é sua utilização em pó para a encapsulação e entrega de bioativos. Augustin *et al.*, (2015) exploraram essa possibilidade ao usar leite integral para microencapsular óleo de ômega-3, tanto sozinho quanto combinado com xarope de glicose. Os resultados mostraram que, em ambos os casos, o leite melhorou a estabilidade oxidativa das emulsões e pós. Zhang *et al.*, (2020) também investigaram a microencapsulação de óleo de algas utilizando leite, alcançando uma eficiência de encapsulamento de 89,6–94,3% e boa estabilidade de oxidação. Essa técnica não só protege bioativos sensíveis, mas também amplia as aplicações do leite em produtos alimentícios inovadores, oferecendo valor agregado e benefícios nutricionais.

O alto teor de compostos bioativos e a versatilidade das propriedades tecnológicas fazem com que o leite seja uma oportunidade de inovação na indústria alimentícia. Nesse contexto, sua incorporação em alimentos amplamente consumidos, como massas alimentícias, pode agregar benefícios nutricionais significativos e aprimorar a qualidade desses produtos.

3.2.5 Massas alimentícias

As massas alimentícias estão entre os produtos básicos mais populares e consumidos globalmente, destacando-se por sua versatilidade, praticidade e sabor (Mercier *et al.*, 2016). A produção em escala global é expressiva, com milhões de toneladas fabricadas anualmente para suprir a alta demanda, atingindo 16,9 milhões de toneladas em 2022 (Ipo, 2024). A Itália é o líder global tanto em produção quanto em consumo de massas, seguida por países como os Estados Unidos, Brasil, Turquia e Rússia (Bresciani; Pagani; Marti, 2022).

No Brasil, a legislação define as massas alimentícias como produtos elaborados a partir de farinha de trigo (*Triticum spp.*), derivados de trigo durum (*Triticum durum* L.), ou de outros cereais, leguminosas, raízes ou tubérculos. Elas podem ser secas, frescas, pré-cozidas, instantâneas ou prontas para consumo, e em diferentes formatos e recheios (Brasil, 2022). O trigo comum e o trigo durum são as duas variedades predominantes, sendo a semolina, derivada do trigo durum, preferida para massas de alta qualidade devido à sua alta concentração de glúten e cor amarela conferida pelos carotenoides (Bustos; Perez; Leon, 2015; Kadam; Prabhasankar, 2010). No entanto, o trigo durum representa apenas cerca de 5% da produção mundial, tornando-o mais caro que o trigo comum (kadam; Prabhasankar, 2010).

O grão de trigo é composto por 2-3% de germe, 13-17% de farelo e 80-85% de endosperma, sendo uma rica fonte de nutrientes, incluindo carboidratos, principalmente na forma de amido, proteínas, vitaminas do complexo B (tiamina, riboflavina, niacina e piridoxina), vitamina E (tocoferol), além de minerais essenciais, como ferro e zinco (Garg *et al.*, 2021; Khalid; Hameed; Tahir, 2023). No entanto, durante a moagem para a produção de farinha, muitos desses nutrientes são perdidos, devido à remoção do farelo e do germe, resultando em uma farinha rica em carboidratos, mas deficiente em nutrientes essenciais (Garg *et al.*, 2021; Khalid; Hameed; Tahir, 2023).

Para compensar perdas nutricionais, massas alimentícias, tradicionalmente feitas com farinha e água, podem ser enriquecidas com ingredientes alternativos. Segundo a Food and Drug Administration, as massas são um veículo eficaz para adicionar compostos funcionais, devido ao seu consumo global e alta aceitação (Chillo *et al.*, 2008; Nilusha *et al.*, 2019). O uso de leiteiro surge como uma alternativa promissora, pois, além de reaproveitar um coproduto que seria descartado, agrega valor funcional ao produto final. A Tabela 4 resume estudos sobre massas enriquecidas com compostos como antioxidantes, fibras e proteínas, destacando seus efeitos nutricionais, tecnológicos e sensoriais.

Tabela 4. Compostos funcionais utilizados na funcionalização de massas alimentícias, com indicação de seus principais componentes funcionais, seu nível de enriquecimento, efeitos nutricionais e tecnológicos e sensoriais do produto final da massa alimentícia

Ingrediente adicionado	Composição funcional	Nível de enriquecimento	Efeitos nutricionais	Efeitos tecnológicos e sensoriais	Referência
Casca de aveia micronizada	Fonte de fibra alimentar insolúvel, ácidos fenólicos e flavonoides	Substituição de 5, 10, 15 e 20 g/100 g da farinha de trigo comum	Aumento dos teores de cinzas e fibras; diminuição de proteína e lipídios; aumento de fenólicos, atividade antioxidante e ácido ferúlico	Redução da leveza; diminuição da força de alongamento; aumento da perda por cozimento; boa aceitação até 10 g de casca/100 g de farinha com declínio em níveis mais altos	(Biernacka <i>et al.</i> , 2023)
Resíduos de processamento de tomate e pimentão	Alta concentração de proteína: Tomate 17–23% (semente e casca) e pimenta (28,38% (placenta) e 28,31% (sementes); fonte de fibra alimentar	Adição de 10%, 20% e 30% dos resíduos	Aumento do teor de proteínas e fibra; lisina permanece como aminoácido limitante	Propriedades de cozimento favoráveis	(Tetrycz; Sobota, 2023)
Encapsulados liofilizado e secos por pulverização de resíduos de cenoura	Carotenoides (principalmente beta-caroteno) e fibras alimentares	Substituição de 10 e 20% da semolina	Aumento de proteínas, lipídios, cinzas e carotenoides; atividade antioxidante aumentada	Melhor qualidade de cozimento; cor mais intensa (amarelo); aparência cerosa e menor pegajosidade; propriedades texturais aceitáveis	(Šeregelj <i>et al.</i> , 2022)
Broto de moringa	Proteínas e compostos bioativos (GABA e GLS) e atividade antioxidante	Substituição de 0, 5%, 10%, 15%, 20% e 30% da semolina e trigo comum	Aumento de proteínas, lipídios, minerais, fibras, tiamina e riboflavina; aumento da atividade antioxidante e compostos bioativos	Diminuição da dureza, elasticidade, pegajosidade e mastigabilidade; boas propriedades sensoriais com até 10% de MSP	(Coello <i>et al.</i> , 2021)

(Continua)

Tabela 4 (continuação)

Amostra	Composição funcional	Nível de enriquecimento	Efeitos nutricionais	Efeitos tecnológicos e sensoriais	Referência
Spirulina platensis	Proteínas (46-63%), ácidos graxos essenciais, vitaminas (B12, A, C, E), minerais (ferro, cálcio, magnésio, potássio), antioxidantes (ficocianina, carotenoides, compostos fenólicos)	Substituição de 0%, 2.5%, 5.0%, 7.5%, e 10% da semolina	Aumento do teor de proteínas e antioxidantes; aumento dos compostos fenólicos	Melhoria na qualidade de cozimento, redução na estabilidade da massa sensorial aceitável até 5%	(Hussien <i>et al.</i> , 2021)
Isolado proteico de quinoa	Alto teor de proteína e considerada uma boa fonte de lisina, histidina e metionina	Adição de 4,0, 8,0 e 12,0 g/100 g	Aumento significativo do teor de proteína	Aumento do tempo de cozimento, índice de inchaço, absorção de água, perda de cozimento e perda de proteína; diminuição do índice de brancura e viscosidade. Firmeza aumentada; pontuações sensoriais melhores até 8,0g	(Gupta; Sharma; Reddy Surasani, 2021)
Linhaça	Fonte de proteínas, ácidos graxos essenciais (ALA), fibras, lignanas	Substituição de 5%, 9%, 13%, 17%, 20% e 23%	Aumento de fibras alimentares, ômega-3, proteínas e antioxidantes	Coloração mais escura (vermelho/acastanhado), textura mais macia, maior absorção de água, menor firmeza	(Zarzycki <i>et al.</i> , 2020)
Aspargos de plantas não comerciais	Alto valor nutricional e compostos fenólicos com alta atividade antioxidante	Substituição de 5, 10, 15, 20 e 25% da semolina	Aumento do teor de proteína, da capacidade antioxidante e dos compostos bioativos	Diminuição do tempo de cozimento; aumento das perdas por cozimento; diminuição da absorção de água; aumento da firmeza e dureza e coloração amarelo-esverdeada ao produto	(Vital <i>et al.</i> , 2020)

(Continua)

Tabela 4 (continuação)

Amostra	Composição funcional	Nível de enriquecimento	Efeitos nutricionais	Efeitos tecnológicos e sensoriais	Referência
Casca de uva e soro de leite em pó	Casca de uva (fibras alimentares e compostos fenólicos com altas atividades antioxidantes); soro de leite (proteínas)	Substituição de até 15% do soro de leite e até 3% da casaca de uva da mistura de farinha de amido de milho	Melhoria no valor nutricional com possível aumento de proteínas, cálcio, fibras e antioxidantes	Menor tempo e perda de cozimento; massa menos firme e superfície mais lisa; cor amarelada; melhor sabor e textura	(Ungureanu-Iuga; Dimian; Mironeasa, 2020)
Soro doce liofilizado	Altos níveis de proteínas essenciais	Substituição de 20% da semolina	Aumento do teor de proteínas e cinzas	Aumento significativo da espessura da massa; cor amarelada; aumento do tempo de cozimento, maior absorção de água e menor índice de inchaço; aceitação sensorial elevada	(Boudalia <i>et al.</i> , 2020)
Isolado proteico de pangas (<i>Pangasius Pangasius</i>)	Fonte de proteínas e outros nutrientes	Adição de 0, 2,5, 5,0, 7,5 e 10,0 (g/100 g)	Aumento de proteína, antioxidantes e compostos bioativos	Menor tempo de cozimento, maior perda por cozimento, menor absorção de água, aumento de firmeza	(Reddy Surasani <i>et al.</i> , 2019)
Farinha de tilápia (<i>Oreochromis niloticus</i>)	Altos níveis de aminoácidos essenciais e ácidos graxos poliinsaturados	Substituição de 6, 12, 17, e 23% da farinha de trigo	Aumento dos teores de proteínas, lipídios, cinzas, aminoácidos essenciais totais e ácidos graxos poliinsaturados totais	Melhor textura do produto; coloração mais clara; propriedades sensoriais aceitáveis até 12%; diminuição da absorção de água, menor perda de nutrientes durante o cozimento	(Monteiro <i>et al.</i> , 2016)

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Manuscrito 1

Análise cienciométrica

A análise foi realizada utilizando o pacote *bibliometrix* (versão 4.3.0) do R (versão 4.4.1), mapeando cientificamente os estudos sobre MGGL. A pesquisa se concentrou na Web of Science, com a consulta de 779 documentos a partir de termos como “MFGM” OR “Milk Fat Globule Membrane”. O software VOSviewer (versão 1.6.20) foi desenvolvido para criar mapas de rede baseados nas palavras-chave dos artigos, permitindo a visualização das principais áreas e temas emergentes, além de informações sobre a produção científica global.

Prospecção tecnológica

A prospecção de patentes foi realizada na base The Lens, utilizando os termos “MFGM” OR “Milk Fat Globule Membrane” nos campos “Título, Resumo e Reivindicações”. Foram encontrados inicialmente 246 documentos, dos quais 183 foram selecionados após desduplicação e filtragem por relevância. As patentes foram analisadas quanto à evolução anual, país de origem, depositantes e áreas de aplicação.

4.2. Manuscrito 2

Materiais

A farinha de sêmola de trigo foi adquirida do Empório Dagy (São Paulo, SP, Brasil). O leiteiro em pó foi obtido da Hencke Import (Curitiba, PR, Brasil), enquanto o sal refinado e o óleo vegetal foram adquiridos em mercados locais (Feira de Santana, BA, Brasil). Todos os reagentes químicos utilizados nas análises laboratoriais eram de grau analítico.

Parâmetros tecnológicos dos materiais-primas

A capacidade de absorção de água (CAA) e de óleo (CAO) foram determinadas com base no método adaptado de Batham *et al.* (2013). Para isso, amostras de farinha de sêmola e leiteiro foram misturadas com água ou óleo, centrifugadas e secas em estufa. A CAA e a CAO foram calculadas com base na diferença de peso antes e depois do processo.

Análise reológica das massas alimentícias, modelagem estatística e validação experimental

Para avaliar os efeitos do leiteiro nas propriedades reológicas da semolina e determinar a concentração ideal da formulação, foram realizados testes de resistência à extensão e

extensibilidade, que analisam a força e a flexibilidade da rede de glúten nas massas (Boita *et al.*, 2016). As massas foram preparadas com diferentes concentrações de leiteiro (0%, 5%, 10%, 15% e 20%) e água contendo 2% de cloreto de sódio. A mistura foi feita em uma batedeira planetária até obter uma massa homogênea. Após a mistura, as massas foram prensadas e deixadas em repouso por 45 minutos para hidratação. A análise reológica foi realizada utilizando um analisador de textura (TA-XT Plus, Stable Micro Systems), com parâmetros estabelecidos.

A modelagem estatística foi utilizada para determinar a concentração ideal de leiteiro, considerando os melhores resultados de resistência e extensibilidade. A validação experimental foi feita comparando os valores preditos com os experimentais.

Formulação e desenvolvimento das massas

Duas formulações de massa foram desenvolvidas: um controle (sem leiteiro) e uma com concentração ideal de leiteiro. A farinha e o sal foram misturados inicialmente, e depois a água foi adicionada, seguida pelo óleo vegetal. A massa foi processada por 4 minutos até atingir consistência e extrudada no formato talharim. As massas foram secas a 60°C por 3 horas e armazenadas em sacos plásticos até as análises.

Propriedades tecnológicas da massa

Propriedades de cozimento

O tempo de cozimento foi determinado pela gelatinização completa do amido, observada pela ausência de núcleo branco no centro da massa. A absorção de água foi calculada pela diferença de peso entre a massa cozida e crua, e a expansão de volume foi medida com base no deslocamento de água antes e após o cozimento. A perda de cozimento foi determinada pela secagem dos resíduos sólidos da água de cozimento em estufa a 105°C até peso constante.

Propriedades físico-químicas da massa

Análise de perfil de textura

A textura da massa cozida foi avaliada usando um texturômetro (Stable Micro Systems, Reino Unido), equipado com uma célula de carga de 5 kg e uma sonda Light Knife Blade (A/LKB), que mede a firmeza (g) e força de cisalhamento (g·cm). A análise foi realizada após a estabilização das amostras, com parâmetros pré-estabelecidos.

Cor

A cor das massas foi determinada com um colorímetro Konica Minolta® CR-400, registrando as coordenadas CIELab (luminosidade, tonalidade vermelha/verde e amarela/azul). A diferença de cor entre a formulação controle e o leiteiro foi calculada utilizando a fórmula ΔE^* .

Composição nutricional

A composição nutricional foi determinada conforme normas ISO (2014; 2023) e AOAC (2000), incluindo umidade, lipídios totais, proteínas e cinzas. O teor de carboidrato foi estimado por diferença, e o valor energético foi calculado com base em fatores de conversão de proteínas, carboidratos e lipídios. Os resultados foram expressos em matéria seca.

Análise estatística

Os dados foram analisados utilizando médias e desvios padrão das triplicadas. A análise de regressão, com o procedimento PROC MIXED do software *Statistical Analysis System* (SAS Studio, versão online), foi utilizada para avaliar a concentração ideal de leiteiro, e o teste T de Student, através do software *Jamovi* (versão 2.3.28), foi aplicado para comparar as médias entre as formulações. O nível de significância adotado foi de 5% ($p \leq 0,05$). As figuras foram geradas com o software Origin 9.

5 RESULTADOS

Como resultado desta dissertação, foram produzidos dois (2) manuscritos em processo de publicação. O primeiro aborda a prospecção dos compostos bioativos da MGGL e principais áreas de aplicações, enquanto o segundo foca no desenvolvimento experimental de massas alimentícias com adição de leite.

5.1

Manuscrito: Membrana do glóbulo de gordura do leite: uma abordagem cienciométrica e tecnológica

1 **Membrana do glóbulo de gordura do leite: uma abordagem cienciométrica e tecnológica**

2
3 Sthefane Pires dos Santos^a, Carolina Oliveira de Souza^{a-b}, Camila Duarte Ferreira Ribeiro^{a-c},
4 Cláudio Vaz Di Mambro Ribeiro^{a-d*}

5
6 ^a Programa de Pós-graduação em Ciências de Alimentos (PGALI), Faculdade de Farmácia,
7 Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia, Brasil.

8 ^b Departamento de Análises Bromatológicas, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia,
9 Brasil.

10 ^c Departamento de Ciências dos Alimentos da Escola de Nutrição, Universidade Federal da
11 Bahia, Salvador, Bahia, Brasil.

12 ^d Departamento de Zootecnia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia, Brasil.

13
14
15
16
17

<i>Periódico a ser submetido (1ª submissão):</i> <i>Journal of the Science of Food and Agriculture (ISSN: 1097-0010)</i>
--

<i>Maior percentil (Scopus):</i> <i>90%; 40/406; Agronomy and Crop Science</i>
--

18
19
20
21
22
23
24 ***Autor Correspondente:** *Cláudio Vaz Di Mambro Ribeiro (Departamento de Zootecnia,*
25 *Universidade Federal da Bahia, Avenida Adhemar de Barros, 500, Ondina, 44170-110,*
26 *Salvador, Bahia, Brasil. E-mail: claudioribeiro@ufba.br*

27 RESUMO

28 A membrana do glóbulo de gordura do leite (MGGL) é uma estrutura trilaminar complexa,
29 composta por fosfolipídios, glicoproteínas e outros componentes bioativos, conferindo
30 propriedades nutricionais, funcionais e tecnológicas. O interesse científico e tecnológico por
31 esse componente tem crescido significativamente, refletido tanto no aumento de publicações
32 acadêmicas quanto no número de patentes registradas. Esta revisão analisou a evolução do
33 conhecimento sobre a MGGL, com um mapeamento de artigos científicos e patentes. Observou-
34 se um crescimento contínuo de publicações desde o início dos anos 2000, com destaque para
35 os anos de 2022 e 2023. No campo das patentes, o ano de 2021 representou o ápice dos
36 depósitos. O *Journal of Dairy Science* foi identificado como o periódico com maior volume de
37 publicações sobre o tema. Globalmente, China e Estados Unidos se consolidaram como líderes
38 tanto na produção científica quanto na inovação tecnológica associada à MGGL. A MGGL vem
39 se consolidando como um ingrediente estratégico, especialmente em fórmulas infantis e
40 produtos funcionais. As perspectivas futuras envolvem a padronização da composição, a
41 otimização dos métodos de extração e a ampliação de suas aplicações em novas matrizes
42 alimentares, reforçando seu valor no setor de ingredientes bioativos.

43
44 **Palavras-chaves:** MGGL; laticínio; composto bioativo; inovação; patentes.

46 INTRODUÇÃO

47 O leite é um sistema coloidal complexo, constituído por uma fase aquosa contendo
48 gotículas lipídicas, carboidratos, proteínas, minerais e vitaminas (Pietrzak-Fiećko; Kamelska-
49 Sadowska, 2020). As gotículas de gordura, que representam mais de 98% da fração lipídica do
50 leite na forma de triglicerídeos, são envolvidas por uma estrutura biológica denominada
51 Membrana do Glóbulo de Gordura do Leite (MGGL; Lopez, 2010). Com espessura variando
52 de 10 a 50 nm e correspondendo a até 6% da massa dos glóbulos de gordura, a MGGL
53 desempenha um papel fundamental na estabilidade do leite, atuando como uma interface
54 funcional que previne a coalescência das gotículas e a degradação enzimática (Dewettinck *et*
55 *al.*, 2008; Lopez, 2011; Thum *et al.*, 2023).

56 A MGGL é composta por uma matriz complexa de fosfolipídios, glicoproteínas e outras
57 biomoléculas, que confere propriedades nutricionais e funcionais e tecnológicas únicas (Wang
58 *et al.*, 2022). Estudos apontam que seus componentes apresentam bioatividade relevante,
59 incluindo atividade antimicrobiana (Clare *et al.*, 2008; Ozturk *et al.* 2022), propriedade anti-
60 inflamatória (Wu *et al.*, 2022) e efeito imunomodulador (Zhang *et al.*, 2020; Kosmerl, Miller e
61 Jiménez-Flores, 2024). Essas características têm despertado interesse crescente na MGGL
62 como fonte de ingredientes funcionais e saudáveis, alinhando-se às demandas globais por
63 alimentos que promovam a saúde e o bem-estar.

64 Embora a composição e a bioatividade da MGGL tenham sido amplamente estudadas,
65 uma análise integrada sobre seu impacto científico e tecnológico ainda é escassa. A maioria das

66 revisões existentes foca nos aspectos bioquímicos e funcionais da MGGL, mas não explora
67 como o conhecimento científico tem evoluído ao longo do tempo ou como ele está sendo
68 traduzido em inovações tecnológicas.

69 Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo preencher essa lacuna por meio de uma
70 análise cienciométrica e de prospecção tecnológica. A ciencimetria permitirá mapear a
71 evolução das pesquisas sobre a MGGL, enquanto a prospecção tecnológica revelará como esse
72 conhecimento está sendo aplicado na prática. Essa abordagem integrada fornecerá um
73 panorama estratégico para futuras investigações e desenvolvimentos, contribuindo tanto para o
74 avanço científico quanto para a inovação industrial.

75

76 **ASPECTOS METODOLÓGICOS**

77 *Análise cienciométrica*

78 O mapeamento científico foi conduzido usando o pacote *bibliometrix* (versão 4.3.0)
79 implementado no R 4.4.1, devido a sua capacidade de fornecer ferramentas robustas para
80 análise e visualização de dados bibliográficos (Aria; Cuccurullo, 2017). A análise considerou
81 os estudos indexados na base Web of science, devido à sua cobertura abrangente e enfoque
82 multidisciplinar. A estratégia de busca incluiu a combinação dos termos (“MFGM” OR “Milk
83 Fat Globule Membrane”), utilizando operadores booleanos “OR” para refinamento das buscas
84 conforme Rojas (2017), além de delimitadores como aspas duplas e parênteses, para busca por
85 frases exatas e organização dos termos e operadores. Essa abordagem permitiu a recuperação
86 de 779 documentos.

87 Para a análise de redes e visualização de dados, foi utilizado o
88 software *VOSviewer* (versão 1.6.20), projetado para criar e explorar mapas de redes
89 bibliográficas (Van Eck; Waltman, 2010). A partir das palavras-chave (“MFGM” OR “Milk
90 Fat Globule Membrane”) extraídas dos artigos científicos, gerou-se um mapa de rede que
91 permitiu identificar as principais áreas de pesquisa e temas emergentes relacionados à MGGL.
92 Dessa forma, a análise cienciométrica abrangeu categorias como: evolução anual dos artigos e
93 citações; principais revistas e países, além da análise de coocorrência de palavras-chave.

94

95 *Prospecção tecnológica*

96 Para o mapeamento de patentes utilizou-se a plataforma *The Lens*, que compila
97 informações de patentes provenientes do Escritório Europeu de Patentes, do Escritório
98 Americano de Marcas e Patentes, do Escritório Australiano de Patentes e da Organização
99 Mundial da Propriedade Intelectual (Pires; Ribeiro; Quintella, 2020).

100 A pesquisa foi realizada entre março e abril de 2024, empregando os termos “MFGM”
 101 OR “Milk Fat Globule Membrane” no campo de busca “Título, Resumo e Reivindicações”.
 102 Para garantir a precisão dos resultados, foram considerados documentos agrupados por famílias
 103 simples, abrangendo todas as patentes com a mesma prioridade ou combinação, totalizando 246
 104 documentos iniciais. Após processo de desduplicação e exclusão de documentos sem resumo,
 105 reivindicações, ou que não se alinhavam ao tema proposto, foram selecionados 183 documentos
 106 de patentes para análise final.

107 O termo "documento de patentes" refere-se tanto patentes concedidas quanto a pedidos
 108 de patente em análise. As informações extraídas incuíram: evolução anual dos depósitos; países
 109 de origem e área de aplicação tecnológica e principais depositantes.

110

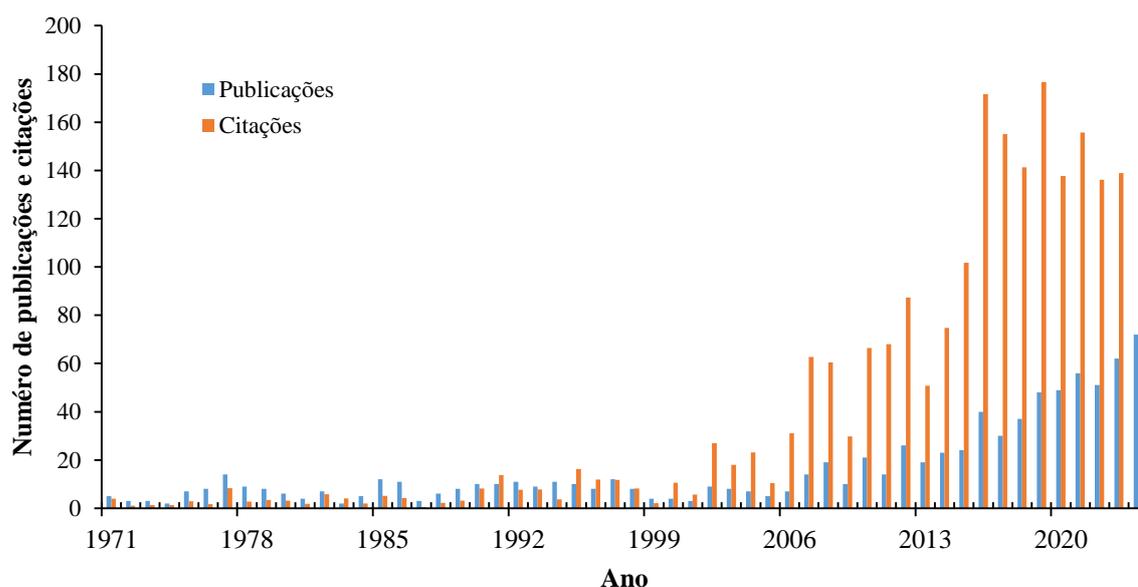
111 **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

112 **Análise cienciométrica**

113 *Evolução anual da produção científica e citações*

114 A análise cienciométrica revelou uma evolução significativa no número de publicações
 115 e citações sobre a MGGL ao longo das últimas cinco décadas (Fig. 1). Entre 1971 e 1990, o
 116 volume de publicações foi modesto, variando de 2 a 14 artigos por ano, com uma média anual
 117 de aproximadamente 7 publicações. Esse período inicial foi marcado por um número limitado
 118 de citações, refletindo o estágio embrionário das pesquisas sobre a MGGL.

119



120

121 **Fig. 1.** Evolução temporal das publicações científicas e citações sobre estudos sobre a
 122 membrana do glóbulo de gordura do leite

123

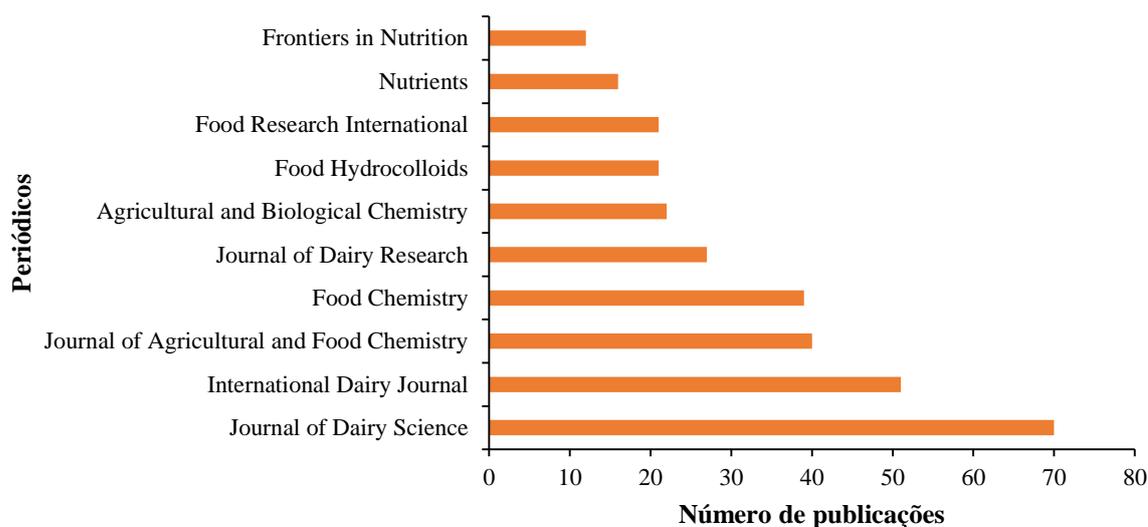
124 A partir dos anos 1990, observou-se um aumento gradual no número de publicações,
125 com uma média anual de 10 artigos. No entanto, nos anos 2000 o campo passou a apresentar
126 um crescimento exponencial impulsionado pelo avanço de técnicas analíticas que
127 possibilitaram uma caracterização mais detalhada de seus componentes bioativos como
128 fosfolipídios e glicoproteínas (Dewettinck *et al.*, 2008; Le *et al.*, 2009; Spitsberg, 2005). Nesse
129 período, o número de publicações anuais aumentou de 4 para 21, enquanto o número de citações
130 passou de 11 para 66, proporcionando uma ampliação da visibilidade científica do tema.

131 Entre 2010 e 2024, o ritmo de publicações intensificaram-se ainda mais, refletindo o
132 crescente interesse da comunidade científica na MGGL como fonte de compostos bioativos e
133 suas aplicações (Guerin *et al.*, 2017; Le; Van Camp; Dewettinck, 2014; Wilmot *et al.*, 2024;
134 Yao *et al.*, 2024). O número de publicações atingiu seu pico em 2024, com 72 artigos, enquanto
135 os anos de 2016 e 2019 registram os maiores volumes de citações (172 e 177 respectivamente).
136 Esses picos sugerem não apenas o aumento do interesse na MGGL, mas também uma
137 publicação de estudos de alto impacto que estabeleceram bases para novas investigações na
138 área.

139

140 *Principais revistas científicas*

141 Uma análise das principais revistas científicas que publicam estudos sobre a MGGL
142 demonstra a concentração da pesquisa em periódicos de destaque na área de ciência de
143 laticínios, tecnologia de alimentos e nutrição (Fig. 2). O *Journal of Dairy Science*[®] e o
144 *International Dairy Journal* têm sido os principais periódicos na divulgação de pesquisas sobre
145 a sobre a MGGL, devido aos seus escopos voltados para pesquisas sobre ciência e tecnologia
146 de laticínios, o que justifica o destaque dado à MGGL.



147

148 **Fig. 2.** Principais periódicos e número de publicações sobre membrana do glóbulo de gordura
149 do leite

150

151 O *Journal of Agricultural and Food Chemistry* e *Food Chemistry* demonstram a
152 crescente interseção entre a ciência de laticínios e a química de alimentos, destacando a
153 importância dos estudos sobre a composição bioquímica da MGGL. Outros periódicos de
154 destaque incluem o *Journal of Dairy Research*, *Agricultural and Biological Chemistry*, *Food*
155 *Hydrocolloids* e *Food Research International*, evidenciando o interesse em propriedades
156 estruturais e funcionais da MGGL. Além disso, revistas como *Nutrients* e *Frontiers in Nutrition*
157 indicam um crescente interesse na MGGL sob a perspectiva da nutrição e seus potenciais
158 benefícios à saúde.

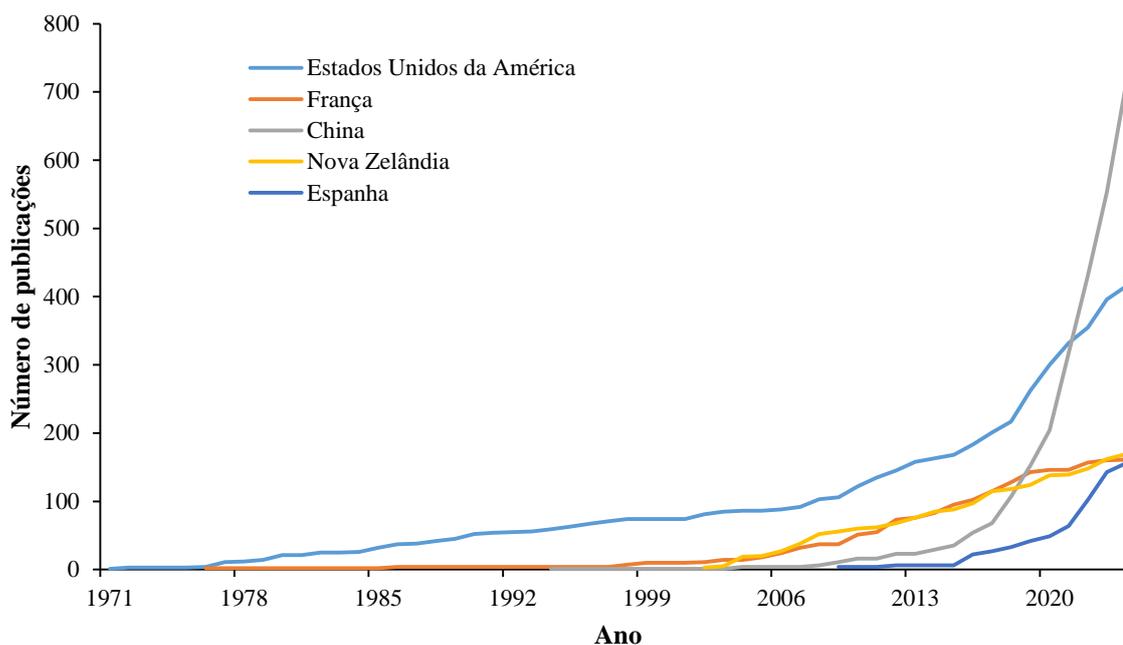
159 Esse panorama reforça a importância da MGGL como um campo de pesquisa
160 interdisciplinar, abrangendo desde a química e tecnologia de alimentos até a nutrição e
161 biotecnologia.

162

163 *Principais países*

164 A distribuição geográfica das publicações sobre a MGGL passou por mudanças
165 significativas ao longo das décadas, refletindo a evolução da pesquisa global. Estados Unidos,
166 França, China, Nova Zelândia e Espanha se destacam como os principais contribuidores nesse
167 campo (Fig. 3).

168



169

170 **Fig. 3.** Distribuição geográfica das publicações sobre a membrana do glóbulo de gordura do
 171 leite ao longo dos anos

172

173 Os Estados Unidos lideram historicamente a produção científica na área, passando de
 174 1 publicação em 1971 para 415 em 2024, impulsionados por investimento em pesquisa e
 175 desenvolvimento. A França também apresentou um aumento contínuo na produção acadêmica,
 176 aumentando de 11 publicações em 2002 para 161 em 2024, consolidando-se como um dos
 177 principais centros de estudo sobre a MGGL.

178

179 Nos últimos anos, a China emergiu como protagonista, registrando um crescimento
 180 exponencial desde 2016. Com 713 publicações em 2024, o país ultrapassou os Estados Unidos
 181 e assumiu a liderança global. Esse avanço reflete o alto investimento chinês em ciência e
 182 inovação. A Nova Zelândia também demonstrou um crescimento expressivo, passando de 3
 183 publicações em 2002 para 169 em 2024. A Espanha seguiu um caminho semelhante, saindo de
 184 4 publicações em 2009 para 156 em 2024, demonstrando um fortalecimento contínuo da
 185 pesquisa nacional.

185

186 O crescimento acelerado da China e a consolidação de países como Estados Unidos,
 187 França e Nova Zelândia evidenciam o aumento do interesse global pela MGGL. Esse avanço
 188 reforça sua importância como um campo estratégico para inovação.

188

189 *Análise de Coocorrência de Palavras-Chave*

209 Além disso, termos como *aging, memory e healthy adults*, indicam um crescente interesse nos
210 efeitos da MGGL nos processos de envelhecimento e saúde geral.

211 O segundo agrupamento, em verde, concentra-se na composição bioquímica e estrutural
212 da MGGL, evidenciado por termos como *bovine, secretion, colostrum, human milk, whey*
213 *proteins e mass spectrometry*. A presença dessas palavras-chave sugere a utilização de técnicas
214 avançadas para caracterização dos componentes proteicos e lipídicos, demonstrando a
215 importância do colostro e do leite materno como matrizes ricas em compostos bioativos
216 comparáveis à MGGL bovina.

217 No terceiro e quarto eixo, em azul claro e escuro, observa-se um foco nos aspectos
218 estruturais e tecnológicos da MGGL. O azul claro, foca na microestrutura, destacando termos
219 como *atomic force microscopy, cell membranes e size distribution*, essenciais para entender a
220 estabilidade da MGGL. Já o azul escuro abrange os processos industriais, incluindo
221 *pasteurization, homogenization, microfiltration e ultrafiltration*, que impactam sua composição
222 e funcionalidade. Esses agrupamentos evidenciam o papel da tecnologia na modificação da
223 MGGL.

224 O quinto agrupamento, em amarelo, está relacionado à bioatividade dos fosfolipídios da
225 MGGL, evidenciado por termos como *phospholipids, bioavailability, absorption,*
226 *sphingomyelin e cholesterol*. Esses compostos desempenham um papel fundamental na
227 estabilidade de membranas biológicas e na modulação de vias metabólicas, o que justifica a
228 ampliação das pesquisas sobre sua biodisponibilidade.

229 Por fim, o sexto agrupamento, em roxo, concentra-se nas tecnologias de processamento
230 do leite e seus efeitos na MGGL, com palavras-chave como *heat treatment, pasteurization,*
231 *homogenization, beta-lactoglobulin e casein*. A forte inter-relação desses termos evidencia a
232 influência das condições de processamento sobre a estrutura da MGGL, apontando para
233 possíveis modificações em suas propriedades funcionais e na preservação de seus componentes
234 bioativos.

235 Dessa forma, a análise de coocorrência demonstra que a pesquisa sobre a MGGL se
236 estrutura em torno de três grandes eixos: nutrição e saúde, com ênfase na infância e na
237 bioatividade dos seus componentes; composição e estrutura, abordando proteínas, lipídios e
238 técnicas analíticas; e processos tecnológicos, que exploram o impacto dos tratamentos
239 industriais sobre as propriedades do leite e seus derivados.

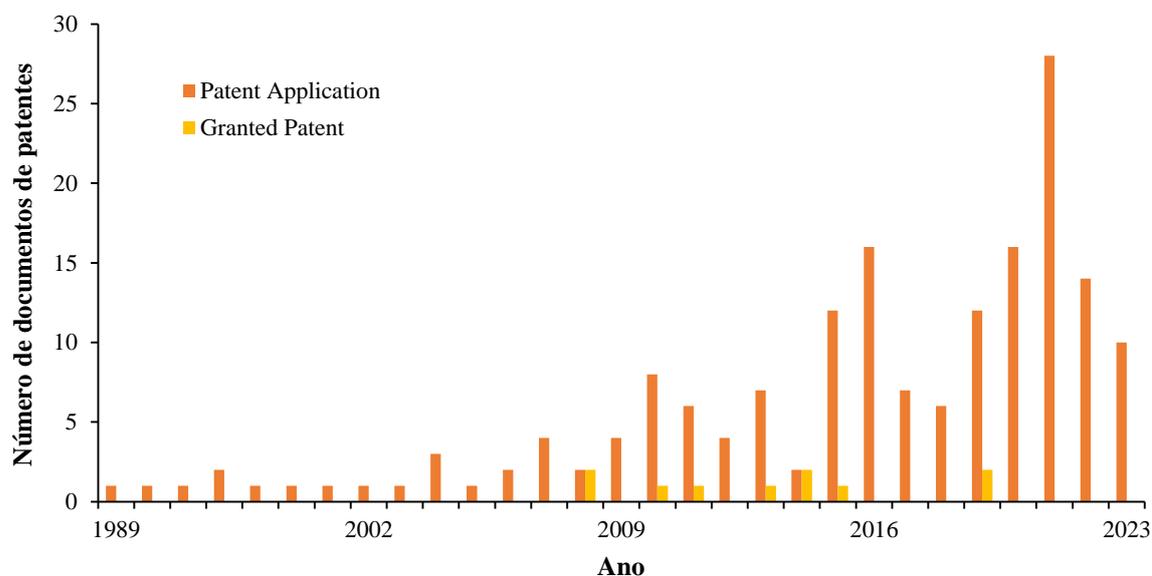
240

241 **Prospecção tecnológica**

242 *Evolução anual dos depósitos*

243 A análise dos depósitos de patentes revela uma trajetória marcada por fases distintas,
 244 refletindo o desenvolvimento gradual do interesse em aplicações tecnológicas e industriais
 245 desse componente (Fig. 5).

246



247

248 **Fig. 5.** Número de documentos de patentes com membrana de glóbulo de gordura do leite em
 249 sua formulação, acessados em The Lens

250 No período inicial, entre 1989 e 2003, o número de depósitos foi extremamente
 251 reduzido, variando entre 1 e 2 registros anuais, o que sugere que a MGGL ainda era um tema
 252 emergente, com pouca exploração comercial. A partir de 2004, houve um crescimento gradual
 253 no número de depósitos, indicando um maior reconhecimento do potencial da MGGL,
 254 impulsionado por avanços científicos e tecnológicos.

255 Entre 2010 e 2016, verificou-se um crescimento expressivo, com picos em 2010, 2015
 256 e 2016, período em que as patentes concedidas também aumentaram, indicando que as
 257 inovações começaram a ser validadas e aplicadas comercialmente. Esse avanço esteve
 258 relacionado ao desenvolvimento de novas metodologias para extração e purificação da MGGL,
 259 além da intensificação de pesquisas sobre suas funções bioativa. A partir de 2017, o número de
 260 depósitos manteve-se elevado, com picos isolados, como em 2021, que registrou o maior
 261 número de pedidos no período analisado. Esse aumento pode ser atribuído ao avanço
 262 tecnológico, à crescente competitividade do mercado e a incentivos econômicos. O declínio

263 observado em 2023 pode estar relacionado ao período de sigilo regulatório, que exige
264 confidencialidade por até 18 meses antes da publicação oficial.

265 Além do aumento progressivo dos depósitos, os dados demonstram uma clara
266 discrepância entre as solicitações e as patentes concedidas, reflexo do longo e rigoroso processo
267 de avaliação regulatória, que exige comprovação de novidade e aplicabilidade industrial.
268 Apesar dessas dificuldades, o crescimento contínuo dos depósitos de patentes reafirma a
269 relevância comercial e científica da MGGL, consolidando seu papel como um ingrediente
270 funcional estratégico.

271

272 *Países de origem*

273 A análise do perfil de patentes relacionadas à MGGL revela uma forte concentração de
274 depósitos em alguns dos principais centros de inovação global (Fig. 6).

275



276

277 **Fig. 6.** Distribuições mundiais de documentos de patentes relacionadas à membrana do glóbulo
278 de gordura do leite, obtidas no The Lens

279

280 A China se destaca como o maior depositante, refletindo seu investimento estratégico
281 em pesquisa e desenvolvimento, além de seu interesse estratégico em inovações relacionadas à
282 MGGL. Os Estados Unidos ocupam a segunda posição, com um número expressivo de pedidos,
283 dos quais uma parcela já foi concedida, evidenciando seu papel central na produção científica

284 e tecnológica. O Japão também demonstra uma participação relevante, com um volume de
285 depósitos comparável ao dos Estados Unidos.

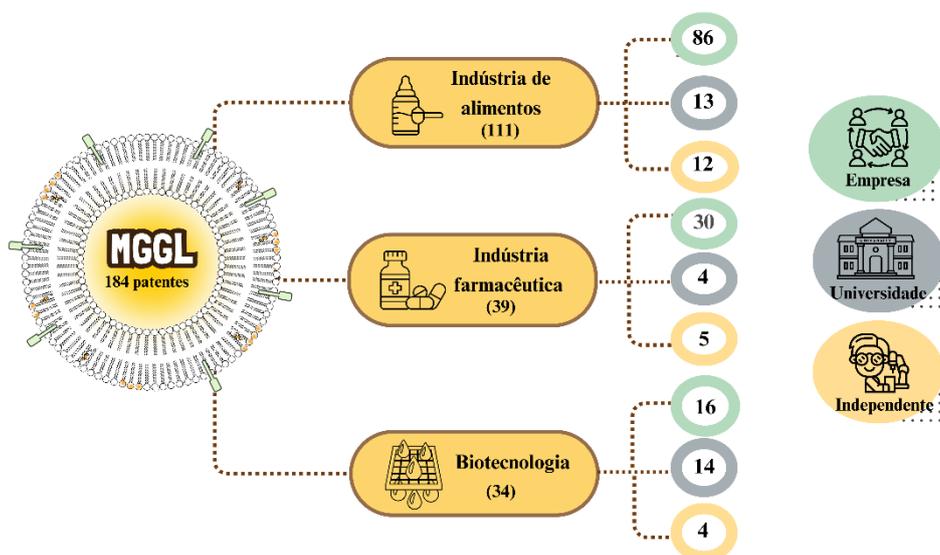
286 No cenário internacional, a World Intellectual Property Organization (WIPO) e
287 o European Patent Office (EPO) exercem influência expressiva na disseminação e proteção das
288 inovações. A WIPO, com um volume considerável de pedidos, evidencia a natureza global das
289 pesquisas e a busca por proteção de propriedade intelectual em múltiplas jurisdições. O EPO,
290 além de um número relevante de pedidos, registra um percentual relevante de patentes
291 concedidas, destacando-se como um importante polo de validação tecnológica. Esses dados
292 demonstram o interesse crescente e a competitividade internacional em torno das aplicações da
293 MGGL.

294

295 *Área de aplicação tecnológica*

296 A análise da distribuição dos documentos de patentes revela um forte foco em inovação,
297 com aplicações diversificadas nos setores de alimentos, farmacêutico e biotecnológico (Fig. 7).

298



299

300 **Fig. 7.** Concentração de áreas e distribuição dos requerentes de patentes sobre membrana de
301 glóbulos de gordura do leite, obtidas do The Lens

302

303 A indústria de alimentos lidera com 111 patentes, destacando-se o interesse na MGGL
304 como um ingrediente funcional em produtos lácteos e fórmulas infantis. Exemplos notáveis
305 incluem patentes como EP3362061B1 (Marleen *et al.*, 2016); CN106359604A (Lijun *et al.*,
306 2016); CN115191604A (Yong *et al.*, 2022); CN116711781A (Xiaonan *et al.*, 2023), além de

307 sua incorporação em bebidas funcionais (CN105410572A; JP2017077185A;
308 WO2023/034317A1; Maio; Li; Eu, 2016; Ummadi et al., 2023; Yamazaki; Ito, 2017) e
309 derivados lácteos, como iogurtes (JP2017079679A; Ishida; Arai; Shioya, 2017a) e sorvetes
310 (JP2017201914A; Ishida; Arai; Shioya, 2017b).

311 O setor farmacêutico, com 39 patentes, explora as propriedades bioativas e terapêuticas
312 da MGGL, impulsionando o desenvolvimento de suplementos nutricionais e fármacos,
313 conforme demonstram patentes como WO2012/143860A1 (Jian, 2012) e EP2774615A1
314 (Satoshi *et al.*, 2012). A biotecnologia, com 34 depósitos, foca na preservação da bioatividade
315 da MGGL e em tecnologias avançadas para otimizar sua funcionalidade, como exemplificado
316 por US8734878B2 (Srinivasan, 2013) e CN114886006A (Jie; Qidan; Hongxin, 2022).

317 Em relação à titularidade das patentes, as empresas dominam o cenário, sendo
318 responsáveis pela maioria dos depósitos em todos os setores analisados. Esse protagonismo
319 empresarial destaca a busca por inovação e competitividade no mercado (Moura *et al.*, 2019).
320 As universidades, embora em menor número, contribuem significativamente para o avanço da
321 pesquisa científica aplicada, principalmente na indústria farmacêutica e biotecnológica. Já os
322 inventores independentes possuem uma participação mais limitada, mas ainda relevante,
323 demonstrando o interesse de indivíduos na exploração das propriedades da MGGL.

324

325 **Panorama científico e tecnológico**

326 A MGGL tem se consolidado como um componente de grande interesse científico e
327 tecnológico devido à sua composição e estrutura únicas, que conferem propriedades
328 tecnológicas, nutricionais e bioativas (Dewettinck *et al.*, 2008; Fong, Norris e Macgibbon,
329 2007; Spitsberg, 2005). Seu crescente reconhecimento tem estimulado a pesquisa e a inovação,
330 resultando em um aumento expressivo de patentes e na diversificação de suas aplicações
331 industriais (Singh, 2006; Kosmerl *et al.*, 2021; Wilmot *et al.*, 2024), refletindo um cenário
332 dinâmico e interdisciplinar.

333 O progresso na compreensão da MGGL está diretamente associado à evolução das
334 tecnologias analíticas e dos métodos de isolamento. Tecnologias como microfiltração e
335 ultrafiltração têm permitido a obtenção de frações mais puras da MGGL, preservando suas
336 propriedades bioativas e ampliando sua aplicabilidade industrial (Costa *et al.*, 2010; Morin *et al.*,
337 2007; Konrad; Kleinschmidt; Lorenz, 2013; Miocinovic *et al.*, 2014; Rombaut;
338 Dejonckheere; Dewettinck, 2007). Além disso, inovações recentes, como ultrassonicação e o
339 uso de leite cru minimamente processado, têm sido exploradas para otimizar a extração e
340 funcionalização da MGGL. Essas abordagens garantem maior estabilidade, biodisponibilidade

341 e preservação dos compostos bioativos, potencializando sua eficácia em diferentes aplicações
342 (Hansen *et al.*, 2020; Liu *et al.*, 2021).

343 O principal campo de aplicação da MGGL é a nutrição infantil, uma vez que sua
344 composição lipídica é semelhante à do leite materno (Sun *et al.*, 2025). Fosfolipídios,
345 esfingolipídios e gangliosídeos, essenciais para o desenvolvimento neurocognitivo e
346 imunológico, têm sido incorporados a fórmulas infantis para suprir a ausência desses
347 componentes nas opções convencionais (Nilsson, 2016). Estudos clínicos têm evidenciado os
348 benefícios da suplementação com MGGL na melhoria das funções cerebrais e na resposta
349 imunológica dos lactentes (Brink; Lönnerdal, 2018; Chen *et al.*, 2024; Colombo *et al.*, 2023;
350 Fontecha *et al.*, 2020; Gong *et al.*, 2020; Le Huërou-Luron *et al.*, 2018; Li *et al.*, 2019; Xia *et*
351 *al.*, 2021). Empresas líderes do setor, como Arla Foods e Mead Johnson Nutrition, têm investido
352 nessa área, com produtos como Lacprodan[®] MFGM-10 e Enfamil NeuroPro[™].

353 Além da nutrição infantil, a MGGL tem mostrado potencial terapêutico diversificado,
354 especialmente no suporte à função cognitiva e ao bem-estar psicológico em diferentes fases da
355 vida. O envelhecimento está associado ao declínio neurocognitivo, e a suplementação com
356 MGGL pode auxiliar na preservação das membranas neuronais, reduzindo o impacto de
357 doenças neurodegenerativas (Baliyan *et al.*, 2023; Calvo *et al.* 2023). Além disso, há evidências
358 de que sua ingestão contribui para a regulação do estresse, da ansiedade e até mesmo de
359 distúrbios do humor (Slykerman *et al.*, 2024; Davies *et al.*, 2023).

360 O avanço científico tem sido acompanhado por um crescimento expressivo no número
361 de patentes, refletindo o interesse da indústria na aplicação da MGGL em alimentos,
362 nutracêuticos e produtos farmacêuticos. Além das fórmulas infantis, novas matrizes
363 alimentares, como bebidas funcionais e suplementos nutricionais, têm incorporado a MGGL
364 devido ao seu valor agregado e benefícios comprovados à saúde. O cenário global destaca a
365 China como líder em inovação, superando os Estados Unidos em publicações e patentes desde
366 2022, impulsionada por estratégias governamentais de incentivo à pesquisa (Cao; Suttmeier;
367 Simon, 2006). Em 2022, o *Chinese Institute of Food Science and Technology* publicou um
368 consenso técnico validando a segurança e a eficácia da MGGL, consolidando o papel da China
369 na regulamentação desse ingrediente funcional (Technology Chinese, 2022).

370

371 **CONSIDERAÇÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS**

372 A MGGL tem se estabelecido como um ingrediente estratégico para diversos setores
373 industriais, impulsionado pelo avanço científico e pela inovação tecnológica. O segmento de
374 fórmulas infantis continuará sendo um dos principais direcionadores desse mercado, dado o

375 interesse crescente em replicar os benefícios nutricionais do leite materno. No entanto, para que
376 esse avanço se concretize, a padronização da composição da MGGL e a otimização dos
377 processos de extração permanecem desafios fundamentais a serem superados, garantindo sua
378 qualidade, segurança e viabilidade em larga escala.

379 Além da nutrição infantil, pesquisas recentes têm explorado novos campos de aplicação
380 da MGGL, ampliando seu potencial de impacto na saúde humana. Especialmente na área de
381 neuroproteção e saúde mental, a MGGL tem se destacado por seus possíveis benefícios na
382 prevenção de doenças neurodegenerativas e na promoção do bem-estar psicológico. Para que
383 esses avanços se traduzam em aplicações concretas, é essencial um maior investimento em
384 pesquisas clínicas e inovação tecnológica. Outra tendência relevante é a diversificação da
385 MGGL em novas matrizes alimentares, expandindo seu uso em produtos funcionais voltados
386 para diferentes públicos e necessidades nutricionais.

387 A competitividade global nesse setor tende a se intensificar nos próximos anos, com a
388 China consolidando sua posição como líder em inovação e regulamentação da MGGL. O
389 avanço tecnológico e o crescimento no número de publicações científicas e patentes reforçam
390 esse protagonismo, impulsionado por investimentos estratégicos no setor. Nesse contexto, a
391 colaboração entre pesquisa acadêmica e setor privado será essencial para transformar
392 descobertas científicas em soluções comerciais viáveis e acessíveis. Assim, com um cenário
393 promissor impulsionado pela ciência e tecnologia, a MGGL seguirá como um ingrediente
394 estratégico na formulação de produtos inovadores para saúde e bem-estar, consolidando sua
395 relevância no mercado global.

396

397 **Contribuições dos autores**

398 **Sthefane Pires dos Santos:** Conceitualização, Metodologia, Planejamento e execução dos
399 experimentos, Curadoria de dados, Análise formal, Redação, Revisão e Edição. **Camila Duarte**
400 **Ferreira Ribeiro:** Conceitualização, Metodologia, Redação, Revisão e Edição. **Carolina**
401 **Oliveira de Souza:** Conceitualização, Metodologia, Redação, Revisão e Edição. **Cláudio Vaz**
402 **Di Mambro Ribeiro:** Conceitualização, Metodologia, Planejamento e execução dos
403 experimentos, Redação, Revisão e Edição, Administração do projeto, Responsabilidade
404 principal pelo conteúdo final.

405

406 **Conflitos de interesse**

407 Todos os autores declaram não haver conflito de interesses em relação à pesquisa descrita, à
408 publicação dos resultados e a questões financeiras.

409

410 **Agradecimentos**

411 Este estudo foi financiado em parte pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível
412 Superior - Brasil (CAPES) – (nº do processo: 88887.831956/2023-00).

413

414 **REFERÊNCIA**

415 Aria, M.; Cuccurullo, C. bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping
416 analysis. **Journal of Informetrics**, [s. l.], v. 11, n. 4, p. 959–975, 2017.

417

418 Baliyan, S. *et al.* Milk fat globule membrane concentrate as a nutritional supplement prevents
419 age-related cognitive decline in old rats: a lipidomic study of synaptosomes. **Food Research**
420 **International**, [S.L.], v. 163, p. 112163, jan. 2023.

421

422 Brink, L. R.; Lönnerdal, B. The role of milk fat globule membranes in behavior and cognitive
423 function using a suckling rat pup supplementation model. **The Journal of Nutritional**
424 **Biochemistry**, [s. l.], v. 58, p. 131–137, 2018.

425

426 Calvo, M. V. *et al.* Milk fat globule membrane-enriched milk improves episodic memory: a
427 randomized, parallel, double-blind, placebo-controlled trial in older adults. **Journal Of**
428 **Functional Foods**, [S.L.], v. 111, p. 105849, dez. 2023.

429

430 Cao, C.; Suttmeier, R. P.; Simon, D. F. China's 15-year science and technology plan. **Physics**
431 **Today**, [s. l.], v. 59, n. 12, p. 38–43, 2006.

432

433 Chen, B. *et al.* Comparative evaluation of enriched formula milk powder with OPO and
434 MFGM vs. breastfeeding and regular formula milk powder in full-term infants: a
435 comprehensive study on gut microbiota, neurodevelopment, and growth. **Food & Function**,
436 [S.L.], v. 15, n. 3, p. 1417-1430, 2024.

437

438 Clare, D. A. *et al.* Antimicrobial properties of milkfat globule membrane fractions. **Journal**
439 **of Food Protection**, [s. l.], v. 71, n. 1, p. 126–133, 2008.

440

441 Colombo, J. *et al.* Improved neurodevelopmental outcomes at 5.5 years of age in children
442 who received bovine milk fat globule membrane and lactoferrin in infant formula through 12
443 months: A randomized controlled trial. **The Journal of Pediatrics**, [s. l.], v. 261, p. 113483,
444 2023.

445

446 Costa, M. R. *et al.* Use of ultrafiltration and supercritical fluid extraction to obtain a whey
447 buttermilk powder enriched in milk fat globule membrane phospholipids. **International**
448 **Dairy Journal**, [s. l.], v. 20, n. 9, p. 598–602, 2010.

449

450 Davies, N. *et al.* The effect of supplementation with milk fat globule membranes on
451 psychological health: A randomized clinical trial in healthy adults with moderate
452 stress. **Journal of Functional Foods**, [s. l.], v. 105, p. 105585, 2023.

453

454 Dewettinck, K. *et al.* Nutritional and technological aspects of milk fat globule membrane
455 material. **International Dairy Journal**, [s. l.], v. 18, n. 5, p. 436–457, 2008.

- 456
457 Fong, B. Y.; Norris, C. S.; MacGibbon, A. K. H. Protein and lipid composition of bovine
458 milk-fat-globule membrane. **International Dairy Journal**, [s. l.], v. 17, n. 4, p. 275–288,
459 2007.
- 460
461 Fontecha, J. *et al.* Sources, production, and clinical treatments of milk fat globule membrane
462 for infant nutrition and well-being. **Nutrients**, [s. l.], v. 12, n. 6, p. 1607, 2020.
- 463
464 Gong, H. *et al.* Dietary milk fat globule membrane restores decreased intestinal mucosal
465 barrier development and alterations of intestinal flora in infant-formula-fed rat
466 pups. **Molecular Nutrition & Food Research**, [s. l.], v. 64, n. 21, p. e2000232, 2020.
- 467
468 Guerin, J. *et al.* Milk fat globule membrane glycoproteins: valuable ingredients for lactic acid
469 bacteria encapsulation?. **Critical Reviews In Food Science And Nutrition**, [S.L.], v. 59, n.
470 4, p. 639-651, 3 nov. 2017.
- 471
472 Hansen, S. F. *et al.* Microfiltration of raw milk for production of high-purity milk fat globule
473 membrane material. **Journal of Food Engineering**, [s. l.], v. 276, p. 109887, 2020.
- 474
475 Ishida, Y.; Arai, Y.; Shioya, Y. **Iogurte**. JP2017079679 (A). Concessão: 18 maio 2017a.
- 476
477 Ishida, Y.; Arai, Y.; Shioya, Y. **Sorvete**. JP2017201914 (A). Concessão: 16 nov. 2017b.
- 478
479 Jian, G. **Ameliorating cognitive decline**. WO 2012/143860 A1. Concessão: 18 abr. 2012.
- 480
481 Jie, L.; Qidan, Z.; Hongxin, L. **Separation method of milk fat globule membrane**
482 **protein**. CN 114886006 A. Concessão: 21 abr. 2022.
- 483
484 Kosmerl, E. *et al.* Improving Human Health with Milk Fat Globule Membrane, Lactic Acid
485 Bacteria, and Bifidobacteria. **Microorganisms**, [S.L.], v. 9, n. 2, p. 341, 9 fev. 2021.
- 486
487 Kosmerl, E.; Miller, C.; Jiménez-Flores, R. Preventative Effects of Milk Fat Globule
488 Membrane Ingredients on DSS-Induced Mucosal Injury in Intestinal Epithelial
489 Cells. **Nutrients**, [S.L.], v. 16, n. 7, p. 954, 26 mar. 2024.
- 490
491 Konrad, G.; Kleinschmidt, T.; Lorenz, C. Ultrafiltration of whey buttermilk to obtain a
492 phospholipid concentrate. **International Dairy Journal**, [s. l.], v. 30, n. 1, p. 39–44, 2013.
- 493
494 Le, T. T. *et al.* Effect of washing conditions on the recovery of milk fat globule membrane
495 proteins during the isolation of milk fat globule membrane from milk. **Journal Of Dairy**
496 **Science**, [S.L.], v. 92, n. 8, p. 3592-3603, ago. 2009.
- 497
498 Le Huërou-Luron, I. *et al.* A mixture of milk and vegetable lipids in infant formula changes
499 gut digestion, mucosal immunity and microbiota composition in neonatal piglets. **European**
500 **Journal of Nutrition**, [s. l.], v. 57, n. 2, p. 463–476, 2018.
- 501
502 Le, T. T.; Van Camp, J.; Dewettinck, K. Milk Fat Globule Membrane Material. **Studies In**
503 **Natural Products Chemistry**, [S.L.], p. 347-382, 2014.
- 504

- 505 Li, F. *et al.* Improved neurodevelopmental outcomes associated with bovine milk fat globule
506 membrane and lactoferrin in infant formula: A randomized, controlled trial. **The Journal of**
507 **Pediatrics**, [s. l.], v. 215, p. 24-31.e8, 2019.
- 508
- 509 Lijun, C. *et al.* Infant formula milk powder for improving health of intestinal tract and
510 preparation method thereof. **CN 106359604 A**. Concessão: 24 ago. 2016.
- 511
- 512 Liu, Y. *et al.* Ultrasonication retains more milk fat globule membrane proteins compared to
513 equivalent shear-homogenization. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**,
514 [S.L.], v. 70, p. 102703, jun. 2021.
- 515
- 516 Lopez, C. Lipid domains in the milk fat globule membrane: Specific role of
517 sphingomyelin. **Lipid Technology**, [s. l.], v. 22, n. 8, p. 175–178, 2010.
- 518
- 519 Lopez, C. Milk fat globules enveloped by their biological membrane: Unique colloidal
520 assemblies with a specific composition and structure. **Current Opinion in Colloid &**
521 **Interface Science**, [s. l.], v. 16, n. 5, p. 391–404, 2011.
- 522
- 523 Maio, L., L.; Eu, E. **Functional beverage rich in milk fat globule membrane component**
524 **and preparation method thereof**. CN105410572 (A). Concessão: 23 mar. 2016.
- 525
- 526 Marleen, V. D. B. E. *et al.* Infant formula with milk fat for promoting healthy growth. **EP**
527 **3362061 B1**. Concessão: 14 out. 2016.
- 528
- 529 Morin, P. *et al.* Microfiltration of buttermilk and washed cream buttermilk for concentration
530 of milk fat globule membrane components. **Journal of Dairy Science**, [s. l.], v. 90, n. 5, p.
531 2132–2140, 2007.
- 532
- 533 Miocinovic, J. *et al.* A comparison of composition and emulsifying properties of MFGM
534 materials prepared from different dairy sources by microfiltration. **Food Science and**
535 **Technology International**, [s. l.], v. 20, n. 6, p. 441–451, 2014.
- 536
- 537 Morgan, F. *et al.* **Functional and stable protein blend for food compositions for people**
538 **who need to improve or maintain their body condition**. EP2739166 (A1). Concessão: 11
539 jun. 2014.
- 540
- 541 Moura, A. M. M. de *et al.* Panorama das patentes depositadas no Brasil: uma análise a partir
542 dos maiores depositantes de patentes na base Derwent Innovations Index. **Brazilian Journal**
543 **of Information Science: research trends**, [s. l.], v. 13, n. 2, p. 59–68, 2019.
- 544
- 545 Nilsson, Åke. Role of Sphingolipids in Infant Gut Health and Immunity. **The Journal Of**
546 **Pediatrics**, [S.L.], v. 173, p. 53-59, jun. 2016.
- 547
- 548 Ozturk, G. *et al.* Glycoproteomic and Lipidomic Characterization of Industrially Produced
549 Whey Protein Phospholipid Concentrate with Emphasis on Antimicrobial Xanthine Oxidase,
550 Oxylinpins and Small Milk Fat Globules. **Dairy**, [S.L.], v. 3, n. 2, p. 277-302, 20 abr. 2022.
- 551
- 552 Pietrzak-Fiećko, R.; Kamelska-Sadowska, A. M. The comparison of nutritional value of
553 human milk with other mammals' milk. **Nutrients**, [s. l.], v. 12, n. 5, p. 1404, 2020.
- 554

- 555 Pires, E. A.; Ribeiro, N. M.; Quintella, C. M. Sistemas de busca de patentes: análise
556 comparativa entre Espacenet, Patentscope, Google Patents, Lens, Derwent Innovation Index e
557 Orbit Intelligence. **Cadernos de Prospecção**, [s. l.], v. 13, n. 1, p. 13–13, 2020.
558
- 559 Rombaut, R.; Dejonckheere, V.; Dewettinck, K. Filtration of milk fat globule membrane
560 fragments from acid buttermilk cheese whey. **Journal of Dairy Science**, [s. l.], v. 90, n. 4, p.
561 1662–1673, 2007.
562
- 563 Satoshi, H. *et al.* **Agent for increasing amount of muscles**. EP 2774615 A1. Concessão: 16
564 out. 2012.
565
- 566 Singh, H. The milk fat globule membrane—A biophysical system for food
567 applications. **Current Opinion in Colloid & Interface Science**, [s. l.], v. 11, n. 2–3, p. 154–
568 163, 2006.
569
- 570 Srinivasan, D. **Method to separate lipids from cheese whey**. US 8734878 B2. Concessão:
571 11 jan. 2013.
572
- 573 Slykerman, R. *et al.* Milk fat globule membranes for psychological and physical health:
574 qualitative results from the employing milk phospholipids to observe well: being and
575 emotional resilience (empower) randomised trial. **Journal Of Human Nutrition And**
576 **Dietetics**, [S.L.], v. 37, n. 4, p. 1091-1099, 27 maio 2024.
577
- 578 Smoczyński, M.; Staniewski, B.; Kielczewska, K. Composition and structure of the bovine
579 milk fat globule membrane—Some nutritional and technological implications. **Food Reviews**
580 **International**, [s. l.], v. 28, n. 2, p. 188–202, 2012.
581
- 582 Spitsberg, V. L. Invited Review: bovine milk fat globule membrane as a potential
583 nutraceutical. **Journal Of Dairy Science**, [S.L.], v. 88, n. 7, p. 2289-2294, jul. 2005.
584
- 585 Sun, Y. *et al.* Improving fat globule structure to narrow metabolite gap between human milk
586 and infant formulae. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 471, p. 142797, abr. 2025.
587
- 588 Thum, C. *et al.* Variation in milk fat globule size and composition: A source of bioactives for
589 human health. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, [s. l.], v. 63, n. 1, p. 87–
590 113, 2023.
591
- 592 Technology Chinese. Scientific Consensus on Milk Fat Globule Membrane and Its
593 Ingredients. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*. 22. 471-476, 2022.
594
- 595 Ummadi, M. *et al.* **Sleep-inducing beverage composition, production method, and method**
596 **of use**. WO2023034317 (A1). Concessão: 9 mar. 2023.
597
- 598 Van Eck, N. J.; Waltman, L. Software survey: VOSviewer, a computer program for
599 bibliometric mapping. **Scientometrics**, [s. l.], v. 84, n. 2, p. 523–538, 2010.
600
- 601 Wang, C. *et al.* Advancement on milk fat globule membrane: Separation, identification, and
602 functional properties. **Frontiers in Nutrition**, [s. l.], v. 8, p. 807284, 2022.
603

- 604 Xia, Y. *et al.* Neurodevelopmental outcomes of healthy Chinese term infants fed infant
605 formula enriched in bovine milk fat globule membrane for 12 months - A randomized
606 controlled trial. **Asia Pacific Journal Of Clinical Nutrition**, [S.L.], v. 30, n. 3, p. 401-414, 1
607 set. 2021.
- 608
- 609 Xiaonan, A. *et al.* **Application of composition in preparation of product for improving**
610 **intestinal development.** CN 116711781 A. Concessão: 4 jul. 2023.
- 611
- 612 Wilmont, L. *et al.* The relevance of a potential bioactive ingredient: the milk fat globule
613 membrane. **Journal Of Dairy Science**, [S.L.], p. 1-26, out. 2024.
- 614
- 615 Wu, Z. *et al.* Milk fat globule membrane attenuates acute colitis and secondary liver injury by
616 improving the mucus barrier and regulating the gut microbiota. **Frontiers in Immunology**, [s.
617 l.], v. 13, p. 865273, 2022
- 618 .
- 619 Yamazaki, S.; Ito, T. **Beverage composition.** JP2017077185 (A). Concessão: 27 abr. 2017.
- 620
- 621 Yao, D. *et al.* Milk fat globule membrane: composition, production and its potential as
622 encapsulant for bioactives and probiotics. **Critical Reviews In Food Science And Nutrition**,
623 [S.L.], v. 64, n. 33, p. 12336-12351, 26 ago. 2023.
- 624
- 625 Yong, C. *et al.* **Nutritional composition, food containing nutritional composition and**
626 **application.** CN 115191604 A. Concessão: 15 jul. 2022.
- 627
- 628 Zhang, X. *et al.* Dietary milk fat globule membrane supplementation during late gestation
629 increased the growth of neonatal piglets by improving their plasma parameters, intestinal
630 barriers, and fecal microbiota. **RSC Advances**, [s. l.], v. 10, n. 29, p. 16987–16998, 2020.

5.2

Manuscrito: Efeitos da adição de leite em pó nas propriedades reológicas, tecnológicas e nutricionais de massas alimentícias

31 RESUMO

32 Coprodutos agroindustriais têm ganhado destaque como ingredientes funcionais e sustentáveis,
33 impulsionando inovações no setor alimentício. Tradicionalmente subutilizado, o leiteiro
34 apresenta propriedades funcionais e nutricionais únicas, sendo promissor para o enriquecimento
35 de alimentos. A massa alimentícia, por sua versatilidade e perfil nutricional, é um veículo ideal
36 para a incorporação desses ingredientes. Neste estudo, a concentração ideal de leiteiro foi
37 determinada em 11,06%, com base em análises reológicas, e comparada a uma massa controle
38 (100% farinha de trigo semolina) em relação às propriedades tecnológicas e físico-químicas. A
39 adição de leiteiro promoveu melhorias nas propriedades reológicas, mas resultou em aumento
40 do tempo de cozimento, perda de sólidos e alterações na textura. Além disso, observou-se maior
41 luminosidade e tonalidade neutra, mantendo uma aparência atrativa. Do ponto de vista
42 nutricional, o leiteiro enriqueceu a massa com proteínas, lipídios e minerais, melhorando o seu
43 perfil nutricional. Com base neste estudo, pode-se concluir que a adição de leiteiro em massas
44 proporciona a possibilidade de produção de massas enriquecidas nutricionalmente, com
45 coloração equilibrada, mas com impactos em alguns parâmetros tecnológicos.

46
47 **Palavras-chave:** Coproduto lácteo. Macarrão. Propriedades nutricionais. Propriedades
48 tecnológicas.

50 INTRODUÇÃO

51 O setor alimentício tem enfrentado uma crescente demanda por produtos que combinem
52 benefícios à saúde e práticas sustentáveis, impulsionada pela conscientização sobre a relação
53 entre nutrição e bem-estar, quanto pela necessidade de reduzir impactos ambiental da produção
54 (Carpentieri *et al.*, 2022; Gazza; Nocente, 2022; McDonagh *et al.*, 2024). Diante desse cenário,
55 o uso de coprodutos agroindustriais tem ganhado destaque por constituírem fontes ricas em
56 compostos bioativos como antioxidantes, vitaminas e minerais (Barukčić; Lisak Jakopović;
57 Božanić, 2019; Nirmal *et al.*, 2023). Nesse cenário, os coprodutos da indústria láctea têm
58 emergido como ingredientes funcionais sustentáveis com grande potencial para o
59 enriquecimento de alimentos básicos (Pires *et al.*, 2021).

60 O leiteiro, um coproduto da produção de manteiga, apresenta uma composição rica em
61 componentes bioativos, como proteínas e compostos da membrana do glóbulo de gordura do
62 leite (MGGL; Barukčić; Lisak Jakopović; Božanić, 2019; Conway; Gauthier; Pouliot, 2014). A
63 MGGL é uma estrutura complexa composta por fosfolipídios e glicoproteínas, que conferem
64 ao leiteiro propriedades funcionais e nutricionais únicas (Hickey *et al.* 2017; Lambert *et al.*,
65 2016). Entre essas propriedades, destacam-se a capacidade emulsificante e estabilizadora
66 (Sodini *et al.*, 2006), além de benefícios à saúde, como a redução do colesterol total e
67 triglicerídeos no sangue (Conway *et al.*, 2013), e atividade antitumoral (Kuchta-Noctor *et al.*,
68 2016).

69 Tais propriedades tem tornado o leiteiro cada vez mais valorizado no contexto do
70 reaproveitamento sustentável, especialmente em aplicações como panificação (Al-Jahani,
71 2017; Bilgin; Dağlıoğlu; Konyali, 2006; Madenci; Bilgiçli, 2014) e produtos lácteos (Hickey *et*
72 *al.*, 2017; Ozturkoglu-Budak; Akal; Türkmen, 2021; Szkolnicka; Dmytrów; Mituniewicz-
73 Małek, 2021; Zhao; Feng; Mao, 2020). No entanto, apesar de seu potencial, sua utilização em
74 massas alimentícias ainda é um campo pouco explorado. As massas, consumidas globalmente,
75 são um excelente veículo para a incorporação de ingredientes funcionais, devido ao seu perfil
76 nutricional favorável e à sua versatilidade (Kadam; Prabhasankar, 2010; Özyurt *et al.*, 2015).

77 Portanto, este estudo teve como objetivo otimizar a formulação de massas
78 alimentícias por meio da adição de leiteiro, determinando a concentração ideal desse
79 ingrediente e avaliando o impacto dessa adição nas propriedades reológicas, tecnológicas,
80 físico-químicas e nutricionais.

81

82 MATERIAL E MÉTODOS

83 Materiais

84 A farinha de semolina foi adquirida do Empório Dagy (São Paulo, SP, Brasil). O leiteiro
85 em pó foi obtido da Hencke Import (Curitiba, PR, Brasil), enquanto o sal refinado e o óleo
86 vegetal foram adquiridos em mercados locais (Feira de Santana, BA, Brasil). Todos os
87 reagentes químicos utilizados nas análises laboratoriais eram de grau analítico.

88

89 Parâmetros tecnológicos das matérias-primas

90 A capacidade de absorção de água (CAA) e de óleo (CAO) foram determinadas
91 conforme o método adaptado de Batham *et al.* (2013). Amostras de 5 g de farinha de semolina
92 e leiteiro foram misturadas com 25 mL de água destilada ou óleo em agitador vórtice por 30
93 segundos. As misturas foram centrifugadas (3018×g, 25 min, 25°C) e os sobrenadantes
94 descartados. Os tubos foram secos em estufa a 50°C por 25 min, resfriados e pesados. A CAA
95 e CAO foram calculadas por diferença de peso conforme Equações (1) e (2).

96

$$97 \quad \%CAA = \frac{Pf(g) - Pi(g)}{Pi(g)} \times 100 \quad (1)$$

98

$$99 \quad \%CAO = \frac{Pf(g) - Pi(g)}{Pi(g)} \times 100 \quad (2)$$

100

101 Onde Pf é o peso final do sedimento e Pi é o peso inicial do sedimento.

102

103 **Análise reológica das massas alimentícias**

104 Para avaliar os efeitos da adição de leiteiro nas propriedades reológicas da semolina e
105 determinar a concentração ideal para a formulação, foram realizados testes de resistência à
106 extensão (g) e extensibilidade (mm), que permitem analisar a força e a flexibilidade da rede de
107 glúten nas massas produzidas (Boita *et al.*, 2016).

108 As massas foram preparadas com 100g de semolina e diferentes concentrações de
109 leiteiro (0% – controle, 5%, 10%, 15% e 20%) com base no peso da farinha, seguindo um
110 delineamento experimental casualizado. Para a hidratação, foi utilizada água destilada contendo
111 2% de cloreto de sódio (NaCl), considerando o CAA das matérias-primas determinadas por
112 centrifugação. A adição de NaCl foi fundamentada no estudo de Tan; Tan e Easa (2018) que
113 indicou que concentrações de NaCl entre 1% e 4% conferem boas características as massas
114 alimentícias. O NaCl foi previamente dissolvido em água e adicionado à mistura com a farinha
115 e o leiteiro, garantindo uma distribuição homogênea dos componentes.

116 A mistura foi realizada utilizando uma batedeira planetária (Skynsen, modelo BPS-05-
117 N) em velocidade 2, por 5min, até a obtenção de uma massa homogênea. Após a mistura, as
118 massas foram então prensadas em moldes de Teflon lubrificadas e deixadas em repouso por 45
119 minutos em câmara com umidade relativa controlada, para permitir a hidratação completa.

120 As análises foram conduzidos com 10 tiras de massa por amostra com dimensões fixas,
121 utilizando o analisador de textura (TA-XT Plus, Stable Micro Systems) equipado com célula de
122 carga de 5 kg e aparato Kieffer Dough/Gluten Extensibility, utilizando as seguintes velocidades:
123 pré-teste (2 mm/s), teste (3 mm/s), pós-teste (10 mm/s) e distância de (50,00 mm).

124

125 **Modelagem estatística e validação experimental**

126 A determinação da concentração ideal de leiteiro, que otimiza as propriedades
127 reológicas desejáveis das massas, foi realizada, primeiramente, por meio de modelagem
128 estatística, dividida em três etapas: (a) identificação do modelo mais adequado; (b) avaliação
129 do grau de significância ($p < 0,05$), e (c) análise do grau de ajuste ($p > 0,05$). Após a validação,
130 as equações ajustadas foram derivadas para identificar a concentração ideal de leiteiro
131 associada aos valores máximos de resistência à extensão e extensibilidade das massas,
132 escolhendo a concentração que proporcionasse o melhor equilíbrio entre essas propriedades.

133 Para avaliar a precisão do modelo estatístico, as equações derivadas foram utilizadas
134 com as porcentagens de resistência e extensibilidade, calculando os valores preditos
135 correspondentes. Uma nova análise reológica foi realizada, considerando apenas o controle e a

136 concentração de leiteiro no ponto ótimo. Os resultados experimentais obtidos foram então
137 comparados com os valores preditos, permitindo uma avaliação quantitativa da precisão do
138 modelo.

139

140 **Formulação e desenvolvimento das massas**

141 Duas formulações de massas foram desenvolvidas: uma de controle, sem adição de
142 leiteiro, e outra com a concentração otimizada de leiteiro, definida com base nos resultados
143 das análises reológicas. Os ingredientes secos, constituídos por semolina (100 %) e sal orgânico
144 (0,5%), foram inicialmente homogeneizados em uma batedeira planetária (Skynsen, modelo
145 BPS-05-N). Em seguida, água foi adicionada na proporção de 40% do peso total da farinha,
146 conforme a Equação (3):

147

$$148 \quad \% \text{ água} = \text{CAA da farinha semolina} * \frac{40}{\text{CAA da FTS}} \quad (3)$$

149

150 Posteriormente, óleo vegetal (3%) foi incorporado à mistura, e a massa foi processada
151 por 4min até atingir uma consistência coesa e homogênea. Após a mistura, as massas foram
152 extrudadas no formato talharim utilizando uma extrusora (Indiana, Mini 30), equipada com
153 rosca de compressão 1:1. As massas extrudadas foram secas em estufa ventilada a 60°C por 3h
154 e armazenadas em sacos plásticos selados à temperatura ambiente até a realização das análises.

155

156 **Propriedades tecnológicas da massa**

157 *Propriedades de cozimento*

158 As propriedades de cozimento da massa foram determinadas conforme o método padrão
159 AACC (2000) nº 66-50.01. O tempo ótimo de cozimento (TOC) foi definido como o tempo
160 necessário para a completa gelatinização do amido, identificado pela ausência de um núcleo
161 branco no centro da massa. Para isso, 10 g de massa foram cozidas em 300 mL de água fervente,
162 com amostras retiradas a cada 30 segundos e pressionadas entre lâminas de vidro para avaliação
163 visual até a completa gelatinização.

164 A absorção de água foi calculada pela diferença de peso da massa cozida (P2) e a massa
165 crua (P1), conforme a Equação (4):

166

$$167 \quad \% \text{ Absorção de água} = \frac{P2 (g) - P1 (g)}{P1 (g)} \times 100 \quad (4)$$

168

169 A expansão de volume foi avaliada pela diferença no deslocamento de água antes (V1)
 170 e após o cozimento (V2), utilizando uma proveta de 500 mL. O aumento de volume foi
 171 calculado conforme a Equação (5):

172

$$173 \quad \% \text{ Expansão de volume} = \frac{V_2 - V_1}{V_1} \times 100 \quad (5)$$

174

175 A perda de cozimento foi determinada gravimetricamente, com a secagem de resíduos
 176 sólidos da água de cozimento em estufa a 105°C até peso constante (P). A perda de sólidos foi
 177 calculada conforme a Equação (6):

178

$$179 \quad \% PC = \frac{P}{\text{Peso da massa}} \times 100 \quad (6)$$

180

181 **Propriedades físico-químicas da massa**

182 *Análise de perfil de textura*

183 Dez gramas de massa foram fervidas em 300mL de água fervente em TOC, conforme
 184 determinado anteriormente, enxaguadas com 50mL de água e deixadas em repouso por 10
 185 minutos à temperatura ambiente (25 °C) para estabilização antes da análise. A textura foi
 186 avaliada utilizando um texturômetro TA-XT Plus (Stable Micro Systems, Reino Unido),
 187 equipado com uma célula de carga de 5 kg e uma sonda Light Knife Blade (A/LKB). O software
 188 Exponent 32.6.0.2.0 foi usado para registrar os dados. Os parâmetros de firmeza (g) e força de
 189 cisalhamento (g·cm) foram avaliados conforme a metodologia AACC 66-50 (2000). Para isso,
 190 quatro fios adjacentes de massa cozida foram alinhados centralmente sob a sonda, com
 191 configurações padrão de velocidade (0,83 mm/s) e distância de compressão (15 mm).

192

193 **Cor**

194 A análise de cor foi determinada por colorímetro Konica Minolta® CR-400,
 195 configurado com iluminante padrão D65. As coordenadas CIELab, onde L* representa a
 196 luminosidade (variação de 0 = preto a 100 = branco), a* indica a tendência para tons vermelhos
 197 (valores positivos) ou verdes (valores negativos), e b* expressa a tonalidade amarela (valores
 198 positivos) ou azul (valores negativos), foram registradas diretamente pelo equipamento, em
 199 triplicata. Além disso, a diferença de cor (ΔE^*), que indica a magnitude da diferença de cor
 200 entre a formulação controle e com a concentração ideal de leiteiro (Bellary *et al.*, 2016), foi
 201 calculada conforme a Equação 7 (Mokrzycki; Tatol, 2011).

202

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (7)$$

204 Onde ΔL^* é a diferença de luminosidade, Δa^* é a diferença no parâmetro a, e Δb^* é a diferença
205 no parâmetro b.

206

207 **Composição nutricional**

208 A composição foi estimada e determinada conforme normas estabelecidas pela ISO
209 (2014; 2023) e AOAC (2000). Os parâmetros foram: umidade (ISO 5537:2023); lipídios totais
210 (ISO 19662:2018 para o leiteiro e AOAC 948.22 para a massa); proteína pelo método Kjeldahl
211 (ISO 8968-1:2014); e cinzas (AOAC 930,30). O teor de carboidratos foi estimado por diferença,
212 subtraindo-se os demais componentes principais. O valor energético (kcal/100g) foi calculado
213 utilizando os seguintes fatores de conversão: proteína (4 kcal/g), carboidratos (4 kcal/g), lipídios
214 (9 kcal/g). Os resultados foram expressos em matéria seca.

215 **Análise estatística**

216 Os dados obtidos foram analisados por meio de médias e desvios padrão das triplicatas.
217 O perfil reológico e a validação da concentração ideal de leiteiro foram avaliados por análise
218 de regressão, utilizando o delineamento inteiramente casualizado, com o procedimento PROC
219 MIXED do software *Statistical Analysis System* (SAS Studio, versão online). Para comparar as
220 médias entre a formulação controle e da concentração ideal foi empregado o teste T de Student,
221 através do software *Jamovi* (versão 2.3.28). O nível de significância adotado para todas as
222 análises foi de 5% ($p \leq 0,05$). As figuras foram elaboradas utilizando o software Origin 9
223 (OriginLab®).

224

225 **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

226 **Caracterização das matérias-primas**

227 O leiteiro apresentou teor significativamente superior ($p < 0,05$) de proteínas
228 (30,75g/100 g) e lipídios (10,62 g/100 g) em comparação com a semolina (13,0 g/100 g e 0,0
229 g/100 g, respectivamente; Tabela 1). Esse resultado pode ser atribuído à dispersão de compostos
230 da MGGL, que se rompe durante a produção de manteiga, liberando proteínas e lipídios que se
231 incorporam ao leiteiro (Ali, 2019). Além disso, o teor de cinzas no leiteiro (7,02 g/100g) foi
232 maior ($p < 0,05$) do que na semolina (1,4 g/100 g), indicando maior concentração de minerais
233 (Tabela 1).

234 **Tabela 1.** Caracterização do leiteiro em pó e da farinha de trigo semolina

Parâmetros	Matérias-primas	
	Leitelho	Farinha de trigo semolina
Umidade (g)	3,68 ± 0,05 ^b	15,0* ^a
Proteína (g)	30,8 ± 0,09 ^a	13,0* ^b
Lipídios (g)	10,6 ± 0,21 ^a	0,0* ^b
Cinzas (g)	7,02 ± 0,07 ^a	1,4* ^b
Carboidratos (g)	47,9 ± 0,40 ^b	71,0* ^a
Fibra (g)	n.a.	1,4* ^a
L [*]	76,6 ± 1,08 ^b	82,1 ± 0,91 ^a
a [*]	-3,76 ± 0,16 ^a	-0,88 ± 0,01 ^b
b [*]	19,5 ± 0,38 ^b	21,4 ± 0,47 ^a
Capacidade de retenção de água (%)	n.d. ^b	73,2 ± 0,19 ^a
Capacidade de retenção de óleo (%)	86,8 ± 0,04	n.a.

235 Os dados são apresentados em média ± e desvio padrão (n=3).

236 Letras sobrescritas diferentes dentro de uma linha indicam diferenças significativas entre as amostras pelo teste t
237 de Student ($p \leq 0,05$).

238 *Valores da semolina obtidos conforme rótulo do fabricante (Empório Dagy, São Paulo, SP, Brasil).

239 n.a.: não aplicado; n.d.: não detectado; L^{*}: luminosidade; a^{*}: vermelhos (valores positivos) / verdes (valores
240 negativos); b^{*}: – Amarelo (valores positivos) / azuis (valores negativos).

241

242 Em contraste, o teor de carboidratos na semolina (71,0 g/100 g) foi superior ($p < 0,05$)
243 ao do leiteiro (47,98g/100g), refletindo sua composição predominantemente amilácea
244 (Carpentieri, Larrea-Wachtendorff; Ferrari, 2024). A semolina também apresentou um teor de
245 fibras de 1,4 g/100 g, enquanto a análise de fibras não foi realizada no leiteiro, uma vez que
246 este é um coproduto lácteo e não se espera a presença significativa de fibras em sua composição
247 (Kumar; Jangra, 2023).

248 Em relação aos parâmetros de cor, a luminosidade (L^{*}) foi maior ($p < 0,05$) na semolina
249 (82,06) em comparação ao leiteiro (76,63), indicando uma aparência mais clara. O parâmetro
250 a^{*} foi menor ($p < 0,05$) na semolina (-0,88) do que no leiteiro (-3,76), evidenciando uma
251 tonalidade mais esverdeada no leiteiro. Já o parâmetro b^{*} foi maior ($p < 0,05$) na semolina
252 (21,35) em relação ao leiteiro (19,49), refletindo uma coloração mais amarelada na semolina.
253 A tonalidade mais escura e esverdeada do leiteiro pode estar associada à presença de compostos
254 residuais derivados do processo de produção de manteiga.

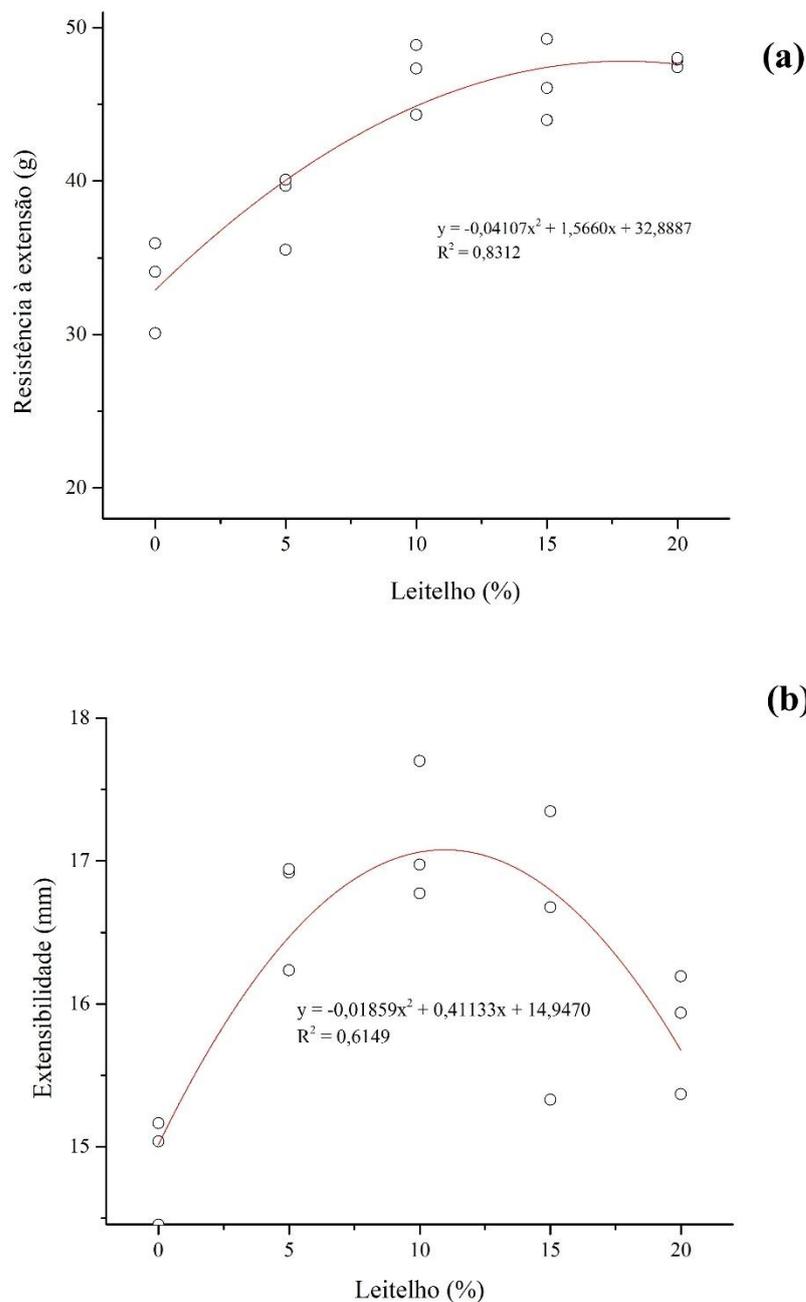
255 A CAA da semolina foi de 73,2%, enquanto o leiteiro não demonstrou capacidade
256 significativa de absorção, evidenciando uma diferença significativa entre as matérias-primas (p

257 <0,05). Esse comportamento distinto pode ser atribuído à composição da semolina, que contém
258 proteínas, fibras e amido danificado, resultante do processo de moagem, os quais favorecem a
259 retenção de água (Hébrard *et al.*, 2003; Wang *et al.*, 2024). Por outro lado, a ausência de
260 absorção de água no leitelho pode ser explicada pela natureza hidrofóbica de suas proteínas,
261 que dificultam a interação com a água (Wong; Kitts, 2003a). No entanto, essa característica
262 confere ao leitelho uma elevada CAO de 86,8%, refletindo sua maior afinidade com lipídios.

263

264 **Comportamento reológico das massas, validação do modelo estatístico e identificação da** 265 **concentração ideal**

266 Um equilíbrio entre boa resistência e extensibilidade proporciona características ideais
267 para a massa (Rosell; Rojas; Barber, 2001). A resistência à extensão aumentou
268 progressivamente com o incremento da concentração de leitelho, em média, de 33,26g para
269 47,78g (Fig. 1a), o que indica uma maior coesão da rede de glúten da massa. Por outro lado, a
270 extensibilidade apresentou comportamento distinto, alcançando seu valor máximo na
271 concentração de 10% de leitelho (17mm), seguido por uma redução nas concentrações mais
272 elevadas, embora os valores tenham permanecido superiores ao controle (Fig. 1b).



273

274 **Fig. 1.** Comportamento reológico das massas alimentícias com diferentes concentrações de
275 leiteiro: **(a)** resistência à extensão e **(b)** extensibilidade

276

277 Os resultados indicam que o aumento da resistência à extensão e extensibilidade da
278 massa podem estar relacionado às interações entre os componentes do leiteiro e as proteínas do
279 glúten. A hidratação das gluteninas e gliadinas durante a etapa de mistura favorece a formação
280 e fortalecimento da rede de glúten, conferindo propriedades viscoelásticas à massa (Dufour *et*

281 *al.*, 2024; Song; Zheng, 2007). O leiteiro, por sua vez, pode ter intensificado essas interações,
 282 principalmente por meio de suas proteínas e fosfolípidios, promovendo uma estrutura mais
 283 coesa e funcional, ao mesmo tempo em que mantém a hidratação das proteínas, fator
 284 determinante para a qualidade do produto final.

285 Estudos indicam que subprodutos lácteos influenciam as propriedades reológicas das
 286 massas. A adição de proteína de soro de leite leiteiro em pó e outros pós-lácteos promove
 287 aumento da resistência à extensão, enquanto o efeito na extensibilidade varia conforme o tipo
 288 de proteína utilizada (Madenci; Bilgiçli, 2014; Macedo *et al.*, 2020; DemiR; Ertas; Sert, 2020).

289

290 *Validação do modelo estatístico e confirmação da concentração ótima de leiteiro*

291 O modelo de regressão quadrática foi adotado para determinar a concentração ideal de
 292 leiteiro, pois apresentou uma explicação de variância superior ao modelo linear (Tabela 2). A
 293 análise de variância confirmou a adequação do modelo para os dados experimentais, com
 294 significância estatística identificada para ambas as propriedades, resistência à extensão e
 295 extensibilidade ($p < 0,05$) e a falta de ajuste foi não significativo ($p > 0,05$). As equações
 296 ajustadas que descrevem o comportamento das propriedades em função da concentração de
 297 leiteiro foram: resistência à extensão: $y = -0,041x^2 + 1,57x + 32,9$, com ponto ótimo em 19,06%
 298 de leiteiro, e extensibilidade: $y = -0,019x^2 + 0,411x + 14,9$, com ponto ótimo em 11,06% de
 299 leiteiro. Além disso, os coeficientes (b_0 , b_1 e b_2) também obtiveram significância estatística (p
 300 $< 0,05$), reforçando a adequação do modelo e sua eficácia na determinação da concentração
 301 ótima de leiteiro.

302

303 **Tabela 2.** Parâmetros estimados e coeficientes ajustados do modelo de regressão quadrática
 304 para as propriedades de resistência à extensão e extensibilidade

Parâmetros	Estimativas				
	Rótulo	Estimativa	Erro Padrão	Valor t	Pr > t
Resistência a extensão	b_0	32.8887	1.5608	21.07	<.0001
	b_1	1.5660	0.3449	4.54	0.0007
	b_2	-0.04107	0.01451	-2.83	0.0151
Extensibilidade	b_0	14.9470	0.2097	71.29	<.0001
	b_1	0.4133	0.05606	7.37	<.0001
	b_2	-0.01859	0.002663	-6,98	<.0001

305 b_0 : interceptação do modelo; b_1 : coeficiente linear; b_2 : coeficiente quadrático.

306

307 Com base nesses dados, a relação entre resistência à extensão e extensibilidade
308 influencia diretamente a definição da concentração ótima de leitelho, pois esses indicadores
309 representam aspectos complementares às propriedades reológicas da massa (Luo *et al.*, 2023).
310 Para garantir o equilíbrio entre a coesão e a flexibilidade da rede de glúten, a concentração de
311 11,06% de leitelho foi escolhida com base na análise de extensibilidade. Nesse ponto, a
312 resistência permanece em níveis adequados, mesmo abaixo do ponto ótimo de 19,06%, sem
313 comprometer a estruturação da massa, o que garante o desempenho desejado.

314 A validação do modelo foi realizada por meio da comparação entre os valores preditos
315 e os valores experimentais obtidos em uma nova análise reológica. A boa concordância entre
316 os valores obtidos fortalece a escolha da concentração de 11,06% de leitelho, demonstrando
317 que, além de otimizar as propriedades reológicas da massa, essa concentração garante o
318 equilíbrio entre resistência e extensibilidade, validando a eficácia do modelo. Com base nesses
319 resultados, a concentração de 11,06% de leitelho foi definida para a formulação da massa
320 alimentícia. Foram realizadas análises para avaliar o impacto do leitelho nas propriedades
321 tecnológicas e físico-químicas da massa

323 **Propriedades tecnológicas da massa**

324 *Propriedades de cozimento*

325 A qualidade de cozimento da massa é influenciada principalmente pelas proteínas do
326 trigo e pelo amido (de Noni; Pagani, 2010; Duda *et al.*, 2019). Durante o cozimento, as proteínas
327 formam uma rede de glúten que interage com o amido gelatinizado, criando uma estrutura que
328 define a textura e firmeza da massa (Lucas-González *et al.*, 2020). A adição de leitelho, no
329 entanto, pode interferir nesse processo.

330 O tempo ótimo de cozimento, com 11,06% de leitelho, aumentou significativamente (p
331 $< 0,05$) em 2,15min em relação ao controle (Tabela 3). Esse aumento pode ser atribuído à
332 modificação da rede de glúten pelo leitelho, resultando em uma estrutura mais densa que
333 dificulta a hidratação e a gelatinização do amido (Mercier *et al.*, 2016). Esses resultados são
334 consistentes com estudos anteriores (Duda *et al.*, 2019; Kaur *et al.*, 2013; Messia *et al.*, 2021;
335 Saraiva *et al.*, 2022; Zarzycki *et al.*, 2020), que relatam que o enriquecimento com proteínas e
336 fibras forma uma matriz mais densa, aumentando o tempo de cozimento.

337

338

339

340

341 **Tabela 3.** Propriedades de cozimento das formulações controle e com adição de leite

Parâmetros	Formulações	
	Massa de farinha de trigo semolina (0%)	Massa com adição de leite (11,06%)
Tempo ótimo de cozimento (min)	5:20 ± 0,09 ^b	7:35 ± 0,05 ^a
Absorção de água (%)	236,9 ± 3,25 ^a	225,5 ± 2,02 ^b
Expansão de volume (%)	114,4 ± 0,80 ^a	110,8 ± 1,52 ^b
Perda de cozimento (%)	5,88 ± 0,06 ^b	10,60 ± 0,12 ^a

342 Os dados são apresentados em média ± e desvio padrão (n=3).

343 Letras sobrescritas diferentes dentro de uma linha indicam diferenças significativas entre as amostras pelo teste t
344 de Student ($p \leq 0,05$).

345

346 Além disso, a maior densidade da massa impactou significativamente ($p < 0,05$) a
347 absorção de água e a expansão de volume, que refletem a retenção de água e a variação do
348 volume durante o cozimento (Chusak *et al.*, 2020) (Tabela 3). A massa enriquecida com leite
349 apresentou absorção de água de 225,5% e expansão de volume de 110,8%, representando
350 reduções de 4,83% e 3,16%, respectivamente, em comparação ao controle. Esses resultados
351 sugerem que a estrutura mais densa dificultou a hidratação e a gelatinização do amido, além de
352 limitar a expansão da massa, contrastando com o esperado para massas de boa qualidade, que
353 tradicionalmente triplicam de peso durante o cozimento (Ćetković *et al.*, 2022). Esses achados
354 corroboram estudos prévios, como os de Desai; Brennan e Brennan (2018) e Duda *et al.* (2019),
355 que observaram redução na absorção de água em massas enriquecidas com ingredientes
356 proteicos, como pó de peixe e pó de grilo.

357 A perda de cozimento, que indica a quantidade de nutrientes liberados durante o
358 cozimento (Chusak *et al.*, 2020), foi maior ($p < 0,05$) na massa enriquecida (10,60%) em
359 comparação ao controle (5,88%), superando o limite aceitável de 8% (Foschia *et al.*, 2015)
360 (Tabela 3). Essa maior perda pode ser atribuída à alteração da rede de glúten, que comprometeu
361 a capacidade de retenção de água e resultou em maior lixiviação de sólidos (Desai; Brennan;
362 Brennan, 2018). Resultados semelhantes foram observados em estudo com proteína isolada de
363 farinha de girassol (Zaky *et al.*, 2022).

364

365 **Propriedades físico-químicas da massa**

366 *Análise de perfil de textura*

367 A textura é um fator determinante para a qualidade da massa, influenciando a percepção
 368 sensorial e a aceitação pelo consumidor (Šeregelj *et al.*, 2022). Este parâmetro reflete a
 369 interação entre composição e processamento, sendo diretamente dependente da qualidade da
 370 rede proteica formada durante o cozimento (Abdo *et al.*, 2024; Desai; Brennan; Brennan, 2018).
 371 Neste estudo, a firmeza, que representa a resistência da massa à compressão, e a força de
 372 cisalhamento, que avalia a deformação das camadas internas durante o corte, foram utilizados
 373 para caracterizar a textura da massa (Cai *et al.*, 2024; Monalisa *et al.*, 2024).

374 A adição de leiteiro aumentou a firmeza para 174,8g e a força de cisalhamento para
 375 6,40g·cm, em relação à massa controle (172,0g e 5,72g·cm, respectivamente) (Tabela 4). Esse
 376 aumento pode ser atribuído à formação de uma rede proteica mais compacta, que dificultou a
 377 hidratação, reduzindo a absorção de água e a expansão do volume da massa (Tabela 3),
 378 aumentando a resistência à compressão e ao corte (Desai; Brennan; Brennan, 2018). Da mesma
 379 forma, a adição de isolados proteicos de grão-de-bico e peixe, bem como de leite e peptídeos
 380 ativos derivados do leite (El-Sohaimy *et al.*, 2020; Li *et al.*, 2017; Saini *et al.*, 2023), resultou
 381 em massas com textura mais firme e resistente.

382

383 **Tabela 4.** Perfil de textura das formulações controle e com adição de leiteiro

Parâmetros	Formulações	
	Massa de farinha de trigo semolina (0%)	Massa com adição de leiteiro (11,06%)
Firmeza (g)	172,0 ± 0,63 ^b	174,8 ± 0,43 ^a
Força de cisalhamento (g.cm)	5,72 ± 0,34 ^b	6,40 ± 0,13 ^a

384 Os dados são apresentados em média ± e desvio padrão (n=3).

385 Letras sobrescritas diferentes dentro de uma linha indicam diferenças significativas entre as amostras pelo teste t
386 de Student ($p \leq 0,05$).

387

388 *Cor*

389 A cor é um dos parâmetros mais relevantes para a qualidade da massa, pois a aparência
 390 visual influencia diretamente a escolha do consumidor (Duda *et al.*, 2019; Zaky *et al.*, 2022).
 391 A Tabela 5 apresenta os dados relativos aos parâmetros cromáticos (L^* , a^* , b^*) das massas
 392 secas com e sem adição de leiteiro.

393 A L^* aumentou significativamente com a adição de leiteiro ($p < 0,05$). A formulação
 394 com 11,06% de leiteiro apresentou L^* de 77,1, valor superior ao controle (67,0), resultando em

395 uma massa visualmente mais clara. O aumento da luminosidade na massa seca com leiteiro
 396 pode ser atribuído à dispersão uniforme de partículas do leiteiro, que refletem melhor a luz, e
 397 à possível modulação das reações de Maillard, reduzindo a formação de pigmentos escuros
 398 (Feillet; Autran; Icard-Vernière, 2000). Além disso, o valor de a^* apresentou uma redução
 399 significativa com a adição de leiteiro ($p < 0,05$). A formulação controle registrou um valor
 400 médio de 0,76, enquanto a massa enriquecida apresentou 0,08, indicando uma menor tendência
 401 à tonalidade avermelhada. Por outro lado, o parâmetro b^* não apresentou diferença significativa
 402 ($p > 0,05$) entre a massa controle (20,9) e a massa enriquecida com leiteiro (20,1), sugerindo
 403 que a tonalidade amarelada não foi afetada pela adição do coproduto.

404

405 **Tabela 5.** Análise de cor das formulações controle e com adição de leiteiro

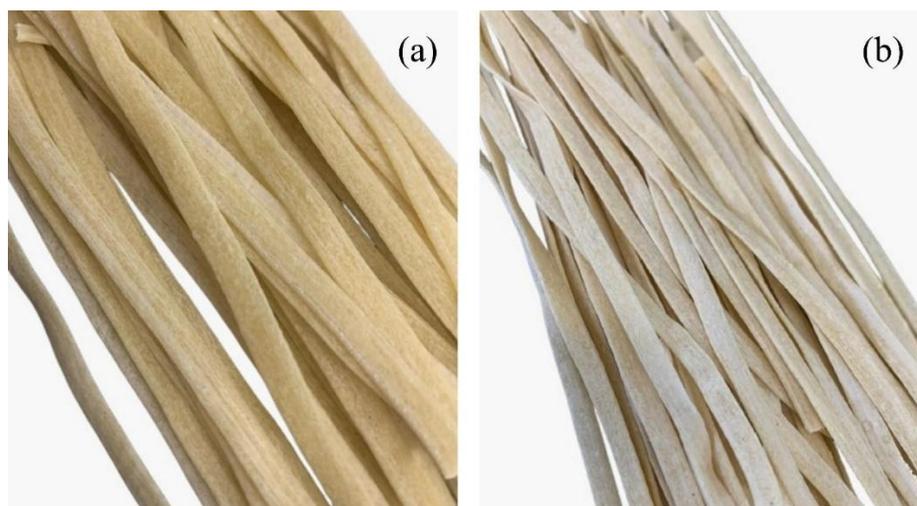
Parâmetros	Formulações	
	Massa de farinha de trigo semolina (0%)	Massa com adição de leiteiro (11,06%)
L^*	$67,0 \pm 1,44^b$	$77,1 \pm 1,16^a$
a^*	$0,76 \pm 0,13^b$	$0,08 \pm 0,10^a$
b^*	$20,9 \pm 1,72^a$	$20,1 \pm 1,47^a$
ΔE^*	n.a.	$10,3 \pm 2,19$

406 Os dados são apresentados em média \pm e desvio padrão ($n=3$).407 Letras sobrescritas diferentes dentro de uma linha indicam diferenças significativas entre as amostras pelo teste t
408 de Student ($p \leq 0,05$).409 n.a.: não aplicado; L^* : luminosidade; a^* : vermelhos (valores positivos) / verdes (valores negativos); b^* : – Amarelo
410 (valores positivos) / azuis (valores negativos); ΔE : diferença total de cor.

411

412 Quanto à diferença total de cor (ΔE^*), observou-se um valor de 10,3 entre a formulação
 413 controle e a enriquecida. Segundo Zarzycki *et al.* (2020), valores de ΔE^* entre 6,0 e 12,0 são
 414 classificados como "grandes", indicando que a alteração de cor resultante da adição de leiteiro
 415 é visivelmente perceptível (Fig. 2).

416



417
418 **Fig. 2.** Fotografia das amostras de massa seca: (a) massas de farinha de trigo semolina (0%) e
419 (b) massa com adição de leiteiro (11,06%)

420

421 Os resultados sugerem que a adição de leiteiro influenciou significativamente as
422 propriedades colorimétricas da massa, resultando em uma aparência mais clara e com
423 tonalidade mais neutra, características geralmente preferidas pelos consumidores (Mercier *et*
424 *al.*, 2016).

425

426 *Composição química e valor nutricional aproximado*

427 A adição de leiteiro promoveu alterações significativos ($p < 0,05$) na composição da
428 massa, resultando na redução do teor de umidade e carboidratos, bem como no aumento dos
429 teores de proteínas, lipídios e cinzas (Tabela 6). A diminuição da umidade pode ser atribuída
430 ao menor conteúdo de água livre presente no leiteiro (Tabela 1). No entanto, ambas as
431 formulações mantiveram os teores de umidade dentro dos limites de segurança estabelecidos
432 (13g/100 g) (Brasil, 2000), o que reflete sua estabilidade microbiológica e vida útil do produto
433 (Fasuan *et al.* 2021).

434

435 **Tabela 6.** Composição química (g/100g) e e valor energético (Kcal/100g) das formulações
436 controle e com adição de leiteiro

Parâmetros	Formulações	
	Massa de farinha de trigo semolina (0%)	Massa com adição de leiteiro (11,06%)
Umidade (g)	10,3 ± 0,25 ^a	9,67 ± 0,31 ^b
Proteína (g)	13,0 ± 0,59 ^b	15,8 ± 0,11 ^a

Lipídios (g)	0,19 ± 0,07 ^b	1,65 ± 0,21 ^a
Cinzas (g)	1,44 ± 0,15 ^b	2,14 ± 0,14 ^a
Carboidratos (g)	75,0 ± 0,68 ^a	71,0 ± 0,95 ^b
Valor energético (Kcal)	353,2 ± 1,15 ^a	362,1 ± 5,95 ^a

437 Os dados são apresentados em média ± e desvio padrão (n=3).

438 Letras sobrescritas diferentes dentro de uma linha indicam diferenças significativas entre as amostras pelo teste t
439 de Student ($p \leq 0,05$).

440

441 O aumento nos teores proteicos, lipídicos e cinzas reflete a composição nutricional do
442 leiteiro (Tabela 1), o que contribui para o a melhoria do perfil nutricional e funcional da massa
443 (Bourlieu *et al.*, 2018; Calvo *et al.*, 2020; Mascarello, 2019). Esse enriquecimento é consistente
444 com estudos que utilizaram outras fontes proteicas, como concentrado proteico de tilápia
445 (Goes *et al.* 2016) e *spirulina* (Koli *et al.* 2022), que também demonstraram potencial para
446 melhorar a qualidade nutricional de massas alimentícias. Além disso, a adição do leiteiro
447 resultou em um ligeiro aumento no valor energético da massa, embora essa diferença não tenha
448 sido estatisticamente significativa ($p > 0,05$). Esse aumento pode ser devido ao maior teor de
449 lipídios e proteínas na massa com leiteiro, que contribuem para um maior aporte calórico.

450

451 CONCLUSÃO

452 A adição de 11,06% de leiteiro à massa promoveu melhorias significativas nas
453 propriedades reológicas, equilibrando resistência à extensão e extensibilidade de maneira
454 eficiente. No entanto, a formação de uma rede de glúten mais densa, decorrente da interação do
455 leiteiro com a farinha, impactou negativamente algumas características da massa, como
456 aumento no tempo de cozimento, maior perda de sólidos e perfil de textura mais firme. Por
457 outro lado, o leiteiro proporcionou maior luminosidade e uma tonalidade mais neutra,
458 mantendo uma aparência visualmente atrativa. Do ponto de vista nutricional, o leiteiro
459 enriqueceu a massa com proteínas, lipídios e minerais, tornando a massa um produto mais
460 equilibrado e funcional, reforçando sua viabilidade como alternativa sustentável. Futuras
461 investigações podem explorar estratégias para minimizar os efeitos tecnológicos negativos,
462 como ajustes no processamento ou combinação do leiteiro com outros ingredientes funcionais.
463 Além disso, uma análise da composição de aminoácidos, da biodisponibilidade proteica e dos
464 aspectos sensoriais e testes de aceitação do consumidor da massa enriquecida é essencial para
465 validar tanto seus benefícios nutricionais quanto sua limitação pelo consumidor, garantindo as
466 previsões comerciais do produto.

467 Contribuições dos autores

468 **Sthefane Pires dos Santos:** Conceitualização, Metodologia, Planejamento e execução dos
469 experimentos, Curadoria de dados, Análise formal, Redação, Revisão e Edição. **Laís Maciel**
470 **Rodrigues:** Planejamento e execução dos experimentos, Redação, Revisão e Edição. **Maira**
471 **Lima de Oliveira:** Investigação, Curadoria de dados, Redação, Revisão e Edição. **Carolina**
472 **Oliveira de Souza:** Conceitualização, Metodologia, Redação, Revisão e Edição,
473 Administração do projeto, Responsabilidade primária pelo conteúdo final. **Cláudio Vaz Di**
474 **Mambro Ribeiro:** Conceitualização, Metodologia, Planejamento e execução dos
475 experimentos, Redação, Revisão e Edição, Administração do projeto, Responsabilidade
476 principal pelo conteúdo final.

477

478 **Conflitos de interesse**

479 Todos os autores declaram não haver conflito de interesses em relação à pesquisa descrita, à
480 publicação dos resultados e a questões financeiras.

481

482 **Agradecimentos**

483 Este estudo foi financiado em parte pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível
484 Superior - Brasil (CAPES) – (nº do processo: 88887.831956/2023-00).

485

486 **REFERÊNCIAS**

487 AACC. AACC approved methods of analysis. **Method Number**, 66-50, 16–18, 2000.

488

489 Abdo, E. M. *et al.* Pasta enriched with de-oiled sesame and yellow pepper flours: evaluation
490 of physicochemical properties, protein quality, and antioxidant potential. **Applied Food**
491 **Research**, [S.L.], v. 4, n. 2, p. 100602, dez. 2024.

492

493 Ahmad, T. *et al.* Treatment and utilization of dairy industrial waste: A review. **Trends in**
494 **Food Science & Technology**, [s. l.], v. 88, p. 361–372, 2019.

495

496 Ali, A. H. Current knowledge of buttermilk: Composition, applications in the food industry,
497 nutritional and beneficial health characteristics. **International Journal of Dairy Technology**,
498 [s. l.], v. 72, n. 2, p. 169–182, 2019.

499

500 Al-Jahani, A. H. Effect of buttermilk on the physicochemical, rheological, and sensory
501 qualities of pan and pita bread. **International Journal of Food Science**, [s. l.], v. 2017, n. 1,
502 p. 2054252, 2017.

503

504 Andrade, M. R. D. *et al.* Fermented milk beverage: formulation and process. **Ciência Rural**,
505 [s. l.], v. 49, n. 3, p. e20180382, 2019.

506

507 AOAC. Official methods of Analysis. **AOAC international**. Rockville, MD, USA, 2000.

508

- 509 Ashekuzzaman, S. M. *et al.* Dairy industry derived wastewater treatment sludge: Generation,
510 type and characterization of nutrients and metals for agricultural reuse. **Journal of Cleaner**
511 **Production**, [s. l.], v. 230, p. 1266–1275, 2019.
- 512
513 Augustin, M. A. *et al.* Use of whole buttermilk for microencapsulation of omega-3 oils.
514 **Journal of Functional Foods**, [s. l.], v. 19, Omega-3 Lipids, p. 859–867, 2015.
- 515
516 Barukčić, I.; Lisak Jakopović, K.; Božanić, R. Valorisation of whey and buttermilk for
517 production of functional beverages – An overview of current possibilities. **Food Technology**
518 **and Biotechnology**, [s. l.], v. 57, n. 4, p. 448–460, 2019.
- 519
520 Baskaran, K.; Palmowski, L. M.; Watson, B. M. Wastewater reuse and treatment options for
521 the dairy industry. **Water Supply**, [s. l.], v. 3, n. 3, p. 85–91, 2003.
- 522
523 Batham, S. K. A. *et al.* Effect of micronisation on properties of buckwheat seed (*fagopyrum*
524 *eslentum*). **Internationa Journa of Agricultural and Food Science.**, v. 3, n. 1, p. 22-27,
525 2013.
- 526
527 Bellary, A. N. *et al.* Anthocyanin infused watermelon rind and its stability during
528 storage. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, [S.L.], v. 33, p. 554-562, fev.
529 2016.
- 530
531 Biernacka, B. *et al.* Common wheat pasta enriched with ultrafine ground oat husk:
532 Physicochemical and sensory properties. **Molecules**, [s. l.], v. 28, n. 20, p. 7197, 2023.
- 533
534 Bilgin, B. Dağlıoğlu, O. Konyali, M. Functionality of bread made with pasteurized whey
535 and/or buttermilk. **Italian Journal of Food Science.**, v. 18, p. 277-286 2006.
- 536
537 Boita, E. R.F. *et al.* Rheological properties of wheat flour dough and pan bread with wheat
538 bran. **Journal Of Cereal Science**, [S.L.], v. 71, p. 177-182, set. 2016.
- 539
540 Boudalia, S. *et al.* Evaluation of physicochemical properties and sensory qualities of pasta
541 enriched with freeze-dried sweet whey. **Scientia Agriculturae Bohemica**, [s. l.], v. 51, n. 3,
542 p. 75–85, 2020.
- 543
544 Bourlieu, C. *et al.* Polar lipid composition of bioactive dairy co-products buttermilk and
545 butterserum: emphasis on sphingolipid and ceramide isoforms. **Food Chemistry**, [S.L.], v.
546 240, p. 67-74, fev. 2018.
- 547
548 Boylston, T. D. Byproducts from butter and cheese processing. In: **Byproducts from**
549 **Agriculture and Fisheries**. [S. l.]: John Wiley & Sons, Ltd, p. 107–121, 2019.
- 550
551 Brasil. Resolução-RDC nº 711, de 1º de julho de 2022. Dispõe sobre os requisitos sanitários
552 dos amidos, biscoitos, cereais integrais, cereais processados, farelos, farinhas, farinhas
553 integrais, massas alimentícias e pães. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, n.
554 126, 2022.
- 555
556 Brasil. Resolução-RDC nº 14, de 21 de fevereiro de 2000. Dispõe sobre o Regulamento
557 Técnico para Fixação de Identidade e Qualidade de Massa Alimentícia ou Macarrão. **Diário**
558 **Oficial da República Federativa do Brasil**, 2000.

- 559
560 Bresciani, A.; Pagani, M. A.; Marti, A. Pasta-making process: A narrative review on the
561 relation between process variables and pasta quality. **Foods**, [s. l.], v. 11, n. 3, p. 256, 2022.
562
- 563 Bustos, M. C.; Perez, T. G.; Leon, A. Structure and quality of pasta enriched with functional
564 ingredients. **RSC Advances**, [s. l.], v. 5, n. 39, p. 30780–30792, 2015.
565
- 566 Cai, Z. *et al.* Texture Analysis of Chinese Dried Noodles during Drying Based on Acoustic–
567 Mechanical Detection Methods. **Foods**, [S.L.], v. 13, n. 2, p. 268, 15 jan. 2024.
568
- 569 Calvo, M. V. *et al.* Comprehensive characterization of neutral and polar lipids of buttermilk
570 from different sources and its milk fat globule membrane isolates. **Journal Of Food**
571 **Composition And Analysis**, [S.L.], v. 86, p. 103386, mar. 2020.
572
- 573 Carpentieri, S. *et al.* Functionalization of pasta through the incorporation of bioactive
574 compounds from agri-food by-products: Fundamentals, opportunities, and drawbacks. **Trends**
575 **in Food Science & Technology**, [s. l.], v. 122, p. 49–65, 2022.
576
- 577 Carpentieri, S.; Larrea-Wachtendorff, D.; Ferrari, G. Influence of semolina characteristics and
578 pasta-making process on the physicochemical, structural, and sensorial properties of
579 commercial durum wheat spaghetti. **Frontiers In Food Science And Technology**, [S.L.], v.
580 4, p. 1-15, 7 jun. 2024.
581
- 582 Castro Gómez, M. *et al.* Antiproliferative activity of buttermilk lipid fractions isolated using
583 food grade and non-food grade solvents on human cancer cell lines. **Food Chemistry**, [s. l.],
584 v. 212, 2016.
585
- 586 Ćetković, G. *et al.* Composition, texture, sensorial quality, and biological activity after
587 in vitro digestion of durum wheat pasta enriched with carrot waste extract
588 encapsulates. **International Journal Of Food Sciences And Nutrition**, [S.L.], v. 73, n. 5, p.
589 638-649, 22 jan. 2022.
590
- 591 Chillo, S. *et al.* Quality of spaghetti in base amaranthus wholemeal flour added with quinoa,
592 broad bean and chick pea. **Journal of Food Engineering**, [s. l.], v. 84, n. 1, p. 101–107,
593 2008.
594
- 595 Chokshi, K. *et al.* Microalgal biomass generation by phycoremediation of dairy industry
596 wastewater: An integrated approach towards sustainable biofuel production. **Bioresource**
597 **Technology**, [s. l.], v. 221, p. 455–460, 2016.
598
- 599 Chon, J.-W. *et al.* Nutritional functions of milk and dairy products in improving human
600 health. **Journal of Milk Science and Biotechnology**, [s. l.], v. 34, n. 3, p. 145–155, 2016.
601
- 602 Chusak, C. *et al.* Effect of gac fruit (*Momordica cochinchinensis*) powder on in vitro starch
603 digestibility, nutritional quality, textural and sensory characteristics of pasta. **Lwt**, [S.L.], v.
604 118, p. 108856, jan. 2020.
605
- 606 Coello, K. E. *et al.* Pasta products enriched with moringa sprout powder as nutritive dense
607 foods with bioactive potential. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 360, p. 130032, 2021.

- 608
609 Conway, V.; Gauthier, S. F.; Pouliot, Y. Buttermilk: Much more than a source of milk
610 phospholipids. **Animal Frontiers**, [s. l.], v. 4, n. 2, p. 44–51, 2014.
611
- 612 Conway, V. *et al.* Impact of buttermilk consumption on plasma lipids and surrogate markers
613 of cholesterol homeostasis in men and women. **Nutrition, Metabolism And Cardiovascular**
614 **Diseases**, [S.L.], v. 23, n. 12, p. 1255-1262, dez. 2013.
615
- 616 Costa, M. A. *et al.* Whey butter: a promising perspective for the dairy industry. **Brazilian**
617 **Journal of Food Technology**, [s. l.], v. 25, p. e2021088, 2022.
618
- 619 Couto, H. J. B.; Melo, M. V.; Massarani, G. Treatment of milk industry effluent by dissolved
620 air flotation. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, [s. l.], v. 21, p. 83–91, 2004.
621
- 622 Demir, M. K.; Ertas, N.; Sert, D. Influence of Some Dairy Powders on the Qualitative
623 Parameters of Bread. **Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, [S.L.], v. 10, n. 4,
624 p. 2618-2625, 15 dez. 2020.
625
- 626 Desai, A.; Brennan, M. A.; Brennan, C. S. The effect of semolina replacement with protein
627 powder from fish (*Pseudophycis bachus*) on the physicochemical characteristics of
628 pasta. **Lwt**, [S.L.], v. 89, p. 52-57, mar. 2018.
629
- 630 Dewettinck, K. *et al.* Nutritional and technological aspects of milk fat globule membrane
631 material. **International Dairy Journal**, [s. l.], v. 18, n. 5, p. 436–457, 2008.
632
- 633 Duda, A. *et al.* Quality and Nutritional/Textural Properties of Durum Wheat Pasta Enriched
634 with Cricket Powder. **Foods**, [S.L.], v. 8, n. 2, p. 46, 1 fev. 2019.
635
- 636 Dufour, M. *et al.* Unravelling the relationships between wheat dough extensional properties,
637 gluten network and water distribution. **Food Hydrocolloids**, [S.L.], v. 146, p. 109214, jan.
638 2024.
639
- 640 El-Abadi, N. H.; Dao, M. C.; Meydani, S. N. Yogurt: role in healthy and active aging¹²³⁴.
641 **The American Journal of Clinical Nutrition**, [s. l.], v. 99, n. 5, p. 1263S-1270S, 2014.
642
- 643 El-Sohaimy, S. A. *et al.* Physicochemical, texture and sensorial evaluation of pasta enriched
644 with chickpea flour and protein isolate. **Annals Of Agricultural Sciences**, [S.L.], v. 65, n. 1,
645 p. 28-34, jun. 2020.
- 646 Fao. Food and Agriculture Organization on the United Nations. **Gateway to dairy**
647 **production and products: Economis**. Rome: FAO, 2024a.
- 648 _____. **Gateway to dairy production and products: Smallholders in the value chain**.
649 Rome: FAO, 2024b. Disponível em: [https://www.fao.org/dairy-production-products/socio-](https://www.fao.org/dairy-production-products/socio-economics/smallholders-in-the-value-chain/en)
650 [economics/smallholders-in-the-value-chain/en](https://www.fao.org/dairy-production-products/socio-economics/smallholders-in-the-value-chain/en). Acesso em: 31 jul. 2024.
651
- 652 Fasuan, T. O. *et al.* Optimized spaghetti pasta from amaranth, partially deoiled sesame and
653 modified sorghum starch composite: bioactive, nutritional and physico-functional
654 characterization. **Nutrition & Food Science**, [S.L.], v. 51, n. 6, p. 974-988, 4 jan. 2021.
655

- 656 Faye, B.; Konuspayeva, G. The sustainability challenge to the dairy sector – The growing
657 importance of non-cattle milk production worldwide. **International Dairy Journal**, [s. l.], v.
658 24, n. 2, p. 50–56, 2012.
- 659
660 Feam. Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Orientações básicas para a operação de**
661 **estações de tratamento de esgoto**. Fundação Estadual do Meio Ambiente. --- Belo
662 Horizonte: FEAM, 2015.
- 663
664 Feillet, P.; Autran, J.-C.; icard-vernière, C. Mini Review Pasta brownness: an
665 assessment. **Journal Of Cereal Science**, [S.L.], v. 32, n. 3, p. 215-233, nov. 2000.
- 666
667 Fong, B. Y.; Norris, C. S.; Macgibbon, A. K. H. Protein and lipid composition of bovine
668 milk-fat-globule membrane. **International Dairy Journal**, [s. l.], v. 17, n. 4, p. 275–288,
669 2007.
- 670
671 Foschia, M. *et al.* How combinations of dietary fibres can affect physicochemical
672 characteristics of pasta. **Lwt - Food Science And Technology**, [S.L.], v. 61, n. 1, p. 41-46,
673 abr. 2015.
- 674
675 Garg, M. *et al.* Vitamins in cereals: a critical review of content, health effects, processing
676 losses, bioaccessibility, fortification, and biofortification strategies for their improvement.
677 **Frontiers in Nutrition**, [s. l.], v. 8, p. 586815, 2021.
- 678
679 Gazza, L.; Nocente, F. Special Issue: innovative pasta with high nutritional and health
680 potential. **Foods**, [S.L.], v. 11, n. 16, p. 2448, 14 ago. 2022.
- 681
682 Goes, E. S. R *et al.* Fresh pasta enrichment with protein concentrate of tilapia: nutritional and
683 sensory characteristics. **Food Science And Technology**, [S.L.], v. 36, n. 1, p. 76-82, 19 jan.
684 2016.
- 685
686 Gonzales, S. L. *et al.* Elaboração de pães com adição de soro de manteiga / Bread-making
687 with the addition of buttermilk. **Ambiência**, [s. l.], v. 5, n. 3, p. 391–399, 2009.
- 688
689 Guggisberg, D. *et al.* Effects of heat treatment of cream on the physical–chemical properties
690 of model oil-in-buttermilk emulsions. **International Dairy Journal**, [s. l.], v. 26, n. 1, p. 88–
691 93, 2012.
- 692
693 Gupta, A.; Sharma, S.; Reddy Surasani, V. K. Quinoa protein isolate supplemented pasta:
694 nutritional, physical, textural and morphological characterization. **LWT**, [s. l.], v. 135, p.
695 110045, 2021.
- 696
697 Hashem, M. I. Supplementation of buttermilk with red beet root for producing fermented milk
698 beverage. **Egyptian Journal of Agricultural Research**, [s. l.], 2018.
- 699
700 Hébrard, A. *et al.* Hydration properties of durum wheat semolina: influence of particle size
701 and temperature. **Powder Technology**, [S.L.], v. 130, n. 1-3, p. 211-218, fev. 2003.
- 702
703 Hickey, C. D. *et al.* Influence of buttermilk powder or buttermilk addition on phospholipid
704 content, chemical and bio-chemical composition and bacterial viability in Cheddar style-
705 cheese. **Food Research International**, [S.L.], v. 102, p. 748-758, dez. 2017.

- 706
707 Hussien, A. *et al.* Spirulina-enriched pasta as functional food rich in protein and antioxidant.
708 [s. l.], p. 14736–14750, 2021.
709
- 710 ISO. ISO 5537:2023 | IDF Standard 26:2023. Milk powder and milk products powder —
711 Determination of moisture content (reference method). 2nd ed. Geneva: **International**
712 **Organization for Standardization**, 2023.
713
- 714 _____. ISO 19662:2018 | IDF 238:2018. Milk — Determination of fat content — Acido-
715 butyrometric (Gerber method). 1 ed. Geneva: **International Organization for**
716 **Standardization**, 2014.
717
- 718 _____. ISO 8968-1:2014 | IDF 20-1:2014. Milk and milk products — Determination of
719 nitrogen content Part 1: Kjeldahl principle and crude protein calculation. 2nd ed. Geneva:
720 **International Organization for Standardization**, 2014.
721
- 722 Ipo. International Pasta Organisation. **IPO em números**. 2024.
723
- 724 Jean, C. *et al.* Antimicrobial activity of buttermilk and lactoferrin peptide extracts on poultry
725 pathogens. **The Journal of Dairy Research**, [s. l.], v. 83, n. 4, p. 497–504, 2016.
726
- 727 Jiménez-Flores, R.; Brisson, G. The milk fat globule membrane as an ingredient: why, how,
728 when?. **Dairy Science and Technology**, [s. l.], v. 88, n. 1, p. 5–18, 2008.
729
- 730 Kadam, S. U.; Prabhasankar, P. Marine foods as functional ingredients in bakery and pasta
731 products. **Food Research International**, [s. l.], v. 43, n. 8, p. 1975–1980, 2010.
732
- 733 Kailasapathy, K. Chemical composition, physical, and functional properties of milk and milk
734 ingredients. In: Chandan, R. C.; Kilara, A.; Shah, N. P. (org.). **Dairy Processing and Quality**
735 **Assurance**. 1. ed. [S. l.]: Wiley, p. 77–105, 2015.
736
- 737 Kaur, G. *et al.* Enrichment of pasta with different plant proteins. **Journal Of Food Science**
738 **And Technology**, [S.L.], v. 50, n. 5, p. 1000-1005, 10 jun. 2013.
739
- 740 Khalid, A.; Hameed, A.; Tahir, M. F. Wheat quality: A review on chemical composition,
741 nutritional attributes, grain anatomy, types, classification, and function of seed storage
742 proteins in bread making quality. **Frontiers in Nutrition**, [s. l.], v. 10, p. 1053196, 2023.
743
- 744 Koli, D. *et al.* Nutritional, Functional, Textural and Sensory Evaluation of Spirulina Enriched
745 Green Pasta: a potential dietary and health supplement. **Foods**, [S.L.], v. 11, n. 7, p. 979, 28
746 mar. 2022.
747
- 748 Kumar, A.; Jangra, A. Development of Fiber Fortified Functional Buttermilk by *Lactobacillus*
749 *Acidophilus*. v. 83, n.7, p. 31-37, 2023.
750
- 751 Kumari, E. M. S. H.; Wijayasekara, K. N.; Liyanapathirana, P. S. Development of a reduced
752 fat ice cream by utilizing buttermilk and oats (*Avena sativa*). [s. l.], 2022.
753
- 754 Kuchta-Noctor, A. M. *et al.* Anticancer Activity of Buttermilk Against SW480 Colon Cancer

- 755 Cells is Associated with Caspase-Independent Cell Death and Attenuation of Wnt, Akt, and
756 ERK Signaling. **Nutrition And Cancer**, [S.L.], v. 68, n. 7, p. 1234-1246, 29 jul. 2016.
757
- 758 Kurylets, O. *et al.* Coagulation treatment of effluent from milk-processing enterprises with
759 waste FeSO₄. Rochester, NY: [s. n.], 2022.
760
- 761 Lambert, S. *et al.* The lipid content and microstructure of industrial whole buttermilk and
762 butter serum affect the efficiency of skimming. **Food Research International**, [s. l.], v. 83, p.
763 121–130, 2016.
764
- 765 Li, Z. *et al.* Influence of Milk and Milk-Born Active Peptide Addition on Textural and
766 Sensory Characteristics of Noodle. **Journal Of Texture Studies**, [S.L.], v. 48, n. 1, p. 23-30,
767 13 jun. 2016.
768
- 769 Lopez, C. Lipid domains in the milk fat globule membrane: Specific role of sphingomyelin.
770 **Lipid Technology**, [s. l.], v. 22, n. 8, p. 175–178, 2010.
771
- 772 Lopez, C. Milk fat globules enveloped by their biological membrane: Unique colloidal
773 assemblies with a specific composition and structure. **Current Opinion in Colloid &
774 Interface Science**, [s. l.], v. 16, n. 5, p. 391–404, 2011.
775
- 776 Luo, X. *et al.* Determination of extensibility and toughness of wheat-flour dough based on
777 bubbles blown by sheeted dough and airflow-3D imaging technique. **Journal Of Cereal
778 Science**, [S.L.], v. 113, p. 103754, set. 2023.
779
- 780 Macedo, C. *et al.* Rheology Methods as a Tool to Study the Impact of Whey Powder on the
781 Dough and Breadmaking Performance of Wheat Flour. **Fluids**, [S.L.], v. 5, n. 2, p. 50, 14 abr.
782 2020.
783
- 784 Maganha, M. F. B. **Guia técnico ambiental da indústria de produtos lácteos**. São. Paulo:
785 CETESB, p. 95, 2008.
786
- 787 Madenci, A. B.; Bilgiçli, N. Effect of Whey Protein Concentrate and Buttermilk Powders on
788 Rheological Properties of Dough and Bread Quality. **Journal Of Food Quality**, [S.L.], v. 37,
789 n. 2, p. 117-124, 27 fev. 2014.
790
- 791 Mascarello, A. de F. *et al.* Technological and biological properties of buttermilk: A
792 minireview. In: **Whey - Biological Properties and Alternative Uses**. [S. l.]: IntechOpen,
793 2019.
794
- 795 McDonagh, M. *et al.* An Exploration of Food Sustainability Practices in the Food Industry
796 across Europe. **Sustainability**, [S.L.], v. 16, n. 16, p. 7119, 19 ago. 2024.
797
- 798 Mercier, S. *et al.* A meta-analysis of enriched pasta: What are the effects of enrichment and
799 process specifications on the quality attributes of pasta?. **Comprehensive Reviews in Food
800 Science and Food Safety**, [s. l.], v. 15, n. 4, p. 685–704, 2016.
801
- 802 Messia, M. C. *et al.* Nutritional and Technological Quality of High Protein Pasta. **Foods**,
803 [S.L.], v. 10, n. 3, p. 589, 11 mar. 2021.

- 804
805 Moatsou, G. “Cheese: Technology, Compositional, Physical and Biofunctional Properties:” A
806 special issue. **Foods**, [s. l.], v. 8, n. 10, p. 512, 2019.
- 807
808 Monalisa, K. *et al.* Quality improvement of frozen cooked noodles by protein
809 addition. **Cryobiology**, [S.L.], v. 116, p. 104934, set. 2024.
- 810
811 Mokrzycki, W. S.; Tatol, M. Palette Generation in L * a * b * Colour Space Using
812 ΔE . **Advances In Intelligent And Soft Computing**, [S.L.], p. 279-285, 2011.
- 813
814 Monteiro, M. L. G. *et al.* Nutritional profile and chemical stability of pasta fortified with
815 tilapia (*Oreochromis niloticus*) flour. **PLOS ONE**, [s. l.], v. 11, n. 12, p. e0168270, 2016.
- 816
817 Muthukumar, S.; Tranchant, C. Spray drying - Concept, applications and recent advances in
818 food processing. In: [S. l.: s. n.], p. 1–30, 2020.
- 819
820 Nilusha, R. A. T. *et al.* Development of pasta products with nonconventional ingredients and
821 their effect on selected quality characteristics: A brief overview. **International Journal of**
822 **Food Science**, [s. l.], v. 2019, p. 6750726, 2019.
- 823
824 Nirmal, N. *et al.* Valorization of Fruit Waste for Bioactive Compounds and Their
825 Applications in the Food Industry. **Foods**, [S.L.], v. 12, n. 3, p. 556, 27 jan. 2023.
- 826
827 Noni, I. de; Pagani, M. A. Cooking Properties and Heat Damage of Dried Pasta as Influenced
828 by Raw Material Characteristics and Processing Conditions. **Critical Reviews In Food**
829 **Science And Nutrition**, [S.L.], v. 50, n. 5, p. 465-472, 5 abr. 2010.
- 830
831 Nowak, D.; Jakubczyk, E. The freeze-drying of foods—the characteristic of the process
832 course and the effect of its parameters on the physical properties of food materials. **Foods**, [s.
833 l.], v. 9, n. 10, p. 1488, 2020.
- 834
835 Omil, F. *et al.* Anaerobic filter reactor performance for the treatment of complex dairy
836 wastewater at industrial scale. **Water Research**, [s. l.], v. 37, n. 17, p. 4099–4108, 2003.
- 837
838 Özsungur, E.; Kanca, N.; Gürsoy, A. Some properties of ice cream produced with different
839 ratios of buttermilk powder. **GIDA / The Journal of Food**, [s. l.], v. 47, p. 591–603, 2022.
- 840
841 Ozturkoglu-Budak, S.; Akal, H. C.; Turkmen, N. Use of kefir and buttermilk to produce an
842 innovative quark cheese. **Journal Of Food Science And Technology**, [S.L.], v. 58, n. 1, p. 74-
843 84, 17 maio 2020.
- 844
845 Özyurt, G. *et al.* Evaluation of the Cooking Quality Characteristics of Pasta Enriched with
846 *Spirulina Platensis*. **Journal Of Food Quality**, [S.L.], v. 38, n. 4, p. 268-272, 25 jun. 2015.
- 847
848 Pires, A. F. *et al.* Dairy By-Products: a review on the valorization of whey and second cheese
849 whey. **Foods**, [S.L.], v. 10, n. 5, p. 1067, 12 maio 2021.
- 850
851 Ramos, I. *et al.* Desenvolvimento de sorvete com adição de leiteinho. **Brazilian Journal of**
852 **Food Technology**, [s. l.], v. 24, p. e2020237, 2021.

- 853
854 Rasouli Pirouzian, H. *et al.* Buttermilk as milk powder and whey substitute in compound milk
855 chocolate: Comparative study and optimisation. **International Journal of Dairy**
856 **Technology**, [s. l.], v. 74, n. 1, p. 246–257, 2021.
857
- 858 Reddy Surasani, V. K. *et al.* Functionality and cooking characteristics of pasta supplemented
859 with protein isolate from pangas processing waste. **LWT**, [s. l.], v. 111, p. 443–448, 2019.
860
- 861 Riccio, P. The proteins of the milk fat globule membrane in the balance. **Trends in Food**
862 **Science & Technology**, [s. l.], v. 15, n. 9, p. 458–461, 2004.
863
- 864 Rønholt, S.; Mortensen, K.; Knudsen, J. C. The effective factors on the structure of butter and
865 other milk fat-based products. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**,
866 [s. l.], v. 12, n. 5, p. 468–482, 2013.
867
- 868 Rosell, C. M; Rojas, J. A; Barber, C. B. de. Influence of hydrocolloids on dough rheology and
869 bread quality. **Food Hydrocolloids**, [S.L.], v. 15, n. 1, p. 75-81, jan. 2001.
870
- 871 Saini, M. *et al.* Enrichment of pasta with Pangasianodon hypophthalmus protein isolate for
872 improved sustainability, nutrition, and quality. **International Journal Of Food Science &**
873 **Technology**, [S.L.], v. 59, n. 2, p. 1160-1168, 17 out. 2023.
874
- 875 Saraiva, C. B.; Pereira, D. A. Subsídios para o uso sustentável da água em uma indústria de
876 laticínio de pequeno porte: Avaliação do consumo e geração de efluentes. **Revista Brasileira**
877 **de Agroecologia**, [s. l.], v. 4, n. 2, 2009.
878
- 879 Saraiva, B. R. *et al.* Brewing by-product valorisation: trub debittered for nutritional and
880 quality improvement of pasta. **International Journal Of Food Sciences And Nutrition**,
881 [S.L.], v. 73, n. 7, p. 915-926, 1 jul. 2022.
882
- 883 Šeregelj, V. *et al.* Quality and sensory profile of durum wheat pasta enriched with carrot
884 waste encapsulates. **Foods**, [s. l.], v. 11, n. 8, p. 1130, 2022.
885
- 886 Sheth, M.; Hirdyani, H. Development and sensory analysis of a buttermilk based fermented
887 drink using barley and fructooligosaccharide as functional ingredients. **International Journal**
888 **of Home Science**, [s. l.], v. 2, p. 235–239, 2016.
889
- 890 Silva. F. T. Manual de produção de manteiga. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil; Rio de
891 Janeiro: Embrapa-CTAA., p. 1-16, 1996.
892
- 893 Singh, H. The milk fat globule membrane—A biophysical system for food applications.
894 **Current Opinion in Colloid & Interface Science**, [s. l.], v. 11, n. 2–3, p. 154–163, 2006.
895
- 896 Skryplonek, K.; Dmytrów, I.; Mituniewicz-Małek, A. The use of buttermilk as a raw material
897 for cheese production. **International Journal of Dairy Technology**, [s. l.], v. 72, n. 4, p.
898 610–616, 2019.
899
- 900 Smoczyński, M.; Staniewski, B.; Kiełczewska, K. Composition and structure of the bovine
901 milk fat globule membrane—Some nutritional and technological implications. **Food Reviews**
902 **International**, [s. l.], v. 28, n. 2, p. 188–202, 2012.

- 903
904 Sodini, I. *et al.* Compositional and functional properties of buttermilk: A comparison between
905 sweet, sour, and whey buttermilk. **Journal of Dairy Science**, [s. l.], v. 89, n. 2, p. 525–536,
906 2006.
- 907
908 Song, Y.; Zheng, Q. Dynamic rheological properties of wheat flour dough and
909 proteins. **Trends In Food Science & Technology**, [S.L.], v. 18, n. 3, p. 132-138, mar. 2007.
- 910
911 Szkolnicka, K.; Dmytrów, I.; Mituniewicz-Małek, A. The Characteristics of Quark Cheese
912 Made from Buttermilk during Refrigerated Storage. **Foods**, [S.L.], v. 10, n. 8, p. 1783, 31 jul.
913 2021.
- 914
915 Tan, H.-L.; Tan, T.-C.; Easa, A. M. Comparative study of cooking quality, microstructure,
916 and textural and sensory properties between fresh wheat noodles prepared using sodium
917 chloride and salt substitutes. **Lwt**, [S.L.], v. 97, p. 396-403, nov. 2018.
- 918
919 Teterycz, D.; Sobota, A. Use of high-protein and high-dietary-fibre vegetable processing
920 waste from bell pepper and tomato for pasta fortification. **Foods**, [s. l.], v. 12, n. 13, p. 2567,
921 2023.
- 922
923 Thum, C. *et al.* Variation in milk fat globule size and composition: A source of bioactives for
924 human health. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, [s. l.], v. 63, n. 1, p. 87–
925 113, 2023.
- 926
927 Ungureanu-Iuga, M.; Dimian, M.; Mironeasa, S. Development and quality evaluation of
928 gluten-free pasta with grape peels and whey powders. **LWT**, [s. l.], v. 130, p. 109714, 2020.
- 929
930 Vanderghem, C. *et al.* Milk fat globule membrane and buttermilks: From composition to
931 valorization. **Biotechnol. Agron. Soc. Environ.**, [s. l.], 2010.
- 932
933 Verma, A.; Singh, A. Physico-chemical analysis of dairy industrial effluent. **International**
934 **Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, [s. l.], v. 6, n. 7, p. 1769–1775,
935 2017.
- 936
937 Vital, A. C. P. *et al.* Use of asparagus flour from non-commercial plants (residue) for
938 functional pasta production: Asparagus flour for functional pasta production. **Journal of**
939 **Food Science and Technology**, [s. l.], v. 57, n. 8, p. 2926–2933, 2020.
- 940
941 Wang J. *et al.* A Review of the Impact of Starch on the Quality of Wheat-Based Noodles and
942 Pasta: from the view of starch structural and functional properties and interaction with
943 gluten. **Foods**, [S.L.], v. 13, n. 10, p. 1507, 13 maio 2024.
- 944
945 Wong, P. Y. Y.; Kitts, D. D. A comparison of the buttermilk solids functional properties to
946 nonfat dried milk, soy protein isolate, dried egg white, and egg yolk powders. **Journal of**
947 **Dairy Science**, [s. l.], v. 86, n. 3, p. 746–754, 2003a.
- 948
949 Wong, P. Y. Y.; Kitts, D. D. Chemistry of buttermilk solid antioxidant activity. **Journal of**
950 **Dairy Science**, [s. l.], v. 86, n. 5, p. 1541–1547, 2003b.
- 951

- 952 Zaky, A. A. *et al.* Impact of Sunflower Meal Protein Isolate Supplementation on Pasta
953 Quality. **Separations**, [S.L.], v. 9, n. 12, p. 429, 10 dez. 2022.
954
- 955 Zarzycki, P. *et al.* Flaxseed enriched pasta—Chemical composition and cooking quality.
956 **Foods**, [s. l.], v. 9, n. 4, p. 404, 2020.
957
- 958 Zhang, Y. *et al.* Buttermilk as a wall material for microencapsulation of omega-3 oils by
959 spray drying. **LWT**, [s. l.], v. 127, p. 109320, 2020.
960
- 961 Zhao, L. *et al.* Addition of buttermilk improves the flavor and volatile compound profiles of
962 low-fat yogurt. **LWT**, [s. l.], v. 98, p. 9–17, 2018.
963
- 964 Zhao, L.; Feng, R.; Mao, X. Addition of buttermilk powder improved the rheological and
965 storage properties of low-fat yogurt. **Food Science & Nutrition**, [s. l.], v. 8, n. 7, p. 3061–
966 3069, 2020.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo apresentou uma análise abrangente sobre a MGGL e o desenvolvimento experimental de massas alimentícias com leiteiro, destacando duas abordagens complementares, que contribuem com a inovação na indústria alimentícia. A partir dos resultados obtidos, as seguintes conclusões podem ser estabelecidas:

a) Em relação a análise cienciométrica e prospecção tecnológica:

- O aumento expressivo no número de publicações científicas e patentes reflete o crescente interesse acadêmico e industrial na exploração da MGGL, com aplicações ainda promissoras na nutrição infantil e produtos funcionais, confirmando sua relevância como ingrediente funcional e inovador.
- Ainda há desafios a serem superados, especialmente na padronização, extração e validação científica de seus benefícios, reforçando a necessidade de pesquisas mais robustas e da colaboração entre academia e indústria para ampliar seu impacto e viabilidade comercial.

b) Em relação ao desenvolvimento da massa alimentícia:

- A adição de leiteiro confirmou a hipótese do enriquecimento nutricional da massa, devido ao aumento dos teores de proteínas, lipídios e minerais, atendendo ao objetivo de desenvolver alimentos mais saudáveis e sustentáveis.
- No entanto, a interação do leiteiro com a farinha de trigo alterou as propriedades tecnológicas da massa, resultando em aumento do tempo de cozimento, maior perda de sólidos e textura mais firme. Esses resultados reforçam a necessidade de otimização no processamento e na formulação, para garantir um produto de melhor qualidade tecnológica e sensorial.

Apesar dos avanços e resultados promissores, o estudo enfrentou algumas limitações que devem ser consideradas. O baixo rendimento do processo de secagem, aliado à disponibilidade limitada de equipamentos adequados, comprometeu a produção de leiteiro em pó em escala suficiente para todas as análises planejadas. Assim, foi necessário adquirir o produto comercialmente para garantir a continuidade do estudo. Essas restrições impactaram a realização de algumas análises, como a composição de aminoácidos, a biodisponibilidade proteica e a análise sensorial.

Por fim, considera-se que este estudo apresenta dados importantes para a avaliação do potencial do leiteiro como ingrediente funcional e sustentável na indústria alimentícia, contribuindo para o desenvolvimento de produtos mais nutritivos e alinhados às demandas por alimentos saudáveis. Os resultados obtidos fornecem uma base preliminar para a aplicação do leiteiro em matrizes alimentares, como massas, destacando seu valor nutricional e funcional. Entretanto, outros estudos são necessários para explorar de forma mais completa o potencial do leiteiro.

REFERÊNCIAS

- Ahmad, T. *et al.* Treatment and utilization of dairy industrial waste: A review. **Trends in Food Science & Technology**, [s. l.], v. 88, p. 361–372, 2019.
- Ali, A. H. Current knowledge of buttermilk: Composition, applications in the food industry, nutritional and beneficial health characteristics. **International Journal of Dairy Technology**, [s. l.], v. 72, n. 2, p. 169–182, 2019.
- Al-Jahani, A. H. Effect of buttermilk on the physicochemical, rheological, and sensory qualities of pan and pita bread. **International Journal of Food Science**, [s. l.], v. 2017, n. 1, p. 2054252, 2017.
- Andrade, M. R. D. *et al.* Fermented milk beverage: formulation and process. **Ciência Rural**, [s. l.], v. 49, n. 3, p. e20180382, 2019.
- Ashekuzzaman, S. M. *et al.* Dairy industry derived wastewater treatment sludge: Generation, type and characterization of nutrients and metals for agricultural reuse. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 230, p. 1266–1275, 2019.
- Augustin, M. A. *et al.* Use of whole buttermilk for microencapsulation of omega-3 oils. **Journal of Functional Foods**, [s. l.], v. 19, Omega-3 Lipids, p. 859–867, 2015.
- Barukčić, I.; Lisak Jakopović, K.; Božanić, R. Valorisation of whey and buttermilk for production of functional beverages – An overview of current possibilities. **Food Technology and Biotechnology**, [s. l.], v. 57, n. 4, p. 448–460, 2019.
- Baskaran, K.; Palmowski, L. M.; Watson, B. M. Wastewater reuse and treatment options for the dairy industry. **Water Supply**, [s. l.], v. 3, n. 3, p. 85–91, 2003.
- Batham, S. K. A. *et al.* Effect of micronisation on properties of buckwheat seed (*fagopyrum eslentum*). **Internationa Journa of Agricultural and Food Science.**, v. 3, n. 1, p. 22-27, 2013.
- Biernacka, B. *et al.* Common wheat pasta enriched with ultrafine ground oat husk: Physicochemical and sensory properties. **Molecules**, [s. l.], v. 28, n. 20, p. 7197, 2023.
- Boita, E. R.F. *et al.* Rheological properties of wheat flour dough and pan bread with wheat bran. **Journal Of Cereal Science**, [S.L.], v. 71, p. 177-182, set. 2016.
- Boudalia, S. *et al.* Evaluation of physicochemical properties and sensory qualities of pasta enriched with freeze-dried sweet whey. **Scientia Agriculturae Bohemica**, [s. l.], v. 51, n. 3, p. 75–85, 2020.
- Boylston, T. D. Byproducts from butter and cheese processing. In: *Byproducts from Agriculture and Fisheries*. [S. l.]: John Wiley & Sons, Ltd, p. 107–121, 2019.
- Brasil. Resolução-RDC nº 711, de 1º de julho de 2022. Dispõe sobre os requisitos sanitários dos amidos, biscoitos, cereais integrais, cereais processados, farelos, farinhas, farinhas

integrais, massas alimentícias e pães. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, n. 126, 2022.

Bresciani, A.; Pagani, M. A.; Marti, A. Pasta-making process: A narrative review on the relation between process variables and pasta quality. **Foods**, [s. l.], v. 11, n. 3, p. 256, 2022.

Bustos, M. C.; Perez, T. G.; Leon, A. Structure and quality of pasta enriched with functional ingredients. **RSC Advances**, [s. l.], v. 5, n. 39, p. 30780–30792, 2015.

Capanoglu, E.; Nemli, E.; Tomas-Barberan, F. Novel Approaches in the Valorization of Agricultural Wastes and Their Applications. **Journal Of Agricultural And Food Chemistry**, [S.L.], v. 70, n. 23, p. 6787-6804, 23 fev. 2022.

Carpentieri, S. *et al.* Functionalization of pasta through the incorporation of bioactive compounds from agri-food by-products: Fundamentals, opportunities, and drawbacks. **Trends in Food Science & Technology**, [s. l.], v. 122, p. 49–65, 2022.

Castro Gómez, M. *et al.* Antiproliferative activity of buttermilk lipid fractions isolated using food grade and non-food grade solvents on human cancer cell lines. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 212, 2016.

Chillo, S. *et al.* Quality of spaghetti in base amaranthus wholemeal flour added with quinoa, broad bean and chick pea. **Journal of Food Engineering**, [s. l.], v. 84, n. 1, p. 101–107, 2008.

Chokshi, K. *et al.* Microalgal biomass generation by phycoremediation of dairy industry wastewater: An integrated approach towards sustainable biofuel production. **Bioresource Technology**, [s. l.], v. 221, p. 455–460, 2016.

Chon, J.-W. *et al.* Nutritional functions of milk and dairy products in improving human health. **Journal of Milk Science and Biotechnology**, [s. l.], v. 34, n. 3, p. 145–155, 2016.

Coello, K. E. *et al.* Pasta products enriched with moringa sprout powder as nutritive dense foods with bioactive potential. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 360, p. 130032, 2021.

Conway, V.; Gauthier, S. F.; Pouliot, Y. Buttermilk: Much more than a source of milk phospholipids. **Animal Frontiers**, [s. l.], v. 4, n. 2, p. 44–51, 2014.

Costa, M. A. *et al.* Whey butter: a promising perspective for the dairy industry. **Brazilian Journal of Food Technology**, [s. l.], v. 25, p. e2021088, 2022.

Couto, H. J. B.; Melo, M. V.; Massarani, G. Treatment of milk industry effluent by dissolved air flotation. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, [s. l.], v. 21, p. 83–91, 2004.

Dewettinck, K. *et al.* Nutritional and technological aspects of milk fat globule membrane material. **International Dairy Journal**, [s. l.], v. 18, n. 5, p. 436–457, 2008.

El-Abbadi, N. H.; Dao, M. C.; Meydani, S. N. Yogurt: role in healthy and active aging¹²³⁴. **The American Journal of Clinical Nutrition**, [s. l.], v. 99, n. 5, p. 1263S-1270S, 2014.

Fao. Food and Agriculture Organization on the United Nations. **Gateway to dairy production and products**: Economis. Rome: FAO, 2024a. Disponível em: <https://www.fao.org/dairy-production-products/socio-economics/economics/en>. Acesso em: 26 jul. 2024.

_____. **Gateway to dairy production and products**: Smallholders in the value chain. Rome: FAO, 2024b. Disponível em: <https://www.fao.org/dairy-production-products/socio-economics/smallholders-in-the-value-chain/en>. Acesso em: 31 jul. 2024.

Faye, B.; Konuspayeva, G. The sustainability challenge to the dairy sector – The growing importance of non-cattle milk production worldwide. **International Dairy Journal**, [s. l.], v. 24, n. 2, p. 50–56, 2012.

Feam. Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Orientações básicas para a operação de estações de tratamento de esgoto**. Fundação Estadual do Meio Ambiente. --- Belo Horizonte: FEAM, 2015.

Fong, B. Y.; Norris, C. S.; Macgibbon, A. K. H. Protein and lipid composition of bovine milk-fat-globule membrane. **International Dairy Journal**, [s. l.], v. 17, n. 4, p. 275–288, 2007.

Garg, M. *et al.* Vitamins in cereals: a critical review of content, health effects, processing losses, bioaccessibility, fortification, and biofortification strategies for their improvement. **Frontiers in Nutrition**, [s. l.], v. 8, p. 586815, 2021.

Gonzales, S. L. *et al.* Elaboração de pães com adição de soro de manteiga / Bread-making with the addition of buttermilk. **AMBIÊNCIA**, [s. l.], v. 5, n. 3, p. 391–399, 2009.

Guggisberg, D. *et al.* Effects of heat treatment of cream on the physical–chemical properties of model oil-in-buttermilk emulsions. **International Dairy Journal**, [s. l.], v. 26, n. 1, p. 88–93, 2012.

Gupta, A.; Sharma, S.; Reddy Surasani, V. K. Quinoa protein isolate supplemented pasta: nutritional, physical, textural and morphological characterization. **LWT**, [s. l.], v. 135, p. 110045, 2021.

Hashem, M. I. Supplementation of buttermilk with red beet root for producing fermented milk beverage. **Egyptian Journal of Agricultural Research**, [s. l.], 2018.

Hussien, A. *et al.* Spirulina-enriched pasta as functional food rich in protein and antioxidant. [s. l.], p. 14736–14750, 2021.

Ipo. International Pasta Organisation. IPO em números. 2024. Disponível em: <<https://internationalpasta.org/>>. Acesso em: 26 ago. 2024.

Jaganmai, G.; Jinka, R. Production of Lipases from Dairy Industry Wastes and its Applications. **Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.**, Special Issue-5: 67-73, 2017.

Jean, C. *et al.* Antimicrobial activity of buttermilk and lactoferrin peptide extracts on poultry pathogens. **The Journal of Dairy Research**, [s. l.], v. 83, n. 4, p. 497–504, 2016.

Jiménez-Flores, R.; Brisson, G. The milk fat globule membrane as an ingredient: why, how, when?. **Dairy Science and Technology**, [s. l.], v. 88, n. 1, p. 5–18, 2008.

Kadam, S. U.; Prabhasankar, P. Marine foods as functional ingredients in bakery and pasta products. **Food Research International**, [s. l.], v. 43, n. 8, p. 1975–1980, 2010.

Kailasapathy, K. Chemical composition, physical, and functional properties of milk and milk ingredients. In: Chandan, R. C.; Kilara, A.; Shah, N. P. (org.). **Dairy Processing and Quality Assurance**. 1. ed. [S. l.]: Wiley, p. 77–105, 2015.

Khalid, A.; Hameed, A.; Tahir, M. F. Wheat quality: A review on chemical composition, nutritional attributes, grain anatomy, types, classification, and function of seed storage proteins in bread making quality. **Frontiers in Nutrition**, [s. l.], v. 10, p. 1053196, 2023.

Kumari, E. M. S. H.; Wijayasekara, K. N.; Liyanapathirana, P. S. Development of a reduced fat ice cream by utilizing buttermilk and oats (*Avena sativa*). [s. l.], 2022.

Kurylets, O. *et al.* Coagulation treatment of effluent from milk-processing enterprises with waste FeSO₄. Rochester, NY: [s. n.], 2022.

Lambert, S. *et al.* The lipid content and microstructure of industrial whole buttermilk and butter serum affect the efficiency of skimming. **Food Research International**, [s. l.], v. 83, p. 121–130, 2016.

Lopez, C. Lipid domains in the milk fat globule membrane: Specific role of sphingomyelin. **Lipid Technology**, [s. l.], v. 22, n. 8, p. 175–178, 2010.

Lopez, C. Milk fat globules enveloped by their biological membrane: Unique colloidal assemblies with a specific composition and structure. **Current Opinion in Colloid & Interface Science**, [s. l.], v. 16, n. 5, p. 391–404, 2011.

Maganha, M. F. B. **Guia técnico ambiental da indústria de produtos lácteos**. São. Paulo: CETESB, p. 95, 2008.

Mascarello, A. de F. *et al.* Technological and biological properties of buttermilk: A minireview. In: **Whey - Biological Properties and Alternative Uses**. [S. l.]: IntechOpen, 2019.

Mercier, S. *et al.* A meta-analysis of enriched pasta: What are the effects of enrichment and process specifications on the quality attributes of pasta?. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, [s. l.], v. 15, n. 4, p. 685–704, 2016.

Moatsou, G. “Cheese: Technology, Compositional, Physical and Biofunctional Properties:” A special issue. **Foods**, [s. l.], v. 8, n. 10, p. 512, 2019.

Monteiro, M. L. G. *et al.* Nutritional profile and chemical stability of pasta fortified with tilapia (*Oreochromis niloticus*) flour. **PLOS ONE**, [s. l.], v. 11, n. 12, p. e0168270, 2016.

Muthukumar, S.; Tranchant, C. Spray drying - Concept, applications and recent advances in food processing. In: [S. l.: s. n.], p. 1–30, 2020.

Nilusha, R. A. T. *et al.* Development of pasta products with nonconventional ingredients and their effect on selected quality characteristics: A brief overview. **International Journal of Food Science**, [s. l.], v. 2019, p. 6750726, 2019.

Nowak, D.; Jakubczyk, E. The freeze-drying of foods—the characteristic of the process course and the effect of its parameters on the physical properties of food materials. **Foods**, [s. l.], v. 9, n. 10, p. 1488, 2020.

Omil, F. *et al.* Anaerobic filter reactor performance for the treatment of complex dairy wastewater at industrial scale. **Water Research**, [s. l.], v. 37, n. 17, p. 4099–4108, 2003.

ONU. Organização das Nações Unidas. **Transformando nosso mundo: a agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável**. Nova York: Nações Unidas, 2015. Disponível em: <<https://sdgs.un.org/publications/transforming-our-world-2030-agenda-sustainable-development-17981>>. Acesso em: 27 fev. 2025.

Osorio, L. L. del R.; Flórez-López, E.; Grande-Tovar, C. D. The Potential of Selected Agri-Food Loss and Waste to Contribute to a Circular Economy: applications in the food, cosmetic and pharmaceutical industries. **Molecules**, [S.L.], v. 26, n. 2, p. 515, 19 jan. 2021.

Özşungur, E.; Kanca, N.; Gürsoy, A. Some properties of ice cream produced with different ratios of buttermilk powder. **GIDA / The Journal of Food**, [s. l.], v. 47, p. 591–603, 2022.

Ramos, I. *et al.* Desenvolvimento de sorvete com adição de leiteiro. **Brazilian Journal of Food Technology**, [s. l.], v. 24, p. e2020237, 2021.

Rasouli Pirouzian, H. *et al.* Buttermilk as milk powder and whey substitute in compound milk chocolate: Comparative study and optimisation. **International Journal of Dairy Technology**, [s. l.], v. 74, n. 1, p. 246–257, 2021.

Reddy Surasani, V. K. *et al.* Functionality and cooking characteristics of pasta supplemented with protein isolate from pangas processing waste. **LWT**, [s. l.], v. 111, p. 443–448, 2019.

Ribeiro, T. B. *et al.* Food waste and by-product valorization as an integrated approach with zero waste: future challenges. **Future Foods**, [S.L.], p. 569-596, 2022.

Riccio, P. The proteins of the milk fat globule membrane in the balance. **Trends in Food Science & Technology**, [s. l.], v. 15, n. 9, p. 458–461, 2004.

Rønholt, S.; Mortensen, K.; Knudsen, J. C. The effective factors on the structure of butter and other milk fat-based products. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, [s. l.], v. 12, n. 5, p. 468–482, 2013.

Saraiva, C. B.; Pereira, D. A. Subsídios para o uso sustentável da água em uma indústria de laticínio de pequeno porte: Avaliação do consumo e geração de efluentes. **Revista Brasileira de Agroecologia**, [s. l.], v. 4, n. 2, 2009.

Šeregelj, V. *et al.* Quality and sensory profile of durum wheat pasta enriched with carrot waste encapsulates. **Foods**, [s. l.], v. 11, n. 8, p. 1130, 2022.

Sheth, M.; Hirdyani, H. Development and sensory analysis of a buttermilk based fermented drink using barley and fructooligosaccharide as functional ingredients. **International Journal of Home Science**, [s. l.], v. 2, p. 235–239, 2016.

Silva, F. T. Manual de produção de manteiga. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil; Rio de Janeiro: Embrapa-CTAA., p. 1-16, 1996.

Singh, H. The milk fat globule membrane—A biophysical system for food applications. **Current Opinion in Colloid & Interface Science**, [s. l.], v. 11, n. 2–3, p. 154–163, 2006.

Skryplonek, K.; Dmytrów, I.; Mituniewicz-Małek, A. The use of buttermilk as a raw material for cheese production. **International Journal of Dairy Technology**, [s. l.], v. 72, n. 4, p. 610–616, 2019.

Smoczyński, M.; Staniewski, B.; Kielczewska, K. Composition and structure of the bovine milk fat globule membrane—Some nutritional and technological implications. **Food Reviews International**, [s. l.], v. 28, n. 2, p. 188–202, 2012.

Sodini, I. *et al.* Compositional and functional properties of buttermilk: A comparison between sweet, sour, and whey buttermilk. **Journal of Dairy Science**, [s. l.], v. 89, n. 2, p. 525–536, 2006.

Teterycz, D.; Sobota, A. Use of high-protein and high-dietary-fibre vegetable processing waste from bell pepper and tomato for pasta fortification. **Foods**, [s. l.], v. 12, n. 13, p. 2567, 2023.

Thum, C. *et al.* Variation in milk fat globule size and composition: A source of bioactives for human health. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, [s. l.], v. 63, n. 1, p. 87–113, 2023.

Ungureanu-Iuga, M.; Dimian, M.; Mironeasa, S. Development and quality evaluation of gluten-free pasta with grape peels and whey powders. **LWT**, [s. l.], v. 130, p. 109714, 2020.

Vanderghem, C. *et al.* Milk fat globule membrane and buttermilks: From composition to valorization. **Biotechnol. Agron. Soc. Environ.**, [s. l.], 2010.

Verma, A.; Singh, A. Physico-chemical analysis of dairy industrial effluent. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, [s. l.], v. 6, n. 7, p. 1769–1775, 2017.

Vital, A. C. P. *et al.* Use of asparagus flour from non-commercial plants (residue) for functional pasta production: Asparagus flour for functional pasta production. **Journal of Food Science and Technology**, [s. l.], v. 57, n. 8, p. 2926–2933, 2020.

Wong, P. Y. Y.; Kitts, D. D. A comparison of the buttermilk solids functional properties to nonfat dried milk, soy protein isolate, dried egg white, and egg yolk powders. **Journal of Dairy Science**, [s. l.], v. 86, n. 3, p. 746–754, 2003a.

Wong, P. Y. Y.; Kitts, D. D. Chemistry of buttermilk solid antioxidant activity. **Journal of Dairy Science**, [s. l.], v. 86, n. 5, p. 1541–1547, 2003b.

Zarzycki, P. *et al.* Flaxseed enriched pasta—Chemical composition and cooking quality. **Foods**, [s. l.], v. 9, n. 4, p. 404, 2020.

Zhang, Y. *et al.* Buttermilk as a wall material for microencapsulation of omega-3 oils by spray drying. **LWT**, [s. l.], v. 127, p. 109320, 2020.

Zhao, L. *et al.* Addition of buttermilk improves the flavor and volatile compound profiles of low-fat yogurt. **LWT**, [s. l.], v. 98, p. 9–17, 2018.

Zhao, L.; Feng, R.; Mao, X. Addition of buttermilk powder improved the rheological and storage properties of low-fat yogurt. **Food Science & Nutrition**, [s. l.], v. 8, n. 7, p. 3061–3069, 2020.