

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

MARIA EDUARDA SCHAITLER

**INFLUÊNCIA DO USO DA TRANSGLUTAMINASE NO RENDIMENTO E
PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DE IOGURTE GREGO E QUEIJO MINAS
PADRÃO**

**PATO BRANCO
2023**

MARIA EDUARDA SCHAITLER

**INFLUÊNCIA DO USO DA TRANSGLUTAMINASE NO RENDIMENTO E
PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DE IOGURTE GREGO E QUEIJO MINAS
PADRÃO**

**INFLUENCE OF TRANSGLUTAMINASE USAGE ON YIELD AND
PHYSICOCHEMICAL PARAMETERS OF GREEK YOGURT AND MINAS PADRÃO
CHEESE.**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Simone Beux.

**PATO BRANCO
2023**



Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



TERMO DE APROVAÇÃO

INFLUÊNCIA DO USO DA TRANSGLUTAMINASE NO RENDIMENTO E PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DE IOGURTE GREGO E QUEIJO MINAS PADRÃO

por

MARIA EDUARDA SCHAITLER

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado(a) em 16 de junho de 2023 às 13 horas e 50 minutos como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Química. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho **Aprovado**.

Simone Beux
Prof. Orientador

Davi Costa Silva
Membro titular

Edenes Maria Schroll Loss
Membro titular

Nota: O Documento original e assinado pela Banca Examinadora encontra-se no SEI processo 23064027290/2023-94 e documento 3510459.

Com imenso carinho, dedico este trabalho a todos os alunos que aspiram alcançar a formatura.

AGRADECIMENTO

A Professora Dra. Simone Beux, por ter sido minha orientadora e ter desempenhado tal função com dedicação e amizade. Obrigada!

Aos professores Dr. Davi Costa Silva e Edenes Maria Schroll, pela co-orientação, apoio técnico, amizade, por confiar em mim e contribuir de maneira efetiva no meu trabalho.

Aos meus professores, que foram fundamentais para o meu desenvolvimento acadêmico e pessoal ao longo desta jornada. Seu comprometimento, orientação e dedicação foram inestimáveis. Sou imensamente grata por ter tido a oportunidade de aprender com profissionais tão inspiradores e habilidosos.

A UTFPR, Pato Branco, em especial ao departamento de Química. A CAPES pela bolsa de estudo.

Aos amigos que estiveram ao meu lado nesta jornada acadêmica, meu mais profundo agradecimento.

Aos meus familiares, especialmente aos meus pais. Suas palavras de encorajamento, incentivo e sabedoria guiaram meus passos e me deram a coragem necessária para enfrentar todos os desafios que surgiram pelo caminho.

RESUMO

O queijo Minas, também conhecido como queijo Minas Frescal, é um queijo tradicional da culinária brasileira, originário do estado de Minas Gerais. O queijo Minas é produzido a partir do leite de vaca, que é coagulado com coalho ou com a adição de ácido láctico. Após a coagulação, a massa é cortada e colocada em formas para drenar o excesso de soro. Devido a sua versatilidade e sabor delicado, o queijo Minas é muito utilizado na culinária brasileira. Existem algumas variações regionais do queijo Minas, como o queijo Minas Padrão, que passa por um processo de prensagem para ficar mais firme, e o queijo Minas Meia Cura, que é submetido a um período curto de maturação, adquirindo um sabor mais intenso. O iogurte é um produto lácteo obtido através da fermentação do leite por bactérias específicas, como o *Lactobacillus bulgaricus* e o *Streptococcus thermophilus*. Essas bactérias convertem a lactose presente no leite em ácido láctico, o que resulta em uma textura cremosa e um sabor característico. A produção de iogurte pode ser feita a partir de leite integral, desnatado ou até mesmo de leite vegetal, como o leite de soja. Existem diferentes variedades de iogurte disponíveis, incluindo iogurte natural, iogurte com frutas, iogurte grego (que passa por um processo adicional de filtragem para obter uma textura mais espessa), iogurte sem lactose e iogurtes enriquecidos com outros ingredientes, como fibras ou ômega-3. O presente trabalho teve por objetivo avaliar a influência da enzima transglutaminase no rendimento e nos parâmetros físico-químicos de iogurte Grego e queijo Minas Padrão. Para a produção do iogurte foi utilizado leite pasteurizado e enzima transglutaminase, nas quantidades de 0,03, 0,05 e 0,07%, a qual ficou incubada a uma temperatura de 42°C. Para a produção do queijo Minas Padrão foi utilizado leite pasteurizado, coagulante, cloreto de cálcio, nitrato de cálcio, sal e enzima transglutaminase, nas concentrações de 0,65 e 1 UTG em relação a proteína do leite, a qual ficou incubada por 10 minutos a uma temperatura de 35°C. Os iogurtes e os queijos elaborados com e sem enzima foram comparados por meio de rendimento, análises físico-químicas. O leite apresentou média 3,78% de teor de lípidios e o teor de proteína de 3,21g. O rendimento com adição da enzima aumentou significativamente em relação aos elaborados tradicionalmente. Os iogurtes elaborados com adição da transglutaminase apresentaram teores de lípidios de 10,93 a 12,53%. Já os queijos elaborados com adição da transglutaminase foram classificados como queijos de massa branda ou macios por apresentarem umidade de 48,00 e 49,34% e os teores de lípidios de 24,25 e 22,85% os classificaram como queijos magros. Os queijos com adição da enzima apresentaram diferenças significativas em relação aos parâmetros de dureza, mastigabilidade e gomosidade.

Palavras-chave: Indústria queijeira. Textura. Enzima.

ABSTRACT

Cheese Minas, also known as queijo minas frescal, is a traditional cheese from Brazilian cuisine, originating from the state of Minas Gerais. Minas cheese is produced from cow's milk, which is coagulated with rennet or the addition of lactic acid. After coagulation, the curd is cut and placed in molds to drain the excess whey. Due to its versatility and delicate flavor, Minas cheese is widely used in Brazilian cuisine. There are some regional variations of Minas cheese, such as queijo Minas padrão, which undergoes a pressing process to become firmer, and queijo Minas meia cura, which undergoes a short maturation period, acquiring a more intense flavor. Yogurt is a dairy product obtained through the fermentation of milk by specific bacteria, such as *Lactobacillus bulgaricus* and *Streptococcus thermophilus*. These bacteria convert the lactose present in the milk into lactic acid, resulting in a creamy texture and a characteristic flavor. Yogurt can be produced from whole milk, skimmed milk, or even plant-based milk, such as soy milk. During fermentation, the bacteria transform the milk into yogurt, giving it its distinct characteristics. There are different varieties of yogurt available, including plain yogurt, fruit yogurt, Greek yogurt (which undergoes an additional straining process to obtain a thicker texture), lactose-free yogurt, and yogurt enriched with other ingredients, such as fibers or omega-3. The present study aimed to evaluate the influence of the transglutaminase enzyme on the yield and physicochemical parameters of Greek yogurt and queijo Minas padrão. Pasteurized milk and transglutaminase enzyme were used for yogurt production, at quantities of 0.03, 0.05, and 0.07%, which was incubated at a temperature of 42°C. For the production of queijo Minas Padrão, pasteurized milk, coagulant, calcium chloride, salt, and transglutaminase enzyme were used at concentrations of 0.65 and 1 UTG in relation to the milk protein, which was incubated for 10 minutes at a temperature of 35°C. The yogurts and cheeses made with and without the enzyme were compared in terms of yield and physicochemical analyses. The milk had an average lipid content of 3.78% and a protein content of 3.21g. The yield with the addition of the enzyme increased significantly compared to traditionally made products. Yogurts made with the addition of transglutaminase had lipid contents ranging from 10.93 to 12.53%. The cheeses made with the addition of transglutaminase were classified as soft cheeses due to their moisture content of 48.00 and 49.34%, and their lipid contents of 24.25 and 22.85% classified them as low-fat cheeses. The cheeses with the enzyme addition showed significant differences in terms of hardness, chewiness, and gumminess parameters.

Keywords: Cheese industry. Texture. Enzyme

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Ligação cruzada entre glutamina e lisina pertencente a uma cadeia peptídica.....	26
Figura 2 - Reação de acil-transferência com incorporação de lisina ou outra amina livre.....	27
Figura 3 - Fluxograma de elaboração do iogurte Grego segundo Cruz (2017) com alterações.....	36
Figura 4 - Dessador.....	37
Figura 5 - Fluxograma de elaboração do queijo Minas Padrão segundo Furtado & Neto (1994) com alterações	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados físico-químicos do logurte.....	42
Tabela 2 – Resultados físico-químicos do queijo Minas Padrão após 20 dias de maturação.	44
Tabela 3 - Valores obtidos na análise do perfil de textura dos queijos Minas Padrão	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ALA	Alfa-Lactoalbumina
BLG	Beta-Lactoglobulina
BSA	Albumina do Soro Bovino
GMP	Glico-Macropéptidos
IG	Imunoglobulinas
MAPA	Ministério da Agricultura e Pecuária
RTIQQ	Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Queijo
TG	Transglutaminase
TPA	Análise do Perfil de Textura

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	24
2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA	26
2.1 Transglutaminase (TGs)	26
2.2 Mecanismo de ação da TG na caseína	28
2.3 Leites e Produtos Lácteos	29
2.4 Queijo	30
2.5 Leites Fermentados	31
2.6 Iogurte	32
3 OBJETIVOS	33
3.1 Geral	33
3.2 Específicos	33
4 MATERIAIS E MÉTODOS	34
4.1 Matérias - Primas	34
4.1.1 Leite	34
4.1.2 Fermento	34
4.1.3 Transglutaminase (TG)	34
4.1.4 Coagulante e Sal	34
4.2 Elaboração do Iogurte Grego e Queijo Minas Padrão	34
4.2.2 Elaboração Queijo Minas Padrão	37
4.3 Análises Físicas Químicas	38
4.3.1 Umidade	38
4.3.2 Lipídios	39
4.3.3 Proteína Total	39
4.4 Análise do Perfil de Textura (TPA)	40
4.5 Análise estatísticas	41
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
5.1 Iogurte	42
5.1.1 Análise físico-química	42
5.2 Queijo Minas Padrão	44
5.2.1 Análise físico-química	44
5.2.2 Análise Perfil de Textura	46
5.2.2.1 Dureza	47
5.2.2.2 Elasticidade	47
5.2.2.3 Coesão	48

5.2.2.4 Mastigabilidade	48
5.2.2.5 Gomosidade	49
6 CONCLUSÃO	50
REFERÊNCIAS.....	51

1 INTRODUÇÃO

O leite é um dos produtos mais importantes do mercado mundial. É amplamente consumido por bilhões de pessoas em várias formas, seja cru ou processado e convertido em produtos lácteos. Além de possuir grande importância comercial, esse alimento, assim como seus derivados, é essencial para a alimentação humana, devido ao seu alto valor nutricional.

A comunidade industrial no setor lácteo vem investindo no desenvolvimento de novos produtos que atendam à demanda de produtos de fácil consumo e que sejam saudáveis e da mesma forma, tem investido em tecnologias que maximizem a utilização de todas as partes do leite, reduzindo assim, as perdas.

Na busca de melhorar as propriedades dos produtos lácteos e aumentar o aproveitamento do leite, a indústria, ao longo dos anos, estuda amplamente a utilização de enzimas, como exemplo a transglutaminase.

A Transglutaminase (TG) (EC 2.3.2.13) é uma enzima monomérica e é classificada como proteína simples. Sua estrutura possui conformação globular, característica que contribui para sua solubilidade em água, ainda que existam regiões hidrofóbicas ao longo de sua cadeia polipeptídica (SOUZA et al., 2017).

A TG pertence ao grupo enzimático das transferases, cuja função é realizar reações de acil transferência tendo como doador de grupo acil moléculas de carboxiamida presentes em resíduos de glutamina. A enzima atua na formação de ligações entre proteínas, na formação de ligações cruzadas tanto intermoleculares como intramoleculares e na reação de desamidação dos resíduos glutâmicos (SOUZA et al., 2017).

Sendo assim, a legislação brasileira permite a utilização da transglutaminase de origem microbiana *Streptoverticillium mobaraense* na indústria de alimentos em concentração suficiente para o efeito desejado, sem especificar o limite máximo permitido (BRASIL, 2006).

No Brasil, a TG foi aprovada como coadjuvante de tecnologia, participando da elaboração dos produtos. Devido às ligações intra e intermoleculares que ocorrem nas frações de caseína e nas proteínas do soro, a aplicação da TG em bebidas lácteas fermentadas pode ser uma opção para aumentar a viscosidade e a cremosidade, melhorar o corpo e diminuir a sinérese nesses produtos (FARIA, 2010).

O uso de enzimas para modificar as propriedades funcionais dos alimentos é um campo em constante crescimento. Dessa forma, a aplicação da transglutaminase (TG) pode ocorrer em iogurtes, queijos, sobremesas, queijos processados, sobremesas congeladas e sorvetes.

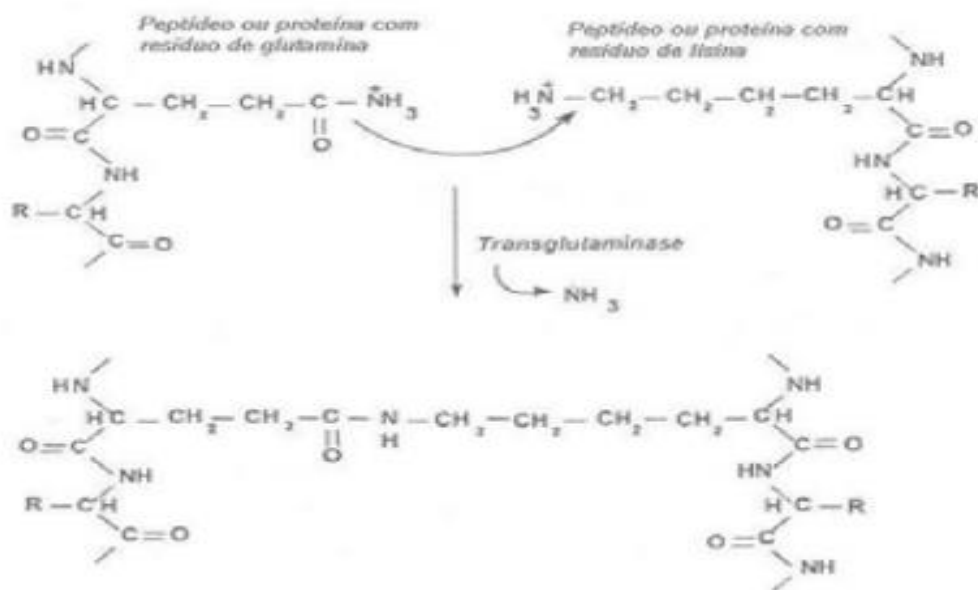
Nesse sentido, o objetivo dessa pesquisa foi avaliar a influência do uso da enzima TG no rendimento e nos parâmetros físicos-químicos do iogurte grego e queijo minas padrão. A metodologia para o desenvolvimento do estudo consiste na aplicação de concentrações diferentes da enzima em quantidades pré-determinadas, tendo como matéria prima o leite, enzima TG e fermento lácteo, resultando em amostras que foram avaliadas, além de enunciar os benefícios que a aplicação da enzima TG pode apresentar no processo de fabricação dos derivados lácteos.

2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1 Transglutaminase (TG)

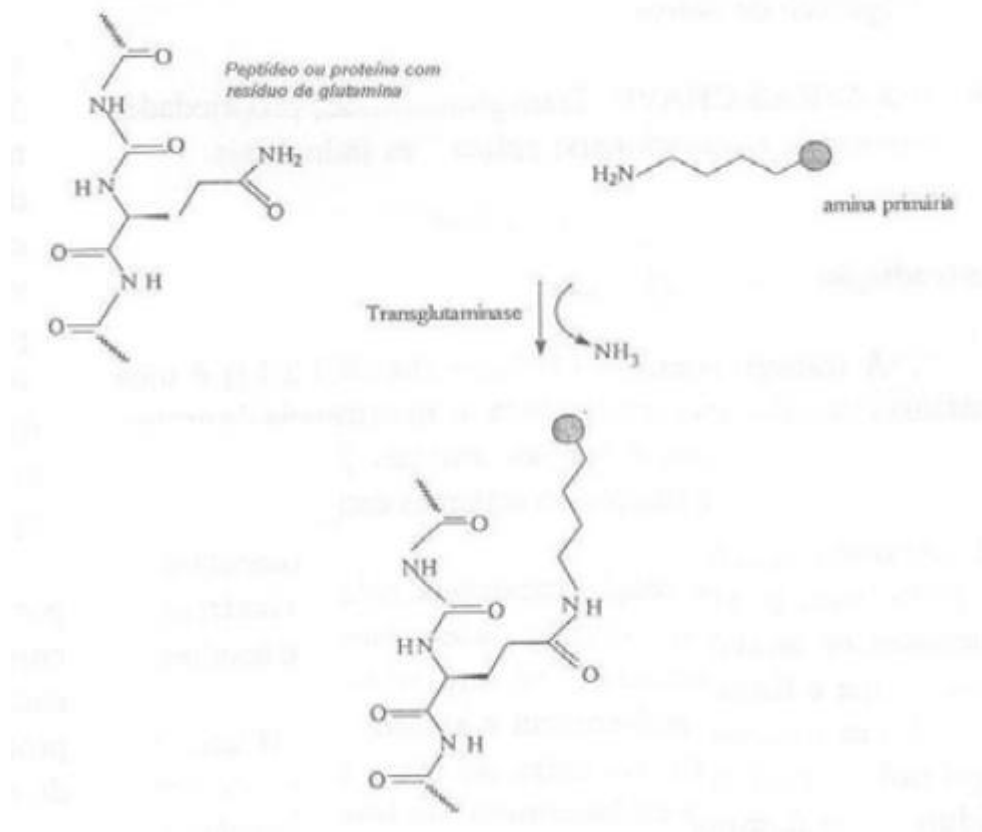
A TG é uma enzima do tipo transferase (EC 2.3.2.13), que atua na síntese de ligações cruzadas entre resíduos de aminoácidos presentes nas moléculas de proteína (SÁFADI, 2019), representada na figura 1. As ligações cruzadas formadas pela transglutaminase são covalentes, bastante estáveis, tratando-se de uma reação de aciltransferase entre um resíduo de glutamina de uma cadeia peptídica com uma variedade de amins primárias, sobretudo resíduos de lisina, de outra cadeia polipeptídica (KOBBLITZ, 2019), representada pela figura 2.

Figura 1 - Ligação cruzada entre glutamina e lisina pertencente a uma cadeia peptídica.



Fonte: Souza (2008).

Figura 2 - Reação de acil-transferência com incorporação de lisina ou outra amina livre.



Fonte: Souza (2008).

Essa enzima é obtida do microrganismo *Streptomyces mobaraensis*, e tem sido aplicada com sucesso em tratamentos de alimentos de diferentes origens, além de favorecer aspectos sensoriais como aroma, sabor, aparência, textura e favorecer o rendimento de derivados lácteos (KOBLOITZ, 2019).

A aplicação da enzima na indústria alimentícia é ampla pois atua em todo tipo de alimento que apresenta em sua composição lisina e glutamina. Quando adicionada a esses alimentos, a TG aumenta a capacidade de gelatinização, emulsificação, viscosidade, estabilidade térmica e capacidade de retenção de água por meio da polimerização proteica.

Já na área dos laticínios, a formação de um gel a partir de caseína e da TG, garante a criação de iogurtes mais estáveis, evitando a sinérese. A enzima também viabiliza produtos como sorvetes e queijos com baixo teor de gordura, refletindo diretamente nos atributos sensoriais e na estabilidade dos produtos (YOKOYAMA; NIO; KIKUCHI, 2004).

2.2 Mecanismo de ação da TG na caseína.

As caseínas são uma classe de 4 fosfoproteínas (αS_1 -, αS_2 -, β - e κ - caseína) que representam a maioria das proteínas do leite da maioria das espécies de mamíferos. Embora algumas caseínas estejam presentes na fase sérica do leite, a maioria das caseínas é encontrada em colóides de associação chamados micelas de caseína (SMIDDY et al., 2006).

Três das caseínas (αS_1 -, αS_2 - e β -caseína) contêm centros de fosforilação (pelo menos 3 resíduos de fosfoserina próximos) que podem se ligar ao aglomerado fosfato de cálcio micelar amorfo, formando assim um invólucro proteico estabilizador (KRUIF; HOLT, 2003).

A estabilidade das micelas de caseína pode ser dividida em 2 categorias: estabilidade intermicelar e intramicelar. A estabilidade intermicelar, ou coloidal, das micelas de caseína, denota a estabilidade das micelas de caseína contra a agregação; por exemplo, sob a influência de calor, etanol, ácido ou coalho. Tais estabilidades são bem caracterizadas e, em alguns casos, formam a base da conversão do leite em outros produtos lácteos; por exemplo, a coagulação do leite induzida por coalho ou ácido forma a base da fabricação de queijo ou iogurte, respectivamente (SMIDDY et al., 2006).

A estabilidade intramicelar, isto é, a capacidade da micela de caseína para manter a sua integridade estrutural interna sob a influência de alterações ambientais, têm uma influência considerável nas propriedades dos produtos derivados do leite. Fosfato de cálcio na micela e interações hidrofóbicas são características primárias na manutenção da integridade micelar (SMIDDY et al., 2006).

O rompimento das micelas de caseína pode ser alcançado através do rompimento das interações hidrofóbicas, por exemplo, aquecimento do leite a $>60^\circ\text{C}$. Aumentar a estabilidade das micelas de caseína contra ruptura pode afetar positivamente as propriedades funcionais do leite, reduzindo a extensão da dissociação induzida pelo calor, da κ -caseína da micela, pode aumentar a estabilidade do leite contra a coagulação induzida pelo calor (O'CONNELL; FOX, 2003).

Tradicionalmente, a reticulação intermolecular covalente de proteínas era obtida por meio da adição de glutaraldeído (SMIDDY et al., 2006), mas esse agente não é permitido para uso em produtos alimentícios devido à sua toxicidade. No entanto, nos últimos anos, foi estabelecido que o tratamento do leite com a enzima

TG pode resultar em reticulação intramicelar covalente de caseína, tal tratamento pode de fato, aumentar a estabilidade térmica do leite (O'SULLIVAN et al., 2006).

As proteínas do soro de leite beta-lactoglobulina (BLG), alfa-lactoalbumina (ALA), albumina do soro bovino (BSA), imunoglobulinas (IG's) e glico-macropéptidos (GMP), que são consideradas substratos fracos para a transglutaminase, são mais suscetíveis às ligações cruzadas quando na presença de agentes redutores, aumentando o acesso da enzima. Além disso, os macropéptidos das k-caseínas são muito acessíveis ao ataque da transglutaminase (GAUCHE, 2007).

O pré-aquecimento do leite causa a desnaturação das proteínas do soro e sua interação com as micelas da caseína, aumentando a suscetibilidade das proteínas à reação com a enzima. Em geral, o aumento progressivo da temperatura desorganiza o sistema proteína-água, aproximando as proteínas do sítio ativo da transglutaminase (GAUCHE, 2007).

2.3 Leites e Produtos Lácteos

O leite é uma das commodities agropecuárias mais importantes do mundo. (SIQUEIRA, 2019). Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), entende-se por leite o produto obtido da ordenha completa e ininterrupta em condições de higiene, de vacas leiteiras são, bem alimentadas e em repouso. Sendo denominado o leite de outros animais segundo a espécie da qual procedia (BRASIL, 2011).

Do ponto de vista físico químico, o leite é uma mistura homogênea de grande número de substâncias, incluindo água (87,1%), lactose (4,6%), lipídeos (4,0%), proteínas (3,3%), sais (0,7%), vitaminas e enzimas, das quais algumas estão em emulsão (gordura e substâncias associadas), algumas em suspensão (caseína e alguns sais minerais) e outras em dissolução verdadeira (lactose, vitaminas hidrossolúveis, proteínas do soro, sais) (WALSTRA; WOUTERS; GEURTS, 2006).

A composição do leite pode sofrer alterações através da nutrição, de forma direta ou indireta, pois são os alimentos que fornecem os precursores para síntese dos principais componentes do leite. Outros fatores que podem interferir na composição do leite são: raça das vacas, temperatura ambiente, manejo e intervalo entre as ordenhas, produção de leite e infecção da glândula mamária (BRITO et al., 2021).

Sendo um dos produtos mais versáteis da agroindústria de alimentos, o leite, além de ser consumido na sua forma original, pode ser transformado em diversos tipos de produtos, que variam desde alimentos salgados, como os diferentes tipos de queijos e manteiga, até alimentos considerados sobremesas como iogurte, bebida láctea, leite fermentado e doce de leite entre outros (SIQUEIRA, 2019).

As primeiras indústrias processadoras de leite foram dedicadas à produção de queijos, cujas instalações ainda rudimentares permitiam fabricar principalmente queijos não maturados ou de maturação rápida, como os queijos Minas Frescal e Padrão (CRUZ, 2017).

2.4 Queijo

Segundo o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Queijos (RTIQQ), do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), constante na Portaria 146/1996, queijo é o produto fresco ou maturado que se obtém por separação parcial do soro do leite ou leite reconstituído (integral, parcial ou totalmente desnatado) ou de soros lácteos coagulados pela ação física do coalho, de enzimas específicas, de bactérias específicas, de ácidos orgânicos isolados ou combinados, todos de qualidade apta para uso alimentar, com ou sem agregação de substâncias alimentícias e/ou condimentos, aditivos especificamente indicados, substâncias aromatizantes e matérias corantes (BRASIL, 1996).

No Brasil, o primeiro tipo de queijo produzido foi o Minas, desenvolvido de forma artesanal a partir da receita portuguesa da Serra da Estrela, na segunda metade do século XVII (AQUARONE, 2001). Desse modo, o queijo Minas continua sendo um dos queijos mais importantes fabricados no Brasil, não apenas no estado de Minas Gerais, mas em todo o território nacional.

Os queijos possuem uma tecnologia de fabricação bastante diversificada, com etapas que podem variar amplamente dando origem a queijos distintos. Assim, se diversificam quanto ao tipo de leite usado na fabricação, à forma de coagulação, à adição de culturas lácteas, aos tratamentos do coágulo e ao tempo de maturação, entre outros fatores (CRUZ, 2017).

As atribuições de qualidade do queijo incluem seus aspectos de texturas, sensoriais e funcionais e são afetadas pelas características estruturais e de composição (AQUARONE, 2001). As etapas básicas de elaboração são comuns a

todos os tipos de queijos, iniciando-se pelo preparo do leite a ser usado como matéria-prima na fabricação, incluindo a padronização, o tratamento térmico e a adição de culturas lácteas, procedendo-se em seguida à coagulação das proteínas do leite, separação do coágulo e à enformagem (CRUZ, 2017).

As características de qualidade de um determinado queijo são determinadas pela taxa e extensão de diferentes reações bioquímicas e por interações, as quais são afetadas pela composição e por aspectos do processamento (AQUARONE, 2001).

Dessa forma, um queijo bastante consumido no Brasil é o Minas Padrão meia cura que, segundo a Instrução Normativa Nº 66 (BRASIL, 2020) é definido como o produto obtido por coagulação do leite pasteurizado, por meio de coalho, outras enzimas coagulantes apropriadas, ou com ambos, complementada pela ação de bactérias lácticas isoladas ou em combinação e deve sofrer maturação por no mínimo 20 (vinte) dias em temperatura superior a 10°C e inferior a 16°C .

2.5 Leites Fermentados

Acredita-se que a introdução de produtos lácteos fermentados na dieta do homem remonta aos primórdios da civilização. Os alimentos fermentados não apenas fornecem importantes fontes de nutrientes, mas também possuem grande potencial na manutenção da saúde e na prevenção de doenças (KABAK; DOBSON, 2011).

Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), leites fermentados produzidos no Brasil está contida na Resolução n. 46 de 2007, sendo os produtos adicionados ou não de outras substâncias alimentícias, obtidas por coagulação e diminuição do pH do leite, ou reconstituído, adicionado ou não de outros produtos lácteos, por fermentação láctica mediante ação de cultivo de microrganismos específicos (BRASIL, 2006).

Leites fermentados compreendem uma série de produtos lácteos, como iogurte, leites fermentados ou cultivados, leite acidófilo, kefir, kumys, coalhada e buttermilk obtidos pela fermentação do leite por microrganismos específicos (CRUZ, 2017). O produto mais popular dentre os leites fermentados é o iogurte, caracterizado pelo gel suave e viscoso, consistente e com aroma e sabor delicados.

2.6 Iogurte

O iogurte é definido como o produto adicionado ou não de outras substâncias alimentícias, obtido por coagulação e diminuição do pH do leite, ou leite reconstituído, adicionado, ou não, de outros produtos lácteos, por fermentação láctica mediante a ação protosimbiótica de *Lactobacillus delbruckii* subsp. *bulgaricus* e *Streptococcus thermophilus*, aos quais pode se acompanhar, de forma complementar, outras bactérias ácido-lácticas que, por sua atividade, contribuem para a determinação das características do produto final (BRASIL, 2000).

Embora os produtos lácteos fermentados, como o iogurte, tenham sido originalmente desenvolvidos simplesmente como meio de preservar os nutrientes do leite, logo se descobriu que, fermentando com diferentes microrganismos, existia a oportunidade de desenvolver uma ampla gama de produtos com diferentes sabores, texturas, consistências (MCKINLEY, 2005).

Iogurtes concentrados são produzidos em diversos países e recebem denominações distintas, como labneh (Oriente), skyr (Islândia), shrikhand (Índia) e iogurte grego (Grécia e outros países). No Brasil, são chamados de iogurtes gregos e começaram a ser fabricados e comercializados a partir de 2012 (CRUZ, 2017).

Os iogurtes gregos apresentam maiores quantidades de proteína até 10%, e de gordura até 30%, com a textura e o sabor que se destacam em relação às opções disponíveis no mercado, principalmente quanto à cremosidade. O processo de fabricação do iogurte grego varia conforme a indústria, já que ainda não possui um padrão de identidade e qualidade para iogurtes gregos no Brasil. A textura mais firme é resultado da concentração de seus componentes sólidos, por meio de um processo industrial que remove parte do soro do produto (filtração em membranas), ou pela adição de ingredientes, como proteínas lácteas, creme de leite ou gomas naturais espessantes (CRUZ, 2017).

3 OBJETIVOS

3.1 Geral

Avaliar a influência do uso da enzima transglutaminase no rendimento e parâmetros físicos-químicos de iogurte grego e queijo Minas Padrão.

3.2 Específicos

- Elaboração de queijo Minas Padrão e iogurte Grego com adição de transglutaminase em diferentes concentrações;
- Avaliar gordura, umidade, proteína e rendimento para iogurte grego;
- Avaliar gordura, umidade, proteína, rendimento e análise de perfil de textura para queijo Minas Padrão.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Matérias - Primas

4.1.1 Leite

Foi utilizado leite integral, pasteurizado, adquirido na Cooperativa Agropecuária Vida, situada na cidade de Pato Branco - PR.

4.1.2 Fermento

Utilização do fermento liofilizado composto por cultura mista de *Streptococcus thermophilus* e *Lactobacillus delbrueckii ssp. Bulgaricus* da marca BIOAGRO® na dosagem recomendada pelo fabricante.

4.1.3 Transglutaminase (TG)

Foi utilizada a TG Activa® YG (100 U/g) cedida pela Ajinomoto do Brasil.

4.1.4 Coagulante e Sal

Adquiridos no comércio local.

4.2 Elaboração do Iogurte Grego e Queijo Minas Padrão

Os produtos foram elaborados no Laboratório de Alimentos (N008) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Pato Branco.

Os iogurtes foram elaborados em triplicata com três concentrações diferentes da enzima TG e um branco (sem adição da enzima). As amostras foram codificadas como:

- ✓ IBL (iogurte branco);

- ✓ ITG1 (0,03% de TG);
- ✓ ITG2 (0,05% de TG) e,
- ✓ ITG3 (0,07% de TG).

As percentagens de TG utilizadas para o iogurte foram baseadas na sugestão da empresa Ajinomoto que, para leites que apresentam teor médio de proteína total de cerca 2,9 g/100, sugere-se adicionar entre 0,03 a 0,05% de TG. Os leites utilizados em cada triplicata na elaboração dos iogurtes apresentaram teor de proteína de 3,16; 3,10 e 3,25 (g/100mL).

Os queijos foram elaborados em duplicata com duas concentrações diferentes da enzima, TG 0,65 UTG e 1 UTG e, um branco (sem adição da enzima). As amostras foram codificadas como:

- ✓ QB (queijo branco);
- ✓ QTG1 (0,65 UTG) e,
- ✓ QTG2 (1 UTG).

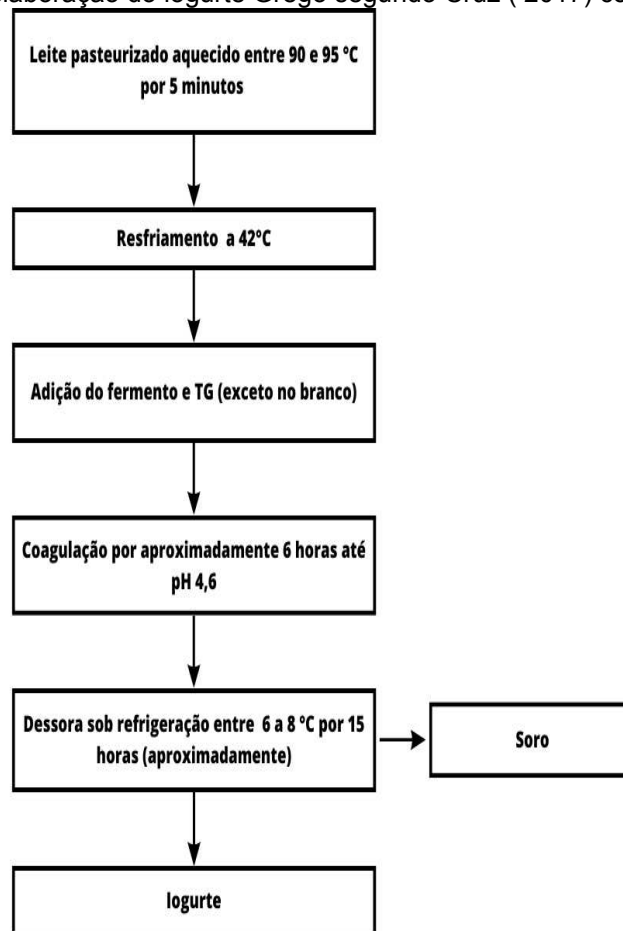
As quantidades de TG foram calculadas considerando o teor de proteína presente no leite, a partir de um cálculo fornecido pela empresa Ajinomoto do Brasil. Os leites utilizados na elaboração dos queijos apresentaram teor de proteína de 3,10 e 3,25 g/100 mL.

Os teores de proteína nos leites foram quantificados no laboratório de uma cooperativa de leite localizada no município de Pato Branco-PR por meio do analisador de leite MilkoScan™ FT1 (Foss®) o qual utiliza a tecnologia de infravermelho médio.

4.2.1 Elaboração do Iogurte Grego

Os iogurtes foram elaborados de acordo com as etapas descritas na Figura 3.

Figura 3 - Fluxograma de elaboração do iogurte Grego segundo Cruz (2017) com alterações.



Fonte: Cruz (2017).

Os iogurtes foram elaborados em iogurteira elétrica (Izumi®) com capacidade de 01 litro por batelada, seguindo a metodologia baseada em Cruz, (2017) com algumas alterações.

Após a fermentação, a dessora foi realizada com auxílio de dessorador, modelo igual ao que pode ser observado na Figura 4.

Figura 4 - Dessorador.



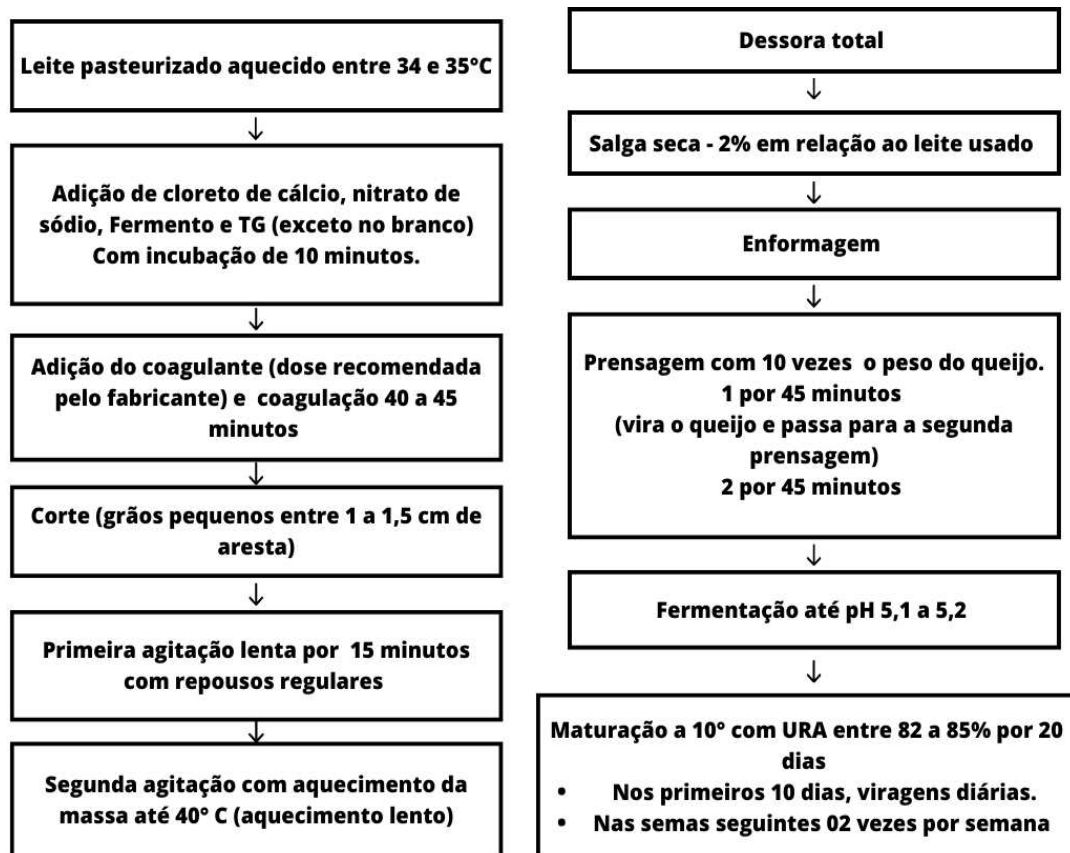
Fonte: Izume (2023).

Após a dessoragem, realizou a quantificação e o descarte do soro filtrado e o iogurte concentrado foi removido do filtro e envasado em embalagens de vidros transparentes, posteriormente identificadas e mantidas sob refrigeração até o momento das análises.

4.2.2 Elaboração Queijo Minas Padrão.

Os queijos foram elaborados seguindo a metodologia baseada em Furtado & Neto, (1994) conforme o fluxograma descrito na Figura 5. Cada queijo foi elaborado a partir de 10 litros de leite.

Figura 5 - Fluxograma de elaboração do queijo Minas Padrão segundo Furtado & Neto (1994) com alterações.



Fonte: Furtado & Neto (1994).

4.3 Análises Físicos Químicas.

4.3.1 Umidade.

A umidade foi determinada por meio do método gravimétrico, secagem em estufa a 105 ± 2 °C. Utilizou cerca de 3 g de amostra, adicionados em cadinhos de porcelana, devidamente secos e tratados. Os cadinhos foram levados para a estufa por 6 horas e submetidos a temperatura de 105 ± 2 °C até a obtenção da massa constante. Metodologia segundo Instituto Adolfo Lutz (1985) com alterações.

Os cálculos para a determinação da umidade foram realizados pela equação abaixo:

$$\text{Umidade} = \frac{100 * m}{m'}$$

Em que:

m = perda de massa em gramas

m' = massa da amostra em gramas

4.3.2 Lipídios.

A análise de lipídeos foi realizada pelo método de butirômetro de Gerber apropriado para análise de queijos, cerca de 3 g das amostras foram adicionadas diretamente no copo do butirômetro. Posteriormente, foi adicionado 5 mL de água, 10 mL da solução de ácido sulfúrico (1,820 g/mL) a 20 °C, e 1 mL de álcool isoamílico (0,81 g/mL) a 20 °C, levado para banho maria a 65 °C com agitação até que toda amostra fosse dissolvida, aproximadamente 5 minutos. Após a dissolução total da amostra, ocorrerá a mudança na coloração da solução, a qual ficará preta.

Quando toda a amostra estiver diluída, foi adicionada água até a última marcação deste, com agitação por 3 segundos e levado para centrifugação por 10 minutos a 1200 rpm, o processo foi repetido entre duas e três vezes até que toda a gordura esteja separada da amostra. Os resultados são lidos pela graduação do próprio butirômetro.

4.3.3 Proteína Total

Para a determinação de proteína total foi utilizado a metodologia do Instituto Adolfo Lutz (1985), com algumas alterações. Em tubos de ensaio foi colocado de 0,2 g a 0,5 g da amostra já pesada, 0,7 g da mistura catalítica e pérolas de vidro, em seguida adicionou-se ácido sulfúrico (0,05 mg L⁻¹) e então o peróxido de hidrogênio, a solução fica levemente amarronzada e quando adicionado o peróxido de hidrogênio a mesma passa a borbulhar.

Os tubos de ensaio então, foram levados para aquecimento em bloco digestor, aumentando a temperatura até cerca de 350 °C, a solução ficou translúcida e com uma coloração azul-esverdeada. Após atingir a temperatura, foi deixado por mais 1 hora para garantir que a digestão tenha sido completa, em seguida os tubos ficaram em repouso até a temperatura ambiente.

Após atingir a temperatura ambiente, o tubo de ensaio é acoplado no equipamento para destilação, e no lugar adequado é colocado o hidróxido de sódio

40% até no máximo 25 mL. Em um Erlenmeyer é adicionado o indicador misto e colocado na extremidade do destilador para ficar recebendo a amostra que será destilada, o tubo de gás deve ficar com sua ponta completamente submersa para que o nitrogênio destilado não seja perdido.

Conforme a solução é digerida a amostra passa a ter uma coloração escura e o aparelho então fica em aquecimento até que destile aproximadamente 75 mL do Erlenmeyer, a solução passa da coloração vermelha - rosa para um amarelo quase verde, então antes mesmo do aparelho ser desligado, é retirado o Erlenmeyer para garantir que o destilado não seja sugado novamente.

Após isso, a solução que está no Erlenmeyer é titulada com ácido sulfúrico até que sua coloração volte a ser rosa. A partir disso é calculado seus resultados, para o cálculo dos resultados é usado um fator de conversão de nitrogênio total para proteínas, esse fator é tabelado e depende do alimento que está sendo feita a análise de proteínas. O resultado é expresso em porcentagem de proteínas.

$$Proteínas = \frac{v * e(q - g) * f * 100}{p}$$

Em que:

V= Diferença entre o volume de ácido sulfúrico gasto na titulação e o volume de hidróxido de sódio

f= fator de conversão de nitrogênio total em proteína, f = 6,38.

P= massa da amostra em grama.

E_{q-g} = equivalente grama do nitrogênio

4.4 Análise do Perfil de Textura (TPA)

As análises de perfil de textura foram realizadas no laboratório LGQ, localizado na cidade de Francisco Beltrão - PR. A textura é resultado da deformação de um alimento quando mordido, prensado, cortado, etc., e é nessa alteração que se tem conhecimento da dureza, elasticidade, coesividade, gomosidades, mastigabilidade entre outros (TEIXEIRA, 2009).

A determinação do perfil de textura (TPA) foi realizada em texturômetro TA-XT Plus (Stable Micro Systems, Godalming, UK), utilizando um probe cilíndrico de alumínio de 40 cm de diâmetro, P/40. Foram retiradas das peças de queijo com o auxílio de um cilindro de aço inoxidável no tamanho de 30 mm de altura e 35 mm de diâmetro, sendo removida a casca dos queijos. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e armazenadas durante uma hora em caixa térmica para a padronização da temperatura das amostras. Os parâmetros utilizados foram velocidades do pré-teste, teste e pós-teste foram todas 1,0mm/s, respectivamente. A distância de compressão 10 mm, equivalente a 50\% de compressão, o descanso entre a primeira e segunda compressão foi de 5 segundos e a força de contato de 5,0 g. Os parâmetros analisados foram: dureza, adesividade, resiliência, coesividade, gomosidade, elasticidade e mastigabilidade. As análises foram realizadas de forma a obter triplicatas por amostra (MUNARETTO, 2015).

4.5 Análise estatísticas

As análises estatísticas (modelos lineares generalizados) foram realizadas no software SPSS versão 27.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a obtenção dos dados por meio de análises das amostras, os resultados foram apresentados conforme a seguir.

5.1 Iogurte

5.1.1 Análise físico-química

Para os iogurtes foram realizadas análises de proteínas, lipídios, umidade e rendimento. Os resultados das análises e o teste de significância estão apresentados na tabela 3.

Tabela 1 - Resultados físico-químicos do iogurte.

Amostra	Proteína (g/100g)	Lipídios (%)	Rendimento (g/L)	Volume de Soro (mL)
IB	12,60 ^a	12,00 ^a	274,77 ^a	705,67 ^a
ITG1	11,42 ^{a,b}	12,53 ^a	310,88 ^{a,b}	668,07 ^{a,b}
ITG2	10,37 ^b	10,93 ^a	353,07 ^b	613,20 ^b
ITG3	10,47 ^b	11,17 ^a	356,17 ^b	614,10 ^b

** a,b – letras minúsculas diferentes indicam diferença estatística entre as médias dos tratamentos no nível de 5% de significância.

Fonte: Autoria Própria.

Os valores dos teores de proteína diferem significativamente nas amostras com adição da enzima e a amostra branco. Não apresentando diferença entre as amostras IB e ITG1, nem as amostras ITG1, ITG2 e ITG3, sendo que o IB foi o que apresentou a maior média e o ITG2, a menor.

A amostra IB apresentou aumento no valor de proteína quando comparado com as demais amostras. Tal diferença pode ser explicada pela interação entre as proteínas, que ao sofrerem alterações devido ao pré-aquecimento do leite, e também mudança de pH, permitiram uma maior sensibilidade dos aminoácidos à reação com a transglutaminase.

Para Yokoyama; Nio e Kikuchi (2004), a transglutaminase é capaz de incorporar covalentemente aminoácidos ou peptídeos dentro de substratos proteicos, e essa reação pode melhorar o valor nutricional de alimentos para seres humanos e animais.

Em seu estudo Cozzolino et al. (2003), demonstraram um aumento do teor de proteína, na massa indicando que houve incorporação da lactoglobulina e da

lactoalbumina na massa. Entretanto, quando observado apenas os grupos que sofreram adição da enzima, houve redução no teor de proteínas. Tal redução foi inversamente proporcional à quantidade de enzima adicionada.

Como a taxa de polimerização da enzima é dependente da estrutura molecular do substrato protéico (GAUCHE, 2007), e este é o mesmo nos três grupos analisados, sugere-se que houve saturação da quantidade de proteína disponível para reação da enzimática.

Em relação ao teor de gordura, todas as amostras não apresentaram variação significativa entre si, sendo que a amostra ITG1 obteve o teor de gordura superior e a ITG2 o menor teor de gordura, comparada com as amostras.

Sobre o rendimento e o teor de soro perdido na dessora, da mesma forma que na análise de proteína, houve variação significativa entre a amostra IBL e as amostras que tinham em sua composição concentração de TG maior que na amostra ITG1 (ITG2 e ITG3).

Também pode-se observar nas amostras ITG1, ITG2 e ITG3 que o aumento da quantidade de enzima adicionada proporcionou um acréscimo no rendimento, enquanto o soro sofreu redução (volume).

Kuraishi; Sakamoto e Soeda (1996), observaram em seus estudos que quando a proteína é polimerizada ocorre um aumento do peso molecular, pois as reações de polimerização aumentam a capacidade de se ligar à água. Afirmando ainda que géis de alimentos tratados com TG são capazes de reter mais água, mesmo com mudanças na temperatura.

Piccolo (2006), que estudou o efeito da adição de transglutaminase microbiana na massa utilizada para a fabricação de requeijão, e observou um aumento de rendimento de 13% utilizando 0,02% de transglutaminase e Jaros et al. (2006) relataram que 0,02% de transglutaminase podem substituir 30% de proteína extra para se obter o mesmo perfil de textura de um iogurte enriquecido. Já Cozzolino et al. (2003), relataram que o rendimento da massa aumentou com o aumento da quantidade de TG.

Dessa forma, o aumento da TG resultou em um acréscimo no rendimento de forma significativa, porém a maior concentração não diferiu da segunda concentração.

5.2 Queijo Minas Padrão

5.2.1 Análise físico-química

Para os queijos foram realizadas análises de proteínas, gordura, umidade e rendimento após 20 dias de maturação. Na tabela 4 estão apresentados os resultados referentes a análise físico-química e o teste de significância.

Tabela 2 – Resultados físico-químicos do queijo Minas Padrão após 20 dias de maturação.

Amostra	Umidade (%)	Proteína (g/100)	Lipídios (%)	Rendimento - 20 dias (g)
QB	44,85 ^a	25,75 ^a	26,00 ^a	1141,00 ^a
QTG1	48,00 ^a	23,16 ^a	24,25 ^a	1277,00 ^{a,b}
QTG2	49,34 ^a	22,05 ^a	22,85 ^a	1383,00 ^b

** a,b – letras minúsculas diferentes indicam diferença estatística entre as médias dos tratamentos no nível de 5% de significância.

Fonte: Autoria própria.

Os resultados das análises físico-químicas dos queijos aos 20 dias de maturação (Tabela 4) mostram que os teores de umidade dos queijos variaram entre 44,85 à 49,34%, onde os tratamentos QTG1 e QTG2 apresentaram maior retenção de umidade.. A Portaria n.146 do MAPA (BRASIL, 1996) classifica os queijos como de muita alta umidade aqueles que apresentam teores entre 46,0 a 54,9%. Dessa forma os queijos com adição de enzima podem ser classificados como de alta umidade ao final da maturação.

Rocha (2004), observou em suas pesquisas com queijo Minas Padrão que o teor médio de umidade foi de 44,8% após a maturação. Estes valores foram próximos ao mencionado por Oliveira (1986), para este tipo de queijo comercial, cujo teor médio de umidade era de 43%. Em seus estudos, Costa et al. (2011), analisaram a composição de queijos Minas padrão por um período 12 anos (1998-2010) apresentando o teor médio de 43,4% de umidade.

Já Schuh et al. (2016), descrevem em seu trabalho resultados para as amostras de queijos artesanais, valores de umidade entre 40,86% a 43,39%. Os autores Mello e Armachuk (2013) obtiveram resultados de umidade de 40,64% ao analisarem queijos coloniais maturados por 30 dias, os quais foram classificados como de média umidade.

Ainda, os queijos tratados com TG apresentaram teores de umidade superiores em relação aos queijos convencionais, pois segundo Kuraishi; Sakamoto

e Soeda (1996), as ligações cruzadas tem uma maior capacidade de geleificação e tendem a reter mais água.

O teor de gordura variou de 22,85 à 26,00%, embora todos os tratamentos não tenham apresentado diferença estatística, o que demonstrou que os queijos apresentaram homogeneidade na composição lipídica. Os valores encontrados estão de acordo com Furtado e Pombo (1979), o qual menciona que o queijo Minas Padrão pode conter entre 23 e 25%, de gordura. Costa et al. (2011), analisou queijo Minas Padrão comerciais no período de 1998 a 2010 e observou uma composição lipídica média de 29,3%. Já Rocha (2004), obteve teores médios de 20,7% de gordura em queijo Minas Padrão, utilizando leite padronizado a 3,17% de gordura.

A gordura contribui para o aroma, o rendimento e melhoria na consistência do queijo, além de atribuir características importantes ao queijo durante a maturação (FURTADO; POMBO, 1979).

Os teores de proteínas após período de maturação estiveram entre 22,05 à 25,75 g/100 sendo que os tratamentos com adição de TG foram menores, mas não significativamente, comparada com a amostra branco ($p < 0,05$). De acordo com Sghedoni; Rettl e Souza (1979), os valores médios de proteínas no queijo Minas padrão, após a maturação, eram de 25,4%, o mesmo foi constatado por Perry (2004) e Rocha (2004). Neste estudo os teores de proteína dos tratamentos com enzima apresentaram-se inferiores ao citado pelos pesquisadores mencionados.

Cozzolino et al. (2003), preparam queijos a partir de leite tratado com transglutaminase para investigar a possibilidade de reter as proteínas do soro dentro da massa através da formação de homo e heteropolímeros. Entretanto, quando observado apenas os grupos que sofreram adição da enzima, houve redução no teor de proteínas. Tal redução foi inversamente proporcional à quantidade de enzima adicionada.

Xiao-Oing et al. (2003) patentearam um método de fabricação de queijos onde a transglutaminase é adicionada ao leite junto com um agente acidulante. O objetivo da patente é incorporar mais proteínas na massa e diminuir a sinérese, defeito que ocorre nos queijos macios. Os resultados obtidos provaram uma diminuição do teor de proteína e um aumento de rendimento do queijo aos 20 dias.

Tendo em vista isso, a variação de rendimento dos produtos finais diferem significativamente ($p < 0,05$), mesmo que todos os produtos tenham as mesmas condições e tempo de prensagem e armazenamento. Neste experimento, o aumento

do rendimento ocorreu em função do teor de umidade dos queijos, pois as ligações cruzadas aumentaram a capacidade de retenção de água.

A adição de 0,65 UTG aumentou 11,9% em relação ao queijo branco, porém não apresentou diferença estatística e a adição de 1 UTG aumentou 21,2% em relação ao queijo branco, apresentando diferença estatística entre os queijos. Rodrigues; Deliza e Rosenthal (2016), obtiveram um aumento no rendimento de 6,5% no queijo Minas Frescal com adição da enzima em relação ao elaborado pelo processo tradicional.

O rendimento final do queijo, é influenciado pelo teor de umidade. Quanto maior o teor de água, maior será o rendimento do queijo, ocorrendo pela retenção de sólidos solúveis como a lactose, sal e o soro. As consequências causadas pelo alto teor de umidade são uma menor durabilidade do alimento, diminuição da vida útil de prateleira, consistência ruim, dificuldade no fatiamento, a ainda, podendo apresentar maiores problemas conforme o tipo de queijo (FURTADO, 2019).

5.2.2 Análise Perfil de Textura

Gunasekaran e Mehmet (2003), definiram as características de textura como: a força necessária para atingir uma dada deformação da amostra seria dureza. O grau em que a amostra retorna à forma original após compressão seria elasticidade. A energia requerida para desintegrar um alimento sólido até o ponto de ser engolido, a mastigabilidade. A energia requerida para se desintegrar um alimento semi-sólido a ponto de ser engolido, gomosidade. Para Fox et al. (2000), a coesividade é a propriedade que determina a extensão com que um queijo pode ser deformado até que ocorra ruptura em sua estrutura.

Na Tabela 5 são apresentados os valores médios para os atributos da análise do perfil de textura (TPA) (dureza, elasticidade, coesividade, mastigabilidade e gomosidade) dos queijos Minas Padrão após 20 dias de fabricação sob armazenamento refrigerado. Os valores das variáveis são médias dos ensaios realizados em quadruplicata.

Tabela 3 - Valores obtidos na análise do perfil de textura dos queijos Minas Padrão

Amostra	Dureza (N)	Elasticidade (%)	Coesão	Mastigabilidade (N)	Gomosidade (N)
---------	------------	------------------	--------	---------------------	----------------

QB	89,92 ^{a,b}	80,70 ^a	0,81 ^a	61,43 ^a	72,02 ^a
QTG1	102,97 ^a	87,76 ^a	0,75 ^a	66,45 ^{a,b}	76,00 ^a
QTG2	57,74 ^b	89,58 ^a	0,80 ^a	41,46 ^b	46,22 ^b

** a,b – letras minúsculas diferentes indicam diferença estatística entre as médias dos tratamentos no nível de 5% de significância.

Fonte: Autoria Própria.

5.2.2.1 Dureza

Quanto à análise de textura dos queijos apresentada na Tabela 5, destaca-se o queijo QTG2, que apresentou o menor resultado para dureza em comparação aos demais queijos produzidos (QB, QTG1; $P < 0,05$). De acordo com os resultados, o queijo QTG2 caracterizou-se mais macios ($P < 0,05$). Já o queijo QTG1 que apresentou maior valor para dureza em comparação aos queijos produzidos, caracterizando-o como mais duro.

O queijo que apresentou menor firmeza pode ser explicado, tendo em vista que as propriedades reológicas dos queijos são função da sua composição, microestrutura, do estado físico-químico de seus componentes, da força das interações entre os elementos estruturais que o compõem e de sua macroestrutura (presença de olhaduras, fissuras, etc.) (FOX et al., 1998).

Sobral et al. (1979), obteve valores de dureza semelhantes, no estudo para amostras de queijo minas artesanal do Araxá. Com 20 dias de maturação os queijos tiveram dureza por volta de 65 N e com 35 dias de maturação os queijos apresentaram dureza por volta de 85 N. Os autores observaram que a dureza dos queijos se altera com o período de maturação.

No início do processo de maturação, a dureza é fortemente influenciada pela redução da umidade do queijo e isso causa um aumento na firmeza. Contudo, no final do período de maturação, a proteólise leva a uma rede proteica mais fraca e o queijo fica mais macio por perda da estrutura proteica (MCSHWEEENEY, 2004).

5.2.2.2 Elasticidade

A elasticidade é a taxa na qual o queijo deformado retorna a sua condição inicial durante o curso da mastigação. Como a proteólise aumenta durante o período de maturação, uma ligeira quebra proteolítica da matriz proteica pode causar esse comportamento elástico nos queijos (YERLIKAYA; KARAGOZLU, 2011).

Os valores de elasticidade não diferem significativamente ($p < 0,05$) quanto à elasticidade para os diferentes queijos minas. De outra maneira, as três amostras de queijo apresentaram valores médios bem próximos para a elasticidade. Ou seja, possuem a mesma capacidade de recuperação de sua altura original quando submetidos a uma tensão.

5.2.2.3 Coesão

Com relação à coesividade, não houve diferenças estatisticamente ($p < 0,05$) em relação às amostras. As três amostras de queijo apresentaram valores de coesão próximos entre si.

A adição da TG nas formulações dos queijos, não apresentou diferença quanto ao queijo sem tratamento enzimático. Além disso, o queijo branco foi o que se mostrou mais coeso (0,81), isto é, que possui maior força de ligações internas, e assim maior resistência à desintegração estrutural. Por outro lado, o QTG1, com menor concentração da TG, foi o que mostrou menor coesividade e, portanto, o mais quebradiço de todos.

5.2.2.4 Mastigabilidade

A variável mastigabilidade revelou a existência de diferenças significativas entre o queijo branco e os queijos com enzima em sua composição. Esse atributo é uma propriedade secundária do TPA, sendo o resultado do produto dos parâmetros dureza, coesividade e elasticidade (FOX et al., 2000).

O queijo QB e o QTG1 foram os que apresentaram maior exigência de energia para serem desintegrados (mastigabilidade). Diferentemente, o queijo QTG2, com maior concentração de TG apresentou valor inferior aos dois primeiros.

Os resultados de mastigabilidade e de dureza dos queijos Minas Padrão apresentaram forte correlação. Ou seja, os queijos mais duros apresentaram maior mastigabilidade, enquanto que os mais macios exigem menor energia para desintegrá-los ao ponto da deglutição.

5.2.2.5 Gomosidade

O parâmetro gomosidade, definido como produto da firmeza pela coesividade, tampouco foi afetado. Do mesmo modo, a adição da enzima aumentou a gomosidade, porém uma quantidade superior de 0,65 UTG, diminuiu a gomosidade apresentando uma diferença significativa entre o queijo branco e o queijo com menor concentração de enzima.

6 CONCLUSÃO

Os iogurtes analisados apresentaram resultados físico-químicos satisfatórios. Adições iguais ou maiores do que 0,03% de enzimática aumentaram significativamente o rendimento em relação à bebida sem tratamento enzimático. O aumento da concentração enzimática de 0,03 para 0,07%, com as mesmas condições, produziu queda no teor de proteína, o que era esperado. Por outro lado, os iogurtes que tiveram tratamento enzimático não difere significativamente no rendimento dos iogurtes.

Para os queijos Minas Padrão analisados, os resultados da análise do perfil de textura e físico-químicas permitiram conhecer o comportamento mecânico e reológico dos queijos e o efeito da adição da TG quando armazenados sob refrigeração durante 20 dias. Os queijos QTG1 e QTG2 (com adição de transglutaminase), classificaram-se como queijos de massa branda ou macia, pois apresentaram teor de umidade menor que 54,9%, já o queijos QB (sem adição de transglutaminase), classificaram-se como queijo de massa semi-dura, pois apresentou teor de umidade menor que 45,9%.

Os queijos elaborados com a adição da TG obtiveram um maior rendimento em relação ao produto tradicional confirmando o uso da TG como uma possibilidade para indústria de laticínios de aumento de rendimento para queijo Minas Padrão. Além disso, os queijos QB e QTG1 se mostraram mais duros, coesos e conseqüentemente maior resistência à mastigação do que o queijo QTG2.

De maneira geral houve uma tendência à diminuição do teor de proteína e gordura com o aumento do tratamento enzimático. Os queijos elaborados com a enzima obtiveram aumento significativo de rendimento em relação aos produtos tradicionais, confirmando o uso da TG como uma possibilidade para indústria de laticínios de aumento de rendimento para queijo Minas Padrão.

REFERÊNCIAS

- AQUARONE, E. **Biotecnologia industrial: biotecnologia na produção de alimentos**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2001.
- BRASIL. **Portaria Nº 146 de 07 de março de 1996**. Regulamentos Técnicos de Identidade e Qualidade dos Produtos Lácteos. 1996. Disponível em: <https://www.dourados.ms.gov.br/wpcontent/uploads/2016/05/RTIQ-Leite-Completo-PORTARIA-14696-ok.pdf>. Acesso em: 11 mar. 2013.
- BRASIL. **Padrões de Identidade e Qualidade (PIQ) de Leites Fermentados, Resolução Nº 5,13 de novembro de 2000**. 2000. Acesso em: <https://www.dourados.ms.gov.br/wp-content/uploads/2016/05/RTIQ-Leite-CompletoPORTARIA-14696-ok.pdf>. Acesso em: 11 mar. 2013.
- BRASIL. **Regulamento técnico sobre enzimas e preparações enzimáticas para uso na produção de alimentos destinados ao consumo humano**. 2006. Disponível em: <https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2006/rdc020514112006.html>. Acesso em: 11 mar. 2013.
- BRASIL. **Regulamento Técnico de Produção, Identidade e Qualidade do Leite tipo A, o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Leite Cru Refrigerado, o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Leite Pasteurizado e o Regulamento Técnico da Coleta de Leite Cru Refrigerado e seu Transporte a Granel Instrução Normativa nº 62, de 29 de dezembro de 2011**. 2011. Acesso em: 11 mar. 2013.
- BRASIL. **Determinação de umidade em produtos de origem animal por gravimetria**. MAPA/SDA/CGAL. Laboratório Nacional Agropecuário- LANAGRO/RS. Laboratório de Produtos de Origem Animal/SLAV. Método de Ensaio – MET. Código: MET POA/SLAV/27/03/01. Página 1 de 7. Emissão: 23/07/2014. Disponível em: [http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Aniamal/Laborat%C3%B3rios/Metos%20IQA/POA/Leite%20e%20Produtos%20Lacteos/MET%20POA%20SLAV%2027%2003%20Determinacao%20de%20Umidade%20em%20Produtos%20de%20Ori-gem%20Animal%20por%20Gravimetria.pdf](http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Aniamal/Laborat%C3%B3rios/Metos%20IQA/POA/Leite%20e%20Produtos%20Lacteos/MET%20POA%20SLAV%2027%2003%20Determinacao%20de%20Umidade%20em%20Produtos%20de%20Origem%20Animal%20por%20Gravimetria.pdf)
- BRITO, M. A. et al. Composição. **EMBRAPA**, 2021.
- BRYANT, A.; USTUNOL, Z.; STEFFE, J. Texture of cheddar cheese as influenced by fat reduction. **Journal of Food Science**, v. 60, n. 6, p. 1216–1221, 1995.
- BUZATO, R. **Influência da relação caseína/gordura do leite e da temperatura de cozimento da massa no rendimento de fabricação e nas propriedades físico-químicas, funcionais e sensoriais do queijo de coalho**. 2011. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.
- COSTA, L. C. G. et al. Avaliação de aspectos físico-químicos do queijo Minas Padrão comercializado nos últimos 12 anos e suas variações. *In*. Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica, 2011.

COZZOLINO, A. et al. Incorporation of whey proteins into cheese curd by using transglutaminase. **Biotechnology and Applied Biochemistry, Great Britain**, v. 38, n. 3, p. 289–295, 2003.

CRUZ, A. **Processamento de Produtos Lácteos - Vol. III**. 1. ed. Rio de Janeiro, RJ: Elsevier Editora Ltda, 2017.

FARIA, D. **Estudo dos efeitos da aplicação de transglutaminase em bebida láctea fermentada com alto conteúdo de soro**. Dissertação Mestrado em Engenharia de processos Químicos e Bioquímicos Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, 2010.

FURTADO, M. M. **Queijos Semiduros**. São Paulo: Setembro editora, 2019.

FURTADO, M. M.; Neto, J. P. L. **Tecnologia de queijos: manual técnico para a produção industrial de queijos**. 1. ed. São Paulo: Dipemar, 1994.

FURTADO, M. M.; Pombo, A. F. W. Fabricação do queijo prato e minas: Estudo do rendimento. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 34, n. 205, p. 3–19, 1979.

GAUCHE, C. **Polimerização de proteínas do soro de leite por transglutaminase e propriedades físicas do iogurte elaborado após tratamento enzimático**. 2007. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

GERRARD, J. A. Protein-protein crosslinking in food: methods, consequences, applications. **Trends in Food Science Technology**, v. 13, p. 391–399, 2002.

GHECKI, A. et al. **Técnicas analíticas para controle de qualidade de leites e derivados**. EDUEPA, 2018

GUNASEKARAN, S.; MEHMET, A. K. M. **Cheese rheology and texture**. CRC press, 2003.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz**. v. 1: Métodos químicos e físicos para análise de alimentos, 3. ed. São Paulo: IMESP, 1985. p. 21-22.

KABAK, B.; DOBSON, A. D. W. An introduction to the traditional fermented foods and beverages of turkey. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 51, p. 248–260, 2011. .

KOBLITZ, M. G. B. **Bioquímica dos Alimentos - Teoria e Aplicações Práticas**. 1. ed. Minha Biblioteca: Grupo GEN, 2019.

KRUIF, C. G. D.; HOLT, C. **Casein micelle structure, functions and interactions**. 3. ed. New York: Advanced Dairy Chemistry—1 Proteins, 2003. .

KURASHI, C.; SAKAMOTO, J.; SOEDA, T. The usefulness of transglutaminase for food processing. **Biotechnology for Improved Foods and Flavors**, p. 29–38, 1996.

MCSWEENEY, P. L. H. Biochemistry of cheese ripening. **International Journal of Dairy Technology**, v. 57, n. 1, p. 127–144, 2004.

MUNARETTO, M. **Avaliações das propriedades funcionais do queijo mussarela produzido com fermento autóctone**. 2015. Monografia de Especialização (Especialização em Gestão da Qualidade na Tecnologia de Alimentos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Francisco Beltrão, 2015.

NASSU, R. T. Diagnóstico das condições de processamento de queijo de coalho e manteiga da terra no estado do Ceará. **Higiene alimentar**, v. 15, n. 89, p. 28–36, 2001.

O'CONNELLI, J.; FOX, P. F. **Heat-induced coagulation of milk**. 3. ed. New York: Advanced Dairy Chemistry—1 Proteins, 2003. .

OLIVEIRA, J. S. **Queijo: fundamentos técnicos**. 2. ed. São Paulo : Unicamp, 1986. .

O'SULLIVAN, M. M. et al. Influência da transglutaminase na estabilidade térmica do leite. **J. Dairy Sci**, v. 84, p. 1331 – 1334, 2001. .

FOX et al. **Cheese Rheology and Texture**. Gaithersburg: Aspen: *In*. Fundamentals of Cheese Science, 1998. .

FOX et al. **Factors that affect cheese quality**. Gaithersburg: Aspen: *In*. Fundamentals of Cheese Science, 2000.

PERRY, K. S. Queijos: aspectos químicos, bioquímicos e microbiológicos. **Química Nova**, v. 27, n. 2, p. 293–300, 2004. Citado na p'ágina 28.

RAPACCI, M.; ANTUNES, L. A. R.; FURTADO, M. Efeito da substituição de NaCl por KCl nas características do queijo prato. **Rev. Inst. Latic. Cândido Tostes**, v. 50, n. 297, p. 3–12, 1996.

Rocha, A. M. P. **Controle de fungos durante a maturação de queijo minas padrão**, 2015. Dissertação (Mestrado em ciência e Tecnologia de Alimentos - PPGCTA) Universidade Federal de Santa Maria - UFSM. Santa Maria, 2015.

RODRIGUES, F. M.; DELIZA, R.; ROSENTHAL, A. Uso de transglutaminase no processamento de queijo minas Frescal com teor reduzido de sódio. **XXV Congresso Brasileiro da Ciência e Tecnologia de Alimento**, 2016.

SAKAMOTO, H.; KUMAZAWA, Y.; MOTOKI, M. Strength of protein gels prepared with microbial transglutaminase as relates to reaction conditions. **Jornal of Food Science**, v. 11, p. 785–793, 1994.

SGHEDONI, A.; RETTL, C.; SOUZA, G. P. Queijo minas. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 34, n. 203, p. 37–40, 1979.

SIQUEIRA, K. B. O Mercado Consumidor de Leite e Derivados. **Circular Técnica**, 2019.

SMIDDY, M. et al. Stability of casein micelles cross-linked by transglutaminase. **Journal of Dairy Science**, v. 89, n. 6, p. 1906–1914, 2006.

SOBRAL, D. et al. Nisin reduces the staphylococcus aureus count without changing the characteristics of artisanal minas cheese from araxá. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 74, n. 1, p. 185–196, 2019. .

SOUZA, D. R. S. C. de et al. Transglutaminase: Obtenção, caracterização e aplicações na indústria de alimentos. **Simpósio de Bioquímica e Biotecnologia**, 2017.

SOUZA, C. F. V. **Produção em cultivo submerso e no estado sólido e caracterização da transglutaminase (EC 2.3.2.13) do isolado amazônico *Bacillus circulans*** 2008. Tese (Doutorado em Biologia Celular e Molecular) – Centro de Biotecnologia do Estado do Rio Grande do Sul, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

SÁFADI, J. S. **Aplicações da enzima transglutaminase em derivados lácteos com o uso de soro de leite**. 2019. Disponível em: <<https://repositorio.unicid.edu.br/jspui/bitstream/123456789/2285/3/Juliana20Soares20Safadi.pdf>>. Acesso em: 02 de maio de 2023.

WALSTRA, P.; WOUTERS, J. T. M.; GEURTS, T. J. Dairy science and technology. **Boca Raton: CRC Press**, v. 2, 2006.

XIAO-OING, H. et al. Process for making a cheese product using transglutaminase. **Kraft Food Holdings Inc. Patent number: US 6 572 901 B2**. 2003.

YERLIKAYA, O.; KARAGOZLU, C. Effects of ripening period on textural and sensory properties of capper cheeses. **Journal of Animal and Veterinary Advances**, v. 10, n. 9, p. 1171–1176, 2011.

YOKOYAMA, K.; NIO, N.; KIKUCHI, Y. Properties and application of microbial transglutaminase. **Appl. Microbial Biotechnology**, v. 64, p. 447–454, 2004.