

Universidade Federal de Juiz de Fora
Pós-graduação em Ciência e Tecnologia do Leite e Derivados
Mestrado Profissional em Ciência e Tecnologia de Leite e Derivados

Maria Tereza Cratiú Moreira

**EFEITO DO USO DE CONCENTRADO PROTEICO DE LEITE (MPC) NAS
PROPRIEDADES DO QUEIJO MINAS PADRÃO**

Juiz de Fora
2019

Maria Tereza Cratiú Moreira

**EFEITO DO USO DE CONCENTRADO PROTEICO DE LEITE (MPC) NAS
PROPRIEDADES DO QUEIJO MINAS PADRÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Leite e Derivados, Mestrado Profissional em Ciência e Tecnologia do Leite e Derivados, área de concentração: Novos Produtos e Processos, da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Junio Cesar Jacinto de Paula
Co-orientadores: Profa. Dra. Renata Golin Costa
Prof. Dr. Luiz Carlos G. Costa Júnior

Juiz de Fora
2019

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Moreira, Maria Tereza Cratiú .
EFEITO DO USO DE CONCENTRADO PROTEICO DE LEITE (MPC) NAS PROPRIEDADES DO QUEIJO MINAS PADRÃO / Maria Tereza Cratiú Moreira. – 2019.
123 p. : il.

Orientador: JUNIO CESAR JACINTO DE PAULA
Coorientadores: RENATA GOLIN COSTA, LUIZ CARLOS G. COSTA JÚNIOR

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Farmácia e Bioquímica. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia do Leite e Derivados, 2019.

1. SOLUBILIZAÇÃO. 2. REIDRATAÇÃO. 3. PROTEÍNA. 4. QUEIJO. 5. RENDIMENTO. I. PAULA, JUNIO CESAR JACINTO DE , orient. II. COSTA, RENATA GOLIN , coorient. III. COSTA JÚNIOR, LUIZ CARLOS G. , coorient. IV. Título.

**Efeito do uso de concentrado proteico de leite (MPC) nas
propriedades do queijo Mins Padrão**

Maria Tereza Cratiú Moreira

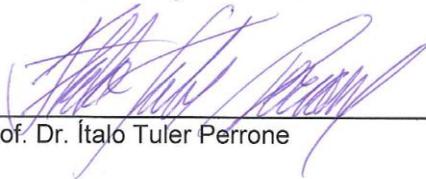
ORIENTADOR: Prof. Dr. Junio Cesar Jacinto de Paula

Dissertação de Mestrado submetida ao Mestrado Profissional em Ciência e Tecnologia do Leite e Derivados, da Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia do Leite e Derivados.

Aprovada em 25/02/2019.



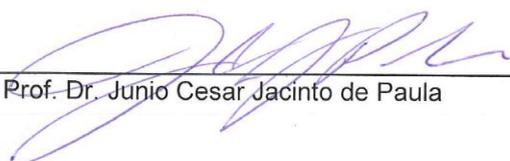
Prof. Dr. Paulo Sérgio Monteiro



Prof. Dr. Ítalo Tuler Perrone



Profa. Dra. Renata Golin Costa



Prof. Dr. Junio Cesar Jacinto de Paula

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar às forças cósmicas que regem o Universo, por serem à base de toda a existência humana no planeta Terra.

À minha mãe Marilza que me criou e orientou, exercendo ao mesmo tempo o seu papel de mãe e pai, dada a perda precoce de meu pai Geraldo (*in memoriam*).

Ao meu orientador Professor e Pesquisador Dr. Junio César Jacinto de Paula, pelos ensinamentos, amizade e dedicação ao meu trabalho e pela orientação durante o desenvolvimento desta pesquisa.

Aos meus co-orientadores Professora Dra. Renata Golin Costa e Professor Dr. Luiz Carlos G. Costa Júnior, pela parceria e amizade, ensinamentos e orientações adicionais durante todo o projeto.

Agradecimento especial ao Professor e pesquisador Dr. Rodrigo Stephani e ao Departamento de Química da UFJF, pela disponibilização do laboratório, orientação, realização das revisões e orientações metodológicas referentes à primeira parte deste trabalho.

Ao laboratório de Microestrutura e Microanálise (Micro) do Núcleo de Espectroscopia e Estrutura Molecular (NEEM) do Departamento de Química da UFJF.

À Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) e ao programa de Mestrado Profissional em Ciência e tecnologia do Leite e Derivados (parceria EPAMIG, EMBRAPA e UFJF), pela oportunidade de realização do curso, bem como pelo suporte financeiro ao me conceder a bolsa de estudos para cursar o Mestrado.

Agradecimento ao Professor Dr. Virgílio dos Anjos, coordenador do Mestrado do Leite e do Departamento de Física da UFJF, por me atender, ouvir e ajudar, sempre prontamente quando precisei consultá-lo.

A todos os professores do Mestrado do Leite, pelos quais tenho grande admiração e apreço.

Aos amigos de curso, novos e velhos conhecidos, que pude encontrar e reencontrar, pelos momentos de estudo e também pelas horas agradáveis de confraternização.

Agradecimento também ao amigo do Mestrado, Thaynan Barroso Landim, pela participação colaborativa nas fabricações dos queijos e pela amizade.

Agradeço, em especial à Professora Regina Mancini, minha grande inspiradora como educadora e como mulher, pela sua determinação, firmeza e liderança, imbatíveis na condução do Ensino no ILCT.

Ao ILCT, minha Escola querida que me acolheu na condição de professora colaboradora do ensino técnico de leite e derivados.

Agradecimento especial também à EPAMIG ILCT pela utilização de suas instalações industriais, equipamentos, laboratórios e todo o seu pessoal, em particular ao Sebastião (o Tião) da fábrica que não mediu forças para me ajudar nas fabricações dos queijos. Obrigada Sebastião!

À professora Dra. Vanessa Aglaê M. Teodoro, por ter me direcionado e norteado na condução das análises microbiológicas.

Aos queridos professores Dra. Denise Sobral, Dra. Gisela M. Machado, Dra. Elisângela M. Miguel e aos laboratoristas Alcy Laender, Augusto Raquel, Rita e Irani pelo auxílio na realização dos experimentos e análises.

Aos bolsistas FAPEMIG que me ajudaram na realização das análises físico-químicas do leite, soro e queijos, realizadas no laboratório de pesquisa e instrumental da EPAMIG ILCT.

À empresa *Fonterra Co-operative Group Limited*, pelo apoio em disponibilizar o concentrado proteico de leite – MPC470 para a realização deste trabalho.

Agradeço também à NEOGEN do Brasil, na pessoa do Flávio Mello, pela gentileza em ceder os métodos rápidos Reveal® 2.0 para *Salmonella* e Reveal® 2.0 para *Listeria*.

À todas as pessoas e instituições que, de maneira direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito obrigada!

“Se você não consegue explicar algo de forma simples, você não entendeu suficientemente bem”.

(Albert Einstein)

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi utilizar a análise de partículas por difração a laser no estudo da cinética de reidratação do MPC70 em pó no leite, visando sua utilização para a fabricação de queijos e o seu impacto nas propriedades do queijo Minas Padrão. Por se tratarem de duas tecnologias distintas que envolvem, tanto a área de secagem, quanto a de tecnologia de queijos, foi fundamental fazer a interface entre estes dois sistemas, já que cada um possui suas particularidades tecnológicas, cujo entendimento se faz necessário para que o reflexo no produto final seja o menor possível. Com o uso do analisador de partículas por difração a laser foi possível identificar em que momento da etapa de adição, ocorreu a total solubilização do MPC no leite. O processo de reidratação do MPC em pó no leite foi identificado em dois tipos de processamentos aplicados, com base na identificação do tamanho das partículas: antes da solubilização, pela presença de partículas na região de maior tamanho ou micrométrica (acima de 10,77 μm) e após a solubilização, pela migração destas partículas para a região de menor tamanho ou nanométrica (abaixo de 0,200 μm). A fabricação do queijo Minas Padrão foi realizada para avaliar o comportamento do MPC reidratado no leite, visando aumentar o rendimento da fabricação, bem como o seu impacto na caracterização físico-química, reológica e sensorial dos queijos produzidos. O estudo demonstrou a clara influência do MPC no aumento de rendimento dos queijos, com apresentação de índices percentuais para o rendimento ajustado (RAJ) acima da porcentagem suplementada; sem diferenças significativas nas características físico-químicas e reológicas dos queijos e boa aceitação sensorial. Assim, este experimento reforça a importância da análise de partículas como ferramenta analítica a ser utilizada na simulação de processos industriais de leite para a fabricação de queijos envolvendo MPCs em pó, podendo a suplementação em queijos com este ingrediente ser uma boa alternativa tecnológica a ser adotada pelas indústrias para melhorar rendimento e produtividade sem alterações significativas no produto final.

Palavras-chave: Solubilização. Reidratação. Proteína. Queijo. Rendimento.

ABSTRACT

The objective of this dissertation was to use laser diffraction particle analysis for the study of the rehydration kinetics of powdered MPC70 in milk, aiming its use for cheese production as well as its impact on the properties of the Minas Padrão cheese. Because they are two distinct technologies that involve both the drying area and cheese technology, it was fundamental to interface these two systems, since each one has its technological peculiarities, whose understanding is necessary for the impact on the final product to be as little as possible. With the use of a laser diffraction particle analyzer, it was possible to identify at which moment of the addition step that the the MPC in the milk was completely dissolved. The process of rehydration of powdered MPC in milk was identified in two types of processing, based on the identification of the particle size: before solubilization, through the presence of particles in the region of larger size - or micrometric region - (above 10.77 μm) and after solubilization, through the migration of these particles to the smaller - or nanometric - region (below 0.200 μm). The Minas Padrão cheese production was performed to evaluate the performance of rehydrated MPC in milk aiming yield increase as well as its impact on the physical-chemical, rheological and sensorial characterization of the cheeses produced. The study demonstrated the clear influence of MPC on the increase of cheese yield, with the presentation of percentage indexes for the adjusted yield (Y_{adj}) above the percentage supplemented and without significant differences in the physical-chemical and rheological characteristics of the cheeses, besides good sensory acceptance. Thus, this experiment reinforces the importance of particle analysis as an analytical tool to be used in the simulation of industrial processes of milk for the manufacture of cheese involving powdered MPCs. The supplementation in cheeses with this ingredient may be a good technological alternative to be adopted by production facilities to improve yield and productivity without significant changes in the final product.

Keywords: Solubilization. Rehidration. Protein. Cheese. Yield.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Imagem adaptada de Vasconcellos (2018), mostrando as diferentes técnicas de análise de tamanho de partícula com faixas limites de medidas. BI: Disco centrífugo (DCP - detecção óptica; XDC - detecção por raios X). CHDF: Fracionamento por capilar hidrodinâmico..... 27
- Figura 2 – Imagem adaptada de Rawle (2018), mostrando diferentes diâmetros de esferas equivalentes gerados à partir de uma partícula irregular 28
- Figura 3 – Imagem apresentada por German (1994), das possíveis formas das partículas..... 29
- Figura 4 – Interação do raio de luz com uma partícula esférica, ângulos difratados determinados pelo tamanho da partícula e um padrão de difração30
- Figura 5 – Imagem adaptada de Puckhaber e Röthele (1999), mostrando a interação física entre a luz e a partícula.....31
- Figura 6 – Detalhamento dos processamentos P1 e P2, apresentando as etapas na quais foram realizadas as análises de distribuição das partículas do leite 58
- Figura 7 – Distribuição dos tamanhos das partículas do processamento P1 (63 °C/30 minutos) com 10% e 20% de incremento de caseína, mantendo a mesma relação caseína/gordura: #1 - leite cru com relação caseína/gordura analisada; #2 - leite cru com padronização da gordura; #3 - leite cru padronizado com adição de MPC; #4 - refrigeração 8 °C por 12 horas; #5 - aquecimento 63 °C (início); #6 - aquecimento 63 °C (10 minutos); #7 - aquecimento 63 °C (20 minutos); #8 - aquecimento 63 °C (30 minutos); #9 - resfriamento 35 °C. 62
- Figura 8 – Distribuição dos tamanhos das partículas do processamento P2 (50 °C/30 minutos + 63 °C/30 minutos) com 10% e 20% de incremento da caseína, mantendo a mesma relação caseína/gordura: #1 - leite cru com relação caseína/gordura

analisada; #2 - leite cru com padronização da gordura; #3 - leite cru padronizado com adição de MPC; #4 - aquecimento a 50 °C (início); #5 - aquecimento 50 °C (10 minutos); #6 - aquecimento 50 °C (20 minutos); #7 - aquecimento 50 °C (30 minutos); #8 - aquecimento 63 °C (tempo zero); #9 - aquecimento 63 °C (10 minutos); #10 - aquecimento 63 °C (20 minutos); #11 - aquecimento 63 °C (30 minutos); #12 - resfriamento 35 °C.....66

Figura 9 – Fluxograma de fabricação do queijo Minas Padrão.....82

Figura 10 – Modelo de ficha de avaliação utilizada para os testes de aceitação e preferência, adaptado de Minim (2006)..... 86

Figura 11 – Gráfico do pH dos QMP, com e sem MPC, ao longo da maturação.....97

Figura 12 – Gráfico do avanço da extensão da proteólise dos QMP, com e sem MPC, ao longo da maturação..... 100

Figura 13 – Gráfico do avanço da profundidade da proteólise dos QMP, com e sem MPC, ao longo da maturação..... 100

Figura 14 – Dureza (N) dos QMP, com e sem MPC, ao longo da maturação 103

Figura 15 – Gráfico da mastigabilidade dos QMP, com e sem MPC, ao longo da maturação 104

Figura 16 – Gráfico da coesividade dos QMP, com e sem MPC, ao longo da maturação 107

Figura 17 – Gráfico da elasticidade dos QMP, com e sem MPC, ao longo da maturação 109

Figura 18 – Gráfico do comportamento da cor dos QMP, ao longo da maturação, para o parâmetro de cor L* 111

Figura 19 – Gráfico do comportamento da cor dos QMP, ao longo da maturação,
para a coordenada b^* 113

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição da proteína do leite bovino.....	23
Tabela 2 – Composição geral de produtos lácteos desidratados.	40
Tabela 3 – Detalhamento dos processamentos P1 e P2, apresentando as etapas nas quais foram realizadas as análises de distribuição das partículas do leite	60
Tabela 4 – Análise de dados dos tamanhos das partículas do processamento P1 (63 °C/30 minutos) com 10% e 20% de incremento de caseínas, mantendo a mesma relação caseína/gordura.....	64
Tabela 5 – Análise de dados dos tamanhos das partículas do processamento P2 (50 °C/30 minutos + 63 °C/30 minutos) com 10% e 20% de incremento de caseínas, mantendo a mesma relação caseína/gordura.	68
Tabela 6 – Dados das análises de tamanho das partículas em volume (%) do leite in-natura e após submetido ao P1 e P2, com 10% e 20% de incremento das caseínas, mantendo a mesma relação caseína/gordura, nos diâmetros dos canais de resolução característicos para as micelas de caseínas	70
Tabela 7 – Composição físico-química dos leites destinados às fabricações dos QMP, com e sem MPC.....	88
Tabela 8 – Composição físico-química dos soros das fabricações	89
Tabela 9 – Composição físico-química dos queijos (%).....	91
Tabela 10 – Rendimento atual (kg queijo /100 kg de leite) e RAJ dos queijos Minas Padrão.....	93
Tabela 11 – Recuperação de componentes do leite para o queijo (%)	94

Tabela 12 – Perda de componente do leite para o soro (%)	95
Tabela 13 – pH dos queijos Minas Padrão dentro de cada tratamento	96
Tabela 14 – Extensão e profundidade da proteólise dos queijos Minas Padrão dentro de cada tratamento	98
Tabela 15 – Dureza (N) (g) dos queijos Minas Padrão dentro de cada tratamento.	102
Tabela 16 – Mastigabilidade (J) dos queijos Minas Padrão dentro de cada tratamento	104
Tabela 17 – Adesividade (KJ) dos queijos Minas Padrão dentro de cada tratamento	105
Tabela 18 – Adesividade (KJ) dos queijos Minas Padrão ao longo da maturação...	106
Tabela 19 – Coesividade dos queijos Minas Padrão dentro de cada tratamento ...	107
Tabela 20 – Elasticidade (mm) dos queijos Minas Padrão dentro de cada tratamento	108
Tabela 21 – Parâmetro de cor L* dos queijos Minas Padrão dentro de cada tratamento	111
Tabela 22 – Parâmetro de cor a* dos queijos Minas Padrão dentro de cada tratamento	112
Tabela 23 – Parâmetro de cor a* dos queijos Minas Padrão ao longo da maturação	112
Tabela 24 – Parâmetro de cor b* dos queijos Minas Padrão dentro de cada tratamento	113

Tabela 25 – Avaliação sensorial pelo teste de aceitação dos queijos Minas Padrão dentro de cada tratamento 115

Tabela 26 – Avaliação sensorial pelo teste de aceitação dos queijos Minas Padrão ao longo da maturação..... 116

Tabela 27 – Avaliação sensorial pelo teste de preferência dos queijos Minas Padrão ao longo da maturação..... 116

LISTA DE APBREVIATURAS E SÍMBOLOS

% - percentual;

% m/m – percentual de massa em relação à massa;

°C – graus Celsius (unidade de temperatura);

ANOVA – análise de variância;

B-M – Banho Maria BI

– Disco Centrífugo;

C/G – relação caseína/gordura

CHDF – Fracionamento por capilar hidrodinâmico;

DCP – detecção óptica;

DP - Desvio padrão;

EPAMIG – Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais;

EST - Extrato seco total;

° F – graus Fahrenheit;

FFF – fracionamento de campo de fluxo;

g - gramas (unidade de medida de massa);

GES - Gordura no extrato seco total;

ILCT – Instituto de Laticínios Cândido Tostes;

J – joule (medida de força);

kg – quilograma (unidade de medida de massa);

KJ – quilojoule (1 quilojoule é igual a mil (10^3) joules);

L – litro (unidade de medida de volume);

LPD – leite em pó desnatado;

LPI – leite em pó integral;

LTLT – *Low Temperature Long Time* – Pasteurização lenta

min – minutos

mm – milímetros;

m/m - massa/massa;

MPC – *Milk Protein Concentrate* (concentrado proteico de leite);

min – minutos;

NEEM - Núcleo de Espectroscopia e Estrutura Molecular;

n - Número de repetições;

nm – nanômetro (unidade de medida de comprimento);

NS TCA 12 % - Nitrogênio solúvel em ácido tricloroacético a 12% (m/m)

NT - Nitrogênio total;

p – valor p estatístico;

pH – potencial hidrogeniônico;

QMP – Queijo Minas Padrão;

RIISPOA – Regulamento de Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal;

RAJ – Rendimento ajustado;

RMF - Resíduo Mineral Fixo;

RTIQQ – Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Queijos;

seg – segundos;

TPA - Análise do perfil de textura;

UFJF- Universidade Federal de Juiz de Fora;

UMDQ – umidade na massa desengordurada do queijo;

WPC – *Whey protein concentrate* (concentrado proteico de soro);

XDC – detecção por raios X;

µm - micrômetros (unidade de medida de comprimento).

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO GERAL	20
2 - OBJETIVOS.....	22
2.1 OBJETIVO GERAL.....	22
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
3 - REVISÃO DE LITERATURA	23
3.1 PROTEÍNAS LÁCTEAS E SUA APLICAÇÃO TECNOLÓGICA	23
3.2 ANÁLISE DO TAMANHO DE PARTÍCULAS.....	25
3.2.1 Espalhamento (ou difração) de luz	29
3.2.2 Analisador de partículas por difração a laser	32
3.3 QUEIJO MINAS PADRÃO.....	33
3.3.1 Tecnologia de fabricação do queijo Minas Padrão	34
3.4 RENDIMENTO DE QUEIJOS.....	35
3.5 CONCENTRADO PROTEICO DE LEITE (MPC).....	39
3.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43
4 - MONITORAMENTO DO TAMANHO DAS PARTÍCULAS DO LEITE FLUIDO ADICIONADO DE MPC EM PÓ VISANDO PRODUÇÃO DE QUEIJO.	52
RESUMO	52
4.1 INTRODUÇÃO	53
4.2 MATERIAL E MÉTODOS	54
4.2.1 Localização.....	54
4.2.2 Delineamento experimental.....	54
4.2.3 Preparo e padronização das amostras de leite.....	54
4.2.4 Composição química do MPC e procedimento de suplementação do leite.....	55
4.2.5 Determinação do tamanho das partículas por difração a laser.....	56
4.2.6 Processamentos e etapas de reidratação	57

4.2.7	Medições dos tamanhos das partículas por difração a laser	59
4.2.8	Análises de dados	60
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	61
4.3.1	Reidratação dos pós no processamento P1	61
4.3.2	Reidratação dos pós no processamento P2	65
4.4	CONCLUSÃO	72
4.5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
5	PRODUÇÃO, CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA, REOLÓGICA E SENSORIAL DO QUEIJO MINAS PADRÃO UTILIZANDO CONCENTRADO PROTEICO DE LEITE - MPC	71
	RESUMO	71
5.1	INTRODUÇÃO	73
5.2	MATERIAL E MÉTODOS	75
5.2.1	Localização	75
5.2.2	Delineamento experimental	75
5.2.3	Preparo e padronização do leite para a fabricação	75
5.2.4	Fabricação do queijo Minas Padrão	77
5.2.5	Análise das amostras de leite e soro das fabricações	79
5.2.6	Caracterização físico-química dos queijos	79
5.2.7	Recuperação de constituintes do leite e rendimento dos queijos	80
5.2.8	Análise de perfil de textura	80
5.2.9	Avaliação da cor	81
5.2.10	Análises microbiológicas dos queijos	81
5.2.11	Avaliação sensorial	81
5.2.12	Análise estatística	82
5.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	84
5.3.1	Composição físico-química do leite	84
5.3.2	Composição físico-química do soro	85
5.3.3	Composição físico-química dos queijos	86
5.3.4	Recuperação dos constituintes do leite e rendimento dos queijos	89
5.3.5	pH	91
5.3.6	Proteólise	93

	19
5.3.7 Perfil de textura	96
5.3.7.1 Dureza	97
5.3.7.2 Mastigabilidade	98
5.3.7.3 Adesividade	100
5.3.7.4 Coesividade	101
5.3.7.5 Elasticidade	102
5.3.8 Avaliação da cor	104
5.3.9 Análises microbiológicas dos queijos	108
5.3.10 Avaliação sensorial.....	108
5.4 CONCLUSÃO.....	111
5.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	112
6 - CONCLUSÕES GERAIS	116
7 - CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	116

1 – INTRODUÇÃO GERAL

As caseínas do leite possuem valor nutricional considerado de excelência e, por este motivo, muitos autores as utilizam como referência para avaliar a qualidade proteica dos alimentos. Além disso, por possuírem propriedades funcionais no leite e em outros produtos lácteos, as caseínas também têm sido extensivamente estudadas. Na produção de queijos, as caseínas são o componente principal para aumentar o rendimento e por isso, quanto maior o seu teor no leite, mais viável e rentável torna-se a fabricação para a indústria. O leite brasileiro apresenta, em média, teor de caseína em torno de 2,20%, enquanto que, na Argentina, Estados Unidos e União Européia, esse valor gira ao redor de 2,60%. Neste contexto, a utilização de concentrado proteico de leite (MPC) torna-se um recurso tecnológico opcional para a padronização do leite visando compensar o baixo teor dessa proteína do leite brasileiro, destinado à fabricação de queijos.

Em países desenvolvidos é comum a utilização de MPCs em leite ou em queijos formulados com o objetivo de aumentar a concentração de proteínas, bem como aumentar o rendimento do produto final. Contudo, no Brasil essa aplicação tecnológica ainda é pouco utilizada, muito embora necessária, dado o histórico do baixo teor proteico do leite brasileiro. O consumo de queijos no país tem aumentado e, segundo a Associação Brasileira das Indústrias de Queijos (ABIQ), a média brasileira de consumo per capita é de 5,4 quilogramas por pessoa. De acordo com a ABIQ, em 2009 o brasileiro consumia, em média, 2,17 quilogramas de queijo. A meta da entidade é aumentar esta quantidade para 7,5 quilogramas per capita para 2020 e atingir, em 2030, o valor de 9,6 quilogramas de queijo por habitante/ano (SINDILAT, 2017).

Portanto, o mercado brasileiro possui grande potencial para o consumo de queijos e é esse nicho que precisa ser melhor explorado pela indústria para aumentar a oferta do produto por meio do aumento na sua produção. Contudo, é sabido que o setor lácteo brasileiro trabalha com escassez de recursos no que diz respeito à ampliações de seus parques industriais e/ou investimentos em novos equipamentos para aumentar sua capacidade produtiva.

É neste cenário que o presente trabalho, cujo tema **“Efeito do uso de concentrado proteico de leite (MPC) nas propriedades do queijo Minas Padrão”** visa avaliar o recurso tecnológico da suplementação de MPC em pó no leite para

aumentar diretamente a produção de queijos, pelo aumento no rendimento, sem que haja a necessidade de grandes investimentos em equipamentos ou mesmo aumento da captação de volume de leite pela fábrica. O desenvolvimento deste estudo está dividido em duas etapas principais:

- . **4 – Monitoramento do tamanho das partículas do leite fluido adicionado de MPC em pó visando produção de queijo;**
- . **5 – Produção, caracterização físico-química, reológica e sensorial do queijo Minas Padrão, utilizando concentrado proteico de leite – MPC.**

Para que as propriedades funcionais do MPC sejam otimizadas no leite, é de extrema importância que o pó esteja totalmente solubilizado no meio. A total solubilização do MPC no leite deve ser atingida mediante determinado tratamento a ser utilizado, o que envolve tempo e temperatura empregados, possibilitando desta forma, a definição de um protocolo adequado a ser utilizado para este fim. O analisador de partículas por difração a laser foi empregado neste estudo para monitorar o tamanho das partículas do MPC em pó no leite, a fim de garantir a sua total reidratação, visando a fabricação de queijo. A análise do tamanho de partículas consiste em uma ferramenta potencial e relevante para o entendimento pela indústria sobre como garantir que o MPC em pó utilizado está totalmente reidratado no leite, evitando desta forma, perdas de constituintes no soro e mal aproveitamento deste ingrediente durante a produção do queijo. Isto possibilitará à fábrica escolher o melhor protocolo, de processamento térmico por tempo apropriado, a ser seguido para a reidratação do MPC em pó, desde que este seja o mais adequado ao seu processo e fluxo de rotina operacionais. Além disso, a impossibilidade de formação de partículas não dispersas (macropartículas) no leite, que porventura se formariam por uma solubilização incompleta e inadequada, pode garantir segurança, do ponto de vista microbiológico, para o alimento.

Em complemento, compreender como o MPC em pó interfere nas características físico-químicas, reológicas e sensoriais do queijo é de extrema importância do ponto de vista da qualidade do produto obtido. Por este motivo, neste experimento as fabricações foram tão importantes para o entendimento do comportamento do MPC, em particular, no queijo Minas Padrão.

2 – OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho objetiva estudar a cinética de reidratação do MPC em pó no leite fluido, destinado à fabricação de queijos e avaliar a viabilidade tecnológica e a aplicabilidade do MPC na fabricação do queijo Minas Padrão, com vistas ao aumento do rendimento e o impacto nas suas propriedades durante a maturação.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a influência da solubilização do MPC sobre o tamanho das partículas do leite fluido, sob diferentes condições de processamento.
- Monitorar o tamanho das partículas do leite por meio do analisador de partículas por difração a laser.
- Avaliar o efeito da concentração do MPC em leite fluido no aumento do rendimento da fabricação do queijo Minas Padrão.
- Avaliar o efeito da concentração do MPC nas características físico-químicas, reológicas e sensoriais do queijo Minas Padrão durante a maturação.

3 – REVISÃO DE LITERATURA

3.1 PROTEÍNAS LÁCTEAS E SUA APLICAÇÃO TECNOLÓGICA

Tradicionalmente as proteínas do leite são classificadas em duas grandes categorias, em concentrações no leite bovino conforme disposição na Tabela 1 (WALSTRA; WOUTERS; GEURTS, 2006). A primeira e mais abundante é a família das caseínas, que consiste de várias frações (principalmente α_{s1} , α_{s2} , beta, kapa) sendo a maioria delas presentes na forma de partículas coloidais, conhecidas como micelas de caseína. O segundo grupo de proteínas do leite são as soroproteínas que inclui as proteínas globulares, sensíveis ao calor, solúveis na água e as enzimas (GOFF; HILL, 1993). Portanto, os principais componentes que caracterizam as soroproteínas são a β -lactoglobulina; α -lactoalbumina, albumina do soro, imunoglobulina e as frações de protease-peptonas (EIGEL et al., 1984; FARRELL et al., 2004).

Tabela 1. Composição da proteína do leite bovino

Maioria proteínas leite	Gramas/litro	% sobre total de proteína
Proteína total	33,2	100,0
Caseínas	26,0	78,3
α_{s1} - caseína	10,7	32,0
α_{s2} - caseína	2,8	8,4
β - caseína	8,6	26,0
k - caseína	3,1	9,3
γ - caseína	0,8	2,4
Soroproteínas	6,3	19,0
α -Lactalbumina	1,2	3,7
β -Lactoglobulina	3,2	9,8
Soroalbumina	0,4	1,2
Imunoglobulinas	0,7	2,1
Protease peptona	0,8	2,4
Diversos	0,9	2,7
Lactoferrina	0,1	
Transferrina	0,01	
Proteína de membrana	0,7	2,0
Enzimas	—	—

Adaptada de Walstra; Wouters, Geurts (2006).

A maior parte das proteínas lácteas encontram-se dispersas na fase coloidal do leite, podendo ser separadas dos sais e lactose que formam a solução, com

relativa facilidade (HOLDSWORTH; HAYLOCKS, 1995). As caseínas são definidas como fosfoproteínas, que se precipitam em pH 4,6 e as soroproteínas correspondem ao grupo de proteínas que permanecem solúveis no soro do leite após precipitação das caseínas em pH 4,6 e temperatura de 20 °C (FARRELL et al., 2006).

Do ponto de vista químico e físico estes dois grupos diferem entre si e estão presentes no leite também em diferentes fases. As caseínas contêm várias proteínas formando os chamados agregados coloidais e as soroproteínas apresentam-se em solução (DALGLEISH, 1982).

As caseínas representam a maior porção da proteína do leite bovino, o que corresponde, em média, a 80% do teor total. A proporção entre α_{s1} caseína, α_{s2} caseína, β -caseína e κ -caseína é 4:1:3,5:1,5, respectivamente (FARRELL et al., 2004; SWAISGOOD, 2003). No leite, as caseínas, juntamente com o fosfato de cálcio (DE KRUIF; HOLT, 2003) formam agregados de milhares de proteínas individuais com diâmetro médio de 150-200 nm (DE KRUIF, 1998), conhecidas como micelas de caseína (FOX; BRODKORB, 2008). As micelas de caseína são altamente hidratadas, com aproximadamente 3,5 kg de água para cada kg de proteína (JEURNINK; DE KRUIF, 1993). Desta maneira, embora as caseínas representem aproximadamente 2,5% da massa total do leite, as micelas ocupam aproximadamente 10% do seu volume.

As micelas podem ser aquecidas e resfriadas moderadamente sem que ocorra agregação significativa ou rompimento de sua estrutura básica. Por outro lado, podem ser desestabilizadas facilmente, quer por tratamento com enzimas proteolíticas ou por acidificação, levando à coagulação, que é a base para a fabricação de queijos e iogurtes (DALGLEISH; CORREDIG, 2012).

A estrutura das micelas de caseína tem sido debatida por vários anos e diversos autores (DE KRUIF; HOLT, 2003; FARRELL et al., 2006; FOX; BRODKORB, 2008; HORNE, 2006, 2008). A maioria das κ -caseínas, senão todas, são encontradas na superfície das micelas. O comportamento das micelas durante o processamento depende quase que totalmente da estrutura e propriedades da superfície micelar. Assim, diferentes operações de processamento causam diferentes mudanças na estrutura dos filamentos protuberantes da superfície da micela e isto pode afetar a estabilidade micelar. Os caminhos para tal desestabilização podem ser: efeitos do calor e do tratamento à alta pressão; instabilidade induzida por enzimas do coalho; acidificação e concentração das

micelas por tecnologia de membranas ou evaporação (DALGLEISH; CORREDIG, 2012).

As proteínas lácteas podem ser aplicadas em diversos segmentos da indústria alimentícia, tais como panificação, bebidas, sobremesas, massas, produtos cárneos e laticínios. Cientistas do mundo todo que trabalham no desenvolvimento de produtos se beneficiam de fontes naturais de proteína concentrada de alta qualidade, de sua excepcional funcionalidade e de seu superior apelo sensorial (AGARWAL et al., 2015).

Os benefícios das proteínas do leite como ingredientes em outros alimentos originam de suas excelentes propriedades nutricionais e da capacidade de contribuir para propriedades tecno-funcionais, sensoriais e reológicas nos produtos finais. Entretanto, essas propriedades não costumam ser entendidas com detalhes suficientes que permitam que a estrutura proteica alcance um melhor desempenho (SINGH, 2009). O entendimento das interações envolvidas e a avaliação do efeito das proteínas lácteas como ingrediente industrial ainda carecem de maior número de estudos. É necessário o desenvolvimento de uma melhor adequação da utilização destas proteínas dentro de cada perfil tecnológico desejado nas diversas linhas de processamento (ANEMA, 2008). O entendimento da interação das proteínas lácteas proporciona às indústrias alimentícias a obtenção de uma relação adequada, com melhor custo/benefício na utilização de cada tipo de proteína dentro das características desejadas no produto final. Como consequência, a indústria pode disponibilizar para o mercado produtos que utilizem proteínas de elevado valor biológico como ingrediente tecnológico (SOUZA et al., 2014).

3.2 ANÁLISE DO TAMANHO DE PARTÍCULAS

Quando se fala em operações de produção e processamento que envolvem sistemas de materiais particulados, conhecer o tamanho e a distribuição do tamanho da partícula constitui um pré-requisito fundamental. A distribuição do tamanho da partícula exerce influência significativa nas várias etapas da produção (transporte, compactação, sinterização, etc.) assim como na microestrutura do material, afetando a resistência mecânica, a densidade e as propriedades térmicas e elétricas dos produtos acabados. Assim, em todos os processos que envolvam materiais na forma

de pós, determinar a distribuição do tamanho da partícula torna-se uma etapa crítica. Caso seja realizada de forma incorreta, podem ocorrer perdas econômicas em decorrência de produtos de baixa qualidade e de altas taxas de rejeição (JILLAVENKATESA et al., 2001).

O aumento crescente das aplicações de materiais particulados levou ao desenvolvimento de diversas técnicas de caracterização física de pós, especificamente para tamanho de partícula. Iacocca; German (1997), apresentam diversas técnicas como: peneiramento, microscopia quantitativa, espalhamento de luz; turbidimetria (espalhamento de luz de pequeno ângulo), contadores ópticos de partículas, velocimetria, espalhamento de nêutrons/raios X, cromatografia por exclusão de tamanho; cromatografia hidrodinâmica, fracionamento de campo de fluxo (FFF), FFF elétrico; FFF por sedimentação, sensoriamento de zona elétrica, centrifugação/ultra centrifugação/sedimentação e tempo de vôo aerodinâmico. A Figura 1 apresenta algumas técnicas recomendadas para as faixas de tamanhos de algumas partículas. Tratam-se de faixas aproximadas que se referem a limites extremos de análises e, dependendo do material analisado, podem variar de forma significativa entre os diferentes equipamentos (VASCONCELLOS, 2018).

É extremamente difícil determinar valores exatos para os tamanhos das partículas e cada técnica apresenta obstáculos diferentes. Por isso, quando se trabalha com controle de processos é importante fazer uso da reprodutibilidade e, no caso de desenvolvimento de novos produtos, a exatidão da análise pode ser fundamental (ALLEN, 1997).

Cada técnica de análise é baseada em princípios físicos diferentes. Por este motivo, resultados distintos também podem ser obtidos. Além disso, cada equipamento de análise possui um projeto de construção diferente e, mesmo entre equipamentos que utilizam o mesmo princípio físico básico podem ocorrer resultados diferentes (JILLAVENKATESA et al, 2001).

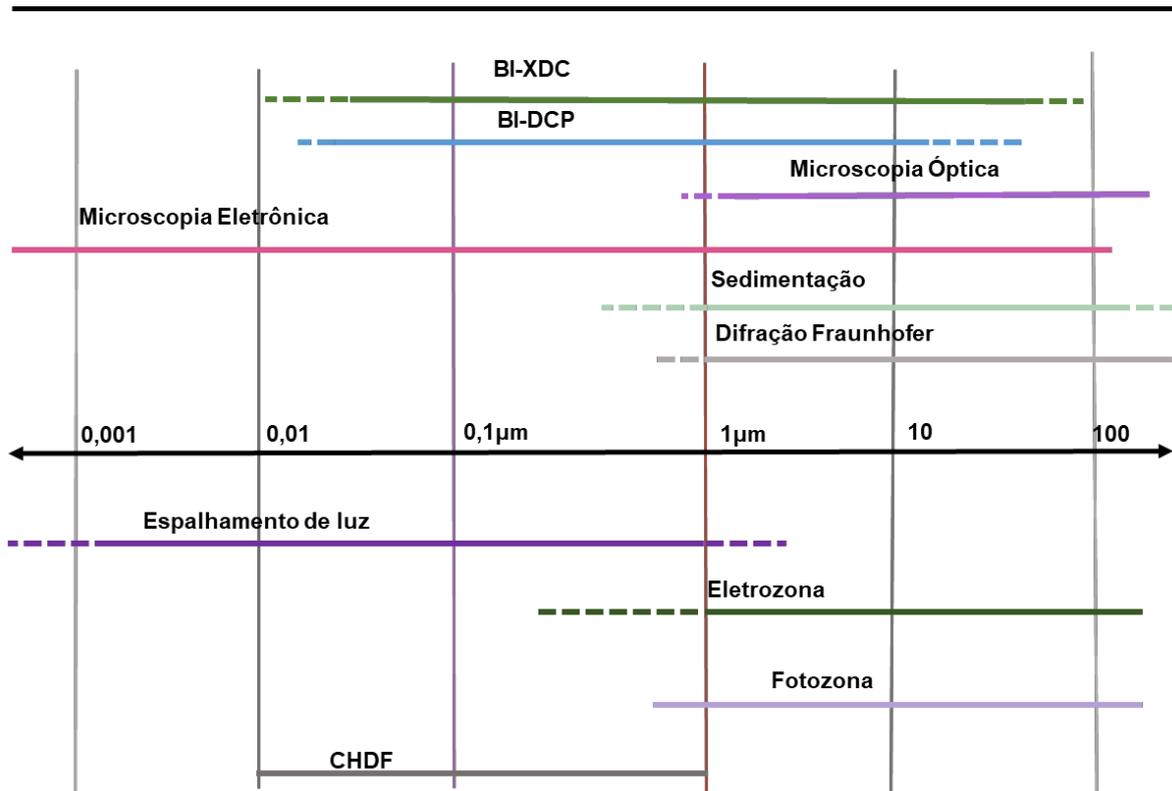


Figura 1. Imagem adaptada de Vasconcellos (2018), mostrando as diferentes técnicas de análise de tamanho de partícula com faixas limites de medidas. BI: Disco centrífugo (DCP – detecção óptica; XDC – detecção por raios X). CHDF: Fracionamento por capilar hidrodinâmico.

A dimensão da partícula que está sendo medida constitui ainda outro fator de relevância que deve ser considerado na determinação da distribuição do tamanho da partícula. O diâmetro é usado para definir o tamanho de uma esfera e o fato dela possuir um formato regular, o seu tamanho pode ser definido por um único valor. Contudo, para quantificar o tamanho de partículas irregulares é necessária a utilização de mais de uma medida. Neste caso, para expressar este valor em um único número, é comum adotar o valor de uma esfera equivalente. Então, o diâmetro desta esfera equivalente apresentará valores diferentes, dependendo do que for medido (maior ou menor comprimento, volume, massa, área projetada, velocidade de sedimentação, etc.). A partir de um grão de areia com forma irregular, diferentes diâmetros médios equivalentes podem ser gerados (RAWLE, 2018), conforme ilustra a Figura 2.

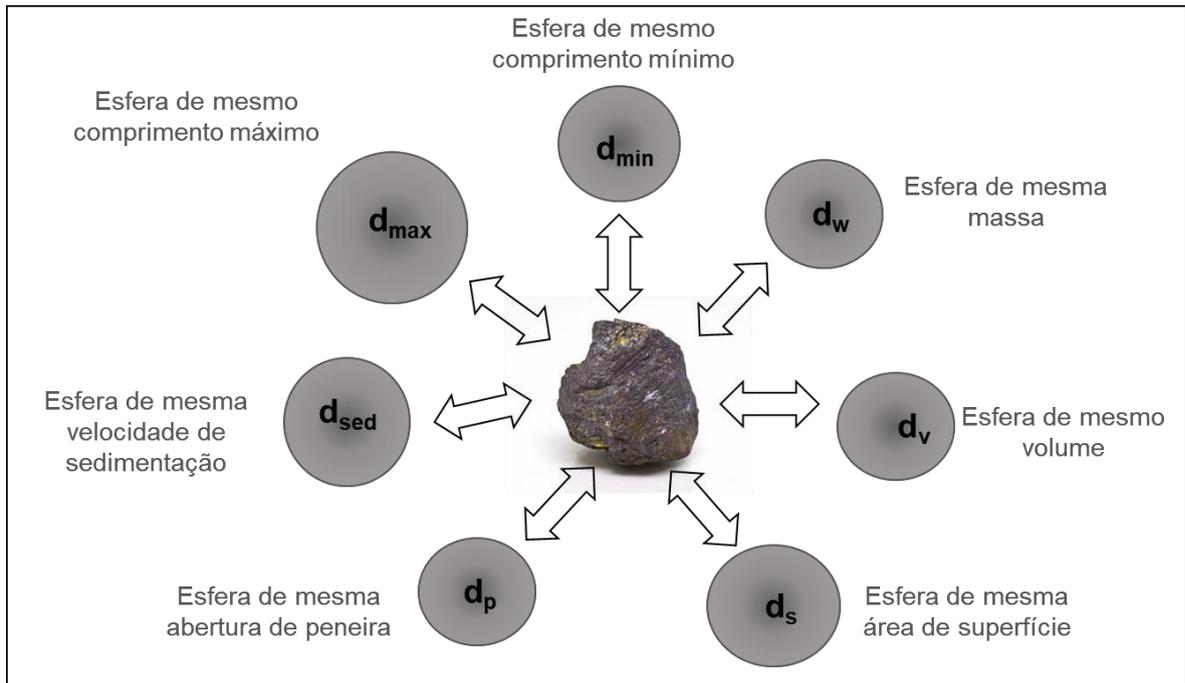


Figura 2. Imagem adaptada de Rawle (2018), mostrando diferentes diâmetros de esferas equivalentes gerados à partir de uma partícula irregular.

A Figura 3 apresenta exemplos de algumas formas possíveis de partículas (GERMAN, 1994). Entretanto, o diâmetro médio não pode ser utilizado como a única informação sobre o tamanho do material particulado. Materiais com diâmetros médios idênticos podem apresentar diferentes distribuições e, por este motivo, informações com relação à distribuição granulométrica do pó devem ser obtidas. Por exemplo, um pó que apresenta distribuição de tamanho de partícula entre $0,1 \mu\text{m}$ e $200 \mu\text{m}$ e outro com partículas entre $10 \mu\text{m}$ e $100 \mu\text{m}$ podem ter o mesmo diâmetro médio, entretanto o comportamento destes pós durante o processamento será completamente diferente, assim como as propriedades finais dos produtos gerados a partir de cada pó (HAUSNER, 1981). Os gráficos de distribuição de frequência acumulada e incremental correspondem aos dados mais comumente utilizados e o decis D_{10} , D_{50} e D_{90} correspondem, respectivamente, aos valores que 10%, 50% e 90% da distribuição de partículas apresentam diâmetros menores.



Figura 3. Imagem apresentada por German (1994), das possíveis formas das partículas.

A análise do tamanho de partículas é muito utilizada no setor farmacêutico, sendo de fundamental importância na micronização, formulação e entrega de fármacos de nanopartículas. É utilizada também para entender os comportamentos de processamento e dissolução de pós. O termo “distribuição” é aplicado quando um conjunto de partículas apresentam tamanhos diferentes, contendo um intervalo contínuo de tamanhos (BRITAIN, 2001).

Para representar o intervalo de tamanho, um diagrama de frequência ou histograma é normalmente produzido. O histograma é um gráfico de barras em que o eixo x representa o tamanho da partícula. A altura vertical das barras (o eixo y) representa a quantidade relativa de matéria contida nesse tamanho ou a frequência de ocorrências. O procedimento de plotagem do histograma é descrito em detalhes pela norma ISO 9276-1: 1998 (E) (INTERNATIONAL STANDARDS ORGANIZATION, 1998).

3.2.1 Espalhamento (ou difração) de luz

No espalhamento ou difração de luz, as partículas são dispersas num fluido em movimento. As partículas de pó provocam descontinuidades no fluxo do fluido.

Uma luz incidente detecta estas discontinuidades e as correlaciona com o tamanho das partículas daquele pó. Quando a luz incidente atinge uma quantidade de partículas, a mesma sofre uma interação, segundo quatro diferentes fenômenos: difração, refração, reflexão e absorção (HILDEBRAND, 1999), formando assim um invólucro tridimensional de luz, conforme demonstrado na Figura 4. O índice de refração relativo da partícula no meio dispersante, bem como o comprimento de onda da luz e o tamanho e formato da partícula afetam o formato e o tamanho deste invólucro. A intensidade e o ângulo da luz espalhada são medidos por detectores estrategicamente posicionados. Por meio de algoritmos matemáticos, o sinal dos detectores é então convertido para a distribuição de tamanho de partícula (ALLEN, 1997).

Esta técnica é conceituada fundamentalmente por teoria de espalhamento Mie que apresenta uma solução matemática para o espalhamento de luz incidente sobre partículas esféricas (POHL, 1998), podendo ser aplicada para partículas com diferentes formatos e razões de aspecto. Entretanto, para sua aplicação faz-se necessário conhecer previamente os índices de refração do material que está sendo analisado, assim como do meio em que o mesmo se encontra.

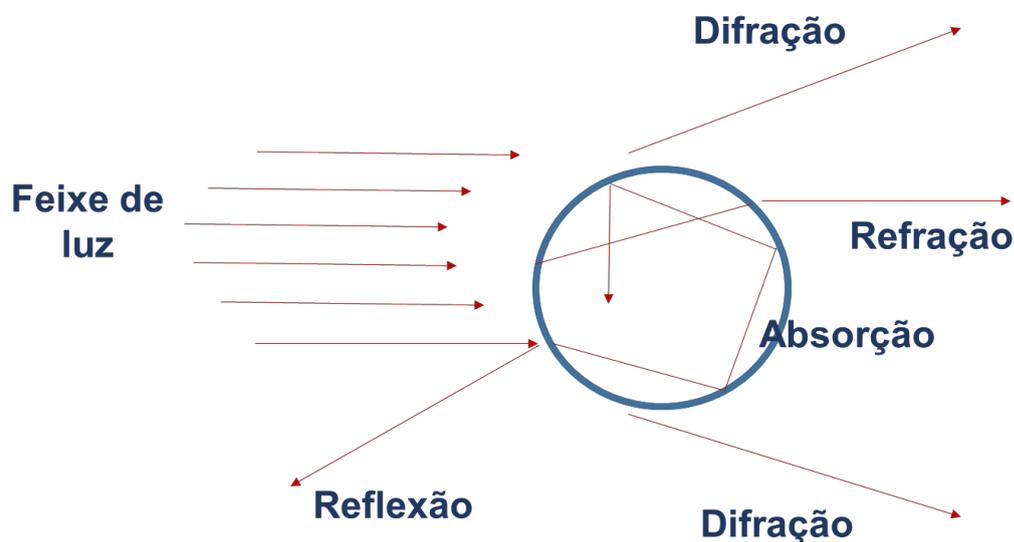


Figura 4. Interação do raio de luz com uma partícula esférica, ângulos difratados determinados pelo tamanho da partícula e um padrão de difração.

Quando as partículas são opacas e maiores que o comprimento de onda da luz, a aproximação de Fraunhofer, também chamada de teoria de difração de Fraunhofer, pode ser utilizada. A intensidade e o ângulo do feixe de luz espalhado são alterados pelo tamanho da partícula. Utilizando-se da luz monocromática (coerente), ou seja, o laser, o ângulo de espalhamento é inversamente proporcional ao diâmetro da partícula (assume-se a forma esférica). O menor tamanho de partícula passível de detecção deve ser, pelo menos, duas vezes o comprimento de onda do laser. Quando o ângulo do feixe difratado se torna muito próximo daquele de um feixe não espalhado, surge a limitação do tamanho máximo da partícula. Tipicamente a faixa de trabalho encontra-se entre $0,1 \mu\text{m}/1 \mu\text{m}$ a $200 \mu\text{m}/300 \mu\text{m}$, mas a difusão do seu uso é mais adequada para partículas maiores que $1 \mu\text{m}$ ou $2 \mu\text{m}$ (JILLAVENKATESA et al., 2001). A Figura 5 representa as interações da luz com uma partícula e os modelos adotados para cada caso (PUCKHABER; RÖTHELE, 1999).

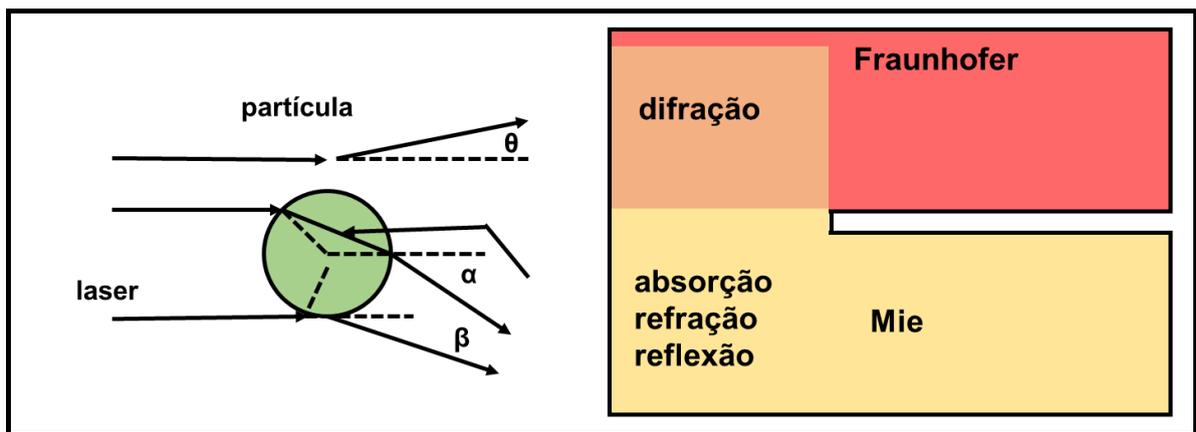


Figura 5. Imagem adaptada de Puckhaber e Röthele (1999), mostrando a interação física entre a luz e a partícula.

À seguir, as limitações, fontes de erro e recomendações que devem ser seguidas:

- Quando a teoria de Mie é utilizada para pós finos, é necessário conhecer ou determinar os índices de refração, real e imaginário, do meio e do material a ser analisado;

- A medição de partículas não esféricas acontece em todas as orientações, causando um alargamento na distribuição de tamanhos;
- Para evitar o espalhamento múltiplo do laser, deve-se usar uma baixa concentração da amostra (GUARDANI; NASCIMENTO; ONIMARU, 2002);
- Partículas que têm superfície muito rugosa, tendem a apresentar um aumento na faixa fina da distribuição;
- Cada equipamento possui um projeto como, por exemplo, fontes de laser com comprimentos de ondas diferentes, quantidade e disposição de detectores de laser e, com isso os cálculos teóricos por eles adotados influenciam nos resultados obtidos (JILLAVENKATESA et al.,2001).

As normas aplicáveis para esta técnica de distribuição de tamanho de partícula são: ASTM B822-97 (1997), ASTM E1458-92 (1992), BS 3406: Part 7 (1998), ISO/FDIS 13320 (1999) (JILLAVENKATESA et al.,2001).

A técnica de difração a laser, assim como várias outras formas de dimensionamento de partículas não atribuem tamanho a partículas individuais. Estas técnicas analisam uma propriedade medida por meio de uma nuvem ou montagem de partículas, e são assim denominadas "analisadores conjuntos". A dispersão de luz laser (difração a laser) é padronizada para a estrutura de relatório de volume. Desta maneira, o histograma produzido lê como "x% das partículas no tamanho detectado ocupam tanto volume". Tipicamente, estes histogramas se assemelham a uma curva em forma de sino (normal ou gaussiana) na qual a maior parte do volume é ocupada pelas partículas de tamanho médio (REBECCA LEA, 2011).

3.2.2 Analisador de partículas por difração a laser

O analisador de tamanho de partículas por difração a laser Beckman Coulter LS 13 320, equipado com módulo líquido aquoso (ALM), é um equipamento que utiliza uma técnica acentuada de difração de laser e um sistema de multi-frequência patenteado PIDS (*Polarization Intensity Differential Scatter*), projetado para medir a distribuição do tamanho de partículas suspensas em um líquido ou em pó seco, por meio da utilização dos princípios de dispersão de luz. O comprimento de onda do laser utilizado é de 750 nm ou 780 nm e o equipamento pode fornecer uma faixa

dinâmica de tamanho de partícula de 0,017 µm a 2000 µm (Beckman Coulter, Miami, FL, EUA).

O LS 13 320 usa um laser de diodo de 5 mW com um comprimento de onda de 750 nm (ou 780 nm) como a principal fonte de iluminação, e há ainda uma fonte secundária de luz de halogênio-tungstênio para o sistema PIDS. A luz da lâmpada de halogênio-tungstênio é projetada através de um conjunto de filtros que transmitem três comprimentos de onda (450 nm, 600 nm e 900 nm), através de dois polarizadores, orientados ortogonalmente em cada comprimento de onda.

3.3 QUEIJO MINAS PADRÃO

O queijo Minas Padrão originou-se no estado de Minas Gerais e é conhecido também como Minas Padronizado, Minas Curado ou Minas Prensado (DUTRA, 2017). Sua história tem influência portuguesa e suas primeiras fabricações foram iniciadas pelos colonos portugueses e espanhóis (RIBEIRO, 1951). No século XVIII, os portugueses chegaram em Minas Gerais para exploração de ouro e trouxeram consigo a receita do queijo da Serra da Estrela, fabricado de coalhada de leite fresco (MENESES, 2006). Esta receita foi adaptada para ser utilizada no Brasil com coagulante proveniente do estômago seco e salgado de bezerras ou cabritos, já que em Portugal usava-se, para a sua fabricação, o extrato de flores e brotos de cardo, planta esta considerada como praga das lavouras (MENESES, 2006). Contudo, o queijo Minas Padrão é considerado como uma variante dos queijos artesanais do Serro e da Canastra e também um dos primeiros queijos produzidos em escala industrial no Brasil (FURTADO, 2017).

O queijo Minas Padrão é o queijo de massa crua ou semi-cozida obtido por meio da coagulação do leite pasteurizado com coalho ou com outras enzimas coagulantes apropriadas, ou com ambos, complementada ou não pela ação de bactérias lácticas específicas, com a obtenção de uma massa coalhada, dessorada, prensada mecanicamente, salgada e maturada, segundo artigo 379 do Regulamento de Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal – RIISPOA (BRASIL, 2017). Geralmente possui formato cilíndrico, com faces planas, bordas retas e peso entre 0,5 e 1,2 kg. É comercializado também, em frações, no formato de meia lua (DUTRA, 2017). A composição média do queijo Minas Padrão é de 46 –

49 g/100g de umidade, 23 – 25 g/100g de gordura, 20 – 22 g/100 g de proteína, 1,4 – 1,6 g/100 g de sal e valores de pH entre 5,0 – 5,6 (FURTADO; LOURENÇO NETO, 1994). O queijo Minas Padrão possui textura aberta com algumas pequenas olhaduras mecânicas; sabor levemente ácido e consistência semidura, com tendência a macia e quebradiça ou ainda cremosa e cor interna tipicamente branca (LONDOÑO, 1998). Atualmente existem também queijos suaves e macios, de textura fechada (DUTRA, 2017). O período de maturação do queijo Minas Padrão é curto, variando de 20 a 30 dias, em temperatura de 10 °C – 12 °C, em câmara fria (PAULA, 2011).

O queijo Minas Padrão, apesar de ser um dos queijos mais produzidos em Minas Gerais, não possui padrões físico-químicos e sensoriais definidos, além de não possuir, atualmente, um regulamento técnico específico de identidade e qualidade (RTIQ). Seu surgimento ocorreu pelo desenvolvimento tecnológico, para atribuir padrão às diversas variedades de queijos artesanais e regionais, produzidos por pequenos produtores rurais do estado, cujas variações tecnológicas eram divergentes entre os diversos queijos denominados “Queijo Minas” (MELO; ALVES; COSTA, 2009).

3.3.1 – Tecnologia de fabricação do queijo Minas Padrão

No Brasil, a evolução da tecnologia de queijos gera grandes impactos nas suas características e acontece principalmente com relação às culturas lácticas e coagulantes utilizados na fabricação, bem como pequenas alterações no seu processamento (ANTUNES; SAITO, 2011; FURTADO, 1990). Devido à inexistência de um Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade (RTIQ) específico para o queijo Minas padrão é comum encontrar no mercado variações diversas deste produto, inclusive com lavagem de massa, o que promove a sua descaracterização.

Tecnologicamente, a fabricação do queijo Minas Padrão consiste na padronização da gordura do leite em torno de 3,4% e pasteurização a 72 °C por 15 segundos. O tipo de cultura utilizada na fabricação do queijo Minas Padrão é a mesófila do tipo O – *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris* e *L. lactis* subsp. *lactis* (DOS SANTOS; GENIGEORGIS, 1981). O corte da coalhada é feito lentamente em cubos de 1 cm com o auxílio de facas de fio transversal e longitudinal de aço inoxidável,

chamadas de “liras”. É mantida uma agitação lenta durante 45 min – 60 min e após, o soro é retirado do tanque e a coalhada é prensada, usando-se uma plataforma perfurada de aço inoxidável. Após pré-prensagem da coalhada, a mesma é distribuída em fôrmas forradas por dessoradores de tecido. Os queijos são prensados por 30 minutos, invertidos e então prensados novamente por 16 horas. Os dessoradores são retirados e os queijos secos antes de ocorrer a salga das superfícies. Alguns fabricantes realizam a salga dos queijos em salmoura a 4 °C – 10 °C, por 24 horas, imediatamente após a segunda prensagem. A maturação ocorre em câmaras com temperatura de 10 °C – 12 °C, 85% de umidade relativa do ar, pelo período de 15 a 30 dias (NOGUEIRA; LUBACHEVSKY; RANKIN, 2005).

Segundo Dutra (2017), a tecnologia de fabricação do queijo Minas Padrão consiste na utilização de leite de boa qualidade, com acidez entre 15 °D e 17 °D, padronizado para 3,2% a 3,5% de matéria gorda (ou relação caseína/gordura – C/G – de 0,74 a 0,81, dependendo da gordura no extrato seco (GES) e da umidade desejadas) e pasteurizado entre 72 °C e 73 °C/15 a 20 segundos.

3.4 RENDIMENTO DE QUEIJOS

A fabricação de queijos é um processo em que ocorre a concentração dos componentes do leite (BANKS et al., 1981). Os principais fatores para determinar o rendimento de queijos são: teores percentuais de gordura e caseína do leite, perda de constituintes (especialmente gordura e caseína) durante a fabricação e a umidade dos queijos produzidos (CHITCHYAN; GRIGORYAN, 2016; MAYOROV; MIRONENKO; BAYBIKOVA, 2011; GUDKOV, 2004). A definição do rendimento na produção de queijos é essencial para determinar a eficiência e a viabilidade econômica da fabricação, da mesma forma que é importante para avaliar as mudanças na tecnologia e o emprego de novos processos produtivos (ABD EL-GAWAD; AHMED, 2011; FOX et al., 2000a). Outros fatores que afetam o rendimento da fabricação de queijos é a raça do rebanho pois, leite proveniente de diferentes raças diferem na sua composição (CHITCHYAN; GRIGORYAN, 2016). Diferentes raças de animais diferem entre si em relação ao seu conteúdo de proteína e gordura. O leite da raça Jersey possui maior teor de proteína e gordura do que a raça holandesa, trazendo, portanto melhores resultados, em termos de rendimento, para

a fabricação de queijos (AULDIST et al., 2004). Neste contexto, trabalhos recentes, relacionados com a seleção genética de vacas que produzem leite com características tecnológicas para aumentar o rendimento em queijos, tem sido feitos. Resultados de análises genéticas mostraram, quando da utilização desses leites, variações consideráveis para o rendimento de queijos pela capacidade de retenção de altas proporções de gordura, proteína e umidade na massa. Portanto, do ponto de vista econômico, o rendimento tem importância vital para os fabricantes de queijos (DADOUSIS et al., 2017). Outros fatores que também afetam o rendimento da fabricação de queijos estão relacionados à estocagem do leite a frio, contagem de microrganismos psicrotóxicos, contagem de CCS, atividade da plasmina, tipo de coalho utilizado, pasteurização do leite, uso do cloreto de cálcio, tipo de coagulante, desenho do tanque de fabricação, firmeza da coalhada no corte e variáveis de fabricação (ABD EL-GAWAD; AHMED, 2011; FURTADO, 2005; FENELON; GUINEE, 1999; WALSH et al., 1998; LUCEY; KELLY, 1994; LAWRENCE, 1993; BANKS et al., 1981).

Para uma certa variedade de queijos, o rendimento é definido como sendo a quantidade de queijo, expressa em quilogramas, obtida à partir de 100 kg de leite. Este parâmetro é importante pois, quanto maior a porcentagem de sólidos recuperada, maior a quantidade obtida de queijo e portanto, maior o rendimento em termos econômicos (FORMAGGIONI et al., 2008). Porém, sob o ponto de vista técnico, quando se deseja comparar o rendimento entre diversos lotes de produção, esta é considerada uma maneira empírica e inexata para tal expressão e não retrata a verdadeira situação que ocorre na fabricação do queijo (FURTADO, 2005; VAN DEN BERG, 1993; EMMONS et al., 1990).

Com relação às proteínas, as caseínas correspondem à fração coagulável pelo coalho e formam uma rede proteica (paracaseinato de cálcio) que aprisiona os demais componentes do leite tais como a gordura, lactose, sais minerais, proteínas do soro, etc., em proporções diferentes. Assim, aumentando-se o teor de caseínas do leite, o rendimento da fabricação também aumenta de forma direta pela maior quantidade de proteína retida a mais e também porque as caseínas aumentam, de forma considerável, a retenção de água no queijo (GUINEE; MCSWEENEY, 2006). O aumento do teor de gordura provoca também um aumento no rendimento pois a gordura promove um impedimento físico no grau de contração da matriz proteica, o que reduz a sinérese durante a elaboração no tanque, com consequente aumento

da umidade e do rendimento do queijo (GUINEE, 2003). Normalmente a indústria queijeira padroniza o teor percentual de gordura do leite destinado à fabricação de queijos. Entretanto nestas plantas, quando há a padronização do teor percentual de proteína, como consequência, há também uma diminuição na variação do rendimento dos queijos produzidos de diferentes lotes (SKEIE, 2007). O teor de umidade do queijo exerce influência de caráter mais expressivo sobre o rendimento (FURTADO, 2005). O aumento da umidade do queijo representa um aumento no rendimento, não só pela água retida mas também pela presença de sólidos solúveis como as proteínas do soro, o caseino-macropéptido, lactatos e sais solúveis (GUINEE; MCSWEENEY, 2006). Entretanto, para que não haja alterações paralelas no queijo pela elevação do seu teor de umidade, recomenda-se manter um nível que seja compatível com as características funcionais e sensoriais desejadas para cada tipo de queijo fabricado. Para tanto, a melhor abordagem é padronizar o teor de umidade na massa desengordurada do queijo (UMDQ). Desta maneira, o “ponto” da fabricação é de fundamental importância para definir o rendimento, já que o corte da coalhada e o processo de acidificação no tanque e na prensa regulam o teor final de umidade do queijo (FURTADO, 2005).

Segundo Furtado (2005), é impossível efetuar um corte na coalhada sem que haja perdas parciais de constituintes do leite no soro. Na fase de corte e mexedura da coalhada acontece o primeiro processo de desidratação, onde há a concentração de proteína, gordura e sais minerais para a formação do gel. A rapidez do corte e o tamanho dos grãos, assim como a intensidade da agitação logo após o corte, além do aumento da temperatura de cozimento da massa podem influenciar de forma negativa o rendimento do queijo por promover perdas de gordura e proteínas no soro e também afetar a extensão da sinérese da coalhada (KINDSTEDT; KIELY; GILMORE, 1992; MCMAHON; OBERG, 1998). No Brasil, é considerado normal que cerca de 10% a 15% de gordura seja perdida no soro no momento do corte. Esta porcentagem pode variar em decorrência do teor de caseínas do leite (FURTADO, 2005). Desta forma, é de essencial importância a padronização da relação caseína/gordura (C/G) do leite para a obtenção de queijos com as mesmas características físico-químicas, textura e propriedades funcionais (FOX et al., 2000b; FOX; COGAN, 2004). Durante o processo de salga o rendimento dos queijos também é afetado: primeiro pela incorporação do sal no queijo, mas ao mesmo tempo uma quantidade maior de água migra para fora, resultando em uma perda

substancial de peso do queijo. Esta perda de peso durante a salga equivale a cerca de 3% (WALSTRA; WOUTERS; GEURTS, 2006).

Van den Berg et al. (1996), define rendimento de queijos como sendo a massa de queijo obtida de certa quantidade de leite. Durante a fabricação do queijo, cada constituinte do leite incluindo a água, é recuperado para o queijo, em quantidades que podem variar no produto final. A taxa de recuperação dos constituintes do leite para o queijo depende do processo de fabricação empregado e pode diferir entre as fábricas de queijo. A composição do queijo deve obedecer a padrões legais, bem como de qualidade do produto final. Isto diz respeito principalmente ao teor de umidade e teor de gordura no extrato seco (GES), mas o aspecto real a ser considerado é a proporção de proteína (para-caseína) e água do queijo. Portanto, durante a fabricação, a recuperação da proteína do leite para o queijo é de importância primordial e por este motivo tem sido recomendado calcular o rendimento por kg de para-caseína do leite.

Segundo Furtado (2005), o rendimento técnico é o que determina o aproveitamento dos constituintes do leite na coalhada como as proteínas totais (ou apenas a caseína), a gordura, extrato seco total ou desengordurado etc. Diante dos dados físico-químicos correspondentes à composição do leite, do soro resultante da fabricação e do queijo fabricado, é possível determinar se houve uma transferência ideal dos constituintes do leite para o queijo. Além disso, é possível estabelecer comparações válidas entre diferentes fabricações de um mesmo tipo de queijo, ainda que estes apresentem composições físico-químicas diferentes entre si (FURTADO, 2005). As porcentagens, recuperadas ou perdidas, de gordura, proteína (ou caseína) ou ainda dos sólidos do leite, são normalmente utilizadas para medir a eficiência da fabricação, de forma que maiores índices de recuperação na massa do queijo e menores perdas para o soro refletem uma maior eficiência do processo. Conseqüentemente, as recuperações da gordura, proteína e/ou caseína do leite são usadas como medidas indiretas do rendimento de queijos. Alternativamente, os níveis de gordura e os “finos” da coalhada no soro, que representam os sólidos do leite não recuperados, podem também ser utilizados como índices de eficiência da fabricação, por fornecerem, indiretamente, informações sobre o rendimento dos queijos produzidos. Além disso, as informações sobre os componentes perdidos nos diferentes pontos da fabricação são úteis para diagnosticar as causas de perdas elevadas. Desta forma, perdas elevadas de gordura no soro após o corte da

coalhada podem ser utilizadas como um indicativo da rigidez incorreta do gel (muito frágil ou muito firme) no corte, ou ainda apontar para a ineficiência do desenho e poder de corte da lira utilizada. O cálculo para medir a recuperação desses constituintes em particular, como por exemplo a gordura, proteína e umidade, durante a fabricação, requer medições dos pesos do leite, soro e queijos produzidos, além das concentrações desses constituintes tanto no leite, soro como também nos queijos obtidos da fabricação (FOX et al., 2017).

O uso de extensores em queijos é uma alternativa tecnológica, utilizada com a finalidade de aumentar o rendimento da fabricação, principalmente nas épocas de escassez dos sólidos do leite, como por exemplo, no Brasil, durante a entressafra. Dependendo da quantidade de extensor utilizado, o volume de leite pode equivaler ao dobro do seu volume, aumentando o rendimento da fabricação, sem a necessidade de investir na ampliação da fábrica e compra de equipamentos adicionais (BALLINGER, 2001; COSTA JÚNIOR, 2006).

3.5 CONCENTRADO PROTEICO DE LEITE (MPC)

Os concentrados proteicos de leite (MPCs) são ingredientes que contêm proteínas do leite de alta qualidade, encontradas na forma desidratada, com um teor de, aproximadamente, 50% até 85% de proteína (HAVEA, 2006; SINGH, 2007). São obtidos à partir do leite desnatado, por ultrafiltração, diafiltração, seguido de secagem por spray drying (HAVEA, 2006). Quando comparados com o leite em pó integral ou desnatado, os MPCs possuem teores maiores de proteína e menores de lactose (MULVIHILL; ENNIS, 2003). Os MPCs possuem em sua composição: caseínas e soroproteínas, ambos em seu estado nativo e na mesma proporção que no leite fluido. Desta maneira, as caseínas apresentam-se de forma que se assemelham muito às micelas iniciais de caseína no leite e as soroproteínas não apresentam desnaturação, o que demonstra que a carga de calor aplicada durante o processamento é baixa (MARTIN; WILLIAMS; DUNSTAN, 2010). Com base no teor total de proteínas dos MPCs, eles contêm, aproximadamente, 82% de caseínas e 18% de soroproteínas (HUSSAIN; GAIANI; SCHER, 2012). O teor de proteína contido no pó é expresso pelo número, localizado após as letras que compõem a sua nomenclatura, conforme se segue: MPC70 e MPC85 contêm, respectivamente,

70% e 85% de proteína na base seca (SINGH, 2007). A composição de produtos lácteos desidratados com diferentes concentrações de proteína é mostrada na Tabela 2. É claro que, comparado com o leite em pó desnatado (LPD), os MPCs são ricos em proteína e pobres em lactose, com teores de cinzas, gordura e umidade razoavelmente consistentes sobre o teor variável de proteína (AGARWAL et al., 2015).

Tabela 2. Composição geral de produtos lácteos desidratados

	LPD	MPC 42%	MPC 56%	MPC 70%	MPC 85%	MPI
Proteína % (base seca)	36,0	40,6	54,4	68,3	83,1	87,1
Lactose % (base seca)	51,0	45,5	31,7	18,2	4,0	0,5
Cinzas % (base seca)	8,2	7,9	7,6	7,3	6,9	5,9
Gordura % (base seca)	0,8	0,9	1,2	1,2	1,5	1,5
Umidade %	4,0	5,1	5,1	5,0	4,5	5,0

Fonte: Smith (2008)

LPD = leite em pó desnatado; MPC 42% = MPC com 42% de proteína; MPC 56% = MPC com 56% de proteína; MPC 70% = MPC com 70% de proteína; MPC 85% = MPC com 85% de proteína; MPI = proteína isolada de leite.

A utilização dos MPCs como ingredientes para o lançamento de novos produtos pelas indústrias vem crescendo mundialmente, em virtude de suas propriedades funcionais e nutricionais, visando melhorar rendimento, textura e a palatabilidade dos produtos (FELIX DA SILVA et al., 2017; STEPHANI et al., 2015). A maioria das aplicações em lácteos tem sido em iogurtes e queijos processados, objetivando melhorar textura, aumentar o rendimento da fabricação, bem como incrementar o teor de proteína do produto final, sem aumentar, contudo, o teor de lactose. Assim, é possível utilizar-se de MPC com menor teor de proteína (MPC70 ou abaixo desta concentração) (AGARWAL et al., 2015; JIMENEZ-FLORES; KOSIKOWSKI, 1986). Os MPCs também podem ser utilizados como substitutos de LPD ou LPI em formulações, como base equivalente de proteína ou leite desnatado em produtos que requerem alto teor de proteína, baixo teor de lactose e perfil mineral similar ao do leite, assim como em produtos fermentados sem lactose (SZIGETI; KRASZ; VARGA, 2006). Para sorvetes e iogurtes congelados (*Frozen Yoghurt*), a utilização de MPC tem sido aplicada para substituir o LPD da formulação, sem comprometer as propriedades físicas desejadas da mistura

(ALVAREZ et al., 2005), proporcionando aumento do teor de proteína, sem aumentar o teor de lactose significativamente, evitando, desta forma, a textura arenosa no produto, decorrente da cristalização da lactose (PATEL; BAER; ACHARYA, 2006). O uso de MPC tem sido aplicado para padronizar leites para a fabricação de queijos sem padrão de identidade como por exemplo: queijos para pizza, certos queijos mexicanos e algumas variedades de queijos frescos e macios como o feta. Pesquisadores também estudaram o uso de MPCs na produção de muçarela (HARVEY, 2006; FRANCOLINO et al., 2010), feta (HARVEY, 2006; KUO; HARPER, 2003) e cheddar (HARVEY, 2006; REHMAN et al., 2003). Tanto o leite para queijo, padronizado com MPCs quanto o leite ultrafiltrado podem oferecer aos fabricantes de queijos uma oportunidade para produzir quantidades consistentes durante toda a época do ano (REHMAN et al., 2003). Caro et al. (2011) estudaram o efeito da adição de leite desnatado e de MPC no leite integral, sobre a composição, rendimento e propriedades funcionais do queijo mexicano Oaxaca e encontraram que a matéria seca real e o rendimento ajustado pela umidade diminuíram significativamente com a adição de leite em pó desnatado (LPD) mas aumentaram com a adição de MPC. Estudos adicionais encontraram que a adição de MPC em leite para queijo aumentou o rendimento de 13,8% para 16,7% devido ao alto teor de sólidos totais recuperados do leite e proteínas dos queijos produzidos com MPC e também devido à umidade ligeiramente mais alta dos queijos (FRANCOLINO et al., 2010). Também foi relatado que o aumento do teor percentual de proteína do leite diminui a relação caseína/gordura, eliminando a necessidade de separação do creme. Esta prática também melhora a capacidade da matriz de caseína reter mais gordura, o que fornece maior recuperação de gordura em queijo cheddar, por exemplo, quando a relação caseína/gordura é otimizada (GUINEE; O'KENNEDY; KELLY, 2006).

É sabido que os MPCs possuem pouca habilidade para se reidratarem (FELIX DA SILVA et al., 2017; STEPHANI et al., 2015) e, com o decorrer do tempo de estocagem o pó perde gradativamente a sua solubilidade (AGARWAL et al., 2015; ANEMA et al., 2006; HAQUE et al., 2010; HAVEA, 2006; MIMOUNI et al., 2009). Acredita-se que esta perda de solubilidade está relacionada com modificações conformacionais das moléculas de proteína, que acontecem durante a estocagem do pó (KHER et al., 2007). Por isso, sua utilização como ingrediente requer dissolução prévia do pó em meio aquoso (GAIANI et al., 2007; MIMOUNI et al., 2009). A

habilidade do pó de se reidratar rapidamente em meio aquoso constitui um fator essencial para o processo de reidratação (GAIANI et al., 2007; HUSSAIN et al., 2011a), assim como a sua total reidratação é essencial para preservar a sua característica funcional (SCHUCK et al., 2007). Fatores como tamanho e estrutura do pó, o pH, teores de sais minerais, as condições de reidratação tais como temperatura e cisalhamento, podem afetar o comportamento do processo de reidratação do MPC (HUSSAIN et al., 2011b; SCHUCK et al., 2007). Em geral, os MPCs mantêm uma boa solubilidade, pelo período de seis a oito meses, quando estocados em temperaturas mais frias (30 – 70 °F) e baixa umidade relativa do ar (MCKENNA, 2000; DE CASTRO-MOREL; HARPER, 2002). Contudo, um dos desafios dos MPCs com altas concentrações de proteína é que eles podem apresentar baixa solubilidade, particularmente quando estocados em ambientes com altas temperaturas (FANG; SELOMULYA; CHEN, 2010; ANEMA et al., 2006; MISTRY, 2002; MISTRY; PULGAR, 1996), umidade e atividade de água elevadas (BALDWIN; TRUONG, 2007). Vários estudos tem sido conduzidos no sentido de entender os mecanismos que levam à redução da solubilidade do MPC durante sua estocagem e diversas teorias tem sido relatadas na literatura para explicar a evolução desta insolubilidade (ANEMA et al., 2006; HAVEA, 2006).

3.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABD EL-GAWAD, M. A. M.; AHMED, N. S. Cheese yield as affected by some parameters. **ACTA Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria**, p. 131–153, 2011.

AGARWAL, S. et al. Innovative uses of milk protein concentrates in product development. **Journal of Food Science**, v.80 S1, p. A23-A29, 2015.

ALLEN, T. **Particle Size Measurement - Vol 1**. 5^a ed. London, England.: Chapman and Hall, 1997.

ALVAREZ, V. B. et al. Physical Properties of Ice Cream Containing Milk Protein Concentrates. **Journal of Dairy Science**, v. 88, n. 3, p. 862–871, 2005.

ANEMA, S. G. et al. Effects of storage temperature on the solubility of milk protein concentrate (MPC85). **Food Hydrocolloids**, v. 20, n. 2–3 SPEC. ISS., p. 386–393, 2006.

ANEMA, S. G. On heating milk, the dissociation of κ -casein from the casein micelles can precede interactions with the denatured whey proteins. **Journal of Dairy Research**, v. 75, n. 4, p. 415–421, 2008.

ANTUNES, L.; SAITO, M. M. A evolução das enzimas coagulantes. **Food Ingredientes Brazil**, v. 16, p. 38–39, 2011.

AULDIST, M. J. et al. A comparison of the composition, coagulation characteristics and cheesemaking capacity of milk from Friesian and Jersey dairy cows. **J. Dairy Res.**, v. 71, p. 51–57, 2004.

BALDWIN, A. J.; TRUONG, G. N. T. Development of insolubility in dehydration of dairy milk powders. **Food Bioprod. Process.**, v. 85, n. 3, p. 202-208, 2007.

BALLINGER, K. Padronização e extensão de queijo com proteínas de leite. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**. p. 51-59, 2001.

BANKS, J. M. et al. Cheese yield: composition does matter. **Dairy Ind. Int.**, v. 46 (5), p. 15,17, 19, 21-22, 1981.

BRASIL, 2017. Decreto nº 9.013. Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal (RIISPOA). Brasília, DF, 2017.

BRITAIN, H. G. Particle size distribution - Part I. **Pharmaceutical Technology**

North America, 2001.

CARO, I. et al. Composition, yield, and functionality of reduced-fat Oaxaca cheese: effects of using skim milk or a dry milk protein concentrate. **Journal of Dairy Science**, v. 94, n. 2, p. 580–588, 2011.

CHITCHYAN, Zh. T.; GRIGORYAN, A. A. Yield and quality of brine-ripened cheeses, production from the milk of jersey and Simmental cows. **Annals of Agrarian Science**, v. 14, p. 64-66, 2016.

COSTA JÚNIOR, L. C. G. Viabilidade tecnológica do uso de concentrados proteicos e creme como extensores na fabricação de queijo Minas Frescal. **Rev. Inst. Latic. Cândido Tostes**, v. 61, n.351, p. 39-48, 2006.

DADOUSIS, C. et al. Genome-wide association study for cheese yield and curd nutrient recovery in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 100, p.1259-1271, 2017.

DALGLEISH, D. G. Milk proteins: chemistry and physics. In: FOX, P. F.; CONDON, J. J. (Eds.). **Food Proteins**. London, England.: Appl. Sci. Pub., p. 155–178, 1982.

DALGLEISH, D. G.; CORREDIG, M. The Structure of the Casein Micelle of Milk and Its Changes During Processing. **Annual Review of Food Science and Technology**, v. 3, n. 1, p. 449–467, 2012.

DE CASTRO-MOREL, M.; HARPER, W. J. Basic functionality of commercial milk protein concentrates. **Milchwissenschaft**, v. 57, p. 367-370, 2002.

DE KRUIF, C. G. Supra-aggregates of casein micelles as a prelude to coagulation. **Journal of Dairy Science**, v. 81, p. 3019–3028, 1998.

DE KRUIF, C. G.; HOLT, C. Casein micelle structure, function and interactions. In: FOX, P. F.; MCSWEENEY, P. L. H. (Eds.). **Advanced Dairy Chemistry: Volume 1: Proteins**. 3^a ed. New York: Kluwer Academic/Plenum, p. 233-270, 2003.

DOS SANTOS, E. C.; GENIGEORGIS, C. Survival and growth of *Staphylococcus aureus* in commercially manufactured Brazilian Minas cheese. **Journal of Food Protection**, v. 44, n. 3, p. 177–184, 1981.

DUTRA, E. R. P. **Fundamentos básicos da produção de queijos**. Juiz de Fora: Templo Gráfica e Editora, 2017.

EIGEL, W. N. et al. Nomenclature of proteins of cow's milk: Fifth revision. **J. Dairy Sci.**, v. 67, p. 1599–1631, 1984.

EMMONS, D. B. et al. Predictive Formulas for Yield of Cheese from Composition of Milk: A Review1. **Journal of Dairy Science**, v. 73, n. 6, p. 1365–1394, 1990.

FANG, Y.; SELOMULYA, C.; CHEN, X. D. Characterization of milk protein concentrate solubility using focused beam reflectance measurement. **Dairy Science Technology**, v. 90, n. 2-3, p. 253-270, 2010.

FARREL, H. M. et al. Casein micelle structure: What can be learned from milk synthesis and structural biology? **Current Opinion in Colloid and Interface Science**, v. 11, p. 47–135, 2006.

FARRELL, H. M. et al. Nomenclature of the Proteins of Cows' Milk-Sixth Revision. **Journal of Dairy Science**, v. 87, n. 6, p. 1641–1674, 2004.

FELIX DA SILVA, D. et al. Casein-Based Powders: Characteristics and Rehydration Properties. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v.17, p. 240-254, 2017.

FENELON, M. A.; GUINEE, T. P. The effect of milk fat on Cheddar cheese yield and its prediction, using modifications of the Van Slyke cheese yield formula. **J. Dairy Sci.**, v. 82, p. 2287–2299, 1999.

FORMAGGIONI, P. et al. Cheese yield: factors of variation and predictive formulas. A review focused particularly on grana type cheeses. **Annali della Facoltà di Medicina Veterinaria, Università di Parma**, v. 28, p. 211–232, 2008.

FOX, P.F. et al. **Fundamentals of Cheese Science**. 2° ed. Springer New York, 2017.

FOX, P. F. et al. **Fundamentals of Cheese Science**. 1. ed. Gaithersburg, Maryland: Aspen Publishers Inc., 2000a.

FOX, P. F. et al. Enzymatic coagulation of milk. In: **Fundamentals of Cheese Science**. [s.l.] Aspen Publishers Inc., p. 98–137, 2000b.

FOX, P. F.; BRODKORB, A. The casein micelle: historical aspects, current concepts and. **International Dairy Journal**, v. 18, p. 84–677, 2008.

FOX, P. F.; COGAN, T. M. Factors that affect the quality of cheese. In: **Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology. Volume 2**. 3^a ed. London: Elsevier Ltda, p. 583–608, 2004.

FRANCOLINO, S. et al. Use of milk protein concentrate to standardize milk composition in Italian citric mozzarella cheese making. **Lebensm-Wiss Technol.**, v.

43, p. 310-314, 2010.

FURTADO, M. M. **A arte e a ciência do queijo**. 2. ed. São Paulo: Globo, 1990.

FURTADO, M. M. **Principais problemas dos queijos: causas e prevenção**. 2ª ed. São Paulo: Fonte Comunicações e Editora, 2005.

FURTADO, M. M. **Quesos Típicos de Latinoamérica - Tecnología y Puntos Críticos**. 2. ed. [s.l.] Editorial Académica Española, 2017.

FURTADO, M. M.; LOURENÇO NETO, J. P. M. **Tecnologia de Queijos - Manual Técnico para Produção Industrial de Queijos**. 1ª ed. São Paulo: Dipemar, 1994.

GAIANI, C. et al. Dairy Powder Rehydration: Influence of Protein State , Incorporation Mode , and Agglomeration. **Journal of Dairy Science**, v. 90, n. 2, p. 570–581, 2007.

GERMAN, R. M. **Powder Metallurgy Science**. 2ª ed. Princeton: MPIF, 1994.

GOFF, H. D.; HILL, A. R. Chemistry and physics. In: HUI, Y. H. (Ed.). **Dairy Science and Technology Handbook. Principles and properties. Vol 1**. Ed.VCH Publishers New York: p. 1-82, 1993.

GUARDANI, R.; NASCIMENTO, C. A. O.; ONIMARU, R. S. Use of Neural Networks in the Analysis of Particle Size Distribution by Laser Diffraction: Test with Different Particle Systems. **Powder Technol.**, v. 126, p. 42–50, 2002.

GUDKOV, A. **Cheese manufacturing: Technological, Biological and Physical-chemical aspects**. Moscow: Deli print, p.804, 2004.

GUINEE, T. P. Role of protein in cheese and cheese products. In: FOX, P. F.; MCSWEENEY, P. L. H. (Eds.). **Advanced Dairy Chemistry. Volume 1: Proteins**. 3rd. ed. London: Blackie, p. 1083-1159, 2003.

GUINEE, T.P.; O’KENNEDY, B.T.; KELLY, P.M. Effect of milk protein standardization using different methods on the composition and yields of Cheddar cheese. **J. Dairy Sci.**, v. 89, n. 2, p. 468–82, 2006.

GUINEE, T. P.; MCSWEENEY, P. L. H. Significance of milk fat in cheese. In: **Advanced Dairy Chemistry. Volume 2: Lipids**. 3ª ed. [s.l.] Ed. Springer, p. 377-428, 2006.

HAQUE, E. et al. Protein conformational modifications and kinetics of water-protein interactions in milk protein concentrate powder upon aging: Effect on solubility.

Journal of Agricultural and Food Chemistry, v. 58, n. 13, p. 7748–7755, 2010.

HARVEY, J. Protein fortification of cheese milk using milk protein concentrate: yield improvement and product quality. **Aust. J. Dairy Technol.**, v. 61, n. 2, p. 183-185, 2006.

HAUSNER, H. H. Powder Characteristics and their Effect on Powder Processing. **Powder Technol.**, v. 30, p. 3–8, 1981.

HAVEA, P. Protein interactions in milk protein concentrate powders. **International Dairy Journal**, v. 16, n. 5, p. 415–422, 2006.

HILDEBRAND, H. Refractive Index Considerations in Light Scattering Particle Size Measurements in Advances in Process Control Measurements for the Ceramic Industry. In: JILLAVENKATESA, A.; ONODA, G. (Eds.). **Particle Size Characterization, NIST Recommended Practice Guide - Special Publication 960-1, Washington, 2001**. Westerville, OH: American Ceramic Society, p.379,1999.

HOLDSWORTH, J. E.; HAYLOCKS, S. J. Dairy products. In: BECKETT, S. T. (Ed.). . **Physico-chemical Aspects of Food Processing**. Boston, MA.: Springer, p. 234–257, 1995.

HORNE, D. S. Casein micelle structure: models and muddles. **Current Opinion in Colloid and Interface Science**, v. 11, p. 53–148, 2006.

HORNE, D. S. Casein micelle structure and stability. In: THOMPSON, A.; M.J., B.; SINGH, H. (Eds.). **Milk Proteins: From Expression to Food**. New York: Academic, p. 62–133, 2008.

HUSSAIN, R. et al. Characterization of high-milk-protein powders upon rehydration under various salt concentrations. **Journal of Dairy Science**, v. 94, n. 1, p. 14–23, 2011a.

HUSSAIN, R. et al. Multiscale Characterization of Casein Micelles Under NaCl Range Conditions. **Food Biophysics**, v. 6, n. 4, p. 503–511, 2011b.

HUSSAIN, R.; GAIANI, C.; SCHER, J. From high milk protein powders to the rehydrated dispersions in variable ionic environments: A review. **Journal of Food Engineering**, v. 113, n. 3, p. 486–503, 2012.

IACOCCA, R. G.; GERMAN, R. M. A. A Comparison of Powder Particle Size Measuring Instruments. **Int. J. Powder Metall**, v. 33, n. 8, p. 35–48, 1997.

INTERNATIONAL STANDARDS ORGANIZATION, I. 9276-1. **Representation of**

results of particle size analyses - part I: Graphical Representation, 1998.

JEURNINK, T. J. M.; DE KRUIF, C. G. Changes in milk on heating: viscosity measurements. **J. Dairy Res.**, v. 60, p. 139–150, 1993.

JILLAVENKATESA, A. et al. **Particle size characterization, NIST Recommended Practice guide - Special Publication 960-1**. Washington: [s.n.]. 164 p. 2001.

JIMENEZ-FLORES, R.; KOSIKOWSKI, F. V. Properties of Ultrafiltered Skim Milk Retentate Powders. **Journal of Dairy Science**, v. 69, n. 2, p. 329–339, 1986.

KHER, A. et al. FTIR investigation of spray-dried milk protein concentrate powders. **Vibrational Spectroscopy**, v. 44, n. 2, p. 375–381, 2007.

KINDSTEDT, P. S.; KIELY, L. J.; GILMORE, J. A. Variation in composition and functional properties within brine-salted Mozzarella cheese. **J. Dairy Sci.**, v. 75, n. 11, p. 2913–2921, 1992.

KUO, C. J.; HARPER, W. J. Effect of hydration time of milk protein concentrate on cast Feta cheese texture. **Milchwissenschaft**, v. 58, p. 283-286, 2003.

LAWRENCE, R. C. Processing conditions. In: EMMONS, D. B. (Ed.). **Factors affecting the yield of cheese**. [s.l.] Inter. Dairy Feder. Brussels, p. 64-78, 1993.

LONDOÑO, M. M. D. **Determinação das características de fabricação, padrões físico-químicos, sensoriais e de comercialização do queijo Minas Meia-Cura e comparação com os queijos Minas Padrão e Prato**. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos). Universidade Federal de Lavras, Lavras - MG, 53 p., 1998.

LUCEY, J.; KELLY, J. Cheese yield. **J. Soc. Dairy Techn.**, v. 47, p. 1–14, 1994.

MARTIN, G. J. O.; WILLIAMS, R. P. W.; DUNSTAN, D. E. Effect of manufacture and reconstitution of milk protein concentrate powder on the size and rennet gelation behaviour of casein micelles. **International Dairy Journal**, v. 20, n. 2, p. 128–131, 2010.

MAYOROV, A.; MIRONENKO, I.; BAYBIKOVA, A. **Selected aspects related to increased cheese yields**, p.19-23, 2011.

MCKENNA, A. B. **Effect of processing and storage on the reconstitution properties of whole milk and ultrafiltered skim milk powders**. PhD. Dissertation, Massey University, Palmerston North, New Zealand, 2000.

MCKENNA, D. J.; OBERG, C. J. Influence of fat, moisture and salt on functional

properties of Mozzarella cheese. **Australian Journal of Dairy Technology**, v. 53, n. 4, p. 98–101, 1998.

MELO, A. C. M.; ALVES, L. M. C.; COSTA, F. N. Avaliação da qualidade microbiológica do queijo tipo Minas Padrão comercializado na cidade de São Luís, MA. **Arq. Inst. Biol.**, v. 76, n. 4, p. 547–551, 2009.

MENESES, J. N. C. Queijo Artesanal de Minas: Patrimônio Cultural do Brasil. **Dossiê interpretativo**, v. 1, p. 156, 2006.

MIMOUNI, A. et al. Food Hydrocolloids Rehydration process of milk protein concentrate powder monitored by static light scattering. **Food hydrocolloids**, v. 23, n. 7, p. 1958–1965, 2009.

MISTRY, W.; PULGAR, J. B. Physical and storage properties of high milk protein powder. **Int. Dairy Journal**, v. 6, n. 2, p. 195-203, 1996.

MISTRY, W. Manufacture and application of high protein milk powder. **Lait**, v. 82, n. 4, p. 515-522, 2002.

MULVIHILL, D. M.; ENNIS, M. P. Functional Milk Proteins: Production and Utilization. **Advanced Dairy Chemistry: Vol. 1. Proteins**, v. 1, p. 1175–1228, 2003.

NOGUEIRA, M. C. L.; LUBACHEVSKY, G.; RANKIN, S. A. A study of the volatile composition of Minas cheese. **LWT**, v. 38, p. 555–563, 2005.

PATEL, M. R.; BAER, R. J.; ACHARYA, M. R. Increasing the Protein Content of Ice Cream 1. **Journal Dairy Science**, v. 89, p. 1400–1406, 2006.

PAULA, J. C. J. Efeito do uso de dióxido de carbono (CO₂) na microestrutura dos queijos Minas Frescal e Minas Padrão. **Rev. Inst. Latic. Cândido Tostes**, v. 66, n.383, p. 13-19, 2011.

POHL, M. C. Light Scattering. **ASM Handbook**, v. 7, p. 250–255, 1998.

PUCKHABER, M.; RÖTHELE, S. Laser Diffraction - Millenium-Link for Particle Size Analysis. **Powder Handling & Processing**, v. 11, n. 1, 1999.

RAWLE, A. **Basic Principles of Particle Size Analysis**. Disponível em: <<http://www.malvern.co.uk>>. Acesso em: 20 abr, 2018.

REBECCA LEA, W. The language of particle size. **Journal of GXP Compliance**, v. 15 (2), p. 10 -11, 2011.

REHMAN, S. V. et al. Effects of standardization of whole milk with dry milk protein concentrate on the yield and ripening of reduced-fat cheddar cheese. **Journal of Dairy Science**, v. 86, n. 5, p. 1608 - 1615, 2003.

RIBEIRO, J. A. R. **Fabricação de queijos**. Guarani, MG: Rio de Janeiro, 1951.

SCHUCK, P. et al. Water transfer during rehydration of micellar casein powders. **Lait**, v. 87, n. 4–5, p. 425–432, 2007.

SINDILAT. **Fenasul/Expoleite, mercado de queijos tem potencial para quase dobrar a produção no Brasil**. Disponível em: <<http://paginarural.com.br/noticia/243469/fenasulexpoleite-mercado-de-queijos-tem-potencial-para-quase-dobrar-a-producao-no-brasil>>. Acesso em: 15 dez. 2017.

SINGH, H. Interactions of milk proteins during the manufacture of milk powders. **Lait**, v. 87, n. 4–5, p. 413–423, 2007.

SINGH, H. Protein interactions and functionality of milk protein products. In: CORREDIG, M. (Ed.). **Dairy-derived ingredients: food and nutraceutical uses**. Cambridge: Woodhead, p. 644–674, 2009.

SKEIE, S. Characteristics in milk influencing cheese yield and cheese quality. **Journal of Animal and Feed Science**, v. 16, n. 1, p. 130–142, 2007.

SMITH, K. **Dried Dairy Ingredients**. Wisconsin Center for Dairy Research Center, p. 60, 2008.

STEPHANI, R. et al. Evaluation of the synergistic effects of milk proteins in a rapid viscosity analyzer. **Journal of Dairy Science**, v. 98, n. 12, p. 8333–8347, 2015.

SOUZA, A. B. et al. Parâmetros De Textura Em Queijos Processados: Influência Da Utilização De Concentrados Proteicos De Leite E De Soro. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 69, n. 3, p. 181, 2014.

SWAISGOOD, H. E. Chemistry of the caseins. In: FOX, P. F.; MCSWEENEY, P. L. H. (Eds.). **Advanced Dairy Chemistry: Vol. 1. Proteins**. [s.l.] Springer, p. 139–202, 2003.

SZIGETI, J.; KRASZ, A.; VARGA, L. A novel technology for production of lactose-free fermented milks. **Milchwissenschaft**, v. 61, n. 2, p. 177–180, 2006.

VAN DEN BERG, M. G. Definition and expression of cheese yield. In: **Cheese Yield and factors affecting its control**. [s.l.] Brussels: IDF Seminar, p. 35-47, 1993.

VAN DEN BERG, M. G.; VAN DEN BERG, G.; VAN BOEKEL, M. Mass transfer processes involved in Gouda cheese manufacture in relation to casein and yield. **Neth. Milk Dairy J.**, v. 50, p. 501–540, 1996.

VASCONCELLOS, H. **Como Escolher um Analisador de Tamanho de Partículas**. Disponível em: <<http://www.instrutec.com.br/represent/bic/partiweb.htm>>. Acesso em: 02 jan. 2018.

WALSH, C. D. et al. Cheesemaking, compositional and functional characteristics of low-moisture part-skim Mozzarella cheese from bovine milks containing k-casein AA, AB or BB genetic variants. **J Dairy Res**, v. 65, p. 307–315, 1998.

WALSTRA, P.; WOUTERS, J.T.M; GEURTS, T.J. **Dairy Science and Technology**. 2° ed. New York: Taylor & Francis Group, 2006.

4 – MONITORAMENTO DO TAMANHO DAS PARTÍCULAS DO LEITE FLUIDO ADICIONADO DE MPC EM PÓ VISANDO PRODUÇÃO DE QUEIJO

RESUMO

A capacidade de reidratação do MPC é uma propriedade considerada crítica, tanto pelos fabricantes quanto pelos usuários deste produto, já que a sua completa solubilização é necessária para expressar as suas propriedades funcionais. Neste trabalho, o analisador de tamanho de partículas por difração a laser foi utilizado como uma técnica rápida para monitorar a completa reidratação do MPC em pó no leite, destinado à fabricação de queijo. Com base na distribuição dos tamanhos das partículas dos leites suplementados de MPC, foi possível entender em que momento as partículas, originalmente presentes no pó, obtiveram a dispersão completa no meio. A cinética de reidratação do MPC foi identificada em diferentes etapas dos processamentos aplicados, em decorrência do tamanho das partículas de pó adicionado ao leite, cuja concentração aconteceu na região acima de 10 μm (região micrométrica) antes da sua solubilização. Após reidratação completa, o volume destas partículas passou para a região de menor tamanho, ou seja, concentraram-se abaixo de 0,200 μm (região nanométrica), típica das micelas de caseínas. O presente estudo mostra a utilidade da técnica de difração a laser e o sistema de multi-frequência patenteado PIDS para determinar em que momento da etapa de fabricação de queijo o MPC em pó deve ser adicionado ao leite, a ponto de garantir a sua total solubilização no meio e assim garantir suas propriedades funcionais no queijo.

Palavras-chave: Concentrado proteico de leite, Solubilização de pós, Partículas, Reidratação, Difração a laser.

4.1 INTRODUÇÃO

Diferentes métodos têm sido utilizados para estudar as propriedades da reidratação dos pós lácteos (FITZPATRICK et al., 2004; HUSSAIN et al., 2011a; MURRIETA-PAZOS et al., 2011). É sabido que, quanto maior o teor de proteína do MPC, menor a sua capacidade para se reidratar. Desta forma, MPCs com alto teor de proteína (MPC90, MPC85, MPC80) têm mais dificuldade para se reidratam do que os de médio (MPC70, MPC60) e baixo (MPC50, MPC35) teores de proteína (CROWLEY et al., 2014). Segundo Mimouni et al. (2009), durante o processo de reidratação do MPC em água, as partículas aglomeradas se rompem em partículas primárias de pó, que logo são liberadas para a fase aquosa e, por último o aumento da temperatura favorece, satisfatoriamente, o processo de reidratação. Quando a reidratação do pó é feita à temperatura ambiente, mesmo durante um tempo razoável, grande parte das partículas do pó permanecem indissolúveis (HAVEA, 2006; JIMENEZ-FLORES; KOSIKOWSKI, 1986). Para monitorar o processo de reidratação do pó de MPC, Mimouni et al. (2009) utilizou o espectrômetro de difração a laser - SLS. O SLS é usado para medir o tamanho dos componentes individuais do leite que se encontram em suspensão, tais como glóbulos de gordura, cristais de lactose, micelas de caseínas (HUPPERTZ; DE KRUIF, 2007; MICHALSKI; RIARD; ICHEL, 2001; MIMOUNI; SCHUCK; BOUHALLAB, 2005). Essa técnica também tem sido usada para medir o tamanho das partículas de LPI e LPD (AHMAD et al., 2008; GAUCHER et al., 2007; SAVEYN et al., 2006), bem como para medir o tamanho das partículas de vários pós lácteos reidratados (GAIANI et al., 2005; MOUGHAL; MUNRO; SINGH, 2001).

Neste trabalho, o processo de reidratação do pó de MPC70 em leite foi acompanhado pelo analisador de partículas por difração a laser Beckman Coulter LS 13 320, uma vez que não foram encontrados estudos sobre a reidratação de pós de MPC em leite.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Localização

Neste trabalho foi utilizado leite cru fluido, integral, procedente da fazenda experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais e recebido na fábrica/escola do Instituto de Laticínios Cândido Tostes (EPAMIG ILCT), em Juiz de Fora - MG.

As análises físico-químicas foram realizadas no Laboratório de Pesquisa e Instrumental da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, Instituto de Laticínios Cândido Tostes (EPAMIG ILCT).

As análises de distribuição de partículas por difração a laser foram feitas no Laboratório de Microestrutura e Microanálise (Micro) do Núcleo de Espectroscopia e Estrutura Molecular (NEEM) do Departamento de Química da UFJF.

4.2.2 Delineamento experimental

Para avaliar a cinética de reidratação do MPC em pó no leite fluido, o experimento foi conduzido em blocos casualizados. O estudo foi dividido em quatro blocos experimentais onde cada uma das duas concentrações de MPC (T1 – leite com incremento de 10% de caseínas do MPC e T2 – leite com incremento de 20% de caseínas do MPC) foram submetidas a dois processamentos (P1 e P2), totalizando 4 unidades experimentais.

As medições foram efetuadas a cada etapa dentro de cada processamento para ambas as concentrações.

4.2.3 Preparo e padronização das amostras de leite

Neste estudo foi utilizado leite cru fluido e integral. Foi utilizado também, creme de leite decorrente do desnate de parte do mesmo leite in natura, a ser utilizado para padronizar o teor de gordura dos leites a serem suplementados com MPC. O MPC utilizado foi o MPC70, produzido pela *Fonterra Co-operative Group*

Limited (Fonterra), proveniente da Nova Zelândia, sob a denominação comercial MPC470.

O preparo das amostras de leite consistiu na determinação dos teores percentuais (m/m) de gordura do leite original e do creme de leite, por meio do método butirométrico de Gerber para leite fluido (BRASIL, 2006) e executadas em duplicatas. O percentual de caseínas deste leite, foi analisado pelo método do formol, conforme técnicas descritas por Pereira et al. (2001).

Uma vez que os teores de caseínas e gordura do leite exercem um papel fundamental no rendimento de queijos, foi realizada a determinação da relação C/G do leite. Conhecidos os teores de gordura e caseínas originais do leite, a relação C/G foi obtida pela divisão do teor percentual de caseínas encontrado, pela gordura do leite original. O creme de leite foi utilizado para padronizar a gordura dos leites a serem suplementados. Portanto, a padronização do teor percentual de gordura foi realizada, levando-se em consideração a relação C/G do leite fluido original, para receber o incremento de 10% e 20% de caseínas por meio do uso do MPC. Desta maneira, foram definidos três tratamentos ao leite, a saber: T1 – amostra de leite padronizado com teor de gordura ajustado para receber suplemento de 10% de caseínas do MPC, T2 – amostra de leite padronizado com teor de gordura ajustado para receber suplemento de 20% de caseínas do MPC e tratamento controle – sem adição de MPC, denominado de TC. As quantidades de creme, adicionadas às amostras de leite dos tratamentos T1 e T2, foram calculadas por meio de balanço de massa e, após este procedimento, foram realizadas novas análises dos teores percentuais de gordura dos leites padronizados, a fim de constatar a veracidade dos resultados. Todas as análises físico-químicas foram feitas em triplicata.

4.2.4 Composição química do MPC e procedimento de suplementação do leite

As análises físico-químicas do MPC70 foram realizadas pela *Fonterra Cooperative Group Limited*, e os resultados contidos no laudo de análise do lote de MPC utilizado neste estudo, foram utilizados para os cálculos de suplementação dos tratamentos T1 e T2. Sendo assim e segundo informações constantes do laudo técnico do fornecedor, o método de Kjeldahl foi utilizado para analisar a proteína, cujo teor presente no pó utilizado foi de 70,5% (m/m) e a proporção de caseínas e

soroproteínas de aproximadamente 80% e 20%, respectivamente, ou seja, a mesma proporção contida no leite utilizado para a produção MPC em pó. A porcentagem de gordura do pó foi de 1,3% (m/m), analisada pelo método Roese Gottlieb, cinzas 7,1% (m/m), cujo método utilizado foi o TGA 600 e 16,4% (m/m) de lactose, determinada pela diferença. O MPC em pó permaneceu em sua embalagem original, em local seco e mantido em temperatura ambiente, até a data de sua utilização. A pesagem do MPC em pó, para este estudo, foi feita no mesmo dia de sua utilização, em saco plástico, hermético e apropriado para manter o produto estável e em condições de não absorver umidade externa.

A adição de MPC70 ao leite dos tratamentos T1 e T2 foi calculada considerando-se a porcentagem de caseínas, contida na base seca do MPC, sobre as caseínas do leite. Portanto, de 70,5% de proteína contidos no pó, 80% deste total foram considerados como caseína, para as dosagens de 10% e 20% ao leite, respectivamente. As reidratações foram feitas simultaneamente às análises de partículas no analisador LS de difração a laser e estão descritas no item 4.2.3. Em todos os procedimentos de reidratação, o pó foi dissolvido em leite, previamente padronizado quanto ao teor de gordura, mantido sob agitação constante de 260 rpm, em agitador elétrico (RW20, IKA, Staufen, Germany) e utilizando-se de uma hélice de 4 pás de 50 mm de diâmetro (R1342, IKA, Staufen, Germany), método adaptado de Mimouni et al. (2009). Para os aquecimentos, foi utilizado Banho Maria (B-M) da marca Quimis, modelo O334M-28.

4.2.5 Determinação do tamanho das partículas por difração a laser

O monitoramento da total solubilização do MPC em pó adicionado ao leite foi feito por meio das distribuições dos tamanhos das partículas dos leites, submetidos aos diferentes tratamentos, e obtido por meio do analisador de tamanho de partículas por difração a laser Beckman Coulter, modelo LS 13 320 (*Beckman Coulter, Miami, FL, EUA*) acoplado ao módulo de análise líquida (*Aqueous liquid module, Beckman Coulter, Miami, FL, EUA*).

As amostras foram adicionadas ao reservatório do módulo de análise líquida, o qual contém água à temperatura ambiente, em quantidades suficientes e com o objetivo de obter um nível de 50% + ou - 5% nos fotodetectores PIDS (*Polarization*

Intensity Differential Scattering System). Visando evitar a formação de espuma, a adição das amostras foi realizada de forma lenta. A coleta dos dados foi efetuada na região de 0,04 μm a 2000 μm e o tempo de coleta estabelecido foi de 100 segundos. Os resultados foram obtidos utilizando a aproximação de Fraunhofer para a observação do processo de dispersão do MPC (aplicado apenas para a região 0,375 μm a 2000 μm), durante as avaliações das diferentes etapas de processamento. Já para avaliação do leite com completa reidratação do MPC, os dados foram coletados na região de 0,04 a 2000 μm com um tempo estabelecido de coleta de 100 segundos. Para obtenção dos dados foram utilizados também o índice de refração de 1,332 para o meio dispersante (água) e para as micelas de caseínas 1,57, de acordo com Mimouni et al. (2009) e 1,47 para os glóbulos de gordura, de acordo com Michalski et al. (2001) visando a observação da solubilidade total. Os dados foram representados pelo percentual de volume (%) ocupado pelas partículas em função do seu tamanho.

4.2.6 Processamentos e etapas de reidratação

As amostras dos tratamentos com incremento de caseínas do MPC (T1 e T2) foram submetidas a dois diferentes processamentos (P1 e P2), assim definidos com o objetivo de simular as condições reais disponíveis para a fabricação dos queijos Minas Padrão. Desta forma, o processamento P1 consistiu na adição do MPC ao leite fluido (T1 e T2), em temperatura de $8\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ e manutenção nesta temperatura pelo período de 12 horas. Após este tempo, as amostras foram submetidas à pasteurização lenta, com aquecimento a $63\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 30 minutos em banho-maria sob constante agitação, seguido de resfriamento a $35\text{ }^{\circ}\text{C}$, temperatura esta correspondente à temperatura de coagulação do leite para fabricação do queijo Minas Padrão. O processamento P2 correspondeu a adição do MPC ao leite fluido (T1 e T2), em temperatura de $8\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, com aquecimento imediato à temperatura de $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, mantidos nesta condição pelo tempo de 30 minutos, seguido de um segundo aquecimento à $63\text{ }^{\circ}\text{C}$, onde permaneceu por 30 minutos, com subsequente resfriamento para a temperatura de $35\text{ }^{\circ}\text{C}$. Todos os tratamentos dados ocorreram sob agitação constante, segundo descrito no item 4.2.3. Os esquemas que detalham os dois processamentos (P1 e P2) podem ser visualizados na Figura 6. Também

encontra-se indicado nesta figura os momentos das coletas das medições das análises de partículas, melhor descritos no item 4.2.5.

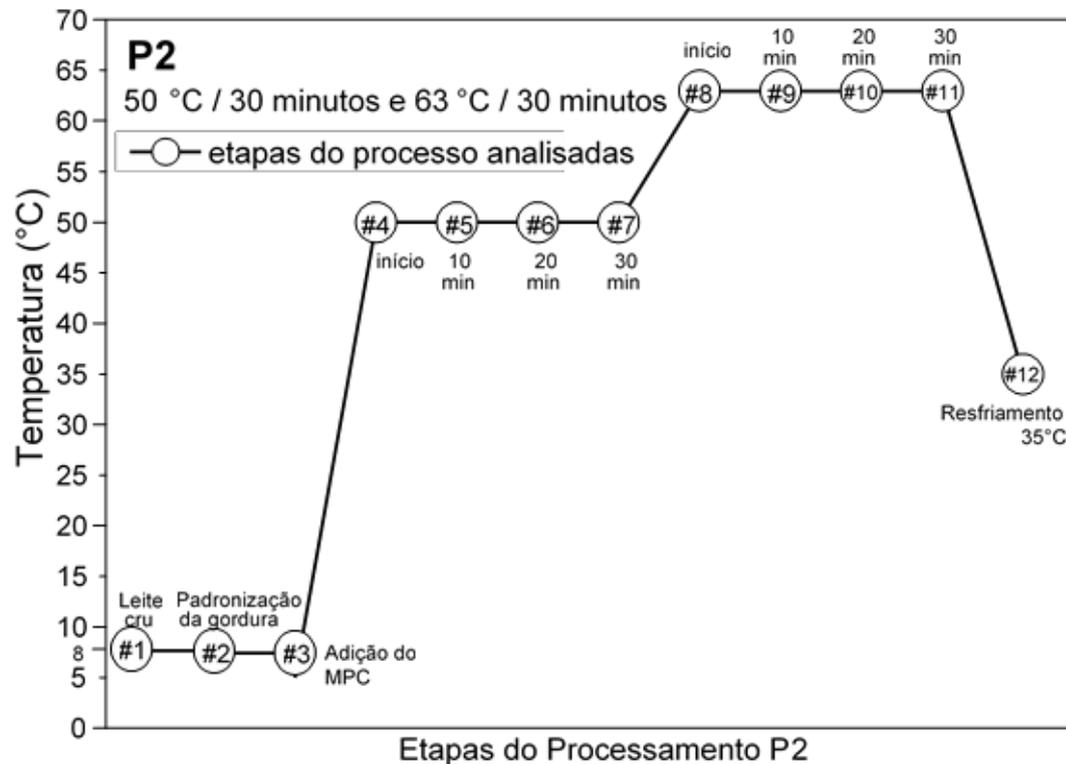
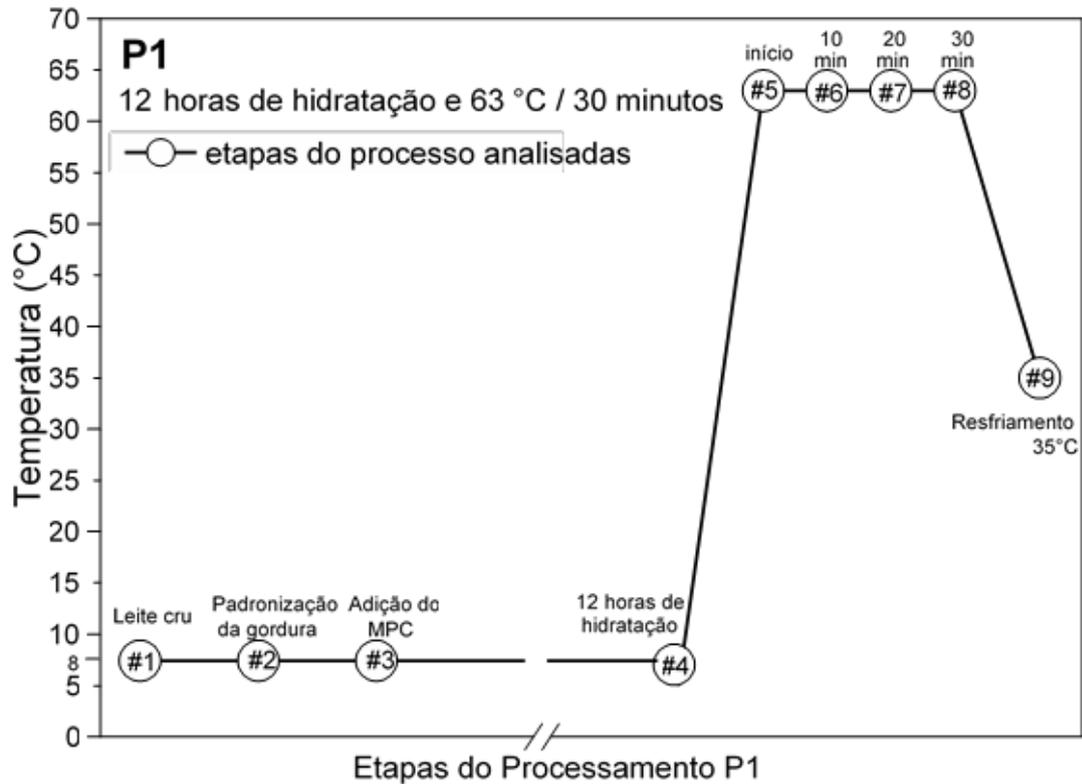


Figura 6. Detalhamento dos processamentos P1 e P2, apresentando as etapas nas quais foram realizadas as análises de distribuição das partículas do leite.

4.2.7 Medições dos tamanhos das partículas por difração a laser

As medições foram feitas nos seguintes pontos marcados por (#), conforme demonstrado na Tabela 3, para os dois processamentos P1 e P2. A primeira medição correspondente ao P1 foi feita no leite cru original (#1) e, na sequência, dos leites adicionados de creme para padronização dos respectivos teores de gordura (#2) e após adição do MPC70 (#3), tanto para a dosagem de 10% quanto para 20%. Neste instante, as amostras foram deixadas sob refrigeração, à temperatura de 8 °C

± 2 °C, pelo tempo de 12 horas. Decorrido este período, foram efetuadas novas medições do leite cru original e das amostras dos tratamentos T1 e T2, já com os incrementos de 10% e 20% de caseínas do MPC (#4). Após as 12 horas de permanência em geladeira, iniciou-se o aquecimento das amostras até a temperatura de 63 °C. Ao atingir 63 °C, foi realizada nova medição das amostras no tempo “zero” (#5), seguida de novas medições com 10 minutos (#6), 20 minutos (#7) e 30 minutos (#8) de aquecimento nesta temperatura. Decorridos os 30 minutos equivalentes ao tratamento térmico da pasteurização lenta (63 °C), as amostras foram resfriadas para 35 °C (#9), o que equivale à temperatura de coagulação a ser utilizada para a fabricação de queijo, onde então, foi realizada a medição final do P1.

Com relação ao P2, a medição iniciou-se também com o leite cru original (#1), seguindo-se com as amostras dos tratamentos T1 e T2 padronizadas com creme de leite para ajuste dos seus teores de gordura (#2) e em seguida, no exato momento em que houve a adição do MPC70 (#3). Após, deu-se início ao aquecimento até a temperatura de 50 °C, onde as medições ocorreram no tempo “zero” (#4), dado pelo momento exato em que o leite atingiu esta temperatura, com 10 minutos (#5), 20 minutos (#6) e 30 minutos (#7), sucessivamente. Decorridos os 30 minutos a 50 °C, as amostras foram submetidas a novo aumento de temperatura até o patamar de 63 °C e, no instante em que esta foi atingida, nova medição foi realizada (#8), seguida das medições subsequentes com 10 minutos (#9), 20 minutos (#10) e 30 minutos (#11) nesta temperatura. Passado este tempo, as amostras foram resfriadas a 35 °C (#12), onde ocorreu a última medição do P2.

Tabela 3. Detalhamento dos processamentos P1 e P2, apresentando as etapas nas quais foram realizadas as análises de distribuição das partículas do leite.

P1		P2	
#	Etapa do tratamento	#	Etapa do tratamento
1	Leite in-natura	1	Leite in-natura
2	#1 + creme de leite	2	#1 + creme de leite
3	#2 + MPC	3	#2 + MPC
4	#3 + 12h de refrigeração em 8°C	4	#3 + aquecimento 50°C (início)
5	#4 + aquecimento 63°C (início)	5	#4 + 10 minutos
6	#5 + 10 minutos	6	#4 + 20 minutos
7	#5 + 20 minutos	7	#4 + 30 minutos
8	#5 + 30 minutos	8	#7 + aquecimento 63°C (início)
9	#8 + resfriamento 35°C	9	#8 + 10 minutos
		10	#8 + 20 minutos
		11	#8 + 30 minutos
		12	#11 + resfriamento 35°C

4.2.8 Análises de dados

As análises estatísticas dos dados foram conduzidas pelo programa de software LS Series, versão 2.01, para Windows Microsoft, do analisador de partículas Beckman Coulter, modelo LS 13 320 (BECKMAN, 2019) que realizou a análise dos dados coletados durante 100 segundos de leitura a laser do fluxo de micropartículas de cada amostra. Os resultados encontram-se representados em planilhas de dados, gráficos e resumos estatísticos expressos em: volume (%) por tamanho (μm). O comportamento das partículas foi avaliado por meio do volume (%) de partículas em cada faixa de tamanho nanométrico e os dados relativos às curvas geradas pelo programa do equipamento.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1 Reidratação dos pós durante processamento P1

Para que o produto lácteo em pó tenha boa qualidade de reidratação, o mesmo deve obedecer aos seguintes fenômenos de reconstituição: molhabilidade; imersibilidade; dispersibilidade; e solubilidade. A molhabilidade é a capacidade do pó de absorver água na sua superfície. Pós com grande quantidade de gordura, como é o caso do leite em pó integral, por exemplo, apresentam uma molhabilidade reduzida. Imersibilidade é a capacidade do pó de imergir na água após ter sido umedecido e depende da diferença de densidade entre o pó e o líquido de reconstituição, sendo esta determinada não só pelo produto em si, mas também pelo volume de ar presente nos chamados vacúolos da partícula. A dispersibilidade é a capacidade do pó de se dispersar na água como partícula simples (capacidade de separação do aglomerado), medida como o tempo necessário para uma determinada quantidade de pó dispersar-se na água. Solubilidade é uma constante da substância, relacionada com a quantidade de material dissolvido numa solução saturada, sendo uma característica que está relacionada com a velocidade de dissolução e com a solubilidade total (GAVA, 1984). Estes fenômenos não ocorrem de forma isolada e em processos sucessivos, mas sim, simultaneamente.

Visando melhor avaliação do processo de dispersão, avaliou-se o efeito da adição do MPC em pó na distribuição das partículas do leite acima de $0,375 \mu\text{m}$. A região de maior interesse para o monitoramento da dispersão do pó esteve acima de $10 \mu\text{m}$, considerando que a distribuição das partículas do leite in natura apresentou d_{100} igual a $10,77 \mu\text{m}$.

Durante as fases de reidratação do MPC em pó (T1 e T2) do P1, diferentes distribuições dos tamanhos das partículas foram obtidas, o que reflete a apresentação de taxas diferentes de reidratação do pó, por difração a laser, em leite, conforme demonstrado na Figura 7 e análises de dados sintetizados na Tabela 4.

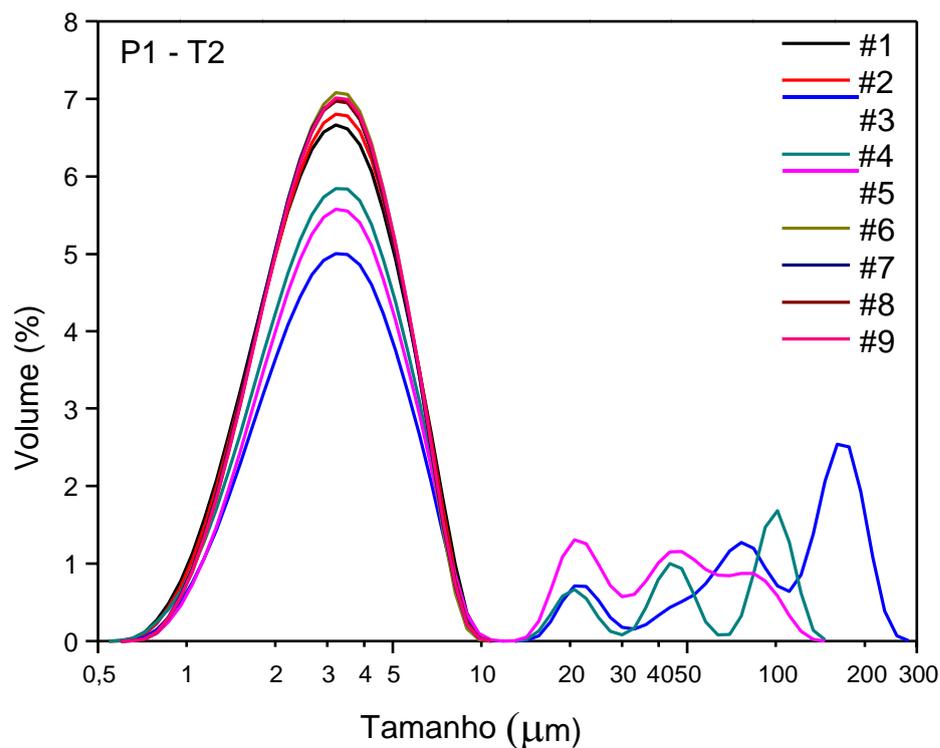
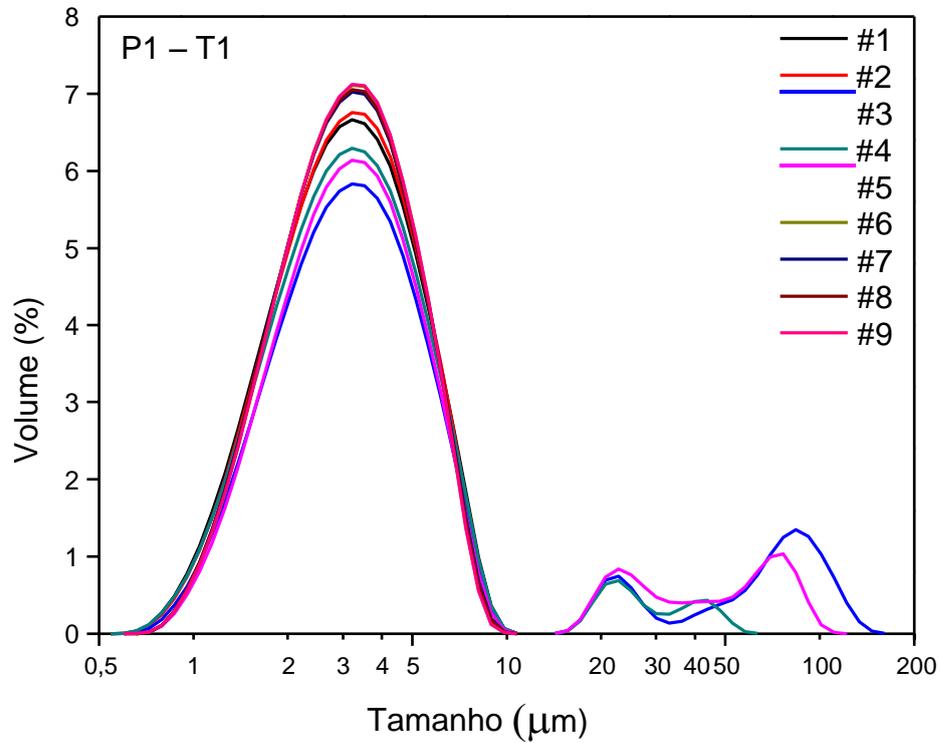


Figura 7. Distribuição dos tamanhos das partículas do processamento P1 (63 °C/30 minutos) com 10% e 20% de incremento da caseína, mantendo a mesma relação caseína/gordura: #1 – leite cru com relação caseína/gordura analisada; #2 – leite cru

com padronização da gordura; #3 – leite cru padronizado com adição de MPC; #4 – refrigeração 8 °C por 12 horas; #5 – aquecimento 63 °C (início); #6 – aquecimento 63° C (10 minutos); #7 – aquecimento 63 °C (20 minutos); #8 – aquecimento 63 °C (30 minutos); #9 – resfriamento 35 °C.

De acordo com o diâmetro hidrodinâmico das partículas, a Figura 7 apresenta a distribuição da porcentagem do volume ocupado pelas partículas, tanto do tratamento T1 quanto de T2. A distribuição de partículas do leite in natura (#1) e do leite padronizado (#2) mostra tipicamente uma população centrada em torno de 3 a 4 µm, correspondente aos glóbulos de gordura. Abaixo dessa região localizam-se as micelas de caseínas (centradas em torno de 150-200 nm), não representadas na Figura 7, em decorrência de não se tratar da região de interesse durante esta etapa do estudo. As partículas localizadas acima da região de 10,77 µm correspondem as partículas de MPC não solubilizadas no meio.

Todas as amostras de leite, quando adicionadas de MPC (#3) apresentaram uma população de partículas centradas na região de 3 a 4 µm e outra acima de 10,77 µm, o que corresponderia aos glóbulos de gordura, assim como no leite cru, mais alguns componentes não típicos do leite in natura e presentes de forma insolúvel no meio, respectivamente. Essa população atípica diminui a sua intensidade de participação no meio, à medida que ocorre a sua solubilização, em decorrência de cada etapa aplicada dentro dos processamentos, passando desta maneira a incorporar outra região de menor tamanho, podendo-se inferir que elas passam a ocupar a região das micelas de caseínas. Desta forma então, pode-se afirmar que, no que diz respeito ao P1, tanto para T1 quanto para T2, o período de 12 horas de refrigeração a 8 °C (#4), não foi suficiente para garantir a total solubilização do MPC em pó no leite. O mesmo pode ser observado no ponto “zero” do aquecimento à 63 °C. Contudo, durante os 10 minutos de permanência do meio à temperatura de 63 °C (#6), há o desaparecimento completo daquelas partículas que compunham a região acima de 10,77 µm. Assim, é possível afirmar que os primeiros 10 minutos da pasteurização lenta, aplicada ao leite suplementado de 10% e 20% de caseínas do MPC, que permaneceu por 12 horas a 8 °C, destinado à fabricação de queijos, garante a sua total solubilização no meio.

Em complemento, conforme mostrado na Tabela 4, a solubilização completa do MPC em pó mostrou efeito direto no tamanho das partículas.

Tabela 4. Análise de dados dos tamanhos das partículas do processamento P1 (63° C/30 minutos) com 10% e 20% de incremento de caseínas, mantendo a mesma relação caseína/gordura.

Identificação**	Etapa do processo	d ₉₀ (µm)*	
		Caseína 10%	Caseína 20%
#1	Leite in-natura	6,084	6,084
#2	#1 + creme de leite	6,054	6,032
#3	#2 + MPC	38,11	150,8
#4	#3 + 12h de refrigeração em 8 °C	6,971	40,44
#5	#4 + aquecimento 63 °C (início)	22,73	42,00
#6	#5 + 10 minutos	5,900	5,921
#7	#5 + 20 minutos	5,945	5,950
#8	#5 + 30 minutos	5,924	5,995
#9	#8 + resfriamento 35 °C	5,891	5,977

* (d₉₀ - representa o diâmetro no qual 90% das partículas possuem valores inferiores).

** #1 – leite cru com relação caseína/gordura analisada; #2 – leite cru com padronização da gordura; #3 – leite cru padronizado com adição de MPC; #4 – refrigeração 8 °C ± 2° C por 12 horas; #5 – aquecimento 63 °C (início); #6 – aquecimento 63 °C (10 minutos); #7 – aquecimento 63 °C (20 minutos); #8 – aquecimento 63 °C (30 minutos); #9 – resfriamento 35 °C.

Tal efeito pôde ser observado pelos valores obtidos de d₉₀ (diâmetro hidrodinâmico do MPC após hidratação em leite possuem 90% das partículas inferiores a este valor) para o incremento de 10% [5,900; 5,945; 5,924 e 5,891 micrômetros respectivamente para (#6), (#7), (#8) e (#9)]. Efeito similar foi observado também nos valores de d₉₀ para o incremento de 20% de caseínas do MPC no leite, reforçando a observação da diminuição do tamanho do diâmetro hidrodinâmico das partículas. Entretanto, é possível observar ainda que o tamanho das partículas aumentaram muito quando do incremento de 20% [150,8 micrômetros para (#3)] em comparação com 10% [38,11 micrômetros para (#3)]. Este comportamento demonstra que a concentração de proteína possui efeito expressivo no processo de hidratação, pois quanto mais proteína for adicionada ao leite, mais difícil será a sua dispersão no meio, pela formação de mais agregados. Por outro lado, quando o teor percentual de proteína no meio é mais alto, o aquecimento é primordial para que aconteça a solubilização, o que pode ser observado pelos valores de d₉₀ (diâmetro hidrodinâmico do MPC após hidratação em leite possuem 90% das partículas

inferiores a este valor) para o incremento de 20% de caseínas do MPC [42,00 e 5,921 micrômetros respectivamente para (#5) e (#6)] em comparação com 10% de incremento de MPC, o que indica que a temperatura tem efeito mais significativo no processo de reidratação do MPC quanto o teor de proteína é mais alto no meio.

4.3.2 Reidratação dos pós durante processamento P2

Da mesma forma que em P1, no processamento P2, a avaliação do processo de dispersão do MPC em pó baseou-se no efeito da sua adição na distribuição das partículas do leite acima de 0,375 μm e a região de interesse para monitorar o processo de dispersão do pó foi acima de 10 μm , considerando que a distribuição das partículas do leite in natura apresentou d_{100} igual a 10,77 μm .

No decorrer das etapas de reidratação do MPC em pó (T1 e T2) do P2, foram obtidas também diferentes distribuições dos tamanhos das partículas, por difração a laser, o que demonstra a apresentação de diferentes taxas de reidratação desses pós em leite, agora com comportamentos diferentes entre T1 e T2 como demonstrado na Figura 8 e dados estatísticos consubstanciados na Tabela 5.

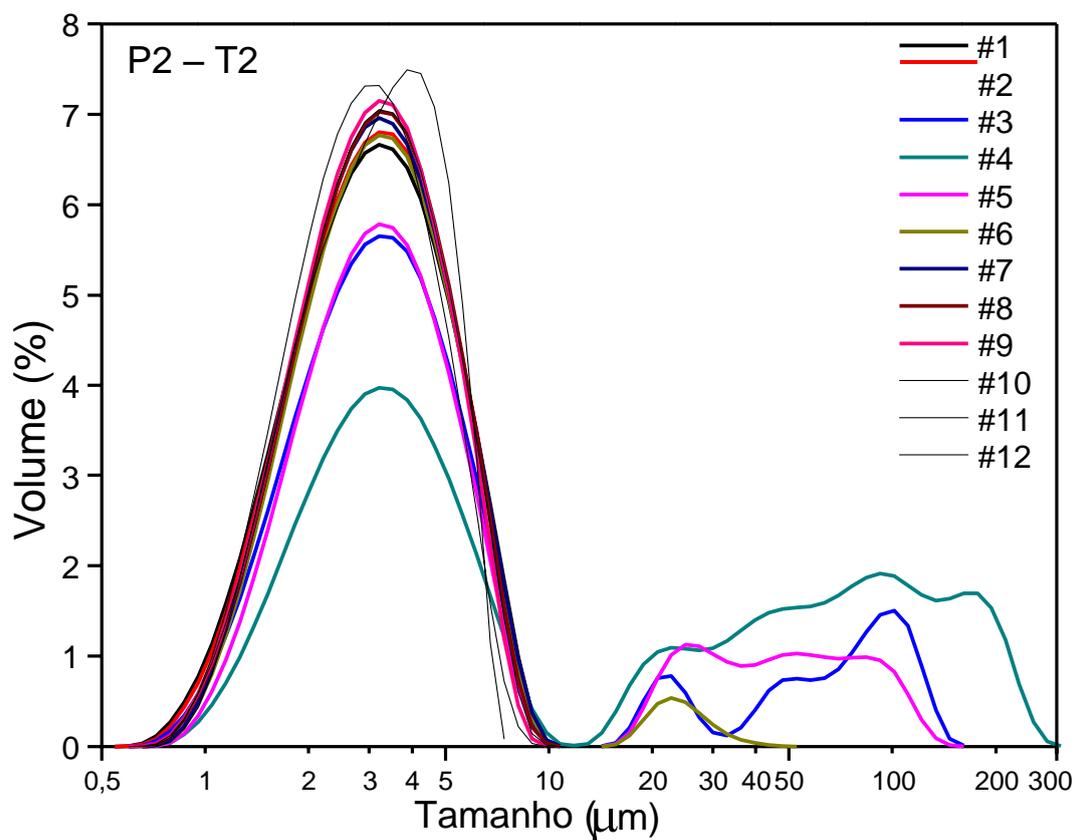
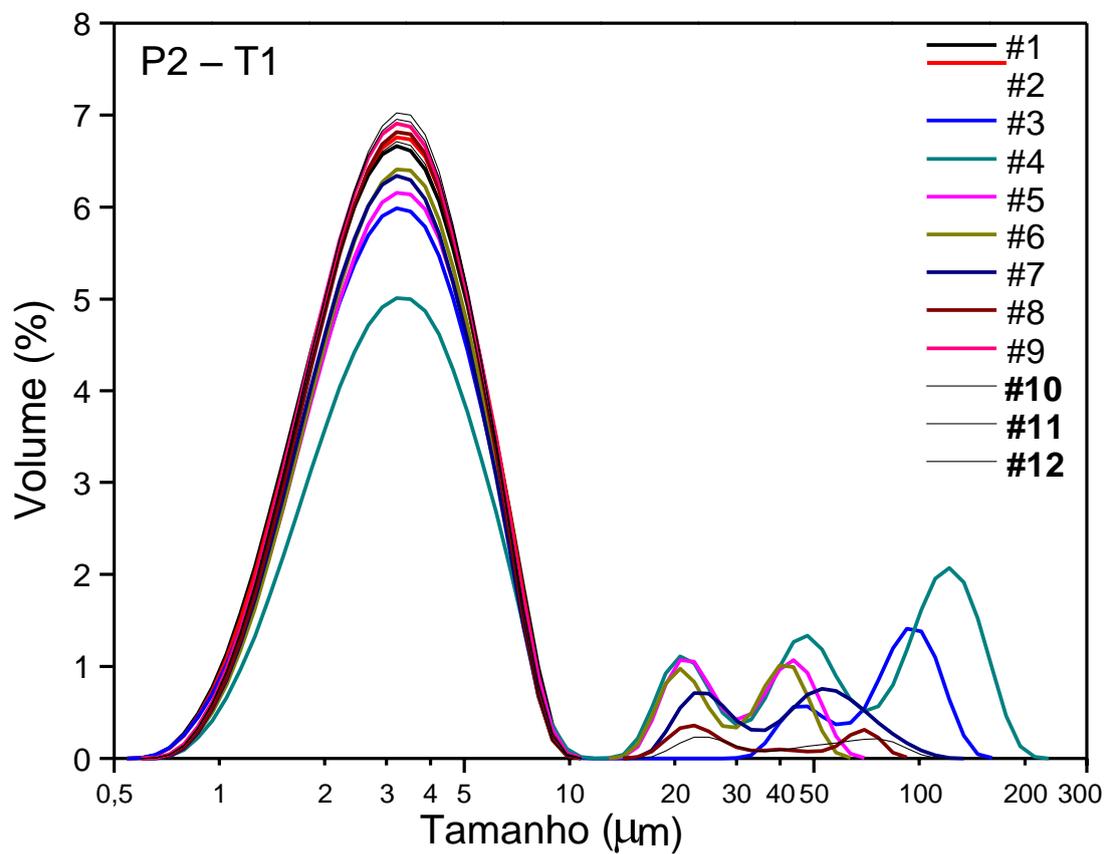


Figura 8. Distribuição dos tamanhos das partículas do processamento P2 (50 °C/30 minutos + 63 °C/30 minutos) com 10% e 20% de incremento da caseína, mantendo a mesma relação caseína/gordura: #1 – leite cru com relação caseína/gordura analisada; #2 – leite cru com padronização da gordura; #3 – leite cru padronizado com adição de MPC; #4 – aquecimento a 50 °C (início); #5 – aquecimento 50 °C (10 minutos); #6 – aquecimento 50 °C (20 minutos); #7 – aquecimento 50 °C (30 minutos); #8 – aquecimento 63 °C (tempo zero); #9 – aquecimento 63 °C (10 minutos); #10 – aquecimento 63 °C (20 minutos); #11 – aquecimento 63 °C (30 minutos); #12 – resfriamento 35 °C.

A distribuição dos tamanhos das partículas do leite in natura (#1) e do leite padronizado (#2), conforme Figura 8, também mostra a população típica dos glóbulos de gordura do leite, centrada em torno de 3 a 4 µm, tanto para T1 quanto para T2. Após adição do MPC (#3), nota-se ainda a presença de partículas na região acima de 10,77 µm, neste caso também, para ambas as concentrações de MPC no leite.

Em consonância com o diâmetro hidrodinâmico das partículas, a Figura 8, referente à P2 – T1 mostra a distribuição da porcentagem do volume ocupado pelas partículas da amostra T1. Desta forma, a presença de partículas na região acima de 10,77 µm pode ser observada no meio, mesmo quando inicia-se a primeira rampa de aquecimento a 50 °C, na etapa (#4), durante os tempos de 10 minutos (#5), 20 minutos (#6) e 30 minutos (#7), diminuindo sua intensidade à medida em que o tempo de aquecimento aumenta. Na segunda rampa de aquecimento a 63 °C de temperatura, o desaparecimento total das partículas acontece quando decorrido o tempo de 30 minutos nesta temperatura (#11). Sendo assim, é possível afirmar que quando o leite foi suplementado de 10% de caseínas pelo uso do MPC, este pôde ser considerado completamente reidratado no meio, para o processamento P2, ao término da pasteurização lenta a 63 °C, após tratamento prévio à temperatura de 50 °C/30 minutos. Com relação à P2 – T2, nota-se que a intensidade da população que ocupa a região acima de 10,77 µm diminui bastante quando decorridos 20 minutos de aquecimento a 50 °C (#6) e se apresenta nula ao término dos 30 minutos nesta temperatura (#7). Logo, quando a porcentagem de suplemento de caseína do MPC do leite foi aumentada de 10% para 20%, houve necessidade apenas de uma rampa de aquecimento para que acontecesse a total reidratação do MPC em pó no leite.

Adicionalmente, a Tabela 5 demonstra que a completa solubilização do MPC em pó no leite teve efeito direto no tamanho das partículas.

Tabela 5. Análise de dados dos tamanhos das partículas do processamento P2 (50 °C/30 minutos + 63 °C/30 minutos) com 10% e 20% de incremento de caseínas, mantendo a mesma relação caseína/gordura.

Identificação**	Etapa do processo	d ₉₀ (µm)*	
		Caseína 10%	Caseína 20%
#1	Leite in-natura	6,084	6,084
#2	#1 + creme de leite	6,054	6,032
#3	#2 + MPC	41,22	60,36
#4	#3 + aquecimento 50 °C (início)	105,3	136,8
#5	#4 + 10 minutos	17,77	46,81
#6	#4 + 20 minutos	8,017	6,487
#7	#4 + 30 minutos	8,296	6,069
#8	#7 + aquecimento 63 °C (início)	6,385	5,966
#9	#8 + 10 minutos	6,002	5,794
#10	#8 + 20 minutos	6,413	5,472
#11	#8 + 30 minutos	5,986	5,558
#12	#11 + resfriamento 35 °C	5,946	5,903

* (d₉₀ - representa o diâmetro no qual 90% das partículas possuem valores inferiores)

** #1 – leite cru com relação caseína/gordura analisada; #2 – leite cru com padronização da gordura; #3 – leite cru padronizado com adição de MPC; #4 – aquecimento a 50 °C (início); #5 – aquecimento 50 °C (10 minutos); #6 – aquecimento 50 °C (20 minutos); #7 – aquecimento 50 °C (30 minutos); #8 – aquecimento 63 °C (tempo zero); #9 – aquecimento 63 °C (10 minutos); #10 – aquecimento 63 °C (20 minutos); #11 – aquecimento 63 °C (30 minutos); #12 – resfriamento 35 °C.

De acordo com a Tabela 5, os valores obtidos de d₉₀ (diâmetro hidrodinâmico do MPC após hidratação em leite possuem 90% das partículas inferiores a este valor), tanto para 10% de suplemento [41,22; 105,3; 17,77; 8,017; 8,296; 6,385; 6,002; 6,413; 5,986 micrômetros, respectivamente para (#3), (#4), (#5), (#6), (#7), (#8), (#9), (#10) e (#11))] quanto para 20% [60,36; 136,8; 46,81; 6,487; 6,069 e 5,966 micrômetros, respectivamente para (#3), (#4), (#5), (#6), (#7)], apresentaram efeito similar quanto à diminuição do tamanho do diâmetro hidrodinâmico das partículas. Contudo, é possível observar também que, no P2, o aquecimento

favorece muito a reidratação quando o teor percentual de proteína no meio é maior. Este efeito pode ser demonstrado por meio dos valores obtidos de d_{90} (diâmetro hidrodinâmico do MPC após hidratação em leite possuem 90% das partículas inferiores a este valor) correspondentes ao incremento de 20% de caseínas do MPC, a partir do início da primeira etapa de aquecimento (#4). No início do aquecimento a 50 °C houve uma agregação das proteínas (136,8 μm) para, logo após, haver uma diminuição considerável do tamanho das partículas com completa solubilização ao término do primeiro aquecimento (6,069 μm), diferente do que aconteceu quando o leite foi suplementado com 10% de caseína do MPC, o qual necessitou de mais uma etapa de aquecimento para que houvesse a total reidratação. Logo, quanto maior o teor de proteína do meio, mais favorável o aquecimento para a total solubilização do MPC em pó no leite. Por outro lado também, quando o processamento P2 foi empregado, a solubilização completa do leite aconteceu no início da pasteurização lenta para o suplemento de 10%, pois a etapa preliminar de aquecimento a 50 °C foi determinante para melhorar a solubilização do pó no leite entregue para a pasteurização.

A Tabela 6 apresenta os dados das análises de tamanho das partículas do leite na região manométrica, típica das micelas de caseínas.

Tabela 6. Dados das análises de tamanho das partículas em volume (%) do leite in-natura e após submetido ao P1 e P2, com 10% e 20% de incremento das caseínas, mantendo a mesma relação caseína/gordura, nos diâmetros dos canais de resolução característicos para as micelas de caseínas.

Diâmetros dos canais de resolução (nm)	Tratamentos					
	Volume (%)		Diferença P ₁ (%)	Volume (%)		Diferença P ₂ (%)
	P ₁ 10%	P ₁ 20%		P ₂ 10%	P ₂ 20%	
40	0,015	0,018	18,3	0,014	0,017	19,5
44	0,019	0,024	18,5	0,018	0,022	20,3
48	0,031	0,038	18,8	0,027	0,035	21,3
53	0,061	0,076	19,3	0,054	0,069	22,1
58	0,127	0,158	19,3	0,113	0,144	21,9
64	0,237	0,292	18,9	0,211	0,268	21,2
70	0,358	0,437	18,0	0,323	0,405	20,3
77	0,464	0,560	17,3	0,421	0,525	19,8
84	0,553	0,664	16,7	0,505	0,626	19,3
93	0,638	0,761	16,1	0,586	0,723	19,0
102	0,713	0,843	15,3	0,659	0,809	18,5
112	0,767	0,897	14,5	0,714	0,870	18,0
123	0,801	0,928	13,6	0,752	0,910	17,4
134	0,820	0,939	12,7	0,777	0,932	16,7
148	0,823	0,930	11,4	0,786	0,936	16,0
162	0,807	0,896	10,0	0,779	0,920	15,3
178	0,772	0,841	8,2	0,755	0,883	14,5
195	0,723	0,772	6,4	0,719	0,831	13,5
214	0,660	0,689	4,2	0,668	0,763	12,5
235	0,585	0,595	1,7	0,602	0,682	11,7
258	0,500	0,496	-1,0	0,527	0,592	11,0
284	0,415	0,402	-3,3	0,449	0,499	10,2
311	0,336	0,319	-5,3	0,371	0,409	9,3
342	0,260	0,243	-7,2	0,294	0,324	9,2
375	0,188	0,171	-10,2	0,220	0,240	8,4
412	0,114	0,096	-17,9	0,147	0,156	5,7
452	0,052	0,039	-31,8	0,079	0,078	-0,7
496	0,014	0,008	-71,4	0,028	0,026	-9,9
TOTAL	11,855	13,132	9,7	11,596	13,696	15,3

Nota: P1 (63 °C/30 minutos) e P2 (50 °C/30 minutos + 63 °C/30 minutos).

Visando a avaliação final do processo de reidratação do MPC em pó, as distribuições das partículas das amostras dos tratamentos (T1 e T2), após os processamentos P1 e P2, foram analisadas utilizando a região de menor tamanho (a partir de 40 nm), região essa de grande interesse para a fabricação de queijos, por ser a região típica das caseínas no leite. Na Tabela 6 pode-se observar um aumento gradativo do diâmetro dos canais de resolução na região nanométrica (das micelas de caseínas), à medida que o leite in natura foi submetido aos processamentos P1 e P2, nos incrementos de 10% e 20% de caseínas do MPC, mantendo a mesma relação C/G. Este efeito retrata claramente o deslocamento das partículas, antes

localizadas na terceira região (supra micrométrica), com estruturas maiores que $10\ \mu\text{m}$, que migram para a primeira região (nanométrica), obedecendo a uma dinâmica gradual, que acontece no decorrer do processo de solubilização do MPC em pó no leite, durante os tratamentos aplicados. Vale ressaltar que, quando a total solubilização é completada para a suplementação de 10%, o volume total das partículas da região nanométrica atinge 11,855% para P1, com valor similar, ou seja, 11,596% para P2. A mesma similaridade é percebida para a suplementação de 20% onde os volumes totais atingidos são de 13,132% e 13,696%, respectivamente.

A análise da migração das partículas entre as duas regiões extremas ($<0,5\ \mu\text{m}$ e $>10\ \mu\text{m}$) indica solubilização do MPC em pó no leite em decorrência das etapas dos tratamentos aplicados durante processamentos P1 e P2.

4.4 CONCLUSÃO

A cinética de reidratação do MPC70 em pó no leite varia em detrimento do tipo de processamento dado ao leite suplementado, destinado à fabricação de queijos. A completa solubilização do MPC em pó no leite acontece ao final dos 10 minutos da etapa de pasteurização lenta do leite, apresentando o mesmo comportamento independente da dosagem de 10% ou 20% de suplementação, desde que o leite suplementado tenha permanecido por 12 horas a temperatura de $8\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ antes da fabricação do queijo. Já, quando o leite é pré-aquecido a 50 °C antes da pasteurização lenta, o processo de solubilização do pó apresenta comportamentos diferentes, dependendo da dose de suplemento utilizada, podendo o pó, desta maneira, ser adicionado ao leite no mesmo dia da fabricação. Além disso, é possível também observar que a temperatura tem efeito significativo na reidratação do MPC em pó no leite, quando o teor percentual de proteína é mais alto.

Do ponto de vista microbiológico e de segurança alimentar do leite suplementado com 10% de caseína do MPC, há de se considerar a relevância da etapa de aquecimento a 50 °C para garantir a ação efetiva do tratamento térmico posterior (pasteurização) sobre as partículas de tamanho menores. Desta maneira, quanto menor for a carga de partículas supramoleculares que chegam na pasteurização, maior a garantia da não ocorrência de proteção microbiana, feita por estas partículas insolubilizadas e de maior tamanho no meio, que porventura chegassem à pasteurização caso não houvesse o aquecimento prévio à 50 °C .

Logo, conclui-se que os dois tipos de processamento são capazes de garantir a completa reidratação do MPC em leite destinado à fabricação de queijo.

4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMAD, S. et al. Effects of acidification on physico-chemical characteristics of buffalo milk: A comparison with cow's milk. **Food Chemistry**, v. 106, n. 1, p. 11–17, 2008.

BECKMAN, C. **Manual, Coulter LS Series, Softer Version 2.01**. Disponível em: <<http://www.beckmancoulter.com>>. Acesso em: 8 jan. 2019.

BRASIL, 2006. Instrução Normativa nº 68, de 12 de dezembro de 2006, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2006.

CROWLEY, S. V. et al. Rehydration characteristics of milk protein concentrate powders. **Journal of Food Engineering**, v. 149, p. 105–113, 2014.

FITZPATRICK, J. J. et al. Effect of powder properties and storage conditions on the flowability of milk powders with different fat contents. **Journal of Food Engineering**, v. 64, n. 4, p. 435–444, 2004.

GAIANI, C. et al. Use of a Turbidity Sensor to Characterize Micellar Casein Powder Rehydration: Influence of Some Technological Effects. **Journal of Dairy Science**, v. 88, n. 8, p. 2700–2706, 2005.

GAUCHER, I. et al. Physico-chemical characterization of phosphate-added skim milk. **International Dairy Journal**, v. 17, n. 12, p. 1375–1383, 2007.

GAVA, A. J. **Princípios de tecnologia de alimentos**. 1a. ed. São Paulo: Nobel, 1984.

HAVEA, P. Protein interactions in milk protein concentrate powders. **International Dairy Journal**, v. 16, n. 5, p. 415–422, 2006.

HUPPERTZ, T.; DE KRUIF, C. G. Ethanol stability of casein micelles cross-linked with transglutaminase. **International Dairy Journal**, v. 17, n. 5, p. 436–441, 2007.

HUSSAIN, R. et al. Characterization of high-milk-protein powders upon rehydration under various salt concentrations. **Journal of Dairy Science**, v. 94, n. 1, p. 14–23, 2011a.

JIMENEZ-FLORES, R.; KOSIKOWSKI, F. V. Properties of Ultrafiltered Skim Milk Retentate Powders. **Journal of Dairy Science**, v. 69, n. 2, p. 329–339, 1986.

MICHALSKI, M. M.; RIARD, V. B.; ICHEL, F. M. Optical parameters of milk fat

globules for laser light scattering measurements. v. 81, p. 787–796, 2001.

MIMOUNI, A. et al. Food Hydrocolloids Rehydration process of milk protein concentrate powder monitored by static light scattering. **Food hydrocolloids**, v. 23, n. 7, p. 1958–1965, 2009.

MIMOUNI, A.; SCHUCK, P.; BOUHALLAB, S. Kinetics of lactose crystallization and crystal size as monitored by refractometry and laser light scattering: effect of proteins. **Lait**, v. 85, n. 4–5, p. 253–260, 2005.

MOUGHAL, K. I.; MUNRO, P. A.; SINGH, H. Suspension stability and size distribution of particles in reconstituted , commercial calcium caseinates. **International Dairy Journal**, v. 10, p. 683–690, 2001.

MURRIETA-PAZOS, I. et al. Comparative study of particle structure evolution during water sorption: Skim and whole milk powders. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 87, n. 1, p. 1–10, 2011.

PEREIRA, D. B. C. et al. **Físico-química do leite e derivados - métodos analíticos**. 2 ed ampliada. Juiz de Fora: Templo Gráfica e Editora, 2001.

SAVEYN, H. et al. In-line comparison of particle sizing by static light scattering, time-of-transition, and dynamic image analysis. **Particle and Particle Systems Characterization**, v. 23, n. 2, p. 145–153, 2006.

5 – PRODUÇÃO, CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA, REOLÓGICA E SENSORIAL DO QUEIJO MINAS PADRÃO UTILIZANDO CONCENTRADO PROTEICO DE LEITE – MPC

RESUMO

Os MPCs possuem excelentes propriedades funcionais e têm sido utilizados pela indústria, para a fabricação de queijos, com o objetivo de promover aumento do rendimento. São denominados extensores ou suplementos e acrescentados ao leite como fonte principal de proteína para aumentar, conseqüentemente, a quantidade de queijo produzida. O objetivo deste estudo foi avaliar a influência da utilização do MPC em queijo Minas Padrão sobre o rendimento, as características físico-químicas, proteólise, perfil de textura, cor e avaliação sensorial. Foi selecionado o MPC70 e o cálculo utilizado para o incremento do leite foi baseado no teor percentual de caseína contida na base seca do MPC em pó sobre a caseína do leite, nas proporções de 10% e 20%. Os teores de gordura dos leites in natura foram padronizados, por meio da adição de creme de leite, para receberem os incrementos de 10% e 20% de caseína do MPC, mantendo-se a mesma relação caseína/gordura (C/G) do leite original. O estudo demonstrou aumento do rendimento atual (kg de queijo/100 kg leite) de 8,38% e 19,06% e rendimento ajustado (RAJ) nas proporções de 13,25% e 22,16% para os níveis de incremento de 10% e 20%, respectivamente. O uso de MPC não influenciou os teores percentuais de umidade, gordura, proteína, cinzas, GES, cloretos, sal/umidade, atividade de água e a proteólise dos queijos. Os índices de proteólise aumentaram no decorrer da maturação. A dureza e a mastigabilidade de todos os tratamentos, apresentaram um aumento no período de 4 para 30 dias dos queijos maturados, possivelmente pelo dessoramento ocorrido nos queijos neste período, diminuindo à partir dos 60 dias em decorrência da proteólise. A coesividade e a elasticidade de todos os tratamentos, diminuíram e os queijos apresentaram-se com estrutura mais quebradiça, típica deste tipo de queijo. Os queijos não apresentaram diferenças na cor para as ordenadas L^* e b^* entretanto, o MPC influenciou na ordenada a^* , indicando tendência para uma cor mais avermelhada. Com relação ao teste de aceitação, os queijos de todos os tratamentos foram mais bem aceitos com 30 dias de maturação, não havendo diferença significativa para o teste de preferência entre os tratamentos.

Palavras chave: Extensores. Proteína. Rendimento.

5.1 INTRODUÇÃO

A fabricação de queijos em todo o mundo, desde épocas remotas, é considerada uma das maneiras de manter o leite conservado por mais tempo, objetivando converter os seus constituintes em um produto mais estável, palatável e com qualidade (MAGALHÃES, 2002). Diversos são os queijos fabricados em todo o mundo e no Brasil não é diferente, com destaque para os queijos tipicamente regionais, como é o caso do queijo Minas Padrão. Obter produtos padronizados, não somente dentro da unidade fabril, mas também nas diferentes épocas do ano e regiões do país, além de aumentar a produção para atender à demanda de mercado, cada vez mais exigente e em ascensão, são objetivos da indústria queijeira.

O mundo tem avançado em novas tecnologias para a fabricação de queijos, seja em equipamentos mais sofisticados, que atendam a produções de grande escala, seja em ingredientes ou insumos, que agreguem tecnologia aos produtos, beneficiando-os em algum aspecto, seja este intrínseco ou extrínseco às suas características.

Neste contexto, os MPCs têm sido usados para queijos sem padrão de identidade, como queijos para pizza e alguns queijos mexicanos. Pesquisadores também têm estudado o uso de MPC em queijos como Muçarela (FRANCOLINO et al., 2010; HARVEY, 2006), Feta (HARVEY, 2006), Gouda (MISTRY; PULGAR, 1996) e Cheddar (HARVEY, 2006; SHAKEEL-UR-REHMAN et al., 2003). Dentre outros estudos feitos com a padronização de leite com MPC em pó para queijos, Francolino et al. (2010), encontrou um incremento no rendimento do queijo Muçarela na ordem de 13,8% para 16,8%, em função, tanto de uma maior recuperação de sólidos totais e proteínas, quanto da umidade ligeiramente maior nos queijos obtidos. O mesmo relatou também que, quando há o aumento do teor de proteínas do leite, a relação caseína/gordura (C/G) aumenta, eliminando a necessidade de retirar creme deste leite. Assim, quando a relação C/G do leite é otimizada, a habilidade da matriz proteica de reter mais gordura aumenta, causando maior recuperação de gordura no queijo Cheddar (GUINEE; O'KENNEDY; KELLY, 2006). MPCs também podem ser usados como agentes emulsificantes em bebidas ou alimentos com baixo teor de gordura, que requerem certa cremosidade, sem a necessidade de utilizar amidos e gomas, como é o caso de molhos para saladas e sopas (DYBOWSKA, 2008).

O uso do MPC também é mais uma alternativa tecnológica para viabilizar a produção de queijos pelas pequenas indústrias, cada vez mais massacradas pelos aumentos sucessivos dos custos de fabricação. Daí a necessidade de alternativas que permitam que indústrias menores possam obter mais competitividade nas suas regiões comerciais e, como consequência, expandirem-se.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da adição de MPC em pó no leite para fabricação do queijo Minas Padrão, como forma de aumentar o teor de caseínas do leite, nas proporções de 10% e 20%, respectivamente, mantendo a mesma relação C/G do leite original sob os pontos de vista do aumento no rendimento da fabricação e influência do MPC nas propriedades físico-químicas, reológicas e sensoriais dos queijos produzidos. O queijo Minas Padrão foi escolhido para este estudo, sobretudo por ser um queijo tipicamente regional e característico do estado de Minas Gerais, apresentando demanda expressiva pela maioria dos consumidores de queijo. Além disso, a fabricação do queijo Minas Padrão é viável do ponto de vista técnico e econômico, o que o torna presente no portfólio de várias fábricas de pequeno e médio portes em todo o estado.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

5.2.1 Localização

O leite utilizado para as fabricações deste estudo, foi proveniente da fazenda experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, localizada na cidade de Leopoldina – MG, e recebido na fábrica/escola do Instituto de Laticínios Cândido Tostes (EPAMIG ILCT), em Juiz de Fora - MG. Os queijos Minas Padrão foram fabricados na fábrica-escola da EPAMIG ILCT. Todas as análises físico-químicas, microbiológicas, reológicas e sensoriais foram realizadas no laboratório e Pesquisa e Instrumental da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, Instituto de Laticínios Cândido Tostes (EPAMIG ILCT).

5.2.2 Delineamento experimental

Para avaliar o efeito do uso de MPC nas propriedades do queijo Minas Padrão, o experimento foi conduzido em blocos casualizados com parcelas subdivididas ao longo do tempo. Cada bloco foi composto de três tratamentos (TC – Controle, T1 – leite padronizado com gordura para receber incremento de 10% de caseína do MPC e T2 – leite padronizado com gordura para receber incremento de 20% de caseína do MPC), seguido de três repetições (3 blocos), apresentando um total de 12 grupos experimentais. As parcelas foram subdivididas ao longo de 4 tempos (4 dias, 30 dias, 60 dias e 90 dias).

5.2.3 Preparo e padronização do leite para a fabricação

Para a padronização do teor de gordura do leite, foi utilizado creme de leite procedente do desnate de parte do mesmo leite in natura. O MPC70 utilizado foi produzido pela *Fonterra Co-operative Group Limited* (Fonterra), proveniente da Nova Zelândia, sob a denominação comercial MPC470.

Os leites foram preparados para serem submetidos a três tratamentos: TC (Controle), T1 (leite com incremento de 10% de caseína do MPC70) e T2 (leite com incremento de 20% de caseína do MPC70). Os cálculos para a suplementação do

leite com MPC foram baseados no teor de caseína contido na base seca do MPC sobre o teor de caseínas do leite, mantendo-se a mesma relação caseína/gordura (C/G) do leite original.

Portanto, o preparo do leite para as fabricações do Queijo Minas Padrão (QMP) consistiu nas seguintes etapas: análise do teor de caseína e gordura do leite original, análise da porcentagem de gordura do creme de leite a ser utilizado na padronização, determinação da relação C/G do leite, padronização do teor de gordura do leite e cálculo da quantidade de MPC70 em pó a ser adicionado, com base no teor de caseínas contido na sua base seca, nas proporções de 10% e 20% respectivamente.

A determinação do teor de caseínas do leite foi realizada pelo método do formol, conforme técnicas descritas por Pereira et al. (2001) e realizada em triplicata. As análises dos teores percentuais (m/m) de gordura do leite original, creme de leite e leites padronizados, foram efetuadas por meio do método butirométrico de Gerber (BRASIL, 2006), ambas feitas em duplicata. A relação C/G foi, então, obtida a partir dos resultados dos teores de caseínas e gordura do leite original.

Os cálculos para as suplementações com MPC foram feitos com base no teor de caseínas, contido na base seca do pó de MPC70, sobre o teor de caseínas encontrado no leite in natura, levando-se em consideração a relação C/G original deste leite, uma vez que os teores de caseínas e gordura do leite exercem um papel fundamental no rendimento de queijos. Para tal, as gorduras dos leites suplementados também foram ajustadas para manter a mesma relação C/G. O critério utilizado para padronizar os teores de gordura dos leites a serem adicionados de MPC70, foi balanço de massa e, após padronização, novas análises de gordura foram realizadas pelo método butirométrico de Gerber (BRASIL, 2006), a fim de averiguar os resultados da padronização.

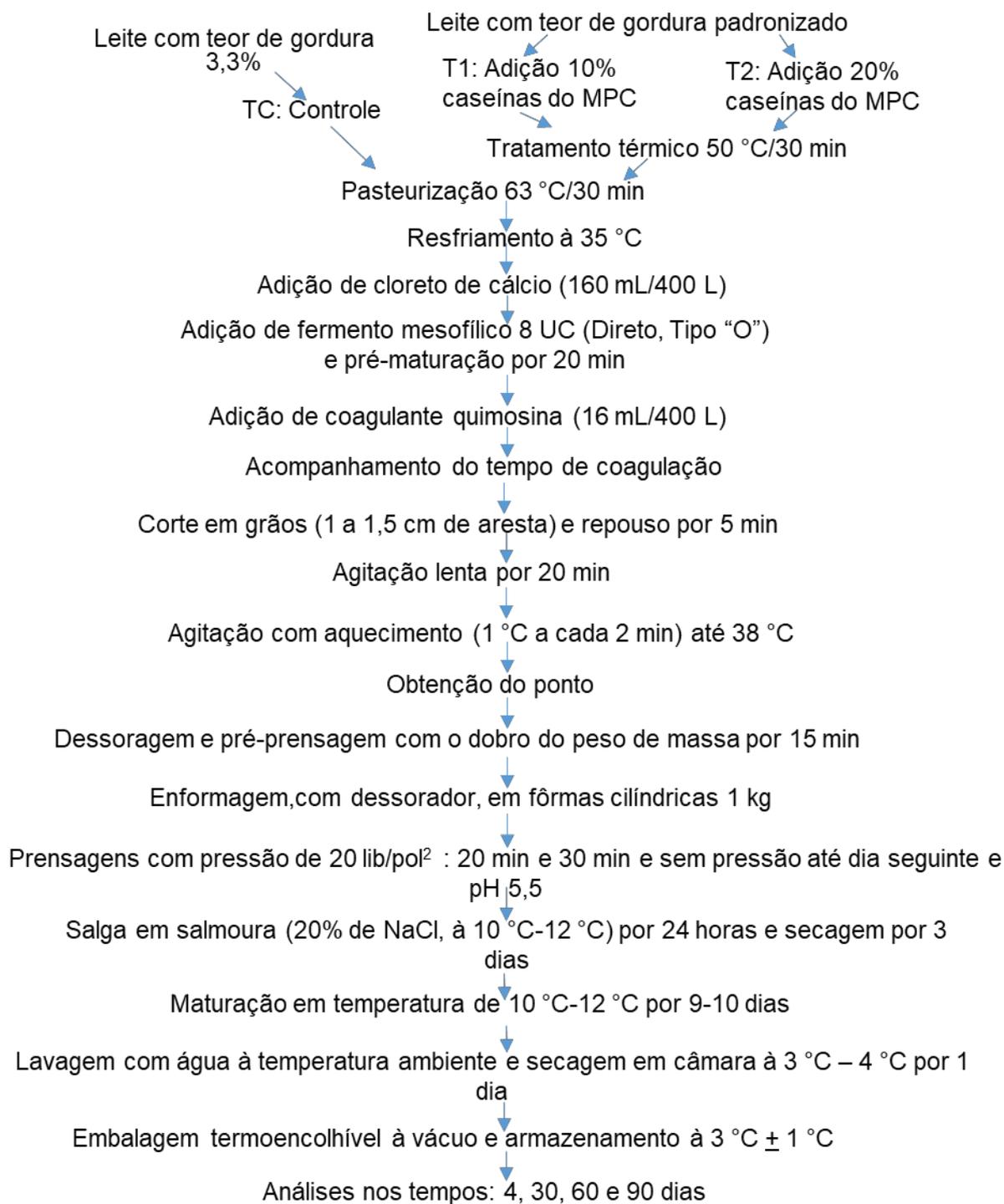
A adição do MPC70 aos leites padronizados foi realizada no mesmo dia das fabricações, objetivando total solubilização do pó, com pré-aquecimento à temperatura de 50 °C pelo tempo de 30 minutos, sob agitação, antes de ocorrer a pasteurização lenta (63 °C/30 minutos) no tanque de fabricação.

5.2.4 Fabricação do Queijo Minas Padrão

As fabricações foram realizadas em blocos de três repetições para cada tratamento (TC – Controle; T1 – leite com incremento de 10% de caseínas do MPC e T2 – leite com incremento de 20% de caseínas do MPC). Cada bloco de fabricações ocorreu em três semanas consecutivas, sendo um dia de cada semana reservado para a execução de cada repetição (R1, R2 e R3). Portanto, foram aplicados três tratamentos tecnológicos distintos em cada dia de fabricação, utilizando-se de um mesmo lote de leite como matéria-prima, para diminuir a fonte de variação. Para cada tratamento, foram utilizados tanques com capacidade de 100 litros de leite cada. No total, foram executadas nove fabricações, com três repetições para cada tratamento dado.

Foi adotada a pasteurização lenta – *Low Temperature Long Time* (LTLT) (63 °C / 30 minutos) dos leites destinados às fabricações dos queijos.

A tecnologia de fabricação aplicada para cada tratamento (TC), (T1) e (T2) seguiram conforme descrito no fluxograma da Figura 9.



Fonte: Adaptado de PAULA (2010).

Figura 9. Fluxograma de fabricação do queijo Minas Padrão.

5.2.5 Análises das amostras de leite e soro das fabricações

Para este estudo, foram coletadas amostras do leite de cada tanque de fabricação e amostras de soro (15 minutos após o corte das coalhadas), referente a cada tratamento e nas três repetições, para as seguintes análises físico-químicas, realizadas no mesmo dia da fabricação: acidez, pH, gordura, sólidos totais (EST) e proteína (BRASIL, 2006). A medição do potencial hidrogeniônico (pH) dos queijos foi realizada com o auxílio do medidor de pH Gehaka® modelo PG 1800, devidamente calibrado com soluções tampão pH 4,00 e pH 7,00.

5.2.6 Caracterização físico-química dos queijos

Os queijos foram analisados com 4 dias após fabricação para as seguintes análises: sólidos totais (EST), gordura, proteína, umidade, cloretos e cinzas (RMF) (BRASIL, 2006). A proteína foi calculada pela determinação do nitrogênio total, por meio do método de *Kjeldahl* e convertida para proteína por meio da utilização do fator de conversão do nitrogênio proteico de 6,38 para as proteínas lácteas.

O pH, atividade de água (Aw) e proteólises foram avaliados com 4, 30, 60 e 90 dias de maturação. A medição do potencial hidrogeniônico (pH) dos queijos foi realizada com o auxílio do medidor de pH Gehaka® modelo PG 1800, devidamente calibrado com soluções tampão pH 4,00 e pH 7,00. A determinação das leituras deu-se pela imersão do eletrodo do equipamento em diferentes pontos nos queijos, realizando-se, desta forma, três medidas de cada amostra e a média dos resultados adotada como valor definitivo.

A atividade de água (Aw) foi medida por leitura direta no equipamento Aqualab apparatus (Decagon, Washington, USA).

O nitrogênio total (NT) foi determinado pelo método de *Kjeldahl* (AOAC, 2016), o nitrogênio solúvel em pH 4,6 ($NS_{pH4,6}$), nitrogênio solúvel em 12% de ácido tricloroacético ($NS_{TCA12\%}$) foram determinados de acordo com BARBANO; LYNCH; FLEMING (1991). A proteólise foi calculada pelos índices de extensão e profundidade, por meio das equações: Extensão = $(NS_{pH4,6}/NT) \times 100$ e Proteólise = $(NS_{TCA12\%}/NT) \times 100$.

5.2.7 Recuperação de constituintes do leite e rendimento dos queijos

O rendimento ajustado e a recuperação dos componentes do leite foram calculados conforme descrito por Mazal et al. (2007) e Alves et al. (2013). A recuperação de proteína e gordura (%R) foi calculada pela Equação 1:

$$\%R = \frac{\left(\frac{m_j \times c_{ij}}{m_{\text{leite}} \times c_{i\text{leite}}} \right) \times 100}{\quad} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde i corresponde ao componente do leite (gordura ou proteína), j é a amostra (queijo ou soro), m é a massa da amostra em gramas (g), c_{ij} é a porcentagem de i na amostra j , m_{leite} é a massa de leite em gramas (g) e $c_{i\text{leite}}$ é a porcentagem de i no leite.

O rendimento ajustado (RAJ), que considera os teores de sal e umidade desejados nos queijos, foi calculado pela Equação 2:

$$\text{RAJ} = \frac{R \times [100 - (\% \text{ umidade real} + \% \text{ sal real})] \times 100}{[100 - (\% \text{ umidade desejada} + \% \text{ sal desejado})]} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde R é o rendimento atual do queijo [(g de queijo x 100)/(g de leite)]. A quantidade desejada de sal do queijo Minas Padrão foi 1,2% e o teor de umidade desejado foi de 47%.

5.2.8 Análise de perfil de textura

A análise de perfil de textura (TPA) foi realizada com 4, 30, 60 e 90 dias de maturação, por meio do analisador de textura CT3 (Brookfield, Middleboro, USA). As amostras de queijo foram cortadas no formato de cubos com 20 mm de aresta, acondicionados em sacos plásticos e estocados à temperatura de 10 °C por 1 hora. Foram realizadas, no mínimo, cinco medições para cada queijo, em duplicata. As variáveis adotadas no teste foram: compressão de 40%; velocidade de pré-teste 2 m/s; velocidade do teste: 1 mm/s; célula de carga: 4500 g; 20 mm de comprimento e 38,1 mm de diâmetro do cilindro probe. As características medidas foram: dureza, mastigabilidade, adesividade, coesividade e elasticidade.

5.2.9 Avaliação da cor

A cor dos queijos foi mensurada pelo sistema de operação CIEL*a*b*, nos tempos 4, 30, 60 e 90 dias, por meio do espectrofotômetro CM-5, com abertura inferior (Konika Minolta, Sensing Americas, Inc.), com calibração automática do padrão branco (refletância)/100%. O tipo de medição adotada para avaliação da cor dos queijos foi a refletância. As variáveis adotadas no teste foram: faixa de comprimento de onda de 360 nm até 740 nm, área de medição LAV (diâmetro 30 mm) e componente especular para SCI (componente especular incluído) (GADONSKI et al., 2018). Os componentes utilizados foram: máscara de medição (para miniplaca de Petri): CM-A158 e placa de petri CM-A128.

5.2.10 Análises microbiológicas dos queijos

As análises microbiológicas foram feitas com o objetivo de garantir a inocuidade dos queijos destinados às avaliações de perfil sensorial. O processo para preparo das amostras foi realizado segundo Brasil (2006). Foram realizadas análises de mesófilos aeróbios estritos e facultativos, coliformes totais e *E. coli*, mofo e leveduras, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* e *Listeria*. Foram utilizados os kits rápidos, a saber: placas 3M™ Petrifilm™ - *Petrifilm Aerobic Count Place* (AC) (AOAC 990.12), *E. coli/Coliformes Count Place* (EC) (AOAC 991.14), *Petrifilm Bolors e Leveduras Count Place* (YM) (AOAC 997.02), *Petrifilm Staph Express Count Plate* (STX) (AOAC 2003.08) e o teste *Reveal® 2.0* para *Salmonella* (AOAC-RI 960801) e teste *Reveal® 2.0* para *Listeria* (AOAC-RI 041101), ambos da Neogen.

5.2.11 Avaliação sensorial

A avaliação sensorial dos queijos foram realizadas segundo aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa CEP/UFJF, de acordo com as atribuições definidas na Resolução CNS 466/12 e com a Norma Operacional N° 001/2013 CNS, CAAE 86306518.0.0000.5147.

Para a avaliação sensorial dos queijos, foram utilizados os testes de aceitação e preferência, por meio da escala hedônica de nove pontos (CHAVES; SPROESSER, 1996; MINIM, 2006), adaptado de Minim (2006), conforme Figura 10. O método utilizado para o teste de preferência foi o de ordenação e a técnica estatística não-paramétrica aplicada foi o método de Friedman. Os testes de aceitação e preferência foram realizados com 4, 30, 60 e 90 dias de maturação. As amostras foram apresentadas em cubos de 2,5 cm³, codificados com 3 dígitos aleatórios. Foram utilizados 120 provadores não treinados e os mesmos foram selecionados aleatoriamente, de forma a representarem os consumidores potenciais ativos do queijo Minas Padrão.

ESCALA HEDÔNICA / PREFERÊNCIA		
Nome: _____		Data: ____ / ____ / ____
<p>Por favor, avalie as amostras utilizando a escala abaixo para descrever o quanto você gostou ou desgostou do produto. Marque a posição da escala que reflita seu julgamento. Em seguida ordene-as de acordo com sua preferência. Atribua o número 1 para a amostra mais preferida e 2 para a segunda mais preferida. Entre cada avaliação, enxágue a boca com água e espere 30 segundos.</p>		
Código da amostra: _____	Amostra preferida: _____	
<input type="checkbox"/> ()	<input type="checkbox"/> ()	<input type="checkbox"/> Gostei extremamente
<input type="checkbox"/> ()	<input type="checkbox"/> ()	<input type="checkbox"/> Gostei muito
<input type="checkbox"/> ()	<input type="checkbox"/> ()	<input type="checkbox"/> Gostei moderadamente
<input type="checkbox"/> ()	<input type="checkbox"/> ()	<input type="checkbox"/> Gostei ligeiramente
<input type="checkbox"/> ()	<input type="checkbox"/> ()	<input type="checkbox"/> Indiferente
<input type="checkbox"/> ()	<input type="checkbox"/> ()	<input type="checkbox"/> Desgostei ligeiramente
<input type="checkbox"/> ()	<input type="checkbox"/> ()	<input type="checkbox"/> Desgostei moderadamente
<input type="checkbox"/> ()	<input type="checkbox"/> ()	<input type="checkbox"/> Desgostei muito
<input type="checkbox"/> ()	<input type="checkbox"/> ()	<input type="checkbox"/> Desgostei extremamente
Observações: _____		

Figura 10. Modelo de ficha de avaliação utilizada para os testes de aceitação e preferência, adaptado de Minim (2006).

5.2.12 Análise estatística

O experimento foi conduzido em blocos casualizados com parcelas subdivididas ao longo do tempo (4 dias, 30 dias, 60 dias e 90 dias). A avaliação do

efeito do MPC sobre o rendimento dos queijos fabricados foi analisada dentro de cada bloco ou repetição. O efeito do uso de MPC na composição do queijo, textura e análise sensorial, foram avaliados em cada tempo, dentro de cada parcela. A análise de variância (ANOVA) foi realizada para avaliar o efeito dos tratamentos sobre o rendimento, a recuperação de proteína e gordura, composição físico-química e a caracterização reológica e sensorial dos queijos. Para avaliar as características dos queijos durante estocagem, foram considerados os efeitos independentes do MPC e os tempos de armazenamento. Foi utilizado o teste de Tukey para comparação das médias e o teste t (nos casos em que o coeficiente de variação (CV) apresentou-se acima de 15%), considerando-se nível de significância de 5% ($P < 0,05$), por meio do programa estatístico SISVAR 5.6 (FERREIRA, 2011).

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.3.1 Composição físico-química do leite

A composição média dos leites, destinados às fabricações dos queijos Minas Padrão com e sem MPC, encontra-se na Tabela 7.

Tabela 7. Composição físico-química dos leites destinados às fabricações dos queijos Minas Padrão, com e sem MPC *

Análises	Tratamentos		
	TC	T1	T2
Acidez **	0,183 ± 0,015 ^a	0,177 ± 0,015 ^a	0,190 ± 0,026 ^a
pH	6,55 ± 0,19 ^a	6,57 ± 0,13 ^a	6,50 ± 0,17 ^a
Gordura (%m/m)	3,17 ± 0,11 ^b	3,70 ± 0,26 ^a	4,06 ± 0,35 ^a
EST (%m/m)	11,16 ± 0,31 ^b	12,04 ± 0,19 ^a	12,46 ± 0,27 ^a
Proteína (%m/m)	3,00 ± 0,10 ^c	3,35 ± 0,14 ^b	3,69 ± 0,13 ^a
Caseínas (%m/m)	2,30 ± 0,01 ^c	2,52 ± 0,02 ^b	2,75 ± 0,00 ^a

^{a,b,c} Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na mesma linha, não diferem significativamente entre si ($P > 0,05$), pelo teste de Tukey. $n=3$. * (média ± DP); ** compostos ácidos expressos como ácido láctico

A análise de variância (ANOVA) indicou diferenças significativas ($P < 0,05$) para os constituintes do leite: proteína, gordura e EST. Com o incremento de caseínas por meio do uso de MPC no leite, houve um aumento do teor percentual da proteína ($P < 0,05$), o que era esperado, nas ordens analíticas de 11,67% e 23,00%, respectivamente, corroborado pelo aumento do teor percentual de caseínas após as suplementações.

O teor percentual de gordura também aumentou ($P < 0,05$), pois houve reposição de gordura no leite para que a mesma relação caseína/gordura fosse mantida em todos os tratamentos. O aumento das porcentagens de proteína e gordura impactaram no aumento também do teor percentual de EST ($P < 0,05$).

A acidez não sofreu alteração entre os tratamentos ($P > 0,05$), embora tenha havido um aumento da proteína dos leites suplementados, o que representou um bom sinal para as fabricações, pois o aumento da acidez leva à maior expulsão de

água da massa no tanque de fabricação, com consequências no rendimento. A proteína impacta na análise de acidez por possuir aminoácidos com características ácidas que são tituláveis e por este motivo, esperava-se que a suplementação do leite com MPC provocasse uma elevação da acidez, como observado por Caro et al. (2011), no queijo mexicano Oaxaca. O mesmo aconteceu para o pH dos queijos, que também não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos ($P>0,05$), o que demonstra coerência dos resultados.

5.3.2 Composição físico-química do soro

A composição média dos soros coletados das fabricações com e sem MPC, está demonstrada na Tabela 8.

Tabela 8. Composição físico-química dos soros das fabricações *

Análises	Tratamentos		
	TC	T1	T2
Acidez **	0,11 ± 0,017 ^a	0,11 ± 0,006 ^a	0,12 ± 0,023 ^a
pH	6,42 ± 0,09 ^a	6,46 ± 0,06 ^a	6,41 ± 0,13 ^a
Gordura (%m/m)	0,17 ± 0,05 ^c	0,37 ± 0,11 ^b	0,53 ± 0,55 ^a
EST (%m/m)	6,71 ± 0,25 ^b	7,06 ± 0,05 ^{ab}	7,38 ± 0,32 ^a
Proteína (%m/m)	0,62 ± 0,05 ^a	0,68 ± 0,01 ^a	0,63 ± 0,12 ^a

^{a,b,c} Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na mesma linha, não diferem significativamente entre si ($P>0,05$), pelo teste de Tukey. n=3. * (média ± DP); ** compostos ácidos expressos como ácido láctico

Como pode ser observado, houve diferença estatística significativa ($P<0,05$) para a gordura. Em desacordo com estudo anterior (GUINEE; KENNEDY; KELLY, 2006), o incremento de caseínas pelo uso de MPC no presente trabalho influenciou significativamente o teor percentual de gordura no soro dos queijos dos três tratamentos. Desta maneira, os percentuais maiores de perdas de gordura aconteceram nos soros dos queijos de maior incremento de caseínas pelo uso de MPC. Tal tendência não era esperada devido à constância da relação caseína/gordura nos leites, que evita que haja a diluição ou concentração da matriz

de caseínas em relação à gordura e, portanto, alteração da sua capacidade de reter ou comprimir os glóbulos de gordura incorporados. Portanto, este resultado contraditório pode ser explicado pelo excesso de força utilizada para cortar o gel, mais firme do leite com teores maiores de proteína, levando a maiores perdas de gordura no soro (GUINEE; PUDJA; MULHOLLAND, 1994). Outro fator é o maior teor de gordura contido no tanque em relação ao volume total, devido à suplementação também da gordura, o que pode gerar mais perdas pelo maior atrito entre os componentes do leite. O EST do soro apresentou diferença significativa entre os tratamentos ($P < 0,05$), o que pode ser explicado pela diferença apresentada também no teor percentual de gordura, com reflexo similar nos soros oriundos de leite com teores maiores de proteína.

Com relação à proteína, não houve diferença significativa ($P > 0,05$) no soro, embora a proteína no leite apresentou percentuais maiores com o incremento de caseínas pelo uso do MPC. Isto significa que houve boa solubilização e interação da proteína no leite gerando retenção da mesma na matriz do queijo.

A acidez e pH do soro não apresentaram mudanças significativas ($P > 0,05$), refletindo o que aconteceu no leite, sendo este um bom sinal, visto que a acidez do soro é influenciada pela acidez do leite, como também pelo fermento, sendo este o mesmo utilizado em todos os tratamentos.

5.3.3 Composição físico-química dos queijos

A composição físico-química média dos QMP com e sem MPC está apresentada na Tabela 9.

Tabela 9. Composição físico-química dos queijos (%)*

Análises	Tratamentos		
	TC	T1	T2
Umidade	45,79 ± 0,66 ^a	43,41 ± 2,61 ^a	44,28 ± 1,63 ^a
EST	54,19 ± 0,64 ^a	56,58 ± 2,61 ^a	55,72 ± 1,63 ^a
Gordura	26,00 ± 1,50 ^a	27,50 ± 3,46 ^a	28,50 ± 1,73 ^a
PT **	20,33 ± 0,15 ^a	20,25 ± 0,18 ^a	19,66 ± 1,07 ^a
RMF ***	4,19 ± 0,59 ^a	3,86 ± 0,14 ^a	4,02 ± 0,37 ^a
GES	47,99 ± 2,86 ^a	48,49 ± 3,87 ^a	51,13 ± 2,25 ^a
Aw	0,95 ± 0,012 ^a	0,95 ± 0,007 ^a	0,95 ± 0,006 ^a
Cloretos	1,18 ± 0,16 ^a	1,15 ± 0,14 ^a	1,31 ± 0,24 ^a
Sal/Umidade	2,51 ± 0,37 ^a	2,59 ± 0,32 ^a	2,90 ± 0,60 ^a

^{a,b,c} Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na mesma linha, não diferem significativamente entre si ($P > 0,05$), pelo teste de Tukey. $n=3$. * (média ± DP); **PT - Proteína bruta; *** RMF – Resíduo mineral fixo

Não houve diferença significativa para o teor percentual de umidade dos queijos entre os tratamentos ($P > 0,05$), o que também foi observado para o EST ($P > 0,05$). Muito embora o teor percentual de sólidos totais (EST) do leite tenha sido maior nos leites suplementados, a ANOVA não indicou haver diferença estatística significativa ($P > 0,05$) entre os teores de EST e, conseqüentemente da umidade entre os tratamentos. Este fato pode ser explicado pela capacidade do MPC de absorver água e também pela contribuição da gordura adicionada, ambos permitindo a estabilização e distribuição mais uniforme dos constituintes no queijo, igualando suas composições (COSTA JÚNIOR, 2006), uma vez que houve padronização dos tempos de mexedura até o ponto das fabricações deste estudo, além das fabricações com MPC terem resultado mais unidades produzidas. Pelo fato de não haver, na legislação brasileira, um padrão de identidade e qualidade para o queijo Minas Padrão, pelo valor médio de umidade apresentado pelos queijos deste estudo e segundo classificação dada pelo Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade dos Queijos (RTIQQ) (Portaria nº 146/96), o mesmo poderia se enquadrar como queijo de média umidade, por estar entre 36% e 45,9% de umidade (BRASIL, 1996).

Os teores percentuais de gordura e proteína também não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos ($P > 0,05$). Apesar de ter havido perda de gordura no soro dos queijos de forma significativa, isto não afetou o teor

percentual de gordura dos mesmos, muito provavelmente pela correta padronização do leite baseada na relação C/G do leite original. O percentual de gordura e proteína impactam no GES, EST e conseqüentemente na umidade, todos sem diferença estatística significativa entre os tratamentos ($P>0,05$). No queijo mexicano Oaxaca, Caro et al. (2011) também não encontrou diferenças significativas para os teores percentuais de umidade, proteína e umidade na massa desengordurada dos queijos fabricados com MPC ou leite em pó desnatado (LPD). Entretanto, houve diminuição dos teores percentuais de gordura e GES desses queijos ($P<0,05$) quando da utilização dos dois extensores, o que pode ser atribuído à relação C/G não ter sido levada em consideração para a padronização do teor percentual de gordura dos leites suplementados. Contraditoriamente, Guinee, Kennedy e Kelly (2006) relataram que na fabricação do queijo Cheddar houve diminuição dos teores percentuais de umidade e umidade na massa desengordurada do queijo, muito provavelmente porque a coalhada feita com MPC ficava mais propensa à sinérese no corte e durante a agitação.

Já que não houve diferenças significativas ($P>0,05$) para o teor percentual de GES dos queijos deste trabalho, os mesmos poderiam ser classificados como queijos gordos que, segundo o RTIQQ preconiza teor de GES de 45% a 59,9% para esta categoria de queijos (BRASIL, 1996).

O teor de cloretos também não apresentou diferenças significativas ($P>0,05$) entre os tratamentos. Isto pode ser explicado conseqüentemente pelo fato de não ter havido variação no teor de umidade dos queijos, uma vez que a umidade do queijo é um dos requisitos básicos para a variação no teor percentual de cloretos (FOX et al., 2004).

Para o teor percentual de sal na umidade não houve diferenças significativas ($P>0,05$) entre os tratamentos. A determinação do teor de sal na umidade em queijo é dada pela relação percentual dos teores de NaCl e de NaCl mais a água (umidade da amostra). Logo, a relação sal/umidade é influenciada diretamente pelo teor percentual de cloretos e umidade, que também não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos ($P>0,05$).

A atividade de água (A_w) não foi afetada pela adição de MPC ao leite ($P>0,05$). Segundo Russel e Gould (2003), a A_w dos alimentos depende do seu teor de umidade e da baixa concentração de solutos de baixa massa molecular. A A_w de queijos de curta maturação é determinada quase que totalmente pela concentração

de sal na fase aquosa do queijo (FOX et al., 2004). Assim como a A_w , o teor de cloretos dos queijos também não foi afetado pelo tratamento com MPC ($P>0,05$).

O resíduo mineral fixo (RMF) está relacionado com as cinzas e, como pode ser observado, não houve diferença no seu teor percentual em todos os tratamentos ($P>0,05$). O mesmo resultado foi encontrado em queijo Camembert fabricado com concentrados proteicos de leite e soro (ASSUMPÇÃO, 2016).

Os resultados encontrados neste experimento indicam que fatores como a padronização da relação caseína/gordura e a redução nos tempos de fabricação foram fundamentais para que a adição dos diferentes níveis de MPC não alterasse as propriedades físico-químicas dos queijos.

5.3.4 Recuperação de constituintes do leite e rendimento dos queijos

A Tabela 10 apresenta os rendimentos atual e ajustado dos queijos Minas Padrão, que aumentaram significativamente ($P>0,05$) com o incremento das caseínas pela adição de MPC ao leite. Logo, o MPC teve influência significativa sobre o rendimento atual (kg de queijo/100 kg de leite) e sobre o rendimento ajustado (RAJ) dos queijos.

Tabela 10. Rendimento atual (kg queijo/100 kg de leite) e RAJ dos queijos Minas Padrão (%)*

Tratamentos	Rendimento atual	RAJ
TC	12,17 ± 0,28 ^C	12,46 ± 0,34 ^C
T1	13,19 ± 0,26 ^B	14,11 ± 0,55 ^B
T2	14,49 ± 0,40 ^A	15,22 ± 0,80 ^A

^{A,B,C} Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, na mesma coluna, não diferem significativamente entre si ($P>0,05$), pelo teste de Tukey. n=3. * (média ± DP)

A apresentação do rendimento atual, demonstra aumento nas proporções de 8,38% e 19,06% para os tratamentos T1 e T2, respectivamente. Já os rendimentos ajustados apresentaram aumentos de 13,25% e 22,16% para os tratamentos T1 e T2, respectivamente, indicando aumento de mais de 10% e 20%, o que corresponde

a níveis mais altos que as doses de incremento adicionadas. Em experimento anterior feito com o queijo Gouda, a adição de 2% de um concentrado proteico de leite aumentou o rendimento do queijo por quase 2,4 kg/100 kg de leite, comparado com o controle (MISTRY; PULGAR, 1996). No caso do queijo mexicano Oaxaca fabricado com MPC, foi relatado um aumento do rendimento real e ajustado dos queijos fabricados com MPC. Levando em conta os resultados obtidos entre o controle e os queijos adicionados de MPC, foi observada uma taxa de aumento de rendimento de queijo de 2,0 kg por cada kg de proteína do MPC (CARO et al., 2011).

O próprio processo utilizado na fabricação do MPC ocasiona uma certa desnaturação das soroproteínas que, durante a fabricação do queijo, formam coprecipitados com as caseínas, levando ao aumento do rendimento (HARVEY, 2006). Portanto, a incrementação das caseínas do leite por meio do uso do MPC nos dois níveis apresentados neste trabalho, impactaram positivamente nos rendimentos dos queijos Minas Padrão fabricados.

Segundo Lucey e Kelly (1994), a fabricação de queijo pode ser considerada um processo onde há a concentração de caseínas e gordura do leite. Sendo assim, a recuperação de proteínas e gordura, bem como o rendimento de queijos são ferramentas importantes para avaliar o efeito do uso de MPC70 na fabricação de queijos, como utilizado neste estudo. A recuperação de componentes do leite para o queijo está exposta na Tabela 11 e a perda de componentes do leite para o soro na Tabela 12.

Tabela 11. Recuperação de componentes do leite para o queijo (%)*

Tratamentos	Recuperação proteína no queijo	Recuperação gordura no queijo
TC	83,49 ± 0,95 ^A	96,11 ± 1,91 ^A
T1	84,65 ± 1,43 ^A	93,37 ± 0,08 ^A
T2	85,44 ± 1,95 ^A	90,88 ± 0,10 ^A

^{A,B,C} Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, na mesma coluna, não diferem significativamente entre si (P>0,05), pelo teste de Tukey. n=3. * (média ± DP)

Tabela 12. Perda de componentes do leite para o soro (%)*

Tratamentos	Perda de proteína no soro	Perda de gordura no soro
TC	16,51 ± 0,99 ^A	3,89 ± 1,92 ^B
T1	15,35 ± 1,43 ^A	6,62 ± 0,08 ^{AB}
T2	14,56 ± 1,95 ^A	9,12 ± 0,10 ^A

^{A,B,C} Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, na mesma coluna, não diferem significativamente entre si ($P>0,05$), pelo teste de Tukey e t para a recuperação de proteína e gordura do soro, respectivamente. n=3.* (média ± DP)

Conforme mostrado na Tabela 11, o uso de MPC não afetou significativamente a recuperação de proteína e gordura nos queijos ($P>0,05$), o que pode ser explicado pela padronização do leite para manter a mesma relação C/G do leite original para todos os tratamentos dados neste trabalho, o que pode ter favorecido a interação adequada entre os constituintes do leite. Efeito similar pôde ser observado em queijo Cheddar, por Guinee, Kennedy e Kelly (2006), onde a recuperação da proteína do leite para o queijo não sofreu influência significativa, nem pelo aumento do nível de proteína do leite, nem tampouco pelo método utilizado para esta suplementação. Entretanto, ainda no queijo Cheddar, os mesmos autores encontraram maior recuperação de gordura do leite para o queijo, quando o aumento do nível de suplementação de proteína do leite foi de 3,3% para 4,4% (m/m) com MPC, o que foi explicado pela redução na porcentagem de perda total de gordura do leite para o soro. Harvey (2006), observou que o queijo Cheddar fabricado com maior teor de proteína (6,48% frente a 4,56%) apresentou menor retenção de gordura do leite para o queijo. Segundo Fox et al., (2017) e Guinee et al. (2006), leites com teores mais altos de proteína podem resultar em fraca capacidade de retenção de gordura na coalhada no tanque de fabricação e, portanto, altas perdas de gordura no soro. No presente estudo, como pode ser observado, houve diferença significativa com relação ao uso de MPC na perda de gordura do leite para o soro ($P<0,05$), com indicações de maiores perdas para os leites suplementados (Tabela 12). Isso pode ser explicado por uma agitação mais vigorosa da coalhada no tanque de fabricação, logo após o corte, levando a maiores perdas de gordura no soro, já que as gorduras dos leites foram padronizadas e a relação C/G devidamente ajustada.

A perda de proteína do leite para o soro não foi afetada pelo uso do MPC ($P>0,05$), o que demonstra ter havido uma boa solubilização da proteína no leite.

5.3.5 pH

O pH não foi afetado pelo uso do MPC ($P>0,05$), não havendo, portanto, diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 13), bem como na interação tratamento x tempo ($p=0,7167$). Entretanto, o tempo de maturação influenciou significativamente o pH ($P<0,05$), como mostrado na Figura 11.

Tabela 13. pH dos queijos Minas Padrão dentro de cada tratamento *

Tratamentos	Médias
TC	4,90 \pm 0,06 ^A
T1	4,88 \pm 0,08 ^A
T2	4,85 \pm 0,06 ^A

^{A,B,C} Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, na mesma coluna, não diferem significativamente entre si ($P>0,05$), pelo teste de Tukey. n=3. * (média \pm DP)

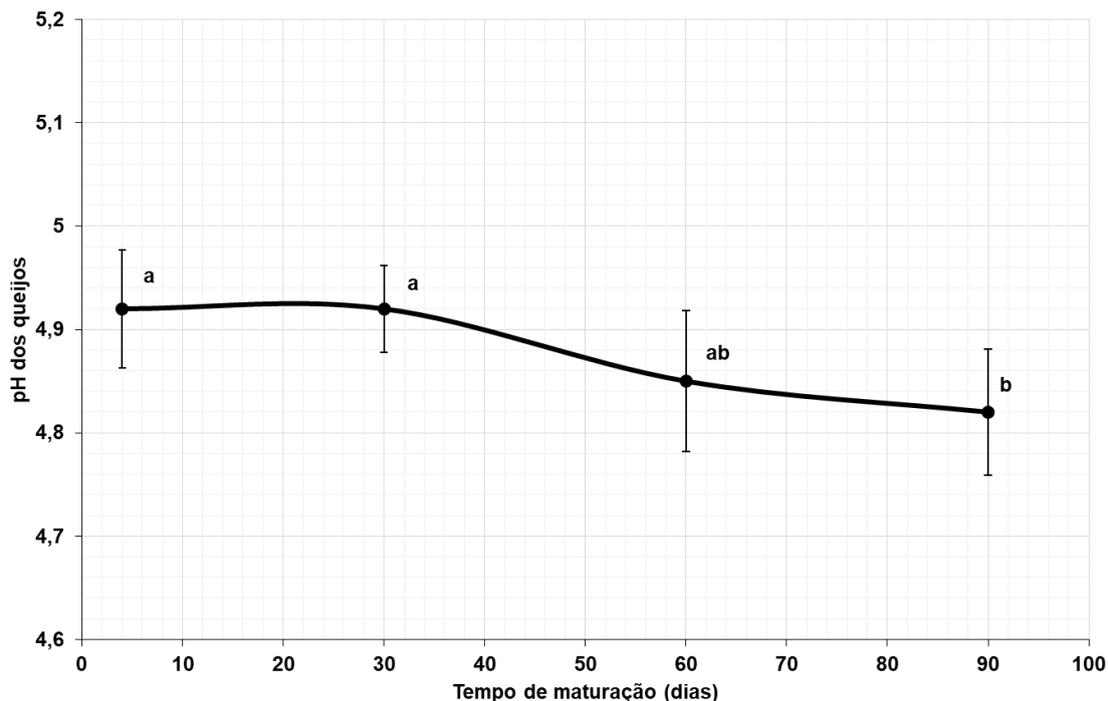


Figura 11. Gráfico do pH dos QMP, com e sem MPC, ao longo da maturação. a,b,c Médias seguidas pela mesma letra minúscula, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey. n=3.

O pH possui papel essencial para regular o desenvolvimento microbiano pelas bactérias do fermento láctico, a atividade das enzimas naturais do leite e também dos agentes coagulantes (LOURENÇO NETO, 2013). O pH está relacionado também com o teor percentual de umidade do queijo e possui papel fundamental na maturação. Conforme pôde ser visto neste estudo, o teor percentual de umidade dos queijos dos três tratamentos não sofreu mudanças significativas. Além disso, a cultura láctica utilizada nos três tratamentos foi a mesma, o que pode explicar o porquê de não ter havido alterações de pH entre os tratamentos. Neste trabalho, assim como em queijo Minas Padrão com redução de sódio (COSTA et al., 2019), também não houve diferença significativa da A_w dos queijos, o que pode ter contribuído para que não houvesse um aumento da atividade da bactéria láctica do fermento e, conseqüentemente, alteração do pH dos queijos.

Ao longo do tempo houve queda do pH dos queijos, o que era de se esperar. A redução do pH durante a maturação pode ser atribuída à fermentação da lactose residual presente no queijo, pelos microrganismos do fermento, com a produção de ácidos orgânicos (COSTA et al., 2019). Além disso, o fermento láctico mesófilo tipo

“O” pode provocar o abaixamento do pH do queijo e conseqüente diminuição do cálcio ligado às caseínas, causando uma característica mais quebradiça na estrutura do queijo (BURITI; ROCHA; SAAD, 2005). Efeito similar aconteceu com o queijo Minas Padrão produzido com redução de NaCl (COSTA et al., 2019), como também dos queijos fabricados neste trabalho, onde houve o abaixamento do pH ao longo da maturação, o que levou à formação de um sabor levemente ácido nos queijos e estrutura mais quebradiça, característica deste tipo de queijo.

5.3.6 Proteólise

Os índices de extensão e profundidade da proteólise foram utilizados para avaliar o avanço da maturação dos queijos deste experimento. O índice de extensão mede a proteólise primária, dada pela formação de peptídeos de alta massa molecular, gerados pela hidrólise das caseínas pela quimosina e pela plasmina nativa do leite. O índice de profundidade da proteólise mede os peptídeos de baixa massa molecular, assim como os aminoácidos gerados, principalmente pela ação de peptidases bacterianas do ácido láctico. Portanto, os dois índices têm correlação direta, sendo influenciados pelas mesmas variáveis, envolvidas no processo de fabricação de queijos.

Com relação à extensão e à profundidade da proteólise, não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos ($P>0,05$), conforme pode ser observado na Tabela 14.

Tabela 14. Extensão e profundidade da proteólise dos queijos Minas Padrão dentro de cada tratamento *

Tratamentos	Extensão	Profundidade
TC	8,93 ± 2,54 ^A	5,00 ± 1,88 ^A
T1	8,32 ± 2,04 ^A	4,60 ± 1,32 ^A
T2	8,67 ± 2,41 ^A	4,92 ± 1,42 ^A

^{A,B,C} Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, na mesma coluna, não diferem significativamente entre si ($P>0,05$), pelo teste de Tukey. n=3. * (média ± DP)

Para a interação tratamento x tempo, também não foram encontradas diferenças significativas para a extensão ($p=0,9813$), assim como para a profundidade ($p=0,5654$). Explicação provável foi que todos os queijos foram fabricados nos mesmos tanques de fabricação e usadas proporções iguais tanto de coagulante quanto do fermento láctico em todos os tratamentos. Além disso, os teores percentuais de umidade, cloretos e o pH dos queijos, índices estes que possuem correlação com a proteólise, também não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos. Outro fator que tem influência direta na proteólise dos queijos é a A_w , que controla a atividade das enzimas e dos microrganismos (CHOISY et al., 2000). No presente estudo também não foram observadas diferenças significativas para os valores de A_w dos queijos entre os tratamentos.

No entanto, ao longo do tempo, a ANOVA indicou haver diferença significativa ($P<0,05$), apresentando aumento gradativo, dos índices de extensão (Figura 12) e profundidade (Figura 13), proporcionalmente ao tempo de maturação dos queijos, o que era de se esperar. Estes resultados estão de acordo com outros encontrados por outros autores em queijo Minas Padrão (COSTA et al., 2019; PAULA, 2011), e queijo Gouda (MISTRY; PULGAR, 1996).

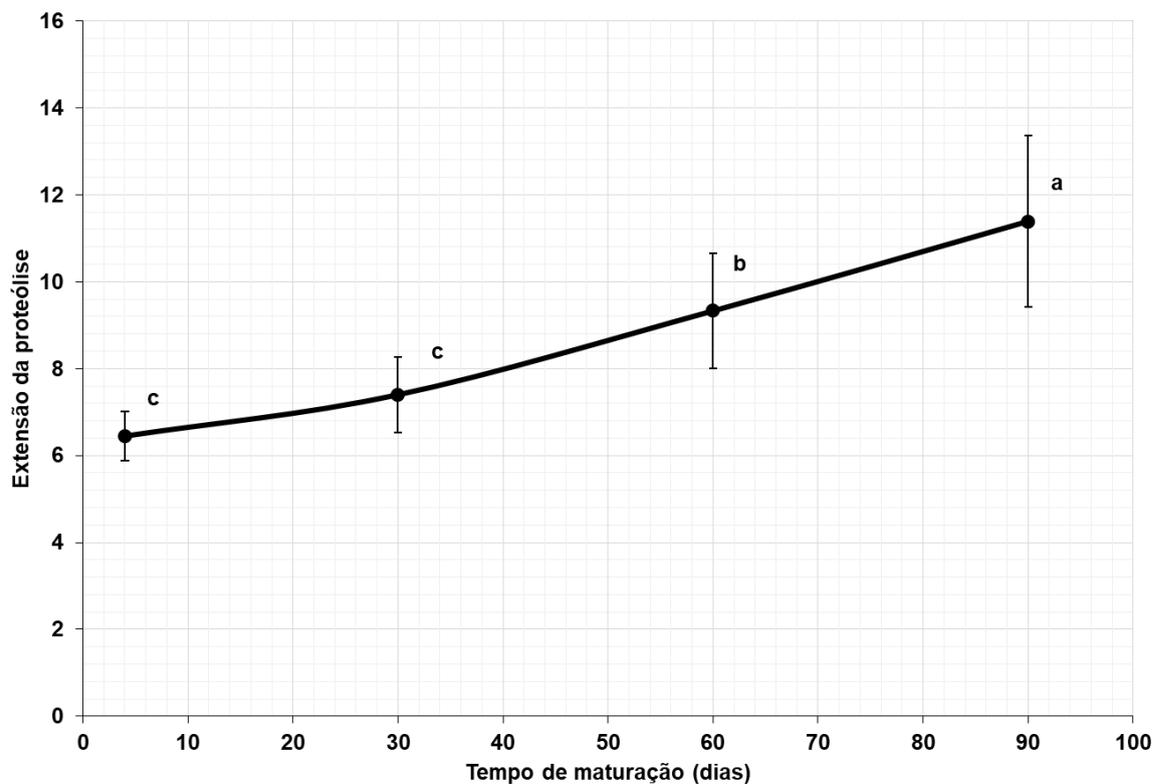


Figura 12. Gráfico do avanço da extensão da proteólise dos QMP, com e sem MPC, ao longo da maturação. ^{a,b,c} Médias seguidas pela mesma letra minúscula, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey. n=3.

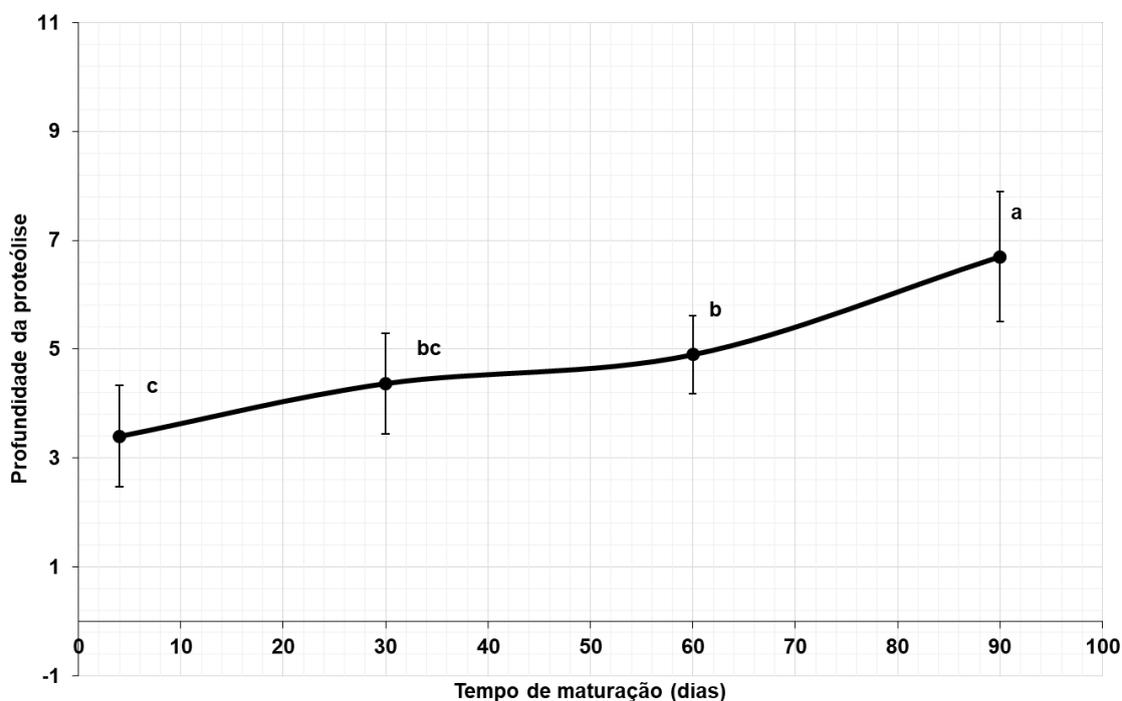


Figura 13. Gráfico do avanço da profundidade da proteólise dos QMP, com e sem MPC, ao longo da maturação. ^{a,b,c} Médias seguidas pela mesma letra minúscula, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey. n=3.

É possível observar também na Figura 12, que os valores médios de extensão da proteólise são maiores à partir dos 60 dias de maturação, sinalizando haver lentidão na extensão da proteólise até os 60 dias, com aumento significativo de 60 para 90 dias. Paula (2011) encontrou em seu estudo com queijo Minas Padrão, referente ao período de maturação de 60 e 90 dias, valores médios de extensão muito superiores ao encontrado no presente trabalho (9,33 e 11,39, respectivamente para estes períodos). Os índices apresentados em seu experimento, para o tempo de 60 dias foi de 12,19 e 15,56 para 90 dias, o que demonstra que os queijos Minas Padrão referentes ao experimento de Paula (2011) tiveram uma proteólise mais acelerada. Porém, os teores percentuais de umidade dos queijos Minas Padrão referentes ao estudo de Paula (2011) apresentaram teores médios percentuais de umidade superiores aos dos queijos deste estudo, na ordem de 8,6% acima dos encontrados no presente trabalho. Desta forma, é possível inferir que a extensão da proteólise ocorreu de maneira mais lenta para os queijos do presente estudo, por conta da menor disponibilidade de água para atuação das enzimas proteolíticas visto que, a proteólise corresponde à hidrólise da proteína e toda lise necessita de água disponível para acontecer.

5.3.7 Perfil de textura

Textura é a manifestação sensorial e funcional das propriedades estruturais, mecânicas e superficiais dos alimentos, detectadas pelos sentidos da visão, audição, tato e sinestésicas (FOEGEDING, 2007; SZCZESNIAK, 2002). Os métodos instrumentais constituem uma alternativa para a avaliação de textura, fornecendo dados instrumentais que podem estar relacionados com a descrição sensorial (LASSOUED et al., 2008). A textura de um queijo sofre influência principalmente do pH e da taxa de caseína intacta presente na massa do queijo e está diretamente relacionada à sua estrutura básica. Durante a maturação, a estrutura básica do queijo pode ser modificada. No decorrer da estocagem, a ocorrência de várias mudanças pode ser importante para o desenvolvimento da textura do queijo. No estágio inicial, por exemplo, a estrutura e a composição tornam-se mais uniformes, devido à fusão dos grãos de coalhada e à redução dos gradientes de sal, umidade e pH. Perto das extremidades dos queijos, acontecem perdas de água, seja por

evaporação ou avanço da sinérese, e também devido à proteólise e maturação que ocasionam o rompimento da rede de paracaseinato (CREAMER; OLSON, 1982; LAWRENCE; CREAMER; GILLES, 1987).

5.3.7.1 Dureza

A Tabela 15 apresenta os valores médios para a dureza dos queijos, dentro de cada tratamento e a Figura 14 mostra o comportamento da dureza dos queijos, ao longo da maturação. A dureza pode ser atribuída como um parâmetro primário da característica mecânica do queijo, sendo associada à força necessária para atingir uma dada deformação (FOX et al., 2004).

Tabela 15. Dureza (N) (g) dos queijos Minas Padrão dentro de cada tratamento *

Tratamentos	Médias
TC	39,89 ± 8,56 ^A
T1	40,21 ± 8,79 ^A
T2	39,70 ± 8,60 ^A

^{A,B,C} Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, na mesma coluna, não diferem significativamente entre si ($P > 0,05$), pelo teste t, $n=3$. * (média ± DP)

Não houve diferenças estatísticas significativas para a dureza dos queijos entre os tratamentos ($P > 0,05$), o que pode ser considerado um bom resultado, visto que o MPC não interferiu na textura dos mesmos. Segundo De Vuyst e Degeest (1999), alguns ingredientes acrescentados ao leite como: LPI e LPD, concentrado proteico de soro de leite (WPC), caseinato, amido modificado, pectina e gomas, aumentam a firmeza dos produtos lácteos. Em trabalhos realizados com iogurte desnatado adicionado de WPC foi observado aumento da firmeza e coesividade, além da diminuição da sinérese (ANTUNES, 2004; ANTUNES; ANTUNES; CARDELLO, 2004).

Na interação tratamento x tempo também não houve diferenças significativas ($p=0,9$). No entanto, ao longo do tempo de maturação, os queijos apresentaram diferenças significativas ($p<0,05$) (Figura 14).

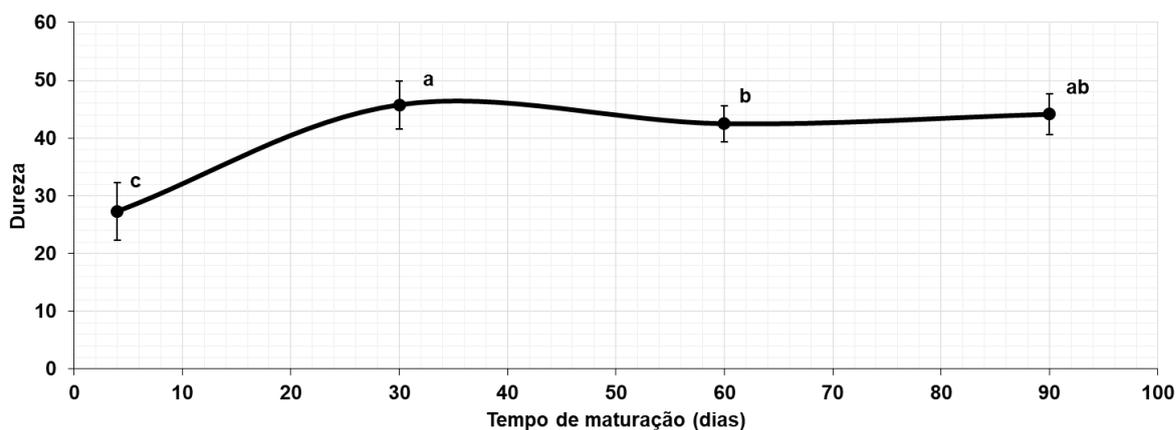


Figura 14. Dureza (N) dos QMP, com e sem MPC, ao longo da maturação. ^{a,b,c} Médias seguidas pela mesma letra minúscula, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey. $n=3$.

No período de 4 para 30 dias houve um aumento inesperado na dureza, possivelmente por ocasião de uma dessoragem, observada nos queijos antes de serem embalados, muito embora não tenha havido diferenças significativas no teor percentual de umidade dos queijos. Com o avanço da maturação, aos 60 e 90 dias os valores médios para a dureza começaram a decair, o que pode ser atribuído ao avanço da proteólise, que leva à uma redução na dureza do queijo. Costa et al. (2019), em estudo realizado com queijo Minas Padrão com redução de sódio utilizando KCl em substituição ao NaCl, encontraram aumento significativo na dureza dos queijos ao longo da maturação, o que foi atribuído à sinérese com consequente diminuição da umidade dos queijos. Estudos anteriores relacionam a acidificação dos queijos durante estocagem com o aumento da dureza, provavelmente devido à dessoragem (BURITI; ROCHA; SAAD, 2005; OLIVEIRA et al., 2012).

5.3.7.2 Mastigabilidade

A Tabela 16 apresenta os valores médios para a mastigabilidade dos queijos, dentro de cada tratamento e a Figura 15 mostra o comportamento da mastigabilidade dos queijos, ao longo da maturação. A mastigabilidade pode ser atribuída como um parâmetro secundário da característica mecânica do queijo, sendo associada à energia necessária para mastigar alimentos sólidos (FOX et al., 2004).

Tabela 16. Mastigabilidade (J) dos queijos Minas Padrão dentro de cada tratamento *

Tratamentos	Médias
TC	0,14 ± 0,025 ^A
T1	0,14 ± 0,029 ^A
T2	0,13 ± 0,025 ^A

^{A,B,C} Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, na mesma coluna, não diferem significativamente entre si ($P > 0,05$), pelo teste t, $n=3$. * (média ± DP)

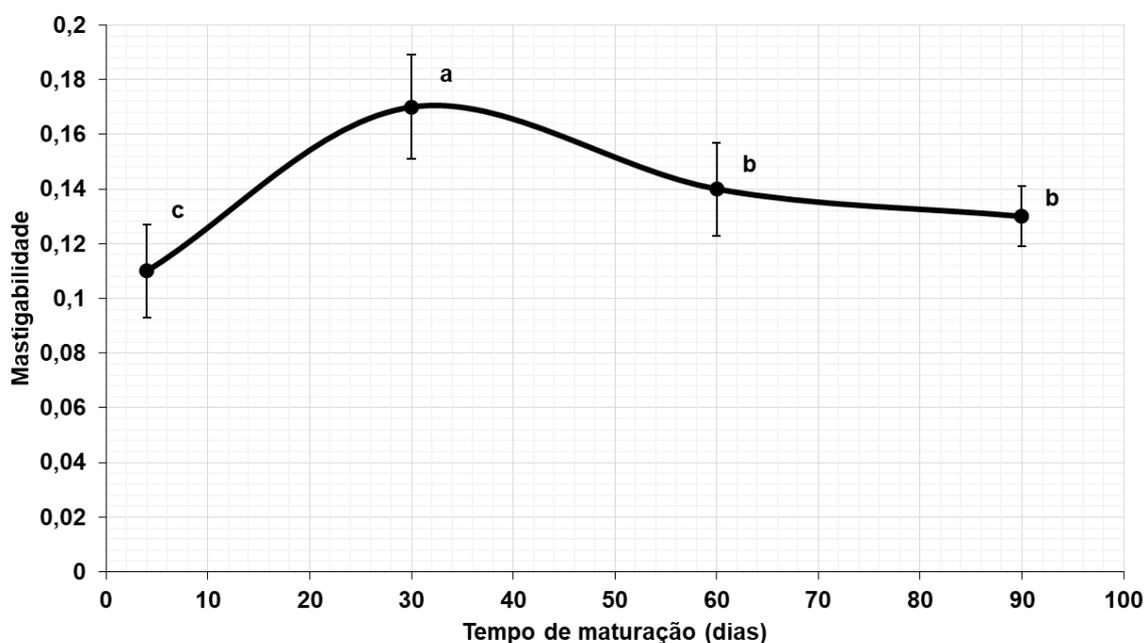


Figura 15. Gráfico da mastigabilidade dos QMP, com e sem MPC, ao longo da maturação. ^{a,b,c} Médias seguidas pela mesma letra minúscula, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey. $n=3$

Não houve diferenças estatísticas significativas para a mastigabilidade dos queijos entre os tratamentos ($P>0,05$), assim como na interação tratamento x tempo ($p=0,0595$). Porém, ao longo do tempo de maturação, os queijos apresentaram diferenças significativas ($p<0,05$) (Figura 15). O comportamento da mastigabilidade está associado à dureza, pois quanto mais duro o alimento, maior a resistência à quebra durante a sua mastigação (FOX et al., 2004). Similar à dureza, no período de 4 para 30 dias de maturação, houve um aumento do valor médio para a mastigabilidade dos queijos, com diminuição após este período, o que também pode ser atribuído à queda do pH e ao avanço da proteólise de 30 para 60 dias, tornando os queijos mais macios.

5.3.7.3 Adesividade

A Tabela 17 apresenta os valores médios para a adesividade dos queijos, dentro de cada tratamento e a Tabela 18 mostra o comportamento da adesividade dos queijos, ao longo da maturação. A adesividade pode ser atribuída como um parâmetro primário da característica mecânica do queijo, sendo associada ao trabalho feito pela boca para superar as forças de atração entre a superfície de um alimento e a superfície de outros materiais em contato com este alimento (FOX et al., 2004).

Tabela 17. Adesividade (KJ) dos queijos Minas Padrão dentro de cada tratamento *

Tratamentos	Médias
TC	0,605 ± 0,249 ^A
T1	0,511 ± 0,210 ^A
T2	0,668 ± 0,214 ^A

^{A,B,C} Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, na coluna, não diferem significativamente entre si ($P>0,05$), pelo teste t. n=3. * (média ± DP)

Tabela 18. Adesividade (KJ) dos queijos Minas Padrão ao longo da maturação *

Tempo (dias)	Médias
4	0,692 ± 0,34 ^A
30	0,532 ± 0,15 ^A
60	0,597 ± 0,26 ^A
90	0,557 ± 0,15 ^A

^{A,B,C} Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, na coluna, não diferem significativamente entre si ($P > 0,05$), pelo teste Tukey. $n=3$. * (média ± DP)

Não houve diferenças estatísticas significativas para a adesividade dos queijos entre os tratamentos ($P > 0,05$), assim como na interação tratamento x tempo ($p=0,1947$). Muito embora, a proteólise tenha aumentado ao longo do tempo de maturação, como era de se esperar, não houve diferenças significativas para a adesividade dos queijos com a maturação ($P > 0,05$). Tal fato pode ser explicado pela falta de diferenças também no teor percentual de gordura dos queijos, já que a gordura tem correlação direta com a adesividade do queijo.

5.3.7.4 Coesividade

A Tabela 19 apresenta os valores médios para a coesividade dos queijos, dentro de cada tratamento e a Figura 16 mostra o comportamento da coesividade dos queijos, ao longo da maturação. A coesividade pode ser atribuída como um parâmetro primário da característica mecânica do queijo, sendo associada às forças internas de ligações que compõem o corpo do produto (FOX et al., 2004).

Tabela 19. Coesividade dos queijos Minas Padrão dentro de cada tratamento *

Tratamentos	Médias
TC	0,71 ± 0,058 ^A
T1	0,71 ± 0,053 ^A
T2	0,69 ± 0,067 ^A

^{A,B,C} Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, na coluna, não diferem significativamente entre si ($P > 0,05$), pelo teste de Tukey. $n=3$. * (média ± DP)

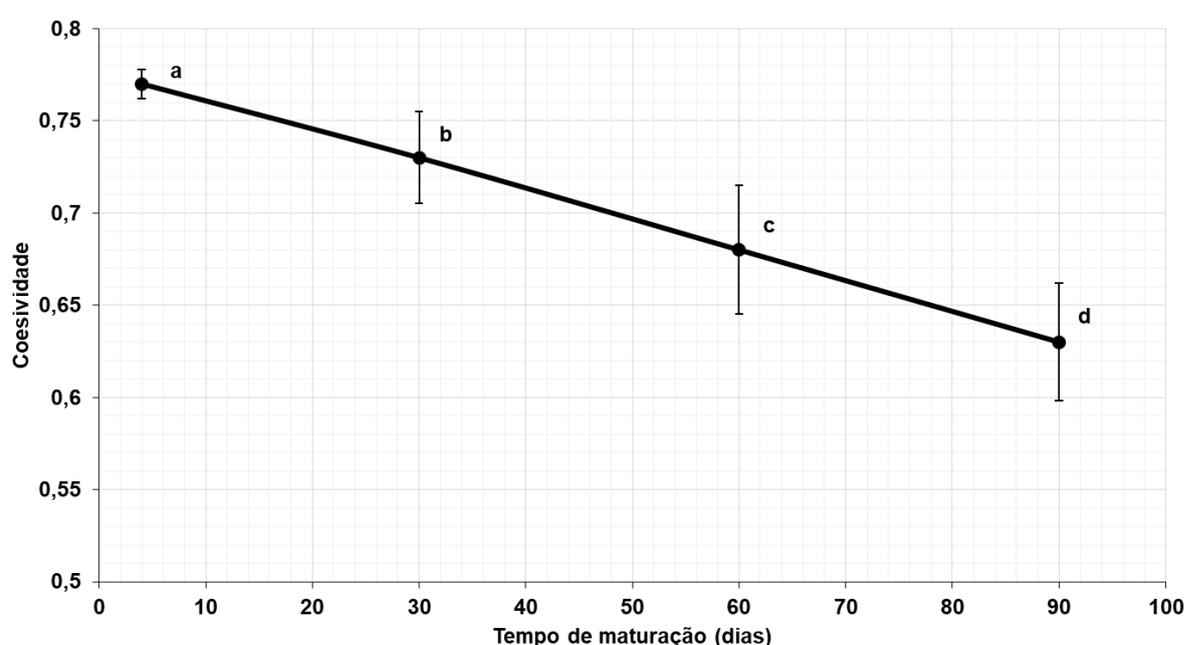


Figura 16. Gráfico da coesividade dos QMP, com e sem MPC, ao longo da maturação. ^{a,b,c} Médias seguidas pela mesma letra minúscula, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey. $n=3$.

Não houve diferenças estatísticas significativas para a coesividade dos queijos entre os tratamentos ($P > 0,05$), assim como na interação tratamento x tempo ($p=0,6644$). Porém, ao longo do tempo de maturação, os queijos apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$) (Figura 16), possivelmente devido à proteólise que provoca o enfraquecimento da rede proteica do queijo (LAWRENCE; CREAMER; GILLES, 1987) e com isso, ao longo do tempo, o queijo apresenta-se com estrutura mais quebradiça, característica deste tipo de queijo. Caro et al. (2011) também não encontrou diferenças significativas, entre os tratamentos dados ao queijo Oaxaca,

para a coesividade dos queijos fabricados com MPC, leite em pó desnatado (LPD) e o controle.

5.3.7.5 Elasticidade

A Tabela 20 apresenta os valores médios para a elasticidade dos queijos, dentro de cada tratamento e a Figura 17 mostra o comportamento da elasticidade dos queijos, ao longo da maturação. A elasticidade pode ser atribuída como um parâmetro primário da característica mecânica do queijo, sendo associada à taxa na qual um material deformado retorna à sua forma original após remoção da força de deformação (FOX et al., 2004).

Tabela 20. Elasticidade (mm) dos queijos Minas Padrão dentro de cada tratamento *

Tratamentos	Médias
TC	5,09 ± 0,10 ^A
T1	5,10 ± 0,12 ^A
T2	5,07 ± 0,13 ^A

^{A,B,C} Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, na coluna, não diferem significativamente entre si ($P > 0,05$), pelo teste de Tukey. n=3. * (média ± DP)

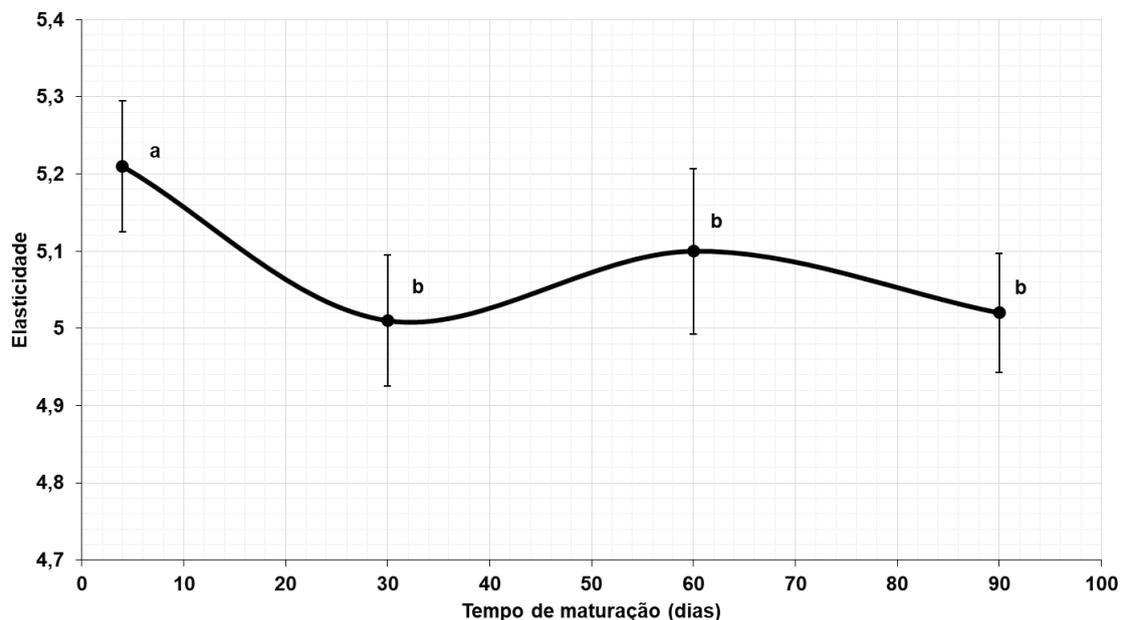


Figura 17. Gráfico da elasticidade dos QMP, com e sem MPC, ao longo da maturação. ^{a,b,c} Médias seguidas pela mesma letra minúscula, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey. $n=3$.

Não houve diferenças estatísticas significativas para a elasticidade dos queijos entre os tratamentos ($P>0,05$), assim como na interação tratamento x tempo ($p=0,9382$). Em contraste com o resultado apresentado neste estudo, no caso do queijo mexicano Oaxaca, a utilização de MPC influenciou a elasticidade dos queijos produzidos, com diferenças significativas entre os tratamentos: os queijos fabricados com o uso de 3,0 kg de MPC / 100 kg de leite apresentaram valores médios superiores ao controle ($P<0,05$) (CARO et al., 2011). No presente estudo foi considerada, para os cálculos de suplementação, a porcentagem de caseínas contida na base seca do MPC sobre o teor percentual de caseínas do leite original e a padronização da gordura foi efetuada com base na mesma relação C/G do leite in natura. No queijo mexicano Oaxaca, a adição dos 3% de MPC foi adicionada para alcançar 11% de sólidos não gordurosos (ESD) no leite, além da gordura do leite ter sido padronizada para o teor percentual de 3,5%. Este desacordo de resultados pode ter sido atribuído à padronização da gordura dos dois trabalhos que adotaram métodos distintos.

Ao longo do tempo de maturação, os queijos deste experimento apresentaram diferenças significativas ($p<0,05$) (Figura 17). Nota-se que, no período de 4 para 30 dias houve uma redução da elasticidade, o que coincide com a diminuição da

coesividade dos queijos, tornando-os mais quebradiços e menos coesos, o que é desejável para o queijo Minas Padrão.

5.3.8 Avaliação da cor

De acordo com Ramos (2013), a cor é uma propriedade de aparência relacionada com a distribuição espectral da luz. Ao ver um alimento, geralmente a correlação que se faz é com o seu aspecto visual e, desta maneira, a maior tendência para a sua aceitação depende da sua cor. Por este motivo, a cor exerce uma forte influência na decisão de compra do consumidor. Além disso, a cor também está relacionada com a qualidade e o uso de corantes nos alimentos. No entanto, não foi encontrada uma referência disponível na literatura sobre dados à respeito da avaliação da cor $L^*a^*b^*$ do queijo Minas Padrão. No presente estudo, foi possível notar diferenças relevantes nos parâmetros $L^*a^*b^*$ das amostras.

O parâmetro L^* indica a luminosidade e a capacidade de um objeto de refletir ou transmitir luz. Portanto, os valores de L^* que em uma escala de 0 (preto) a 100 (branco) indicam a luminosidade, não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos ($P > 0,05$) (Tabela 21), nem na interação tratamento x tempo ($p = 0,5987$). Logo, é correta a afirmação de que o uso de MPC não influenciou no parâmetro de cor L^* da cor dos queijos. Contudo, após 30 dias de maturação, os queijos tornaram-se mais escuros (Figura 18). Este comportamento pode ter sido influenciado pela maturação. Resultado semelhante foi retratado por Ramos (2013) em queijo Prato que, após 60 dias de maturação também apresentou valores mais altos, e portanto mais escuros, para o parâmetro de cor L^* . O autor observou que, no início da maturação, os queijos Prato, de uma maneira geral, apresentaram-se esbranquiçados e, no transcorrer da maturação, os mesmos foram ficando mais amarelos e com a coloração mais homogênea.

Tabela 21. Parâmetro de cor L* dos queijos Minas Padrão dentro de cada tratamento *

Tratamentos	Médias
TC	84,31 ± 1,25 ^A
T1	84,10 ± 1,17 ^A
T2	83,87 ± 1,28 ^A

^{A,B,C} Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, na coluna, não diferem significativamente entre si ($P>0,05$), pelo teste de Tukey. n=3. * (média ± DP)

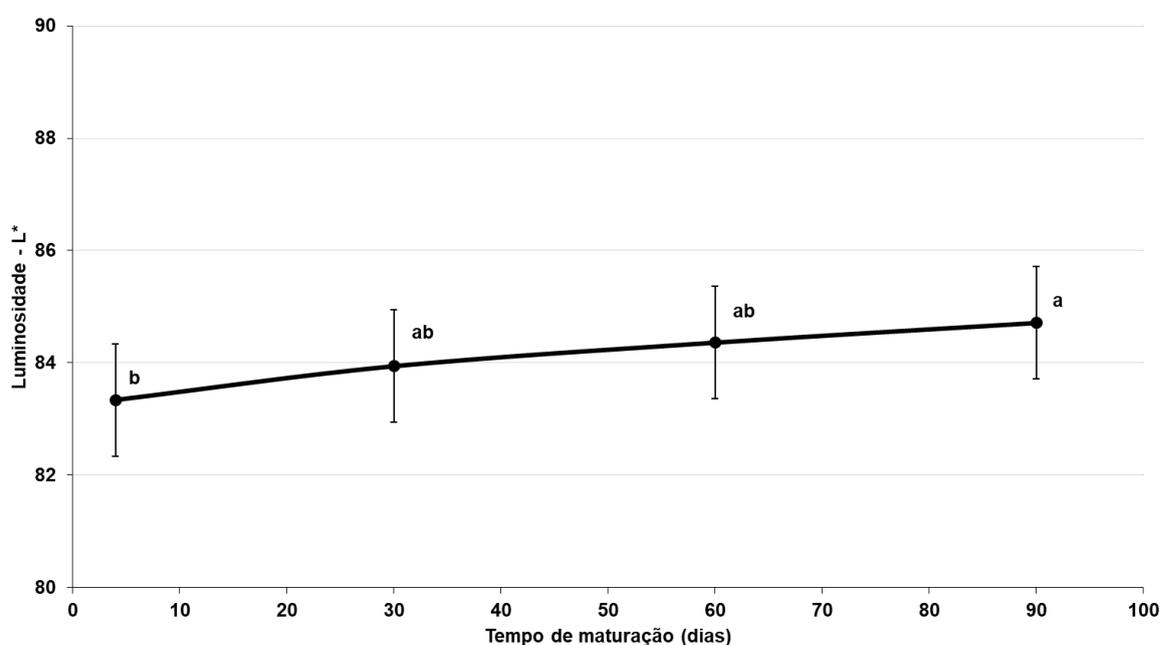


Figura 18. Gráfico do comportamento da cor dos QMP, ao longo da maturação, para o parâmetro de cor L*. ^{a,b,c} Médias seguidas pela mesma letra minúscula, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey. n=3

O valor de a* positivo, que representa a intensidade da cor vermelha, apresentou diferença significativa entre os tratamentos ($P<0,05$) (Tabela 22) com relação ao controle, o que mostra claramente que a proteína teve influência na coordenada a* de cor dos queijos. Assim, os queijos com teores mais altos de proteína apresentaram maior intensidade da cor vermelha, possivelmente devido ao processo de secagem utilizado para obtenção do MPC. Contudo, ao longo da maturação, como demonstrado na Tabela 23, os queijos não apresentaram diferenças ($P>0,05$) quanto à intensidade da cor vermelha. O mesmo aconteceu na interação tratamento x tempo ($p=0,8166$). Comportamento contrário foi observado

para o queijo Prato que teve um aumento da intensidade da cor vermelha durante a maturação (BASTOS, 2015). Em queijos mais frescos, como é o caso do Minas Frescal, por exemplo, os valores apresentados para o parâmetro de cor a^* foram mais baixos, indicando uma tendência à cor verde para queijos mais avançados (BONGIOLO et al., 2014), diferindo portanto, ao longo do tempo.

Tabela 22. Parâmetro de cor a^* dos queijos Minas Padrão dentro de cada tratamento *

Tratamentos	Médias
TC	1,30 \pm 0,33 ^B
T1	1,66 \pm 0,32 ^A
T2	1,56 \pm 0,31 ^A

^{A,B,C} Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, na coluna, não diferem significativamente entre si ($P > 0,05$), pelo teste de Tukey. $n=3$. * (média \pm DP)

Tabela 23. Parâmetro de cor a^* dos queijos Minas Padrão ao longo da maturação *

Tempo	Médias
4	1,46 \pm 0,43 ^A
30	1,50 \pm 0,43 ^A
60	1,51 \pm 0,31 ^A
90	1,55 \pm 0,24 ^A

^{A,B,C} Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, na coluna, não diferem significativamente entre si ($P > 0,05$), pelo teste t. $n=3$. * (média \pm DP)

Com relação ao parâmetro b^* , todas as amostras de queijo apresentaram valores positivos indicando uma tendência para a cor amarela. Não foi observada diferença significativa ($P > 0,05$) entre os tratamentos, conforme Tabela 24, e nem na interação tratamento x tempo ($p=0,7442$), o que indica que o uso do MPC não afetou significativamente o parâmetro b^* de cor dos queijos. Contudo, com o decorrer da maturação (Figura 19), os queijos tiveram uma leve tendência a ficar menos amarelos, muito possivelmente porque foram maturados com embalagem. Normalmente o esperado é que, quanto mais a proteólise avança, maior a tendência

dos queijos se tornarem mais amarelados, principalmente em queijos maturados fora da embalagem. O mesmo teor de umidade dos queijos pode ter contribuído para manter a mesma cor amarela durante toda a maturação. Em queijo Prato, por exemplo, o índice de “amarelamento” dos queijos, correlacionado ao valor de b^* , aumenta com o tempo e a cor amarela, portanto, está diretamente ligada com o teor de gordura e corante adicionado durante a sua fabricação (GARCIA, 2007; GINZINGER et al., 1999; RAMOS, 2013).

Neste trabalho porém, foi possível verificar que os queijos apresentaram uma cor branca amarelada, que contribui principalmente para as características de cor deste tipo de queijo, em virtude da predominância da cor amarela sobre a cor azul, principalmente porque a elevação no parâmetro L^* foi coerente com o avanço da maturação. Uma vez que a legislação brasileira não estabelece padrões para a investigação centrada na avaliação instrumental da cor dos queijos Minas Padrão, é evidente a falta de dados claros para a comparação e padronização dos queijos.

Tabela 24. Parâmetro de cor b^* dos queijos Minas Padrão dentro de cada tratamento *

Tratamentos	Médias
TC	$20,87 \pm 1,95^A$
T1	$21,78 \pm 1,83^A$
T2	$21,64 \pm 1,92^A$

A,B,C Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, na coluna, não diferem significativamente entre si ($P>0,05$), pelo teste de Tukey. $n=3$. * (média \pm DP)

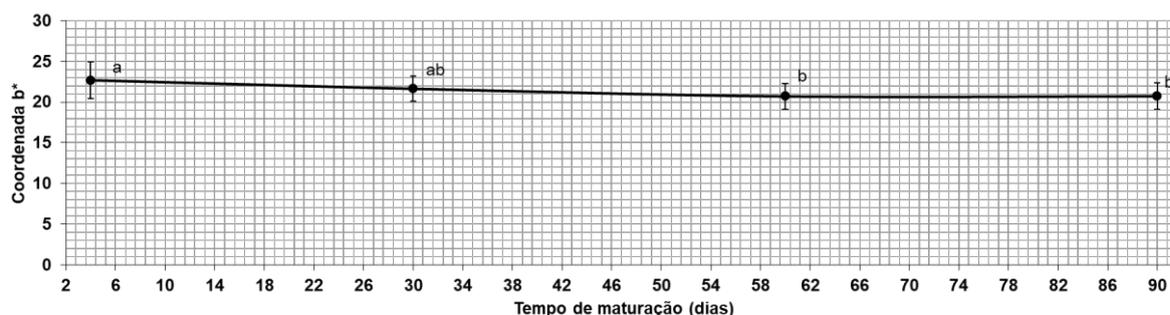


Figura 19. Gráfico do comportamento da cor dos QMP, ao longo da maturação, para a coordenada “ b^* ”. a,b,c Médias seguidas pela mesma letra minúscula, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey. $n=3$.

5.3.9 Análises microbiológicas dos queijos

Os resultados das análises microbiológicas para coliformes e *Staphylococcus aureus* apresentaram-se dentro dos critérios de aceitação estabelecidos pela legislação brasileira para queijos de média umidade (BRASIL, 1996). Não existem na legislação brasileira normas que estabeleçam padrões microbiológicos para a contagem de mesófilos aeróbios estritos e facultativos, bem como para bolores e leveduras e *E. coli*. No entanto, a enumeração desses grupos microbianos tem sido usada como indicador da qualidade higiênica dos alimentos e servem para estimar a sua vida de prateleira. Quando presentes em concentrações elevadas, podem afetar a qualidade, comprometendo a estabilidade dos produtos alimentícios durante a estocagem. Alterações ocasionadas por esses microrganismos são evidenciadas pelo aparecimento de “off-flavor” (JAY, 2000). Os queijos apresentaram ausência para os patógenos: *Salmonella sp.* e *Listeria monocytogenes*.

5.3.10 Avaliação sensorial

Não foram observadas diferenças significativas nos testes de aceitação pelos consumidores entre os tratamentos ($P > 0,05$) (Tabela 25). O mesmo comportamento pôde ser observado na interação tratamento x tempo ($p = 0,7640$), o que demonstra que a utilização do MPC como extensor para a fabricação deste tipo de queijo, não provocou nenhum tipo de alteração no sabor, consistência e textura do queijo. Resultados sensoriais de estudo realizado por Harvey (2006) demonstraram também que o uso de MPC para aumentar o teor de proteína do leite para 4,5%, 5,42% e 5,38% para os queijos Cheddar, Feta e Muçarela, respectivamente, não apresentou diferenças nas características sensoriais dos queijos, não afetando portanto, nem o aroma e nem a textura dos queijos quando comparados com o controle. Efeito contrário, por exemplo, foi evidenciado para os testes de aceitação de queijos Minas Frescal suplementados com concentrado proteico de soro (WPC – *Whey Protein Concentrate*) que demonstraram haver diferenças significativas entre os tratamentos, com preferência dos consumidores pelos queijos fabricados pelo processo tradicional (COSTA JÚNIOR, 2006).

Já ao longo do tempo, os testes de aceitação demonstraram haver diferenças significativas ($P < 0,05$), como demonstrado na Tabela 26. Neste contexto, os queijos com 30 dias de maturação, foram mais bem aceitos pelos consumidores, o que pode ser explicado pela maturação, ocorrida de 4 dias para 30 dias, cuja influência no sabor, textura e aroma dos queijos foi percebida claramente pelos provadores. Contudo, a partir de 30 dias, houve uma diminuição na aceitação dos queijos pelos consumidores, o que demonstra que o melhor tempo para consumir este tipo de queijo é quando o mesmo atinge os 30 dias de maturação. Mistry e Pulgar (1996) observaram que o queijo Gouda fabricado com 2% de concentrado proteico de leite apresentou preferência nas suas características sensoriais no período de 8 dias ao invés de 22 dias de maturação, sugerindo ter sido por conta do queijo ter apresentado taxas mais lentas de maturação, em função da umidade na massa desengordurada do queijo ter sido mais baixa.

Para os testes de preferência, os resultados são apresentados na Tabela 27 e levam à conclusão de que não houve preferência significativa entre os tratamentos – TC, T1 e T2, em todos os tempos analisados, ao longo da maturação, o que corrobora com os resultados dos testes de aceitação.

Tabela 25. Avaliação sensorial pelo teste de aceitação dos queijos Minas Padrão dentro de cada tratamento *

Tratamentos	Médias
TC	6,83 ± 0,86 ^A
T1	6,97 ± 0,72 ^A
T2	6,97 ± 0,79 ^A

^{A,B,C} Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, na coluna, não diferem significativamente entre si ($P > 0,05$), pelo teste t. n=3. * (média ± DP)

Tabela 26. Avaliação sensorial pelo teste de aceitação dos queijos Minas Padrão ao longo da maturação *

Tempo (dias)	Médias
4	6,79 ± 0,74 ^B
30	7,32 ± 0,58 ^A
60	6,88 ± 0,80 ^B
90	6,72 ± 0,91 ^B

^{A,B,C} Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, na coluna, não diferem significativamente entre si ($P>0,05$), pelo teste t. n=3. * (média ± DP)

Tabela 27. Avaliação sensorial pelo teste de preferência dos queijos Minas Padrão ao longo da maturação *

Tratamentos	Período de maturação (dias)			
	4	30	60	90
TC	61 ^a	67 ^a	64 ^a	63 ^a
T1	65 ^a	74 ^a	70 ^a	67 ^a
T2	71 ^a	65 ^a	68 ^a	68 ^a

^{a,b,c} Letras minúsculas iguais na mesma linha não diferem significativamente entre si ($P>0,05$), pelo teste de Friedman. n=3. * (média ± DP)

5.4 CONCLUSÃO

A utilização de MPC em leite para Minas Padrão não interferiu nas características físico-químicas dos queijos, como também no pH, proteólise, perfil de textura, parâmetro de cor L^* e coordenada b^* , entre os tratamentos. Não houve diferença também para a aceitação, assim como na preferência sensorial entre os tratamentos. No entanto, para a coordenada de cor a^* , houve diferença significativa entre os tratamentos e os queijos produzidos com MPC tornaram-se mais avermelhados que o controle. A suplementação com MPC melhorou o rendimento ajustado (RAJ), que apresentou ganhos em níveis superiores ao incremento de proteína adicionado. Os queijos apresentaram-se mais firmes no período de 4 para 30 dias de maturação, tornando-se mais macios após os 30 dias, com maior facilidade para a mastigação e com textura quebradiça, desejável para este tipo de queijo. O melhor nível de aceitação dos queijos ocorreu aos 30 dias de maturação. No decorrer do tempo, os queijos apresentaram leve tendência a ficarem menos amarelos. A suplementação de leite com MPC para queijo Minas Padrão impactou positivamente no rendimento, além de apresentar uma boa aceitação pelos consumidores, demonstrando que é absolutamente possível e recomendável a sua utilização para a fabricação deste tipo de queijo.

5.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, L. S. et al. Yield, changes in proteolysis, and sensory quality of Prato cheese produced with diferente coagulants. **Journal of Dairy Science**, v. 96, p. 7490-7499, 2013.

ANTUNES, A. E. C. Elaboración de yogurt descremado con perfil de textura y syneresis similares al yogurt integral. **Alimentaria**, v. 356, p. 61–67, 2004.

ANTUNES, A. E. C.; ANTUNES, A. J.; CARDELLO, H. M. A. B. Chemical, physical microstructural and sensory properties of set fat-free yogurts stabilized with whey protein concentrate. **Milchwissenschaft**, v. 59, n. 3–4, p. 161–165, 2004.

AOAC - ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. Official Methods of Analysis of AOAC International. 20 ed. Washington, DC: AOAC International, 2016.

ASSUMPÇÃO, G. M. P. **Caracterização de Queijo tipo Camembert fabricado com adição de concentrados lácteos proteicos**. 2016. 208 p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras - MG, 2016.

BARBANO, D. M.; LYNCH, J.; FLEMING, J. R. Direct and indirect determination of true protein content of milk by Kjeldahl analysis: collaborative study. **AOAC International**, v. 74, p. 281–288, 1991.

BASTOS, R. A. **Influência do armazenamento e da contagem de bactérias psicrotrofias do leite nas características do queijo Prato durante a maturação**. 2015. 209 p: il. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras - MG, 2015.

BONGIOLO, R. et al. Rheological , physicochemical and authenticity assessment of Minas Frescal cheese. **Food Control**, v. 45, p. 22–28, 2014.

BRASIL, 2006. Instrução Normativa nº 68, de 12 de dezembro de 2006, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2006.

BRASIL, 1996. Portaria nº 146 de 7 de março de 1996. Aprova o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade dos Queijos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 11 de março de 1996.

BURITI, F. C. A.; ROCHA, J. S.; SAAD, S. M. I. Incorporation of *Lactobacillus acidophilus* in Minas fresh cheese and its implications for textural and sensorial properties during storage. **International Dairy Journal**, v. 15, p. 1279–1288, 2005.

CARO, I. et al. Composition, yield, and functionality of reduced-fat Oaxaca cheese:

effects of using skim milk or a dry milk protein concentrate. **Journal of dairy science**, v. 94, n. 2, p. 580–588, 2011.

CHAVES, J. B. P.; SPROESSER, R. L. **Práticas de laboratório de análise sensorial de alimentos e bebidas**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. Imprensa Universitária. 81 p. 1996.

CHOISY, C. et al. The biochemistry of ripening. In: ECK, A.; GILLIS, J. C. (Eds.). **Cheese making: from science to quality assurance**. 2nd. ed. Paris: Lavoisier, p. 82–151, 2000.

COSTA JÚNIOR, L. C. G. **Uso de extensores na fabricação de queijo Minas Frescal**. 2006. 76 p. : il. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras - MG, 2006.

COSTA, R. G. B. et al. Effect of partial replacement of sodium chloride with potassium chloride on the characteristics of Minas Padrão cheese. **Internacional Dairy Journal**, v. 91, p. 48–54, 2019.

CREAMER, L. K.; OLSON, F. Rheological Evaluation of Maturing Cheddar Cheese. **Journal of Food Science**, v. 47, p. 631–636, 1982.

DE VUYST, L.; DEGEEST, B. Heteropolysaccharides from lactic acid bacteria. **FEMS Microb. Rev.**, v. 23, n. 2, p. 153–177, 1999.

DYBOWSKA, B. E. Properties of milk protein concentrate stabilized oil-in-water emulsions. **Journal of Food Engineering**, v. 88, n. 4, p. 507–513, 2008.

FERREIRA, D. F. SISVAR : A COMPUTER STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM
Sisvar : um sistema computacional de análise estatística. **Ciênc. Agrotec.**, v. 35, n. 6, p. 1039–1042, 2011.

FOEGEDING, E. A. Rheology and sensory texture of biopolymer gels. **Current Opinion in Colloid and Interface Science**, v. 12, p. 242–250, 2007.

FOX, P. F. et al. **Cheese: chemistry, physics & microbiology: general aspects**. 3 ed. London: Ed. Elsevier. 1069 p. 2004.

FOX, P.F. et al. **Fundamentals of Cheese Science**. 2° ed. Springer New York, 2017.

FRANCOLINO, S. et al. Use of milk protein concentrate to standardize milk composition in Italian citric Mozzarella cheese making. **Lebensm-Wiss Technol**, v. 43, p. 310–314, 2010.

GADONSKI, A. P. et al. Avaliação do efeito cromático em resinas compostas nanoparticuladas submetidas a solução café. **Revista de Odontologia da UNESP**, v. 47, n. 3, p. 137–142, 2018.

GARCIA, G. A. C. **Efeito do uso de enzimas proteolíticas na maturação do queijo prato com teor reduzido de gordura**. 2007. 154 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Alimentos) - Universidade Estadual Paulista, 2007.

GINZINGER, W. et al. Original article Raw milk flora affects composition and quality of Bergkâse , 3 . Physical and sensory properties , and conclusions. **Lait**, v. 79, n. 4, p. 411–421, 1999.

GUINEE, B. Y. T. P.; PUDJA, P. D.; MULHOLLAND, E. Effect of milk protein standardization , by ultrafiltration , on the manufacture , composition and maturation of Cheddar cheese. **Journal Dairy Research**, v. 61, p. 117-131, 1994.

GUINEE, T. P.; KENNEDY, B. T. O.; KELLY, P. M. Effect of Milk Protein Standardization Using Different Methods on the Composition and Yields of Cheddar Cheese. **Journal of Dairy Science**, v. 89, n. 2, p. 468–482, 2006.

HARVEY, J. Protein fortification of cheese milk using milk protein concentrate-yield improvement and product quality. **The Australian Journal of Dairy Technology**, v. 61, n. 2, p. 183, 2006.

JAY, J. M. **Modern Food Microbiology**. 6. ed. Aspen Publishers, Inc. 625p. 2000.

LASSOUED, N. et al. Baked product texture: correlations between instrumental and sensory characterization using Flash Profile. **Journal of Cereal Science**, v. 48, n. 1, p. 133–143, 2008.

LAWRENCE, R. C.; CREAMER, L. K.; GILLES, J. Texture Development During Cheese Ripening. **Journal of Dairy Science**, v. 70, n. 8, p. 1748–1760, 1987.

LOURENÇO NETO, J. P. M. **Queijos: aspectos tecnológicos**. 1. ed. Editora Master Graf. 270 p. 2013.

LUCEY, J.; KELLY, J. Cheese yield. **J. Soc. Dairy Techn.**, v. 47, p. 1–14, 1994.

MAGALHÃES, F. A. R. **Correlação entre medidas físico-química e sensoriais na avaliação da qualidade do queijo tipo Gorgonzola**. 2002. 89 p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras - MG, 2002.

MAZAL, G. et al. Effect of somatic cell count on Prato cheese composition. **J. Dairy**

Sci., v. 90, p. 630–636, 2007.

MINIM, V. P. R. **Análise sensorial: estudos com consumidores**. Viçosa - MG: Editora UFV. Universidade Federal de Viçosa. 225 p. 2006.

MISTRY, V. V; PULGAR, J. B. **Use of High Milk Protein Powder in the Manufacture of Gouda Cheese**. v. 6, 1996.

OLIVEIRA, M. E. G. DE et al. Technological, physicochemical and sensory characteristics of a Brazilian semi-hard goat cheese (coalho) with added probiotic lactic acid bacteria. **Scientia Agricola**, v. 69, p. 370–379, 2012.

PAULA, J. C. J. **Efeito do uso de dióxido de carbono (CO₂) na fabricação de queijos Minas Frescal e Minas Padrão**. 2010. 135 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, 2010.

PAULA, J. C. J. Efeito do uso de dióxido de carbono (CO₂) na microestrutura dos queijos Minas Frescal e Minas Padrão. **Rev. Inst. Latic. Cândido Tostes**, v. 66, n.383, p. 13-19, 2011.

PEREIRA, D. B. C. et al. **Físico-química do leite e derivados - métodos analíticos**. 2 ampl ed. Juiz de Fora: Templo Gráfica e Editora, 2001.

RAMOS, T. DE M. **Tipos de pasteurização e agentes coagulantes na fabricação do queijo tipo Prato**. 2013. 231 p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras - MG, 2013.

RUSSELL, N. J.; GOULD, G. W. **Food Preservatives**. 2ed. Editora Springer, US. 393 p. 2003.

SHAKEEL-UR-REHMAN et al. Effects of standardization of whole milk with dry milk protein concentrate on the yield and ripening of reduced-fat cheddar cheese. **Journal of dairy science**, v. 86, n. 5, p. 1608–1615, 2003.

SZCZESNIAK, A. S. Texture is a sensory property. **Food Quality and Preference, Elsevier**, v. 13, p. 215–225, 2002.

6 CONCLUSÕES GERAIS

O presente trabalho apresenta características importantes sob os pontos de vista científico e da inovação industrial, que devem ser levados em consideração, para aplicação prática na indústria de queijos.

Sob a ótica da ciência, cabe ressaltar o caráter pioneiro deste estudo em utilizar o analisador de partículas por difração a laser como ferramenta para entender a cinética de reidratação do MPC em pó no leite destinado à fabricação de queijos. Os resultados obtidos nesta pesquisa demonstram que é possível definir um protocolo, a ser adotado pela indústria, com a garantia da total solubilização do MPC em pó no meio, e foco na otimização dos processos industriais, com abrangência ainda para o controle de qualidade, no que concerne à garantia do produto sob o ponto de vista tecnológico.

O trabalho proporciona também o entendimento sobre o efeito do uso do MPC na produção do queijo Minas Padrão e nas características físico-químicas, reológicas e sensoriais dos queijos fabricados, deixando clara a viabilização de sua utilização como uma nova alternativa tecnológica para aumentar rendimento e competitividade a ser adotada pela indústria queijeira.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Existe um campo para novos estudos sobre o entendimento da cinética de reidratação do MPC em pó no leite para as condições da pasteurização rápida. Além disso, é importante ressaltar que a cinética de reidratação dos MPCs pode variar entre pós de fabricantes diferentes, podendo também, depender do processamento empregado para a sua obtenção. Sob esta ótica, cabe ressaltar que os resultados de rendimento obtidos neste estudo podem apresentar variações em estudos posteriores, dependendo da procedência, processo de fabricação, condições de armazenamento e validade do MPC em pó a ser empregado.

O uso do MPC70 como extensor para a fabricação de queijos pode ser uma excelente alternativa a ser adotada pela indústria para aumentar a produção, principalmente em períodos de escassez de leite e/ou demanda potencial de

consumo de queijo e, até mesmo na condição de aumento de produção sem que haja ampliação das instalações e equipamentos. O MPC70 utilizado neste estudo possui um custo benefício interessante, principalmente no Brasil onde o leite apresenta teores percentuais de caseína baixos.