



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA – UESB
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E CIÊNCIA DE
ALIMENTOS

AVALIAÇÃO DE PROPRIEDADES MECÂNICAS, FÍSICO-QUÍMICAS E
INFLUÊNCIA DO TIPO DE ACIDIFICANTE E TEMPO DE ARMAZENAMENTO
VISANDO À APLICAÇÃO NO CONTROLE DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE
QUEIJOS DE COALHO

DAVI NOVAES LADEIA FOGAÇA

Itapetinga
Bahia-Brasil

2014

DAVI NOVAES LADEIA FOGAÇA

**AVALIAÇÃO DE PROPRIEDADES MECÂNICAS, FÍSICO-QUÍMICAS E
INFLUÊNCIA DO TIPO DE ACIDIFICANTE E TEMPO DE ARMAZENAMENTO
VISANDO À APLICAÇÃO NO CONTROLE DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE
QUEIJOS DE COALHO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB, como parte integrante das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, área de concentração em Engenharia de Processos de Alimentos, para obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciência de Alimentos.

Orientador:

Prof. DSc. Luciano Brito Rodrigues

Co-orientadora:

Prof^a. DSc. Gabrielle Cardoso Reis Fontan

**Itapetinga
Bahia-Brasil**

2014

637.356 Fogaça, Davi Novaes Ladeia
F683a Avaliação de propriedades mecânicas, físico-químicas e influência do tipo de acidificante e tempo de armazenamento visando à aplicação no controle do processo de produção de queijos de coalho. / Davi Novaes Ladeia Fogaça. - Itapetinga: UESB, 2014.
75f.

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB - *Campus* de Itapetinga, como parte integrante das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, área de concentração em Engenharia de Processos de Alimentos, para obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciência de Alimentos. Sob a orientação do Prof. D.Sc. Luciano Brito Rodrigues e co-orientação da Profa. D.Sc. Gabrielle Cardoso Reis Fontan.

1. Queijo de coalho – Propriedades mecânicas. 2. Queijo de coalho – Rendimento - Fluência. 3. Queijo de coalho - Desmineralização - Proteólise. 4. Queijo de coalho – Controle da qualidade e produção. I. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos. II. Rodrigues, Luciano Brito. III. Fontan, Gabrielle Cardoso Reis. IV. Título.

CDD(21): 637.356

Catálogo na fonte:

Adalice Gustavo da Silva – CRB/5-535

Bibliotecária – UESB – Campus de Itapetinga-BA

Índice Sistemático para Desdobramento por Assunto:

1. Queijo de coalho – Propriedades mecânicas
2. Queijo de coalho – Rendimento - Fluência
3. Queijo de coalho - Desmineralização - Proteólise
4. Queijo de coalho – Controle da qualidade e produção



Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB
Programa de Pós-Graduação
Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos



Área de Concentração: Engenharia de Processos de Alimentos

Campus de Itapetinga-BA

DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO

Título: “Avaliação de Propriedades Mecânicas, Físico-Químicas e Influência do Tipo de Acidificante e Tempo de Armazenamento Visando à Aplicação no Controle do Processo de Produção de Queijos Coalho”

Autor (a): Davi Novaes Ladeia Fogaça

Orientador: Prof.º Dr. Luciano Brito Rodrigues, UESB

Co-orientadora: Profª DSc. Gabrielle Cardoso Reis Fontan, UESB

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de **MESTRE EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: ENGENHARIA DE PROCESSOS DE ALIMENTOS**, pela Banca Examinadora

Prof.º Luciano Brito Rodrigues, DSc. (Orientador, UESB)

Prof.º Rafael da Costa Ilhéu Fontan, DSc. (UESB, Examinador Interno)

Prof.º Danilo Maciel Barquete, DSc. (UESC, Examinador Externo)

Data da Realização: 18 de março de 2014.

*Aos meus pais que nunca tiveram as
oportunidades que puderam me oferecer, dedico.*

AGRADECIMENTOS

Ao Senhor Deus, por me permitir acordar a cada manhã e ter saúde para alcançar os objetivos a que me proponho, colocando sempre em meu caminho pessoas dispostas a contribuir.

À minha família, em especial aos meus pais, Josué e Edna, que sempre foram presentes em minha vida e sempre me ensinaram os melhores caminhos por onde eu devo trilhar para ser um amigo melhor, um filho melhor, um ser humano melhor, e sempre me deram liberdade e condições de realizar os meus sonhos.

Aos meus irmãos, Júnior e Talita, pela torcida e incentivo.

À Mayanna pelo amor, carinho, paciência e apoio constante.

Ao Professor DSc. Luciano Rodrigues pela orientação, confiança, liberdade e apoio.

À Professora DSc. Gabrielle Fontan pela ajuda nas pesquisas e na fabricação dos queijos, e toda a equipe orientada por ela, em especial, Chazy e Joyce.

Ao Professor MSc. Nívio Batista pela amizade e confiança e pelo empréstimo de muitos materiais.

Aos Professores DSc. Renata Bonomo e DSc. Rafael Fontan pela orientação e sugestões durante a qualificação e por terem disponibilizado o LEP para realização de análises.

À Professora DSc. Sibelli Passini pela ajuda nas análises de gordura.

Ao Professor DSc. Paulo Bonomo por ter contribuído, além das aulas, com a análise estatística dos dados.

Ao Professor DSc. Danilo Maciel Barquete (DCET/UESC).

Aos colegas do Labem, Hudson Maia, Leonardo Maia, Tainan Carvalho e Milene Rost, pela ajuda incessante e por ter abraçado o trabalho e todos do Grupo de Estudos em Materiais e Meio Ambiente (GEM2A).

Ao meu amigo Prof. MSc. William Soares pela amizade, incentivo e pela grande colaboração no trabalho.

Ao Professor DSc. Genebaldo (*in memoriam*) por ter me inserido nos trabalhos de pesquisa e ter acreditado no meu trabalho.

Aos demais professores, funcionários e colegas que de alguma forma contribuíram com o trabalho, em especial ao amigo Aristides, sem o qual não seria possível a realização das análises de proteína.

À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB) e o Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos (PPGEAL).

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) pela concessão da bolsa de pesquisa.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Alagoas (IFAL) – Campus Piranhas.

À todos vocês o meu muito obrigado!

RESUMO

FOGAÇA, Davi Novaes Ladeia, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Março de 2014.
Avaliação de propriedades mecânicas, físico-químicas e influência do tipo de acidificante e tempo de armazenamento visando à aplicação no controle do processo de produção de queijos de Coalho. Orientador: Prof. DSc. Luciano Brito Rodrigues. Co-orientadora: Prof^a. DSc. Gabrielle Cardoso Reis Fontan.

Objetivou-se neste trabalho avaliar o efeito do tipo de ácido e do tempo de armazenamento refrigerado sobre o comportamento mecânico, propriedades físico-químicas e rendimento de queijos de Coalho produzidos por acidificação direta, visando sua utilização como alternativa para padronização do método produtivo e o levantamento de dados científicos sobre o rendimento, capacidade de derretimento e propriedades físico-químicas e mecânicas dos queijos de Coalho produzidos com o uso de ácidos. Para a presente pesquisa foram produzidas quatro formulações de queijo de Coalho: sem adição de ácido (CSA), com ácido acético (CAA), com ácido cítrico (CAC) e com ácido láctico (CAL). Os queijos foram armazenados sob refrigeração até o momento da realização dos testes para avaliação das características físico-químicas (umidade, pH, acidez titulável, teor de lipídios, teor de proteínas, índice de extensão e profundidade de proteólise) e mecânicas (dureza, elasticidade, coesividade, mastigabilidade, compliância instantânea e retardada, tempo de retardação, viscosidade Newtoniana e percentual de recuperação). Realizou-se, também, a avaliação do rendimento de fabricação dos queijos, antes da realização das análises físico-químicas e mecânicas. Os ensaios mecânicos referentes a análise do perfil de textura (TPA) e fluência, foram realizados utilizando-se de um analisador de textura. Não se verificou efeito do tipo de ácido ($P > 0,10$) no rendimento dos queijos. Os teores de umidade, lipídios, proteínas, acidez titulável, pH e índice de extensão de proteólise foram afetados significativamente ($P < 0,10$) pelo tipo de ácido utilizado na fabricação dos queijos. O efeito do tempo de conservação sob refrigeração foi significativo ($P < 0,10$) para as variáveis acidez titulável, teor de proteínas, índice de profundidade de proteólise (IPP) e capacidade de derretimento (CD). A acidez titulável e o IPP aumentaram linearmente com o tempo, enquanto que a CD apresentou comportamento parabólico positivo e o teor de proteína uma tendência oscilatória de grau 3. Quanto às variáveis do TPA (dureza, elasticidade, mastigabilidade e coesividade), a elasticidade foi a única propriedade textural afetada significativamente ($P < 0,05$) pelo tipo de ácido utilizado. O tempo de armazenamento foi significativo ($P < 0,05$) para a elasticidade do queijo CAA, a qual apresentou comportamento parabólico positivo. A viscosidade Newtoniana (η) foi a única variável do ensaio de fluência afetada significativamente pelo tipo de ácido ($P < 0,05$), com o queijo CSA apresentando o maior valor de η , os demais queijos não apresentaram diferenças significativas entre si para a propriedade. Ainda em relação ao ensaio de fluência, o efeito do tempo de armazenamento sob refrigeração foi significativo ($P < 0,05$) para as variáveis η (Pa.s) e percentual de recuperação, Crp (%), nos queijos CSA e CAC, respectivamente. O queijo CSA apresentou um aumento na viscosidade Newtoniana (η) ao longo do tempo de armazenamento refrigerado, enquanto o queijo CAC apresentou uma diminuição no Crp (%). Concluiu-se que a utilização de ácidos não afeta o rendimento de fabricação dos queijos, que os ensaios mecânicos podem ser utilizados como ferramenta de avaliação da qualidade e controle de processos na produção de queijos de Coalho e que o processo de desmineralização, provocado pelos ácidos, e de proteólise foram os principais fatores de variação no comportamento mecânico/textural dos queijos.

Palavras-chave: propriedades mecânicas, rendimento, proteólise, fluência, desmineralização.

ABSTRACT

FOGAÇA, Davi Novaes Ladeia, State University of Southwest Bahia, in March 2014. **Evaluation of mechanical properties, physical-chemical and influence of acidifying type and storage time aiming application to control production process Coalho cheeses.** Advisor: Prof. DSc. Luciano Brito Rodrigues. Co-advisor: Prof^a. DSc. Gabrielle Cardoso Reis Fontan.

This study aimed to evaluate the effect of acid type and refrigerated storage time on the mechanical behavior, physical-chemical properties and yield of Coalho cheeses produced by direct acidification, as an alternative method for product standardization. It also aimed to get scientific data about yield, melting capacity as well physic-chemical and mechanical properties of Coalho cheese produced with acids. Four different formulations of Coalho cheese were evaluated, namely without acid addition (CSA), with acetic acid (CAA), with citric acid (CAC) and with lactic acid (CAL). Cheeses were refrigerated stored until to perform the tests to evaluate the physical-chemical (moisture, pH, titratable acidity, fat content, protein content, proteolysis extent and depth) and mechanical parameters (hardness, springiness, cohesiveness, chewiness, instantaneous and retarded compliance, retardation time, Newtonian viscosity and percent recovery). The yield of cheese production was assessed before to perform the physical-chemical and mechanical analyzes. The texture profile analysis (TPA) and creep tests were the mechanical tests performed for which was used texture analyzer machine. The acid type was not showed effect ($P > 0.10$) on cheese yield. Moisture, fat, proteins, acidity, pH and proteolysis extent were significantly affected ($P < 0.10$) by acid type. The storage refrigerated time effect was significant ($P < 0.10$) for variables acidity, protein content, proteolysis depth (IPP) and meltability (CD). The acidity and IPP increased linearly with time, while CD showed a positive parabolic behavior and the protein content showed an oscillating trend of grade 3. Regarding TPA variables (hardness, springiness, chewiness and cohesiveness), springiness was the only textural property influenced significantly ($P < 0.05$) by acid type. The refrigerated storage time was significant ($P < 0.05$) for springiness of CAA cheese, which had a positive parabolic behavior. Newtonian viscosity (η) was the only creep test variable significantly affected by acid type ($P < 0.05$), CSA cheese showed highest value of η , others cheeses showed no significant differences between them for this property. Effect of refrigerated storage time was significant ($P < 0.05$) for variable η (Pa.s) and percent recovery, Crp (%), in cheese CSA and CAC, respectively. CSA cheese showed an increase in Newtonian viscosity (η) along refrigerated storage time while CAC cheese showed a decrease in the percent recovery (%Crp). Its concluded that uses of acids does not affect cheeses yield production, that the mechanical tests can be used as an assessment tool for quality evaluation and process control and that demineralization process caused by acids and proteolysis were the main factors of change on mechanical/textural behavior of cheeses.

Key-words: mechanical properties, yield, proteolysis, creep, demineralization.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	i
LISTA DE FIGURAS	ii
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	iv
APRESENTAÇÃO	1
CAPÍTULO I - TÉCNICAS INSTRUMENTAIS PARA A AVALIAÇÃO DA TEXTURA DE QUEIJOS	
RESUMO	3
ABSTRACT.....	3
1. INTRODUÇÃO	4
2. TEXTURA DE ALIMENTOS.....	5
2.1. Análise do Perfil de Textura (TPA).....	7
2.2. Ensaio de fluência (<i>creep test</i>).....	8
2.3. Ensaio de relaxação (<i>stress-relaxation test</i>).....	9
4. QUEIJO DE COALHO.....	9
5. CONCLUSÃO	11
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	11
CAPÍTULO II - EFEITO DO TIPO DE ÁCIDO E TEMPO DE ARMAZENAMENTO REFRIGERADO SOBRE O RENDIMENTO E CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE QUEIJOS DE COALHO PRODUZIDOS POR ACIDIFICAÇÃO DIRETA	
RESUMO	16
ABSTRACT.....	16
1. INTRODUÇÃO	17
2. MATERIAL E MÉTODOS	18
2.1. Queijos	18
2.2. Avaliação do Rendimento	19
2.3. Retirada de amostras	20
2.4. Capacidade de derretimento	21

2.5. Análises físico-químicas	21
2.6. Índice de proteólise	22
2.7. Análise estatística.....	22
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
3.1. Avaliação do rendimento	22
3.2. Avaliação das características físico-químicas	23
4. CONCLUSÃO	29
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29

CAPÍTULO III - AVALIAÇÃO POR MEIO DE ENSAIOS MECÂNICOS DA INFLUÊNCIA DO TIPO DE ACIDIFICANTE E TEMPO DE ARMAZENAMENTO REFRIGERADO NA PRODUÇÃO DE QUEIJOS DE COALHO

RESUMO	34
ABSTRACT.....	34
1. INTRODUÇÃO	35
2. MATERIAL E MÉTODOS	36
2.1. Queijos	37
2.2. Avaliação do comportamento mecânico	37
2.2.1. Análise do Perfil de Textura (TPA)	37
2.2.2. Fluência e recuperação (Creep-recovery)	37
2.3. Análise estatística.....	39
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
3.1. Análise do Perfil de Textura (TPA)	39
3.2. Análise reológica.....	48
4. CONCLUSÃO	55
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
CONSIDERAÇÕES FINAIS	60
CONCLUSÃO GERAL	60
SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	61

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II

TABELA 1. Avaliação do rendimento de fabricação.	233
TABELA 2. Probabilidade estatística do teste F-ANOVA para as propriedades físico-químicas de queijos de Coalho produzidos com diferentes ácidos e armazenados sob refrigeração.	244
TABELA 3. Valores médios e desvios-padrão das propriedades físico-químicas dos queijos de Coalho produzidos com diferentes ácidos.	244
TABELA 4. Modelos matemáticos generalizados para as propriedades físico-químicas dos queijos de Coalho produzidos com diferentes ácidos e armazenados sob refrigeração.	277

CAPÍTULO III

TABELA 1. Probabilidade estatística do teste F-ANOVA para variáveis texturais de queijos de Coalho produzidos com diferentes ácidos e armazenados sob refrigeração.	40
TABELA 2. Valores médios e desvios-padrão das variáveis mecânicas do TPA para os queijos de Coalho produzidos com diferentes ácidos.	40
TABELA 3. Modelo matemático para a variável elasticidade para o queijo de Coalho CAA em função do tempo de armazenamento refrigerado.	45
TABELA 4. Probabilidade estatística do teste F-ANOVA para variáveis do ensaio de fluência e recuperação.	49
TABELA 5. Valores médios e desvios-padrão das variáveis mecânicas do modelo de Burgers para os queijos de Coalho produzidos com diferentes ácidos.	49
TABELA 6. Modelo matemático para a variável η (Pa.s) obtida do modelo de Burgers para o queijo de Coalho CSA em função do tempo de armazenamento refrigerado.	54
TABELA 7. Modelo matemático para a variável Crp (%) obtida do modelo de Burgers para o queijo de Coalho (CAC em função do tempo de armazenamento refrigerado.	55

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

FIGURA 1. Curva típica de uma análise instrumental do perfil de textura (TPA).....	7
FIGURA 2. Curva típica de fluência de um material viscoelástico	8
FIGURA 3. Modelos de: a) Maxwell, b) Kelvin-Voigt e c) Burgers.....	8
FIGURA 4. Curva típica de relaxação.	9

CAPÍTULO II

FIGURA 1. Fluxograma da fabricação do queijo de Coalho com leite pasteurizado.	188
FIGURA 2. Esquema de corte e retirada dos corpos de prova.....	200
FIGURA 3. Esquema da análise de derretimento	21
FIGURA 4. Comportamento médio dos parâmetros acidez titulável (%), teor de proteína (%), capacidade de derretimento (%) e índice de profundidade de proteólise (%) dos queijos de Coalho em função do tempo de armazenamento refrigerado.	27

CAPÍTULO III

FIGURA 1. Modelo de Burgers.	38
FIGURA 2. Perfil de textura médio dos queijos de Coalho armazenados sob refrigeração.	399
FIGURA 3. Dureza (N) média dos queijos de Coalho em função do tempo de armazenamento refrigerado.....	42
FIGURA 4. Mastigabilidade (N) média dos queijos de Coalho em função do tempo de armazenamento refrigerado.....	44
FIGURA 5. Valores médios de Elasticidade dos queijos de Coalho em função do tempo de armazenamento refrigerado.....	44
FIGURA 6. Valores médios de Coesividade dos queijos de Coalho em função do tempo de armazenamento refrigerado.....	47
FIGURA 7. Curvas de fluência e recuperação (<i>creep-recovery</i>) obtidas das médias dos dados experimentais para os queijos de Coalho armazenados sob refrigeração.....	48
FIGURA 8. Compliância instantânea (D_0) média do modelo de Burgers para os queijos de Coalho em função do tempo de armazenamento refrigerado.	50
FIGURA 9. Compliância retardada (D_1) média do modelo de Burgers para os queijos de Coalho em função do tempo de armazenamento refrigerado.	51

FIGURA 10. Tempo de retardação (λ_{ret}) média do modelo de Burgers para os queijos de Coalho em função do tempo de armazenamento refrigerado.	52
FIGURA 11. Valores médios da variável viscosidade Newtoniana (η) dos queijos de Coalho em função do tempo de armazenamento refrigerado.	53
FIGURA 9. Valores médios da variável percentual de recuperação (C_{rp}) dos queijos de Coalho em função do tempo de armazenamento refrigerado	55

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

F	Força (N)
ε	Deformação específica normal
σ_0	Tensão normal (Pa)
D	Compliância (Pa^{-1})
D_0	Compliância instantânea (Pa^{-1})
D_1	Compliância retardada (Pa^{-1})
D_r	Recuperação máxima (Pa^{-1})
D_{max}	Compliância máxima (Pa^{-1})
D_{min}	Compliância mínima (Pa^{-1})
E	Módulo de elasticidade (Pa)
E_0	Módulo da elasticidade instantânea ou módulo do corpo Hookeano
E_1	Módulo elástico do elemento de Kelvin-Voigt
η	Coefficiente de viscosidade do modelo de Burgers (Pa.s)
η_0	Coefficiente de viscosidade do elemento viscoso (Pa.s)
η_1	Coefficiente de viscosidade do elemento de Kelvin-Voigt
λ_{ret}	Tempo de retardação (s)
t	Tempo (s)
Crp	Percentual de recuperação (%)
CD	Capacidade de derretimento
D_i	Diâmetro inicial
D_f	Diâmetro final
IEP	Índice de extensão de proteólise
IPP	Índice de profundidade de proteólise
TCA	Ácido tricloroacético
CSA	Queijo de Coalho sem adição de ácido
CAA	Queijo de Coalho com ácido acético
CAC	Queijo de Coalho com ácido cítrico
CAL	Queijo de Coalho com ácido láctico
TPA	Análise do Perfil de Textura
PEBD	Polietileno de Baixa Densidade

APRESENTAÇÃO

O queijo de Coalho é um queijo originário do Nordeste brasileiro, amplamente consumido em todo o país. Uma das principais características desse queijo, segundo muitos consumidores e pesquisadores, é a sua textura “borrachenta” (PEREZ, 2005). Contudo, a definição de “borrachento” dado ao queijo de Coalho é bastante subjetiva, além do que, é uma característica que depende do processo de fabricação e varia de acordo com a percepção do consumidor e com os hábitos de consumo da região.

Um dos principais, se não o principal fator de influência sobre a textura do Coalho é o processo de fabricação. Por se tratar de um queijo de processamento simples, sem a demanda de grandes tecnologias, o queijo de Coalho apresenta uma ampla variação de características físicas, químicas, mecânicas e sensoriais, decorrentes das variações no processo produtivo, que vão desde o tipo de leite até a quantidade de sal utilizado.

O presente trabalho, constituído de três capítulos na forma de artigos científicos, discute sobre a avaliação da textura de queijos de Coalho fabricados por meio do processo de acidificação direta utilizando-se diferentes ácidos (acético, cítrico e láctico). As análises mecânicas realizadas podem servir de base para quantificar e traduzir em resultados numéricos o perfil “borrachento” do queijo de Coalho, além de avaliar o impacto da acidificação direta, a qual pode ser utilizada para padronização do processo produtivo, sobre a textura dos queijos.

Nos capítulos correntes são apresentados conceitos acerca da avaliação mecânica de materiais viscoelásticos, tais como os queijos, além da Análise do Perfil de Textura (TPA), abordando aspectos relacionados aos processos de fabricação dos queijos, que podem influenciar diretamente as respostas mecânicas obtidas. Os objetivos deste trabalho foram avaliar a influência do processo de acidificação direta com os ácidos acético, cítrico e láctico e do tempo de armazenamento refrigerado sobre:

- a) rendimento de fabricação de queijos de Coalho;
- b) características físico-químicas;
- c) capacidade de derretimento dos queijos;
- d) perfil de textura (TPA) e a variação ao longo de 28 dias de armazenamento refrigerado;
- e) comportamento mecânico de fluência.

CAPÍTULO I

TÉCNICAS INSTRUMENTAIS PARA A AVALIAÇÃO DA TEXTURA DE QUEIJOS

TÉCNICAS INSTRUMENTAIS PARA A AVALIAÇÃO DA TEXTURA DE QUEIJOS

Davi Novaes Ladeira FOGAÇA^{1*}; Luciano Brito RODRIGUES².

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Alagoas (IFAL), campus Piranhas. Av. Sergipe, s/n, Bairro Xingó, Piranhas - AL. CEP - 57460-000. *E-mail: davinlf@hotmail.com

* Programa de Pós-graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia.

² Departamento de Tecnologia Rural e Animal. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Campus Juvino Oliveira, Itapetinga – BA.

RESUMO

O objetivo no presente trabalho foi apresentar de maneira sucinta as principais técnicas instrumentais para avaliação da textura em queijos. O estudo se baseou em trabalhos de revisão bibliográfica onde se observou que os principais métodos instrumentais utilizados para avaliação das propriedades mecânicas de queijos são: a análise do perfil de textura (TPA), o ensaio de fluência (*creep test*) e o ensaio de relaxação (*stress-relaxation test*), o que é decorrente principalmente da facilidade de execução dos testes e de requerer pequeno número de mão de obra. São apresentados os conceitos, princípios físicos e aplicações para cada um dos ensaios, além de um breve histórico acerca do queijo de Coalho e de suas características apreciadas pelos consumidores, dentre elas a textura. Resultados de textura encontrados na literatura sobre o queijo de Coalho evidenciam a necessidade de estudos sobre o comportamento mecânico destes queijos, visto se tratar de um queijo genuinamente brasileiro, com escassez de dados técnico-científicos e que carece de melhorias no seu processo produtivo, para que assim seja alcançada uma melhor qualidade dos produtos, atendendo aos anseios do consumidor, principalmente no que tange à textura. Conclui-se que as técnicas e resultados apresentados poderão ser utilizados como base de estudos futuros e como material de referência para pesquisas a cerca da textura de queijos de Coalho.

Palavras-chave: textura, conceitos reológicos, métodos de avaliação, queijo de Coalho.

INSTRUMENTAL TECHNIQUES FOR TEXTURE EVALUATION IN CHEESES

ABSTRACT

This study aimed to present succinctly the main instrumental techniques for texture evaluation in cheeses. This work was based on literature review where it was observed that major instrumental methods used to evaluate mechanical properties of cheese are: texture profile analysis (TPA), creep test and stress-relaxation test. These tests are preferred mainly due to facility to performing and also to require small number of specialized people involved. The article presents the concepts, physical principles and applications for the cited tests. Furthermore are shown a brief history about Coalho cheese and features appreciated by consumers, among them texture. Results found in

literature on Coalho cheese highlight need for studies about the mechanical behavior of this genuinely Brazilian cheese. There are shortages of technical and scientific which can contribute to improve its production process, in order to achieve better quality products, especially those related to the consumer desires, in which the texture is included. It is concluded that presented techniques and results could be used as basis for future studies and as reference material for research about Coalho cheese texture.

Key-words: texture, rheological concepts, evaluation methods, Coalho cheeses.

1. INTRODUÇÃO

Dentre os produtos característicos e originários da região Nordeste do Brasil, o queijo Coalho é um dos mais destacados, sendo bastante apreciado nas formas *in natura*, assado, frito, ou como componente na preparação de outros pratos, em várias partes do território nacional.

O queijo Coalho surgiu no Nordeste do Brasil há cerca de 150 anos com a chegada do gado bovino trazido pelos Portugueses, e seu nome advém do uso do coalho natural no seu processo de fabricação. A produção do queijo Coalho era feita, e ainda é em muitos processos, com leite cru, coagulado pela ação do coalho extraído do estômago de mamíferos, como bezerros, enquanto lactantes (SEBRAE, 2008).

O queijo de Coalho é tido como um alimento identitário, produzido e consumido no espaço geográfico nordestino, que ultrapassa as fronteiras demandado pelos migrantes que buscam no consumo desse produto uma aproximação com seu território (MENEZES, 2011). Além disso, possui participação considerável na economia, sendo significativo na renda dos fornecedores de leite, especialmente daqueles que não têm acesso a unidades de processamento (SILVA et al., 2012).

Muitos trabalhos apontam a textura como um dos principais atributos do queijo Coalho (PEREZ, 2005; SOUZA et al., 2011; SILVA et al., 2010; BENEVIDES et al., 2000), contudo, atender a demanda do consumidor quanto à textura de um alimento é de grande importância econômica (BOURNE, 2002) e dificuldade técnica, visto que para se desenvolver alimentos com textura própria implica em conhecer qual a característica esperada para o produto, como formular o produto para alcançá-la e como medi-la e caracterizá-la (GUNASEKARAN e AK, 2003).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) define textura como o conjunto de propriedades reológicas e estruturais (geométricas e de superfície) de um alimento, perceptíveis pelos receptores mecânicos, táteis e eventualmente pelos receptores visuais e auditivos (ABNT, 1993). De acordo com Bourne (2002) a textura é a manifestação sensorial e funcional das propriedades estruturais, mecânicas e superficiais dos alimentos, detectadas pelos sentidos da visão, audição, tato e cinestéticas.

A avaliação da textura em alimentos pode ser realizada através de métodos sensoriais, instrumentais ou ambos. A análise instrumental é priorizada em muitas das vezes por ser mais

reprodutível, requerer menor tempo e necessitar de menor mão de obra (BOURNE, 2002). Esse tipo de ensaio se baseia na avaliação do comportamento mecânico a partir da aplicação de forças como as de compressão, cisalhamento, flexão e tração sobre o alimento.

O teste de compressão uniaxial é o método de avaliação instrumental mais popular para determinação de propriedades texturais de alimentos, incluindo queijos. A popularidade deste tipo de teste é advinda provavelmente da sua maior facilidade de execução (LUYTEN et al., 1992). Dentre os testes de compressão uniaxial se destacam o TPA (*Texture Profile Analysis*), o teste de fluência (*creep test*) e o teste de relaxação (*stress-relaxation test*), os quais se baseiam na avaliação da deformação sofrida pela amostra quando esta é submetida a uma determinada força ao longo do tempo.

É fundamental a realização de estudos sobre o comportamento mecânico de queijos de Coalho visando a determinação de parâmetros texturais que sejam mais relevantes nesse tipo de queijo, que sejam facilmente percebidos e distinguidos sensorialmente e que apresentem boa correlação entre métodos, sensorial e instrumental. Com isso espera-se que os dados obtidos possam servir de base para desenvolvimento de projetos e melhoria da qualidade dos produtos já existentes.

2. TEXTURA DE ALIMENTOS

Durante o processo de escolha de alimentos, quatro fatores principais de qualidade são avaliados: aparência, *flavor*, textura e aspectos nutricionais, sendo a textura considerada um fator de aceitabilidade sensorial por se tratar de um fator de percepção direta por um dos sentidos e de extrema importância, por proporcionar satisfação e prazer durante a ingestão dos alimentos (BOURNE, 2002).

A importância da textura na aceitabilidade global de alimentos varia largamente dependendo do tipo de alimento avaliado, podendo ser considerada um fator crítico, importante ou de menor relevância na qualidade global do alimento avaliado (BOURNE, 2002).

Atualmente várias indústrias empregam análises de textura buscando melhorias de qualidade, quanto à maciez, firmeza, crocância, padronização, entre outros atributos para seus produtos, sendo a análise instrumental priorizada, principalmente devido à facilidade e simplicidade de padronização em relação à utilização de painéis sensoriais treinados (FOX et al., 2000; ROSENTHAL, 1999; SZCZESNIAK, 2002).

Prentice et al. (1993) definem textura como um conjunto das propriedades reológicas e a forma como são percebidas pelos sentidos. O conceito de reologia foi formulado pelo Professor Eugene Cook Bingham como o estudo da deformação e fluxo de materiais (REINER, 1964).

Segundo White (1970) a reologia de alimentos é o estudo da deformação e fluxo de matérias-primas, produtos intermediários e produtos finais da indústria de alimentos. Nesta definição o termo indústria de alimentos pode ser amplamente definido incluindo o comportamento dos alimentos em casa (BOURNE, 2002).

A reologia trata da relação entre três variáveis: tensão, deformação e tempo. O efeito do processo de deformação de materiais pode ser observado através de mudanças do comprimento (ou altura) em relação às medidas iniciais. Através dos dados de tensão e deformação, os reologistas são capazes de obter as propriedades dos materiais independentes do tamanho da amostra e geometria, e comparar os resultados do teste com amostras de diferentes tamanhos e geometrias (GUNASEKARAN e AK, 2003).

As propriedades reológicas do queijo são função de sua composição, microestrutura (arranjo estrutural de seus componentes), do estado físico-químico e das interações de seus componentes e de sua macroestrutura (presença de olhaduras, fissuras, etc.) (FOX et al., 2000).

A tensão é definida como a distribuição de força sobre a área de um material. Esta força aplicada é distribuída por todo o material e é suportada pelos elementos estruturais, no caso do queijo, as cadeias da matriz de caseína e os glóbulos de gordura, as quais exercem grande influência sobre as propriedades reológicas e texturais dos queijos (O'CALLAGHAN e GUINEE, 2004).

O deslocamento em resposta à aplicação de uma força em um determinado ponto de aplicação é conhecido como a deformação. O termo "deformação", usado neste sentido, não implica necessariamente numa deformação permanente, mas sim uma alteração da forma, que pode ser temporária, permanente ou parcialmente recuperável. Uma série de medidas instantâneas de força associadas ao deslocamento provocado, descrevem as características reológicas de um material sob as condições de medição. As condições que afetam a resposta força-deslocamento incluem temperatura, tipo de deformação (compressão, tração, cisalhamento), o nível de deformação em relação ao limite de elasticidade e ponto de fratura do material, taxa de deformação, deformação prévia (O'CALLAGHAN e GUINEE, 2004).

Do ponto de vista físico, o queijo é considerado um material viscoelástico, ou seja, apresenta comportamentos viscosos e elásticos quando submetido à aplicação de uma força. Materiais viscoelásticos apresentam comportamento tanto de sólido elástico como de líquido viscoso. A viscoelasticidade dos queijos resulta da contribuição individual e da interação entre seus constituintes – proteína, gordura e água (FOX et al., 2000).

A classificação das medidas de textura com base no material analisado ou no tipo de propriedade textural é útil, mas provavelmente o melhor tipo de classificação é aquele baseado no tipo de teste utilizado, uma vez que muitos testes são aplicáveis para mais de um tipo de alimento. Quando um alimento é colocado na boca, a estrutura é destruída pela ação da mastigação até ele estar pronto para ser deglutido (BOURNE, 2002).

No que se refere a queijo, a textura é geralmente limitada às sensações experimentadas durante o mastigar, sugerindo o papel preponderante das propriedades mecânicas. No entanto, além da força e deformação, como as que ocorrem em parte da mastigação, outros processos, como a manipulação da massa através da mistura com a língua e também saliva ocorrem e resultam em

percepções sensoriais únicas de textura que não são medidos por instrumentos (FOEGEDING e DRAKE, 2007).

O conhecimento das propriedades texturais de um alimento tem grande importância em projetos e previsão da estabilidade de amostras armazenadas (KOKINI e PLUTOCHOK, 1987; MA e BARBOSA-CÁNOVAS, 1995), visto que o tempo desempenha uma importante influência sobre o comportamento reológico e sensorial do alimento.

Santos Júnior et al. (2012) destacam que há poucas publicações sobre textura instrumental de queijos típicos da América Latina, o que aponta a necessidade de estudos sobre o comportamento mecânico de queijos produzidos no Brasil e nos demais países do continente.

2.1. Análise do Perfil de Textura (TPA)

Um dos principais testes para estudar o comportamento mecânico de alimentos é a Análise do Perfil de Textura (TPA), *Texture Profile Analysis*, desenvolvido originalmente na *General Foods Corporation Technical Center* no início da década de 1960, pelo grupo liderado por Alina Szczesniak (FRIEDMAN et al., 1963; SZCZESNIAK et al., 1963). Bourne (1968) adaptou e estendeu a técnica do TPA para a Máquina Universal de Testes (*Universal Testing Machine*) onde uma amostra de alimento é comprimida duas vezes, utilizando de pratos paralelos, onde um prato é móvel e o outro é fixo (STEFFE, 1996). Também são utilizados, em menor frequência, mas não menos importantes, os testes de fluência (*creep test*) e relaxação (*stress-relaxation test*) (SANTOS JÚNIOR et al., 2012), os quais fornecem dados do comportamento viscoelástico do material numa região considerada não linear (STEFFE, 1996).

A submissão de uma amostra de alimento a um ensaio de TPA permite a geração de um gráfico força x tempo (Figura 1) e a mensuração de parâmetros mecânicos que são classificados como primários (dureza, coesividade, elasticidade, resiliência e adesividade) e secundários (gomosidade, mastigabilidade e fraturabilidade) (BOURNE, 2002).

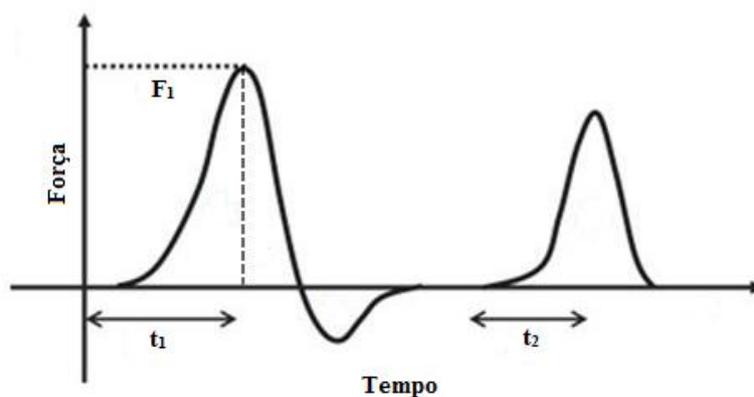


FIGURA 1. Curva típica de uma análise instrumental do perfil de textura (TPA).

2.2. Ensaio de fluência (*creep test*)

Em um ensaio de fluência (*creep test*), o material é submetido a uma tensão constante e a deformação correspondente é medida em função do tempo, $\varepsilon(t)$. A razão entre a deformação e a tensão é chamada compliância (*creep compliance*) e pode ser obtida através da equação:

$$D(t) = \frac{\varepsilon(t)}{\sigma_0} \quad (1)$$

onde, $D(t)$ é a compliância em função do tempo, $\varepsilon(t)$ é a deformação específica e σ_0 é a tensão aplicada (BOURNE, 2002; GUNASEKARAN e AK, 2003; STEFFE, 1996).

A relação deformação x tempo do ensaio de fluência pode ser compreendida através das curvas de fluência (Figura 2).

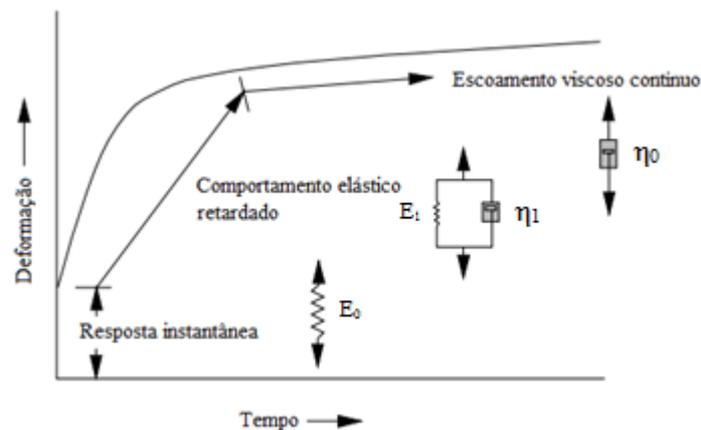


FIGURA 2. Curva típica de fluência de um material viscoelástico

Fonte: adaptado de STEFFE, 1996.

Os dados obtidos nos testes fluência podem ser ajustados a modelos como o de Maxwell, de Kelvin-Voigt, e de Burgers (Figura 3), onde a junção e combinação, em arranjos em série e/ou em paralelo, de molas e amortecedores buscam representar e explicar os comportamentos elásticos e viscosos dos materiais avaliados (GUNASEKARAN e AK, 2003).

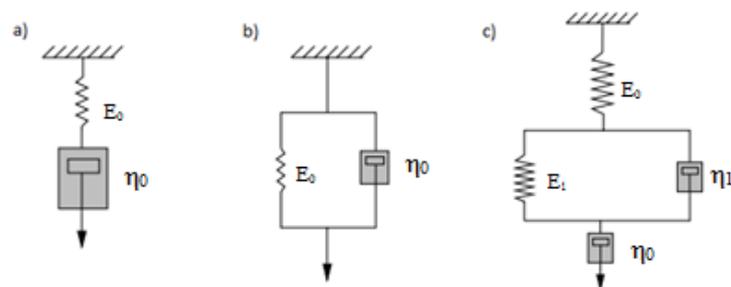


FIGURA 3. Modelos de: a) Maxwell, b) Kelvin-Voigt e c) Burgers.

Fonte: adaptado de STEFFE, 1996.

2.3. Ensaio de relaxação (*stress-relaxation test*)

Em um ensaio de relaxação (*stress-relaxation test*), o material é submetido a uma deformação instantânea (ϵ) e a tensão requerida para manter a deformação constante é observada como função do tempo (STEFFE, 1996). A tensão necessária para manter essa deformação, $\sigma(t)$, não é constante e decresce com o tempo, sendo chamado de relaxação o decréscimo da tensão a uma deformação constante (GUNASEKARAN e AK, 2003).

A razão entre a tensão aplicada e a deformação constante obtida é chamada módulo de elasticidade e pode ser obtida através da equação:

$$E(t) = \frac{\sigma(t)}{\epsilon_{\text{constante}}} \quad (2)$$

onde, $E(t)$ é o módulo de elasticidade do corpo como um todo em qualquer tempo t , $\epsilon_{\text{constante}}$ é a deformação constante e $\sigma(t)$ é a tensão em função do tempo (BOURNE, 2002; GUNASEKARAN e AK, 2003; STEFFE, 1996).

Os dados obtidos através de um ensaio de relaxação podem ser utilizados para confecção de curvas (Figura 4) que representam e auxiliam no entendimento do comportamento reológico de cada tipo de material frente à tensão aplicada.

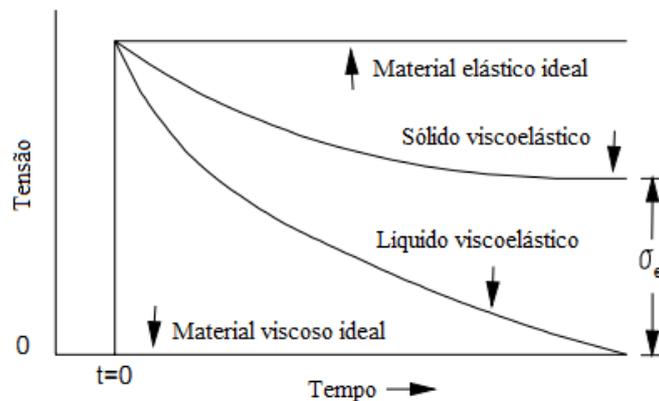


FIGURA 4. Curva típica de relaxação.

Fonte: adaptado de STEFFE, 1996.

4. QUEIJO DE COALHO

Em 2001 o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) promulgou a Instrução Normativa Nº 30 que dentre outras atribuições estabelece o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade do Queijo de Coalho. Neste documento, o queijo de Coalho é definido como o produto obtido através da coagulação do leite por meio do coalho ou outras enzimas coagulantes apropriadas, complementada ou não pela ação de outras bactérias lácteas selecionadas e comercializado com até dez dias de fabricação (BRASIL, 2001).

O queijo de Coalho é um queijo de média a alta umidade, de massa semi-cozida ou cozida e que apresenta um teor de gordura nos sólidos totais variável entre 35,0% e 60,0%. Pode ser adicionado de condimento, devendo este ser citado na denominação do produto. Quando houver a adição de mais de um condimento pode ser utilizado apenas a denominação “condimentado” após a denominação de “queijo de Coalho” (BRASIL, 2001).

Os requisitos sensoriais para classificação de um queijo como sendo queijo de Coalho incluem uma consistência variando de semidura a elástica, uma textura compacta e macia, cor branco amarelado uniforme, sabor brando, ligeiramente ácido, podendo ser salgado, um odor ligeiramente ácido, presença de crosta fina sem trincas e ausência de olhaduras ou existência de apenas algumas olhaduras pequenas, podendo variar no que tange ao peso e formato do produto (BRASIL, 2001).

O queijo de Coalho é largamente fabricado principalmente nos estados de Pernambuco, Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba, onde está entre os principais tipos de queijos artesanais. Totalmente incorporado à cultura regional, vem ganhando espaço na região Sudeste (SEBRAE, 2008).

De acordo com estudo realizado por Perez (2005), no município de Campinas, São Paulo, com 100 clientes de um hipermercado, 78% eram consumidores de queijo de Coalho, os 22% que não eram consumidores, alegaram como razões para a opção: falta de interesse pelo produto (41%), desconhecimento do produto (27%), preço alto (14%) e falta de hábito de consumir qualquer tipo de queijo (18%). Os entrevistados indicaram como os principais atributos associados à qualidade de queijo de Coalho o sabor, a textura, a aparência, o aroma e a capacidade de derretimento.

No Nordeste, especialmente nas praias, este tipo de queijo é tradicionalmente consumido em fatias, na forma de espetinhos grelhados na brasa, como tira-gosto, diferentemente do tipo de preparação feita em domicílio, em geral, grelhado em chapas ou frigideiras comuns (ESCOBAR et al., 2001; CAVALCANTE et al., 2003).

Dentre as pesquisas realizadas com queijo Coalho é pequeno o número de trabalhos com avaliações mecânicas (SILVA, 2013; ANDRADE et al., 2007; QUEIROGA et al., 2013; MAMEDE, 2009). Na grande maioria dos trabalhos é realizado o TPA, mas majoritariamente o teste é feito de forma secundária ou adicional, não havendo uma discussão entre os resultados obtidos no TPA, assim como destes com os parâmetros utilizados no próprio teste. Também não há uma discussão mais aprofundada dos resultados com as propriedades físico-químicas do queijo, as variações dos métodos de fabricação e o tempo e condições de armazenamento sobre as características reológicas do produto.

Silva (2013) ao avaliar o perfil de textura de queijos de Coalho tradicionais, elaborados com culturas lácticas, encontrou valores médios para a dureza dos queijos da ordem de $108,452 \pm 6,518$ (N) para um grau de compressão de 45% da altura inicial, enquanto, Queiroga et al. (2013) observaram uma dureza média de $15,992 \pm 3,222$ (N). Andrade et al. (2007) ao estudarem as

características texturais de queijos de Coalho artesanais e industrializados encontraram durezas média de $36,28 \pm 18,99$ (N) e $35,87 \pm 14,17$ (N), para os queijos industrializados e artesanais, respectivamente, com umidades médias de 44,34 % e 44,52% (ANDRADE, 2006).

Andrade et al.(2007) encontrou valores de mastigabilidade variando entre 10,22 (N) e 33,01 (N), para queijos industriais e artesanais, enquanto Silva (2013) observou valores de mastigabilidade variando entre $54,21 \pm 12,16$ (N) e $69,32 \pm 9,74$ (N) para queijos de Coalho tradicional.

No trabalho realizado por Silva (2013), os valores de coesividade variaram entre $0,62 \pm 0,13$ e $0,69 \pm 0,04$. Andrade et al. (2007) observaram valores de coesividade variando entre 0,49 e 0,67 para queijos artesanais e industrializados produzidos no estado do Ceará. Queiroga et al. (2013), encontraram valores de coesividade superiores, variando entre $0,67 \pm 0,12$ e $0,77 \pm 0,03$.

Silva (2013) foi um dos poucos autores que teve como foco o comportamento mecânico do Coalho, realizando testes de fluência e relaxação, além da análise do perfil de textura, o que ressalta a necessidade de maiores estudos sobre o comportamento mecânico dos queijos de Coalho, que é um queijo genuinamente brasileiro e pouco estudado do ponto de vista reológico.

5. CONCLUSÃO

As pesquisas apontam que há uma grande variação dos atributos mecânicos dos queijos de Coalho, o que por parte pode ser atribuído à falta de padronização dos queijos, ou ainda, à falta de definição de parâmetros, unidades e metodologia para avaliação do queijo de Coalho. Isso revela que a avaliação da textura instrumental de queijos ainda é recente para os pesquisadores brasileiros e que há a necessidade de estudos, obtenção de dados e discussão de resultados acerca dos queijos nacionais para que se possa começar a estabelecer boas correlações entre as análises sensorial e instrumental. Também se espera que os resultados desses estudos possam ser utilizados para melhoramento da qualidade dos queijos brasileiros, especificamente o queijo de Coalho, contribuindo ainda para o aumento e diversificação dos produtos lácteos fabricados, bem como resultar em melhorias na qualidade de vida dos produtores pelo aumento da renda, principalmente os produtores de queijo de Coalho, que em sua maioria são pequenos agricultores/pecuaristas do Nordeste brasileiro.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. **Análise sensorial de alimentos e bebidas**. Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 12806. Rio de Janeiro, p. 8. 1993.
- ANDRADE, A. A.; RODRIGUES, M. C. P.; NASSU, R. T.; SOUZA NETO, M. A. S. **Medidas instrumentais de cor e textura em queijo de Coalho**. In: Anais do XV ENAAL Congresso Latino Americano de Analistas de Alimentos. Fortaleza. 2007.

- BENEVIDES, S. D.; TELLES, F. J. S.; GUIMARÃES, A. C. L.; RODRIGUES, M. C. P. Estudo bioquímico e sensorial do queijo de Coalho produzido com leite cru e pasteurizado no estado do Ceará. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 18, n. 2, p. 193 - 208, Jul. / Dez. 2000.
- BOURNE, M. C. Texture profile of ripening pears. **Journal of Food Science**, v. 33, p. 223-226, 1968.
- BOURNE, M. C. **Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement**. 2. ed. San Diego: Academic Press, 2002.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Instrução Normativa nº 30, de 26 de Julho de 2001. Regulamento técnico de identidade e qualidade de queijo de coalho. **Diário Oficial da União**, Brasília, 16 Julho 2001.
- CAVALCANTE, J. F. M.; ANDRADE, N. J.; FURTADO, M. M.; MINIM, V. P. R. Considerações técnicas relevantes sobre o processo de fabricação de queijo de Coalho e sua aceitação pelo consumidor. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, Juiz de Fora, v. 58, n. 333, p. 102-105, 2003.
- ESCOBAR, C. A. M.; LEUTHIER, S.; ANTUNES, G.; ALBUQUERQUE, R. C. L. Avaliação dos pontos críticos na produção de queijo de Coalho em Pernambuco. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, Juiz de Fora, v. 56, n. 321, p. 248-256, 2001.
- FOEGEDING, E. A.; DRAKE, M. A. Invited Review: sensory and mechanical properties of cheese texture. **Journal of Dairy Science**, v. 90, n. 4, p. 1611-1624, 2007.
- FOX, P. F.; GUINEE, T. P.; COGAN, T. M.; McSWEENEY, P. L. H. **Fundamentals of cheese science**. Maryland: Aspen Publication, 2000. 587 p.
- FRIEDMAN, H. H.; WHITNEY, J. E.; SZCZESNIAK, A. S. The texturometer - a new instrument for texture measurement. **Journal of Food Science**, v. 28, p. 390-396, 1963.
- GUNASEKARAN, S.; AK, M. M. **Cheese Rheology and Texture**. London: CRC Press, 2003.
- KOKINI, J. L.; PLUTOCHOK, G. J. Viscoelastic properties of semisolid foods and their biopolymeric componentes. **Food Technology**, v. 41, n. 3, p. 89-95, 1987.
- LUYTEN, H.; VAN VLIET, T.; WALSTRA, P. Comparison of various methods to evaluate fracture phenomena in food materials. **Journal of Texture Studies**, v. 23, n. 3, p. 245-266, 1992.
- MA, L.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. Rheological characterization of mayonnaise. Part II: Flow and viscoelastic properties at different oil and xanthan gum concentration. **Journal of Food Engineering**, v. 25, n. 3, p. 409-425, 1995.

- MAMEDE, P. L. **Efeito da temperatura de cozimento sobre as propriedades tecnológicas do queijo de Coalho**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos. Campinas. 2009.
- MENEZES, S. S. M. Queijo de Coalho: tradição cultural e estratégia de reprodução social na região Nordeste. **Revista de Geografia (UFPE)**, v. 28, n. 1, p. 40-56, 2011.
- O'CALLAGHAN, D. J.; GUINEE, T. P. Rheology and Texture of Cheese. In: FOX, P. F., et al. **Cheese: Chemistry, physics and microbiology**. 3. ed. New York: Elsevier Applied Science, v. 1, 2004. Cap. 21, p. 511-540.
- PEREZ, R. M. **Perfil sensorial, físico-químico e funcional de queijo de coalho comercializado no município de Campinas, SP**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos). Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Campinas, SP, p. 122. 2005.
- PRENTICE, J. H.; LANGLEY, K.; MARSHALL, R. J. Cheese Rheology. In: FOX, P. F. **Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology**. London: Chapman & Hall, v. 1, 1993. Cap. 8, p. 303-340.
- QUEIROGA, R. D. C. R. D. E.; SANTOS, B. M.; GOMES, A. M. P.; MONTEIRO, M. J.; TEIXEIRA, S. M.; SOUZA, E. L.; PEREIRA, C. J. D.; PINTADO, M. M. E. Nutritional, textural and sensory properties of coalho cheese made of goats', cows' milk and their mixture. **LWT - Food Science and Technology**, n. 50, p. 538-544, 2013.
- REINER, M. The Deborah number. **Physics Today**, v. 17, n. 1, p. 62, 1964.
- ROSENTHAL, A. J. Relation between instrumental and sensory measures of food texture. In: ROSENTHAL, A. J. **Food texture: measurement and perception**. Aspen, 1999. p. 1-17.
- SANTOS JÚNIOR, H. C. M.; SILVA, W. S. D.; RODRIGUES, L. B. Métodos instrumentais para determinação da textura de queijos. **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 4, p. 115-119, 2012.
- SEBRAE. **Queijos Nacionais**. Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. p. 149. 2008.
- SILVA, M. C. D. D.; RAMOS, A. C. S.; MORENO, I.; MORAES, J. O. Influência dos procedimentos de fabricação nas características físico-químicas, sensoriais e microbiológicas de queijo de coalho. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, São Paulo, v. 69, n. 2, p. 214-221, 2010.
- SILVA, R. A.; LIMA, M. S. F.; VIANA, J. B. M.; BEZERRA, V. S.; PIMENTEL, M. C. B.; FORTO, A. L. F.; CAVALCANTI, M. T. H.; LIMA FILHO, J. L. Can artisanal "Coalho" cheese from Northeastern Brazil be used as a functional food?, v. 135, p. 1533-1538, 2012.

- SILVA, W. S. D. **Comportamento mecânico do queijo de Coalho tradicional, com carne seca, tomate seco e orégano armazenados sob refrigeração.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos - UESB). Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Itapetinga, BA, p. 59. 2013.
- SOUZA, E. L. D.; COSTA, A. C. V.; GARCIA, E. F.; OLIVEIRA, M. E. G.; SOUZA, W. H.; QUEIROGA, R. C. R. E. Qualidade do queijo de leite de cabra tipo Coalho condimentado com cumaru (*Amburana cearensis* A. C. Smith). **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 14, n. 3, p. 220-225, 2011.
- STEFFE, J. F. **Rheological Methods in Food Process Engineering.** 2. ed. East Lansing, 1996. 418 p.
- SZCZESNIACK, A. S. Texture is a sensory property. **Food Quality and Preference**, n. 13, p. 215-225, 2002.
- SZCZESNIAK, A. S.; BRANDT, M. A.; FRIEDMAN, H. H. Development of standard rating scales for mechanical parameters of texture and correlation between the objective and sensory methods of texture evaluation. **Journal of Food Science**, v. 28, p. 397-403, 1963.
- WHITE, G. W. Rheology in food research. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 5, n. 1, p. 1-32, 1970.

CAPÍTULO II

EFEITO DO TIPO DE ÁCIDO E TEMPO DE ARMAZENAMENTO REFRIGERADO SOBRE O RENDIMENTO E CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE QUEIJOS DE COALHO PRODUZIDOS POR ACIDIFICAÇÃO DIRETA

**EFEITO DO TIPO DE ÁCIDO E TEMPO DE ARMAZENAMENTO
REFRIGERADO SOBRE O RENDIMENTO E CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS
DE QUEIJOS DE COALHO PRODUZIDOS POR ACIDIFICAÇÃO DIRETA**

Davi Novaes Ladeia FOGAÇA¹*; Gabrielle Cardoso Reis FONTAN²; Luciano Brito
RODRIGUES².

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Alagoas (IFAL), campus Piranhas. Av. Sergipe, s/n, Bairro Xingó, Piranhas - AL. CEP - 57460-000. *E-mail: davinlf@hotmail.com

* Programa de Pós-graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia.

² Departamento de Tecnologia Rural e Animal. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Campus Juvino Oliveira, Itapetinga – BA.

RESUMO

O Coalho é um queijo artesanal típico do Nordeste brasileiro produzido majoritariamente com leite cru, utilizando a microbiota endógena como agente acidificador, e apresentando alta variabilidade de características texturais. Neste trabalho foi avaliado o efeito do tipo de ácido e tempo de armazenamento refrigerado sobre o rendimento, capacidade de derretimento e características físico-químicas de queijos de Coalho produzidos por acidificação direta. Quatro formulações de queijo de Coalho foram avaliadas: sem adição de ácido (CSA), com ácido acético (CAA), com ácido cítrico (CAC) e com ácido láctico (CAL). Os queijos foram armazenados sob refrigeração a 10°C por 28 dias, sendo avaliados a cada 7 dias quanto à capacidade de derretimento, umidade, pH, acidez titulável, teor de lipídios e proteínas, índice de extensão e profundidade de proteólise. Não se verificou efeito do tipo de ácido no rendimento ($P > 0,10$) dos queijos. Os teores de umidade, lipídios, proteínas, acidez, pH e índice de extensão de proteólise foram afetados significativamente ($P < 0,10$) pelo tipo de ácido. O efeito do tempo foi significativo ($P < 0,10$) para as variáveis acidez, teor de proteína, índice de profundidade de proteólise e capacidade de derretimento. Conclui-se que a utilização dos ácidos acético, cítrico ou láctico não interfere no rendimento de produção dos queijos, contudo, a utilização de diferentes ácidos resulta em queijos com características físico-químicas distintas.

Palavras-chave: rendimento, proteólise, acidificação, derretimento.

**EFFECT OF ACID TYPE AND REFRIGERATED STORAGE TIME ON YIELD
AND PHYSICAL-CHEMICALS CHARACTERISTICS OF COALHO CHEESE MADE BY
DIRECT ACIDIFICATION**

ABSTRACT

Coalho is a typical artisanal cheese from Brazilian Northeast region mainly produced with raw milk, using endogenous microbiota as acidificant agent, and showing great variability of textural

characteristics. This study assessed the effect of acid type and storage time on yield, meltability and physic-chemical properties of Coalho cheeses made by direct acidification. Four formulations of Coalho cheese were evaluated: without acid addition (CSA), with acetic acid (CAA), with citric acid (CAC) and with lactic acid (CAL). The cheeses were stored at 10°C for 28 days, and evaluated at each 7 days regarding the meltability, moisture, pH, titratable acidity, fat content, protein content and extent and depth proteolysis. The acid type did not affect the cheese yield ($P>0.10$). Moisture, fat, protein, acidity, pH and proteolysis extent were significantly affected ($P<0.10$) by acid type. The effect of time was significant ($P<0.10$) for the variables acidity, protein content, proteolysis depth and meltability. It was concluded that the use of acetic, citric or lactic acid in this study did not interfere cheese yield. However, the use of different acids resulted in cheeses with different physical-chemicals characteristics.

Key-words: yield, proteolysis, acidification, meltability.

1. INTRODUÇÃO

O Coalho é um queijo artesanal típico do Nordeste brasileiro, muito popular e amplamente consumido pela população local e de todo o Brasil. As principais características deste queijo são o seu sabor levemente salgado e ácido, e a resistência ao aquecimento sem derreter, permitindo a preparação do popular queijo assado (SILVA et al., 2012).

Tradicionalmente é produzido com leite cru, sem adição de ácido láctico ou fermento, tendo a microbiota endógena como fator predominante no desenvolvimento do sabor. A utilização da microbiota endógena do leite na fabricação leva a produção de queijos de qualidade variável. Visto que esta microflora é variável, conseqüentemente a velocidade e extensão da acidificação também serão (FOX et al., 2000). O queijo sem fermento resiste melhor ao derretimento por apresentar pH mais alto, contudo, não apresenta sabor característico. Quando há o uso de fermento láctico, o sabor melhora, mas a fermentação da lactose pelas bactérias lácticas leva ao declínio do pH, comprometendo a resistência ao derretimento (MACHADO et al., 2011).

A acidificação direta consiste na adição de ácidos (como o ácido acético, cítrico e láctico), objetivando a redução do pH, pode ser usada como uma alternativa à acidificação biológica, realizada com fermentos ou culturas lácticas, sendo mais controlável do que a acidificação biológica e menos suscetível à contaminações do que o uso de bactérias lácticas. O processo de acidificação direta é utilizado em variedades de queijos, como a Ricota, a Muçarela, o Panner, onde a textura é mais importante que o *flavor* (FOX et al., 2000).

As propriedades mecânicas do queijo, bem como a umidade e conteúdo mineral, são influenciados diretamente pelo tipo de ácido e pH do leite na coagulação quando se faz uso da acidificação direta do leite (KELLER et al., 1974). Ácidos que são fortes agentes quelantes de cálcio, tais como ácido cítrico, provocam maior desmineralização da coalhada do que ácidos não quelantes, tais como o ácido acético (KELLER et al., 1974; SHEHATA et al., 1967). Quanto maior o processo de desmineralização maior a perda de cálcio e mais fracas serão as ligações protéicas do

produto final, bem como, do ponto de vista mecânico, menor será sua firmeza (PAULA, CARVALHO e FURTADO, 2009).

Grande parte das mudanças ocorridas na estrutura, que afetam a textura final dos queijos, ocorre durante o armazenamento. Geralmente, com o tempo, ocorre a redução da firmeza ou amaciamento do queijo. A degradação da matriz protéica, decorrente da proteólise, é a principal causa desta mudança (BROWN, 2002). O amaciamento do queijo durante o armazenamento é consequência da hidrólise da caseína micelar ocasionada pela proteólise, das mudanças na capacidade de retenção de água e das alterações no pH do queijo, que por sua vez podem causar outras alterações como a migração e a precipitação de fosfato de cálcio (McSWEENEY, 2004). As condições de temperatura e umidade relativa durante o armazenamento também afetam o desenvolvimento da textura dos queijos (GUNASEKARAN e AK, 2003).

O objetivo do presente trabalho foi avaliar os efeitos do tipo de ácido e do tempo de armazenamento refrigerado sobre o rendimento, capacidade de derretimento e características físico-químicas de queijos de Coalho produzidos através do processo de acidificação direta.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado nos Laboratórios de Ensaio de Materiais – LabEM e de Análise de Alimentos, da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), campus Juvino Oliveira.

2.1. Queijos

Quatro formulações de queijo de Coalho foram elaboradas: queijo de Coalho sem adição de ácido (CSA); queijo de Coalho com ácido acético (CAA); queijo de Coalho com ácido cítrico (CAC) e queijo de Coalho com ácido láctico (CAL), segundo metodologia descrita na Figura 1 (adaptado de MACHADO et al., 2011):

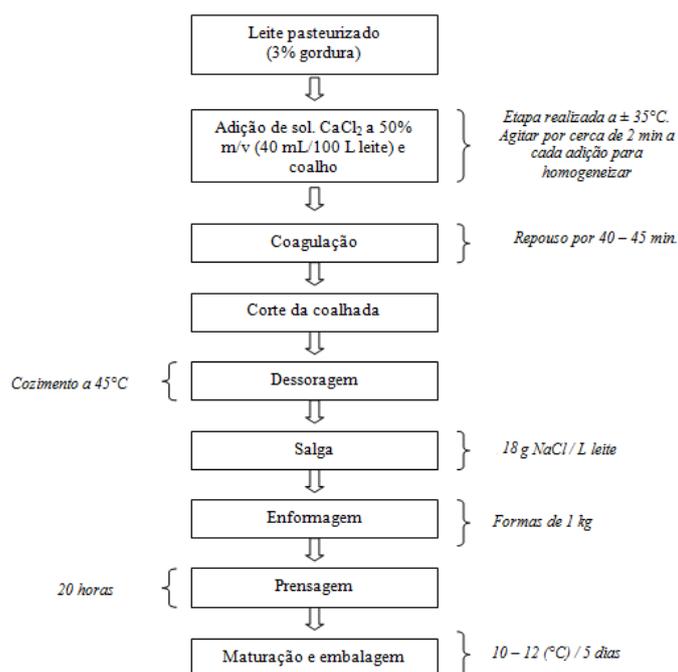


FIGURA 1. Fluxograma da fabricação do queijo de Coalho com leite pasteurizado.

Para a produção dos queijos, recipientes de alumínio com 17 L de leite pasteurizado padronizado (teor de gordura 3% m/v) foram aquecidos até 35°C. Posteriormente ao aquecimento, o pH do leite foi reduzido de $6,6 \pm 0,1$ para $6,3 \pm 0,05$ pela adição de soluções do ácido específico de cada tratamento (ácido acético 70% (v/v), ácido cítrico 50% (m/v) e ácido láctico 85% (v/v)). O tratamento controle, CSA, não teve o pH corrigido. Após a redução do pH, foram adicionados 6,8 mL de solução de CaCl_2 a 50% (m/v) e em seguida, 10 mL de coagulante líquido (1:3000, Coalhopar®) em cada um dos tratamentos. Os recipientes contendo leite permaneceram em repouso para coagulação por cerca de 40 a 45 minutos. Após atingirem o ponto de coalhada, determinado através de avaliação visual e firmeza do gel ao apresentar resistência ao corte com faca, foi realizado o corte da massa com uma faca longa, visando a obtenção de pequenos cubos com aproximadamente 25 mm de aresta. Os recipientes de cada tratamento foram levados ao aquecimento a 45°C sob mexedura constante, por 15 minutos, utilizando uma colher plástica de cabo longo. Durante a mexedura ocorreu primeiramente a redução do tamanho dos grãos de coalhada e liberação do soro contido internamente, seguindo-se com aglomeração desses grãos. Após o processo de dessoragem foram adicionados à massa 306 g de NaCl (18 g NaCl / L leite). A massa salgada foi colocada em formas retangulares com capacidade de armazenar 1 kg de massa de queijo, identificadas com o nome do tratamento e submetidas à prensagem por 20 h. A prensagem foi realizada em um prensa convencional, tipo vertical coletiva, com capacidade para 10 formas, utilizando de um peso de 10 kg, à temperatura ambiente. A primeira prensagem teve duração de 30 minutos, após esse tempo os queijos foram retirados das formas e da prensa, virados dentro das formas e retornados à prensa em posições invertidas, onde permaneceram por mais 19,5 horas (2ª prensagem). Para cada um dos tratamentos foram produzidas 2 barras de aproximadamente 1 kg cada. Depois da prensagem os queijos foram mantidos sob refrigeração a 10°C por 24 h para secagem, e em seguida, foram embalados em sacos de plásticos (PEBD) permanecendo sob refrigeração por mais cinco dias, período indicado para formação de sabor e aroma (MUNCK, 2004). Posteriormente os queijos foram divididos em fatias com 30 mm de espessura, que foram embaladas à vácuo e armazenadas sob refrigeração a 10°C por 28 dias, período em que o produto foi avaliado. O dia inicial do experimento, considerado tempo 0, se iniciou com o fim do período de cinco dias e fatiamento das barras de queijo.

2.2. Avaliação do Rendimento

O rendimento de fabricação foi determinado, antes do fatiamento das barras de queijo, em rendimento real (kg queijo/100 kg leite) e rendimento real ajustado (kg queijo/100 kg leite), conforme Fox et al. (2000) (Equações 1 e 2). Para cálculo do rendimento real ajustado o teor de umidade dos queijos foi ajustado para 46% (MACHADO et al., 2011), que de acordo com a legislação brasileira (BRASIL, 2001), é o teor de umidade limite entre os queijos de Coalho classificados como de média (36% a 45,9%) e alta (46% a 54,9%) umidade. Foi calculado,

também, o rendimento em litros de leite por quilograma de queijo (L leite/kg queijo), medida utilizada por muitas queijarias, conforme Equação 3.

$$\text{Rendimento real (\%)} = \frac{\text{Massa de queijo (kg)}}{\text{Massa de leite (kg)} + \text{Massa de sal (kg)}} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Rendimento ajustado (\%)} = \text{Rend. real} \times \frac{(100\% - \text{Umidade do queijo (\%)})}{(100\% - 46\%)} \quad (2)$$

$$\text{Rendimento (L/kg)} = \frac{\text{Volume de leite (L)}}{\text{Massa de queijo (kg)} - \text{Massa de sal (kg)}} \quad (3)$$

2.3. Retirada de amostras

O processo de retirada das amostras (corpos de prova) foi realizado conforme Figura 2.

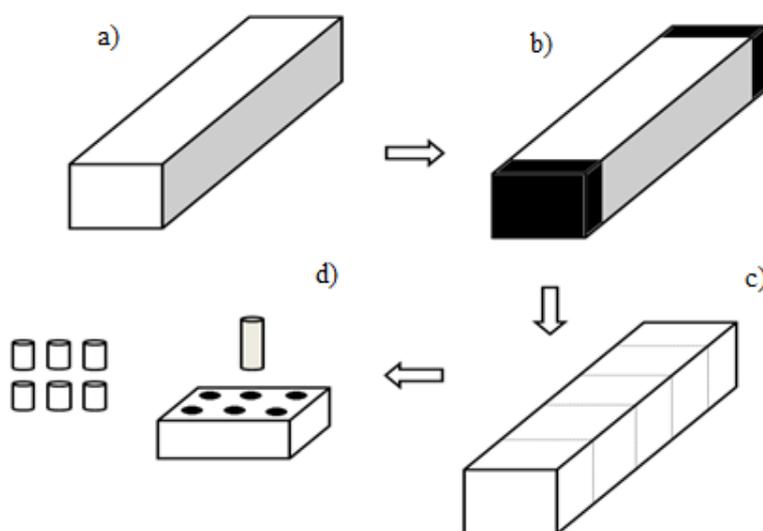


FIGURA 2. Esquema de corte e retirada dos corpos de prova.

De cada extremidade dos queijos foram descartados 10 mm (Figura 2b), visando uma maior homogeneidade na obtenção dos corpos de prova. Após a retirada e descarte das extremidades, as barras de queijo foram cortadas transversalmente em 5 fatias de 30 mm de espessura (Figura 2c), totalizando dez fatias por tratamento (2 barras). O corte das fatias foi realizado no sentido vertical, como é comumente realizado no momento do consumo. O sentido de corte das fatias foi determinado com vistas a padronizar a obtenção das fatias. As fatias cortadas foram embaladas em embalagens fechadas à vácuo, aos pares, num total de 5 pares, correspondentes a cada um dos

tempos (0, 7, 14, 21 e 28) de análise e foram armazenadas sob refrigeração até o momento da análise quando corpos de prova cilíndricos de 20 mm de diâmetro e 25 mm de altura foram retirados com o auxílio de um dispositivo metálico desenvolvido para essa finalidade (Figura 2d).

De cada uma das fatias foram retiradas 6 corpos de prova, totalizando 12 unidades por tratamento avaliado no respectivo tempo. Onze corpos de prova foram destinados à ensaios mecânicos, enquanto um dos espécimes foi subdividido para realização da análise de capacidade de derretimento.

2.4. Capacidade de derretimento

A análise da capacidade de derretimento (CD) foi realizada em triplicata, de acordo com a metodologia de Schreiber, descrita por Narimatsu et al. (2003), com adaptações. O diâmetro da amostra de 36 mm, sugerido na metodologia de Schreiber, foi reduzido para 20 mm, mantendo-se a altura original em 7 mm. A metodologia consiste em submeter amostras cilíndricas de queijo, contidas em placas de Petri, devidamente divididas em 8 áreas iguais, ao aquecimento em estufa a 107°C por 7 minutos. Antes de serem levadas ao aquecimento é realizada a medida do diâmetro inicial (D_i) das amostras (8 medidas), bem como do diâmetro final das mesmas (D_f) 30 minutos após o aquecimento, quando as amostras já estão frias (Figura 3). A média dos diâmetros é utilizada para cálculo da capacidade de derretimento (CD), conforme Equação 4.

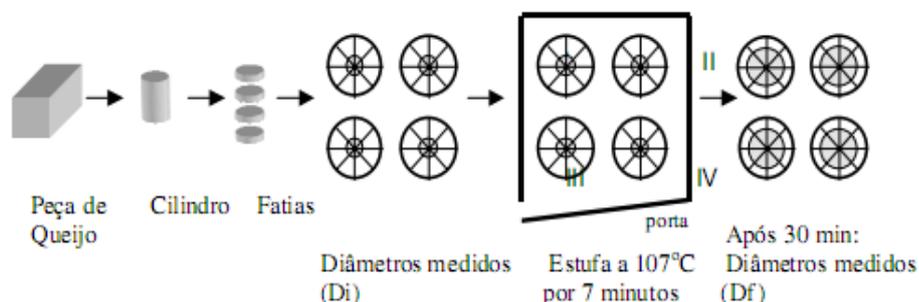


FIGURA 3. Esquema da análise de derretimento

Fonte: adaptado de NARIMATSU et al., 2003.

$$CD (\%) = \frac{D_f^2 - D_i^2}{D_i^2} \times 100\% \quad (4)$$

2.5. Análises físico-químicas

Após a retirada dos corpos de prova para análise de textura, os demais pedaços das fatias de queijo foram ralados para redução de tamanho e utilização nas análises físico-químicas. Os queijos ralados permaneceram em embalagens plásticas fechadas até o momento de análise. Os queijos de Coalho foram avaliados quanto aos teores de umidade, lipídios, proteína total, pH e acidez titulável,

conforme Instrução Normativa nº 68 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2006).

2.6. Índice de proteólise

A proteólise foi avaliada com base nos índices de extensão (IEP) e profundidade (IPP) da proteólise, utilizando-se os teores de nitrogênio não caseinoso e não protéico. Para a determinação do teor de nitrogênio não caseinoso 0,25 g de queijo ralado foram macerados em 8 mL de uma solução de ácido tricloroacético (TCA) a 12% (m/v), filtradas com filtro de papel e encaminhadas para digestão e destilação, de acordo com método de Kjeldhal (BRASIL, 2006). A determinação do teor de nitrogênio não protéico foi realizada de modo semelhante, substituindo a solução de TCA 12% por uma solução tampão de acetato de sódio e ácido acético (pH 4,6). Os índices de extensão e profundidade de proteólise foram calculados de acordo com as Equações 5 e 6.

$$\text{IEP (\%)} = \frac{\text{nitrogênio não caseinoso (\%)}}{\text{nitrogênio total (\%)}} \times 100 \% \quad (5)$$

$$\text{IPP (\%)} = \frac{\text{nitrogênio não protéico (\%)}}{\text{nitrogênio total (\%)}} \times 100 \% \quad (6)$$

2.7. Análise estatística

O experimento foi conduzido em um Delineamento em Blocos Casualizados (DBC), em esquema fatorial 4 x 5 (ácido x tempo), com três repetições. As análises físico-químicas foram realizadas em duplicata. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e regressão linear com nível de significância de 10% utilizando-se o programa computacional Sistema para Análise de Variância – SISVAR, versão 5.3 (FERREIRA, 2011). A análise do rendimento foi conduzida em DBC com 3 repetições, sem esquema fatorial.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Avaliação do rendimento

O rendimento dos queijos não foi afetado significativamente ($P > 0,10$) pelo tipo de ácido utilizado no processo (Tabela 1). O cálculo do rendimento real ajustado para umidade de 46% foi realizado a fim de corrigir possíveis diferenças ocasionadas pela variação na umidade das amostras, visto se tratar de um fator direto de variação de rendimento (FOX et al., 2000).

TABELA 1. Avaliação do rendimento de fabricação.

Tratamento	Rendimento real (kg queijo/100 kg leite) ^{ns}	Rendimento real ajustado (kg queijo/100 kg leite) ^{ns}	Rendimento (L/kg) ^{ns}
CSA	11,890 ± 0,723	11,799 ± 0,432	9,412 ± 0,680
CAA	11,202 ± 0,294	11,355 ± 0,169	10,068 ± 0,307
CAC	11,918 ± 0,645	11,819 ± 0,217	9,379 ± 0,589
CAL	11,471 ± 1,077	11,706 ± 0,352	9,859 ± 1,025
Média	11,620 ± 0,346	11,670 ± 0,215	9,679 ± 0,339
Valor - P	0,6176	0,1792	0,5964
CV (%)	6,46	2,12	7,36

CV: Coeficiente de variação percentual (%). ^{ns} Diferença não significativa entre médias (P>0,10).

Valores semelhantes de rendimento foram encontrados por Machado et al. (2011) ao utilizarem ácido cítrico e ácido láctico na elaboração de queijos de Coalho, os quais apresentaram rendimentos de 9,63 e 8,74 (L/kg), respectivamente. Ao avaliar a influência da relação caseína/gordura e temperatura de cozimento na fabricação de queijos de Coalho, Buzato (2011) encontrou valores médios de 10,41 e 9,79 (kg queijo/100 kg leite), para rendimento real e rendimento real ajustado para umidade de 42%, respectivamente, valores inferiores aos encontrados no presente estudo, condizentes com o teor de umidade 4% menor.

Considerando o cálculo do rendimento real ajustado para umidade de 42% no presente trabalho foi encontrado uma média de 10,865 (kg queijo/100 kg leite), valor superior ao verificado por Buzato (2011).

Metzger et al. (2000) ao avaliarem o rendimento real de queijos *Mozzarella* com teor de gordura reduzido não verificou diferenças significativas entre queijos produzidos com ácido cítrico e ácido acético (pH 5,8), contudo, foram verificadas diferenças quando comparados com o tratamento controle.

Diferenças significativas no rendimento de *Queso Blanco-type cheese* fabricados com ácido acético, cítrico e láctico foram observadas por Farkye et al. (1995). O rendimento dos queijos fabricados com ácido láctico foi de 14,20%, superior aos demais, que não se diferenciaram entre si, apresentando rendimentos de 13,54% e 13,67% para o ácido acético e cítrico, respectivamente.

3.2. Avaliação das características físico-químicas

Na Tabela 2 são apresentadas as probabilidades estatísticas da análise de variância (ANOVA) para as propriedades físico-químicas dos queijos de Coalho produzidos com diferentes ácidos e armazenados sob refrigeração.

TABELA 2. Probabilidade estatística do teste F-ANOVA para as propriedades físico-químicas de queijos de Coalho produzidos com diferentes ácidos e armazenados sob refrigeração.

Parâmetro	Valor - P		
	Ácido (A)	Tempo (B)	Interação (A x B) ^{ns}
Umidade (%)	0,019	0,975	1,000
Lipídios (%)	0,013	0,287	1,000
Acidez titulável (%) ^a	0,014	0,000	0,985
pH ^b	0,000	0,021	0,937
Proteína (%)	0,011	0,002	0,357
IEP (%)	0,007	0,145	0,986
IPP (%)	0,100 ^{ns}	0,003	0,853
CD (%)	0,720 ^{ns}	0,007	0,904

^a % de ácido láctico. ^b Parâmetro adimensional. ^{ns} Diferença não significativa entre médias (P>0,10).

Como a interação entre os fatores ácido (A) e tempo (B) foi não significativa (P>0,10) para todas as propriedades físico-químicas, os fatores foram analisados separadamente, uma vez que atuam de maneira independente.

Por se tratar de uma variável quantitativa, o fator tempo de armazenamento refrigerado foi analisado através de regressão linear para modelar o comportamento dos parâmetros ao longo do tempo. O teste F-ANOVA não possui valor estatístico para detecção de diferenças na variável Tempo.

Os valores médios e desvios-padrão dos parâmetros físico-químicos dos queijos de Coalho avaliados são apresentados na Tabela 3.

TABELA 3. Valores médios e desvios-padrão das propriedades físico-químicas dos queijos de Coalho produzidos com diferentes ácidos.

Queijo	Umidade (%)	Lipídios (%)	Acidez (%) [*]	pH ^{**}	Proteína (%)	IEP (%)
CSA	46,99 ± 2,70 ^b	21,76 ± 2,62 ^a	0,12 ± 0,03 ^a	6,51 ± 0,10 ^b	21,11 ± 1,14 ^{ab}	3,60 ± 1,24 ^a
CAA	45,09 ± 1,23 ^{ab}	23,54 ± 1,21 ^b	0,14 ± 0,03 ^b	6,36 ± 0,08 ^a	21,76 ± 0,79 ^b	4,82 ± 0,87 ^{ab}
CAC	46,44 ± 2,46 ^{ab}	22,80 ± 1,75 ^{ab}	0,14 ± 0,04 ^b	6,39 ± 0,09 ^a	20,37 ± 1,44 ^a	5,28 ± 1,12 ^b
CAL	44,68 ± 2,92 ^a	23,73 ± 2,11 ^b	0,13 ± 0,04 ^{ab}	6,43 ± 0,10 ^a	20,86 ± 1,56 ^{ab}	4,61 ± 1,61 ^{ab}
Média	45,80 ± 1,09	22,96 ± 0,89	0,13 ± 0,01	6,42 ± 0,07	21,03 ± 0,58	4,58 ± 0,71
Valor- P	0,019	0,013	0,014	0,000	0,011	0,007
CV (%)	4,77	7,50	17,64	1,27	5,16	27,92

^{*} % de ácido láctico. ^{**} Parâmetro adimensional. CV: Coeficiente de variação percentual (%). Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,10).

Os queijos CSA, CAA e CAC não apresentaram diferenças significativas entre si quanto aos teores de umidade, apenas o queijo CAL apresentou diferença significativa do queijo CSA quanto ao teor de umidade, com teor médio de 44,68 ± 2,92 (%), enquanto o CSA apresentou um teor de médio de 46,99 ± 2,70 (%). Os valores são condizentes com a classificação de queijo de média

(36% a 45,9%) a alta (46% a 54,9%) umidade (BRASIL, 1996). Machado et al. (2011) ao avaliarem o uso de ácido láctico e cítrico na fabricação de queijos de Coalho observou que a utilização de ácido láctico resulta em queijos mais secos, obtendo umidades de 47,55 % e 48,95 %, para os queijos com ácido láctico e cítrico, respectivamente.

Keller et al. (1974) ao avaliar queijos acidificados em diferentes pHs observaram que independente do pH avaliado (5,2; 5,4 ou 5,6) os queijos com ácido cítrico apresentaram teores de umidade superiores aos queijos fabricados com outros ácidos (fosfórico, málico, acético e clorídrico).

Os tratamentos também apresentaram diferenças significativas ($P < 0,10$) para os teores de lipídios, acidez titulável, pH, proteína, e IEP (Tabela 3). Os queijos não apresentaram diferenças significativas entre si para o índice de profundidade da proteólise, com um IPP médio de $1,62 \pm 0,29$ (%). A capacidade de derretimento (CD) também não foi influenciada pelo tipo de ácido, apresentando um valor médio de $10,07 \pm 1,63$ (%), contudo, foram observadas variações significativas na CD (%) ao longo do tempo de armazenamento, sendo maior a derretibilidade ao final dos 28 dias de avaliação, quando a CD foi de 21,41%.

O queijo CSA apresentou o menor valor médio absoluto de lipídios, $21,76 \pm 2,62$ (%), enquanto que o queijo CAL apresentou o maior valor médio absoluto, $23,73 \pm 2,11$ (%). Os resultados são condizentes com os observados por Andrade (2006) ao analisar 3 marcas de queijos de Coalho industrializados, os quais apresentaram um teor de lipídios médio de 24,83 (%), com resultados variando entre $20,99 \pm 0,02$ (%) e $28,47 \pm 0,16$ (%).

O queijo CSA, como era esperado, apresentou o menor valor médio de acidez, $0,12 \pm 0,03$ (%), visto não ter recebido a inserção de ácidos no processo de fabricação. O valor médio da acidez titulável, $0,13 \pm 0,01$ (%), foi inferior aos valores encontrados por Silva et al. (2010), os quais variaram entre $0,34 \pm 0,01$ (%) e $0,44 \pm 0,01$ (%). Filho et al. (2009) observaram valores de acidez titulável variando de 0,113 (%) a 0,495 (%) ao avaliar a qualidade de 7 marcas de queijo de Coalho fabricados em Jucati/PE.

Silva et al. (2010) ao avaliarem queijos de Coalho produzidos e comercializados no Sertão de Alagoas encontrou resultados de pH variando de 5,98 a 7,13. Andrade (2006) observou valores de pH variando de $5,20 \pm 0,02$ a $7,03 \pm 0,01$ para queijos de Coalho produzidos no estado do Ceará. Munck (2004) destaca que queijos produzidos com fermento láctico tendem a apresentar valores de pH menores, em torno de 5,7, enquanto os queijos produzidos sem fermento apresentam pH mais alto, em torno de 6,3-6,5, como no presente estudo.

O teor médio de proteína dos queijos de Coalho, $21,03 \pm 0,58$ (%), é condizente com os observados por Queiroga et al. (2013), $21,54 \pm 1,82$ (%). O queijo de Coalho CAC apresentou o menor valor médio absoluto para teor de proteínas, $20,37 \pm 1,44$ (%) o que pode ser atribuído ao processo de desmineralização e redução do cálcio coloidal ocasionado pelo ácido cítrico. O cálcio coloidal é responsável pelas interações entre proteínas e pela estabilidade das ligações protéicas.

Um teor de cálcio coloidal elevado promove fortes interações entre as proteínas, o que acarreta maior contração da matriz protéica e mais soro é expulso, resultando em uma matriz de caseína menos hidratada (PASTORINO et al., 2003). A inserção de ácido cítrico e consequente redução do cálcio coloidal resultaram em um queijo com maior teor de umidade e menor teor de proteína.

O queijo CAC também apresentou o maior valor médio absoluto para o IEP, proteólise primária provocada pela ação do coagulante residual sobre as caseínas do queijo. Buzato (2011) destaca que a velocidade de extensão da proteólise está diretamente relacionada com a interação e contração da matriz protéica e teor de umidade. O alto teor de umidade apresentado pelo queijo CAC, aliado ao processo de desmineralização podem ter contribuído diretamente para um maior IEP. A desmineralização tem sido relacionada ao aumento da suscetibilidade das micelas de caseína à proteólise (McSWEENEY, 2004).

A proteólise secundária (profundidade) é provocada pela ação de proteínases e peptidases provindas de bactérias ácido lácticas, como em nenhum dos queijos foi utilizado bactérias lácticas e todos foram fabricados com as mesmas condições de higiene, não houve diferenciação quanto ao IPP dos queijos.

O comportamento dos queijos de Coalho quanto aos parâmetros acidez titulável (%), capacidade de derretimento (%), teor de proteína (%) e índice de extensão de proteólise (%) com o tempo de armazenamento refrigerado pode ser observado na Figura 4.

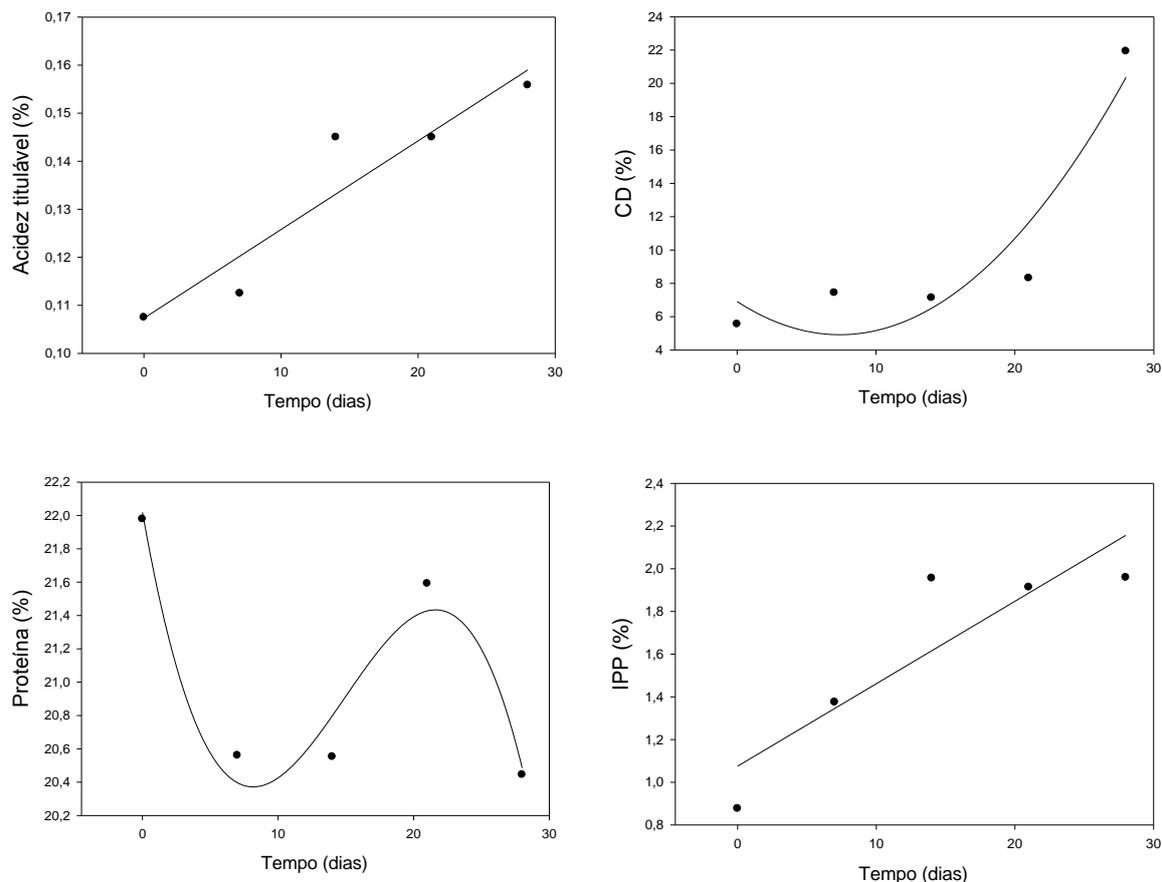


FIGURA 4. Comportamento médio dos parâmetros acidez titulável (%), teor de proteína (%), capacidade de derretimento (%) e índice de profundidade de proteólise (%) dos queijos de Coalho em função do tempo de armazenamento refrigerado.

Os modelos matemáticos que representam as variações das propriedades físico-químicas ao longo do tempo de armazenamento refrigerado são apresentados na Tabela 4.

TABELA 4. Modelos matemáticos generalizados para as propriedades físico-químicas dos queijos de Coalho produzidos com diferentes ácidos e armazenados sob refrigeração.

Modelos ^a	R ²	P
Acidez titulável (%) ^b = 0,001845 t + 0,107333	0,8876	0,000
Proteína (%) = - 0,000873 t ³ + 0,039 t ² - 0,462007 t + 22,019357	0,9412	0,001
IPP (%) = 0,038619 t + 1,075333	0,7889	0,000
CD (%) = 0,03636 t ² - 0,537734 t + 6,91096	0,8769	0,019

^a t representa o tempo de avaliação. ^b % de ácido láctico.

A acidez titulável dos queijos aumentou ao longo do tempo de armazenamento. Alguns pesquisadores têm relatado que o aumento na acidez de queijos durante o armazenamento provoca mudanças nas características dos agregados de proteína e conseqüentemente na sua textura, produzindo queijos mais macios e que são fragmentados mais facilmente (QUEIROGA et al.,

2013). Por outro lado, a taxa de sinerese é diretamente proporcional ao aumento da acidez (FOX et al., 2000) e quanto maior a sinerese, menor o teor de umidade e maior a dureza dos queijos. Porém, o aumento da acidez titulável média de $0,11 \pm 0,02$ (%) para $0,16 \pm 0,04$ (%) não afetou significativamente ($P > 0,10$) a dureza dos queijos.

O aumento da acidez titulável é resultado da fermentação, da lactose residual e galactose, ocasionada pelas bactérias lácticas naturalmente presentes no leite (KINDSTEDT, HILLIER e MAYES, 2010). A acidez titulável aumenta à medida que avança a proteólise. Durante o armazenamento a concentração de ácido láctico decresce, mas, ainda assim a acidez titulável pode aumentar à medida que aumenta o nível de peptídeos hidrossolúveis (FOX et al., 2000).

O pH dos queijos CSA, CAA, CAA e CAL permaneceu estatisticamente constante ao longo do período de armazenamento, com médias descritas na Tabela 3, apesar do pH dos queijos tender a decrescer com o tempo de armazenamento, decorrente do processo fermentativo provocado pelos microrganismos presentes no queijo.

Durante o armazenamento de queijos também pode ser observado o aumento do pH, como resultado da liberação de amônia pela desaminação de aminoácidos e/ou pelo metabolismo do lactato (FOX et al., 2000).

O comportamento constante do pH dos queijos pode ser devido à não utilização de culturas lácticas, as quais fermentam a lactose, formando ácido láctico e reduzindo o pH. A observância das condições higiênicas durante o processamento dos queijos, a adoção de boas práticas de fabricação e o armazenamento dos queijos sob refrigeração contribuiram para a redução dos riscos de contaminação e crescimento de microrganismos fermentadores.

O teor de nitrogênio total dos queijos de Coalho sofreu oscilações (Figura 4) ao longo do tempo de armazenamento. Alterações no teor de proteínas de queijos durante o armazenamento têm sido relacionadas à hidrólise das proteínas e produção de compostos nitrogenados (PINTADO et al., 2008; FOX et al., 2000), os quais podem levar a elevação dos resultados de proteína, visto que a medição do teor protéico ocorre de forma indireta, avaliando o teor de nitrogênio total.

A redução no teor de proteínas, decorrente da hidrólise das mesmas, foi seguida pelo aumento no índice de profundidade de proteólise. O IPP está relacionado principalmente com a atividade das endoenzimas e exoenzimas da cultura láctica empregada na fabricação do queijo e de possíveis contaminantes, que degradam os peptídeos de alta massa molecular a peptídeos de baixa massa molecular (NARIMATSU et al., 2003), como na fabricação dos queijos não foram utilizadas culturas lácticas, a proteólise ocorrida pode ser atribuída às proteases naturais do leite, daí a constância do IEP e a pequena variação do IPP.

A capacidade de derretimento (CD) dos queijos de Coalho aumentou com o passar do tempo, o que não é interessante para este tipo de queijo o qual é consumido prioritariamente na forma assada (PEREZ, 2005). O aumento da CD é decorrente da hidrólise das proteínas, as quais se tornam mais solúveis, afetando a capacidade de derretimento dos queijos (PIZAIA et al., 2003). Ao

tempo em que a proteólise dos queijos aumenta, como observado através do IPP, e o teor de proteína diminui, a capacidade de derretimento também se eleva. Keller et al. (1974) observaram que a capacidade de derretimento dos queijos foi afetada pelo tipo de ácido e pH de coagulação, verificando que a capacidade de derretimento aumenta com a redução do pH e que os queijos fabricados com ácido cítrico apresentam maior derretibilidade quando comparados aos queijos fabricados com os ácidos, fosfórico, málico, acético e clorídrico, atribuindo essa maior derretibilidade dos queijos com ácido cítrico ao maior teor de umidade, estrutura protéica mais frágil e maior perda de cálcio apresentada pelos mesmos.

4. CONCLUSÃO

O rendimento de produção dos queijos não foi influenciado significativamente pela utilização ou não de ácidos na redução do pH do leite.

Os queijos apresentaram variações entre tratamentos para os parâmetros umidade, teor de lipídios, acidez titulável, pH, teor de proteína e índice de extensão de proteólise. A acidez titulável, pH, teor de proteína, índice de profundidade de proteólise e capacidade de derretimento variou significativamente ao longo do tempo de armazenamento refrigerado. As variações físico-químicas apresentadas não ocasionaram mudanças significativas na textura dos queijos.

Os queijos de Coalho fabricados sem adição de ácido, CSA, apresentaram maior teor de umidade e pH e menores valores de teor de lipídios, acidez titulável e índice de extensão de proteólise.

A produção de queijos de Coalho sem a utilização de ácido não diferiu significativamente dos queijos de coalho produzidos através da acidificação direta com os ácidos acético, cítrico e láctico, quanto aos parâmetros de textura, com exceção da elasticidade. Os queijos fabricados sem adição de ácido e com ácido cítrico apresentaram valores constantes para todos os parâmetros texturais ao longo do tempo de armazenamento refrigerado.

Os queijos de Coalho podem ser fabricados com os ácidos avaliados sem que haja prejuízo no rendimento e nas características físico-químicas e mecânicas de maneira geral. É recomendada a utilização do queijo na forma assada até o 20º dia após a produção, visto que após esse período a capacidade de derretimento se eleva comprometendo a forma de consumo do queijo assado.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, A. A. **Estudo do perfil sensorial, físico-químico e aceitação de queijo de Coalho produzido no estado do Ceará.** Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos - UFCE). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, p. 127. 2006.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº 146, de 07/03/96. Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Queijos. **Diário Oficial da União**, Brasília, 07 Março 1996.

- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Instrução Normativa nº 30, de 26 de Julho de 2001. Regulamento técnico de identidade e qualidade de queijo de coalho. **Diário Oficial da União**, Brasília, 16 Julho 2001.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Secretaria de Defesa Agropecuária. Instrução Normativa nº 68, de 12 de Dezembro de 2006: Métodos Analíticos Oficiais Físico-Químicos para Controle de Leite e Produtos Lácteos. **Diário Oficial da União**, Brasília, 14 Dezembro 2006.
- BROWN, J. A. **Cheese texture**. Department of Food Science (Thesis). North Carolina State University. Raleigh, p. 157. 2002.
- BUZATO, R. M. P. **Influência da relação caseína/gordura do leite e da temperatura de cozimento da massa no rendimento de fabricação e nas propriedades físico-químicas, funcionais e sensoriais do queijo de coalho**. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos - UNICAMP). Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP. 2011.
- FARKYE, N. Y.; PRASAD, B. B.; ROSSI, R.; NOYES, O. R. Sensory and textural properties of queso blanco-type cheese influenced by acid type. **Journal of Dairy Science**, n. 78, p. 1649-1656, 1995.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, 35, n. 6, 2011. 1039-142.
- FILHO, J. R. F.; FILHO, J. S. S.; OLIVEIRA, H. B.; ANGELO, J. H. B.; BEZERRA, J. D. C. Avaliação da qualidade do queijo "Coalho" artesanal fabricado em Jucati - PE. **Extensio: Revista Eletrônica de Extensão**, v. 6, n. 8, p. 35-49, 2009.
- FOX, P. F.; GUINEE, T. P.; COGAN, T. M.; McSWEENEY, P. L. H. **Fundamentals of cheese science**. Maryland: Aspen Publication, 2000. 587 p.
- GUNASEKARAN, S.; AK, M. M. **Cheese Rheology and Texture**. London: CRC Press, 2003.
- KELLER, B.; OLSON, N. F.; RICHARDSON, T. Mineral retention and rheological properties of Mozzarella cheese made by direct acidification. **Journal of Dairy Science**, v. 57, n. 2, p. 174-180, 1974.
- KINDSTEDT, P. S.; HILLIER, A. J.; MAYES, J. J. Technology, biochemistry and functionality of Pasta Filata/Pizza Cheese. In: LAW, B. A.; TAMINE, A. Y. **Technology of cheesemaking**. 2. ed. [S.l.]: Wiley-Blackwell, 2010. Cap. 9, p. 330-359.
- MACHADO, G. M.; COSTA, R. G. B.; PAULA, J. C. J.; PAIVA, P. H. C.; TAVEIRA, L. B.; ALMEIDA, F. A. Viabilidade tecnológica do uso de ácido láctico na fabricação de queijo de coalho, v. 66, n. 379, p. 5-15, 2011.
- McSWEENEY, P. L. H. Biochemistry of cheese ripening. **International Journal of Dairy Technology**, v. 57, n. 2/3, p. 127-144, May / August 2004.

- METZGER, L. E.; BARBANO, D. M.; RUDAN, M. A.; KINDSTEDT, P. S. Effect of milk preacidification on low fat mozzarella cheese. I. Composition and yield. **Journal of Dairy Science**, n. 83, p. 648-658, 2000.
- MUNCK, A. V. Queijo de coalho - Princípios básicos da fabricação. **Revista do Instituto de Laticínios "Cândido Tostes"**, Juiz de Fora, v. 59, n. 339, p. 13-15, Julho / Agosto 2004.
- NARIMATSU, A.; DORNELLAS, J. R. F.; SPADOTI, L. M.; PIZAIA, P. D.; ROIG, S. M. Avaliação da proteólise e do derretimento do queijo prato obtido por ultrafiltração. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, n. 23, p. 177-182, Dezembro 2003.
- PASTORINO, A. J.; RICKS, N. P.; HANSEN, C. L.; McMAHON, D. J. Effect of calcium and water injection on structure-function relationships of cheese. **Journal of Dairy Science**, v. 86, p. 105-113, 2003.
- PAULA, J. C. J.; CARVALHO, A. F.; FURTADO, M. M. Princípios básicos de fabricação de queijo: do histórico à salga. **Revista do Instituto de Laticínios "Cândido Tostes"**, Juiz de Fora, v. 64, n. 367/368, p. 19-25, Março / Junho 2009.
- PEREZ, R. M. **Perfil sensorial, físico-químico e funcional de queijo de coalho comercializado no município de Campinas, SP. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos).** Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Campinas, SP, p. 122. 2005.
- PINTADO, A. I. E.; PINHO, O.; FERREIRA, I. M. P. L. V. O.; PINTADO, M. E.; GOMES, A. M. P.; MALCATA, F. X. Microbiological, biochemical and biogenic amine profiles of Terrincho cheese manufactured in several dairy farms. **International Dairy Journal**, v. 18, p. 631-640, 2008.
- PIZAIA, P. D.; SPADOTI, L. M.; NARIMATSU, A.; DORNELLAS, J. R. F.; ROIG, S. M. Composição, proteólise, capacidade de derretimento e formação de "blisters" do queijo mussarela obtido pelos métodos tradicional e de ultrafiltração. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 3, n. 23, p. 485-491, Set - Dez 2003.
- QUEIROGA, R. D. C. R. D. E.; SANTOS, B. M.; GOMES, A. M. P.; MONTEIRO, M. J.; TEIXEIRA, S. M.; SOUZA, E. L.; PEREIRA, C. J. D.; PINTADO, M. M. E. Nutritional, textural and sensory properties of coalho cheese made of goats', cows' milk and their mixture. **LWT - Food Science and Technology**, n. 50, p. 538-544, 2013.
- SHEHATA, A. E.; IYER, M.; OLSON, N. F.; RICHARDSON, T. Effect of type of acid used in direct acidification procedures on moisture, firmness, and calcium levels of cheese. **Journal of Dairy Science**, n. 50, p. 824-829, 1967.
- SILVA, M. C. D. D.; RAMOS, A. C. S.; MORENO, I.; MORAES, J. O. Influência dos procedimentos de fabricação nas características físico-químicas, sensoriais e microbiológicas de queijo de coalho. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, São Paulo, v. 69, n. 2, p. 214-221, 2010.

SILVA, R. A.; LIMA, M. S. F.; VIANA, J. B. M.; BEZERRA, V. S.; PIMENTEL, M. C. B.; FORTO, A. L. F.; CAVALCANTI, M. T. H.; LIMA FILHO, J. L. Can artisanal "Coalho" cheese from Northeastern Brazil be used as a functional food?, v. 135, p. 1533-1538, 2012.

CAPÍTULO III

INFLUÊNCIA DO TIPO DE ÁCIDO E DO TEMPO DE ARMAZENAMENTO NO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE QUEIJOS DE COALHO PRODUZIDOS POR ACIDIFICAÇÃO DIRETA

AVALIAÇÃO POR MEIO DE ENSAIOS MECÂNICOS DA INFLUÊNCIA DO TIPO DE ACIDIFICANTE E TEMPO DE ARMAZENAMENTO REFRIGERADO NA PRODUÇÃO DE QUEIJOS DE COALHO

Davi Novaes Ladeia FOGAÇA^{1*}; Luciano Brito RODRIGUES².

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Alagoas (IFAL), campus Piranhas. Av. Sergipe, s/n, Bairro Xingó, Piranhas - AL. CEP - 57460-000. *E-mail: davinlf@hotmail.com

* Programa de Pós-graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia.

² Departamento de Tecnologia Rural e Animal. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Campus Juvino Oliveira, Itapetinga – BA.

RESUMO

Neste trabalho foi avaliada, por meio de ensaios mecânicos, a influência do tipo de acidificante e do tempo de armazenamento refrigerado na produção de quatro formulações de queijos de Coalho produzidos por acidificação direta: sem adição de ácido (CSA), com ácido acético (CAA), com ácido cítrico (CAC) e com ácido láctico (CAL). O comportamento mecânico dos queijos foi avaliado por meio da análise do perfil de textura (TPA) e do ensaio de fluência utilizando-se um analisador de textura. Entre as variáveis avaliadas no TPA (dureza, elasticidade, mastigabilidade e coesividade) apenas a elasticidade foi influenciada significativamente ($P < 0,05$) pelo tipo de ácido e tempo de armazenamento refrigerado. O queijo CAA apresentou o maior valor médio de elasticidade. As curvas obtidas no ensaio de fluência foram ajustadas ao modelo de Burgers, sendo a variável viscosidade (η) a única a ser influenciada significativamente ($P < 0,05$) pelo tipo de ácido. O queijo CSA apresentou o maior valor médio de viscosidade. O efeito do tempo de armazenamento refrigerado foi significativo ($P < 0,05$) para as variáveis viscosidade (η) e percentual de recuperação (% Crp) nos queijos CSA e CAC, respectivamente. Observou-se que os ensaios mecânicos podem ser utilizados como ferramenta viável de avaliação da qualidade e controle de processos na produção de queijos de Coalho.

Palavras-chave: propriedades mecânicas, acidificação direta, TPA, fluência, modelo de Burgers.

EVALUATION BY MECHANICAL TESTS OF INFLUENCE ACIDIFYING TYPE AND REFRIGERATED STORAGE TIME ON COALHO CHEESE PRODUCTION

ABSTRACT

This study evaluated by mechanical tests, the influence of acidifying type and refrigerated storage time on production of four types of Coalho cheeses made by direct acidification: without acid addition (CSA), with acetic acid (CAA), with citric acid (CAC) and with lactic acid (CAL). The mechanical behavior of the cheeses was assessed by Texture Profile Analysis (TPA) and the creep test using a texture analyzer. Among the variables evaluated in TPA only springiness was significantly influenced ($P < 0.05$) by acid type and refrigerated storage time. CAA cheese showed

highest average value of springiness. The curves obtained in the creep test were adjusted to Burgers model, and only viscosity (η) was significantly influenced ($P < 0.05$) by acid type. CSA cheese showed highest viscosity value. The effect of refrigerated storage time was significant ($P < 0.05$) for variable viscosity (η) and percent creep recovery (% Crp) on cheese CSA and CAC, respectively. The results allowed do conclude that mechanical tests can be used as an assessment tool for quality and process control in Coalho cheese production.

Key-words: mechanical properties, direct acidification, TPA, creep, Burgers model

1. INTRODUÇÃO

A textura de um alimento é o conjunto de características físicas que surgem a partir dos elementos estruturais deste (BOURNE, 2002), podendo ser definida como o conjunto das propriedades reológicas e a forma como essas propriedades são percebidas pelos sentidos (PRENTICE et al., 1993). Assim sendo, a textura pode ser compreendida sobre dois aspectos: a *haptaesthesia* (sensação e toque) que é um ramo da psicologia que lida com a percepção do comportamento mecânico dos materiais, e a reologia que é um ramo da física que descreve as propriedades físicas (BOURNE, 2002). Steffe (1996) define reologia como a ciência da deformação e fluxo da matéria.

As propriedades reológicas dos queijos são função de sua composição, microestrutura (arranjo estrutural de seus componentes), do estado físico-químico e das interações de seus componentes e de sua macroestrutura (presença de olhaduras, fissuras, etc.) (FOX et al., 2000). Durante a produção de queijos, muitos fatores podem contribuir nas propriedades do produto final, entre eles, o teor de umidade, acidez e pH (GUNASEKARAN e AK, 2003). Na fabricação de queijos através do processo de acidificação direta, as propriedades reológicas podem ser afetadas pelo tipo de ácido usado e pH de coagulação (KELLER et al., 1974).

Ácidos que são fortes agentes quelantes de cálcio, tais como ácido cítrico, provocam maior desmineralização da coalhada do que ácidos não quelantes, tais como o ácido acético (KELLER et al., 1974; SHEHATA et al., 1967). Quanto maior o processo de desmineralização, e consequente perda de cálcio, mais fracas serão as ligações protéicas do produto final, bem como, do ponto de vista mecânico, menor será sua firmeza (PAULA, CARVALHO e FURTADO, 2009).

Outro fator que possui grande influência sobre a reologia dos queijos é o tempo de armazenamento. Os queijos são biologicamente e bioquimicamente ativos e consequentemente sofrem mudanças no *flavor*, textura, e funcionalidade durante o armazenamento, resultado de processos bioquímicos, como a proteólise, que provocam um enfraquecimento da rede protéica, levando a uma redução na firmeza e rigidez dos queijos (GUNASEKARAN e AK, 2003; FOX et al., 2000).

A textura é um importante fator de qualidade por proporcionar satisfação e prazer durante a ingestão dos alimentos (BOURNE, 2002), sendo o principal atributo de qualidade de queijos (GUNASEKARAN e AK, 2003). Benevides et al. (2000) ao avaliarem o perfil sensorial de queijos

de Coalho fabricados com leite pasteurizado no estado do Ceará observaram que os termos mais citados pelos provadores foram textura e maciez, o que indica a importância do atributo na avaliação do produto.

A avaliação da textura em alimentos é realizada por meio da análise sensorial ou instrumental, podendo estas atuar individualmente ou em conjunto (SZCZESNIACK, 2002). No entanto, os custos envolvidos na criação e manutenção de um painel sensorial, levam os pesquisadores na área de alimentos a priorizarem o uso da análise instrumental ao invés da avaliação sensorial para a caracterização da textura (PEREIRA et al., 2005).

A avaliação textural por métodos instrumentais é baseada em testes de força desenvolvidos para simular a compressão do queijo entre os molares durante a mastigação (FOX et al., 2000). Ensaio como o de fluência e relaxação podem servir para simular condições de prensagem na produção dos queijos ou de empilhamento durante o armazenamento e transporte.

A Análise do Perfil de Textura (TPA) instrumental se baseia na dupla compressão sobre uma amostra do alimento a ser estudado, em um movimento alternado, imitando a ação da mandíbula, resultando em uma curva força-tempo de onde são extraídos os resultados dos parâmetros mecânicos (BOURNE, 2002). Os parâmetros determinados a partir da curva de TPA podem ser agrupados em primários (dureza, coesividade, adesividade e elasticidade) e secundários (mastigabilidade, gomosidade e fraturabilidade) (GUNASEKARAN e AK, 2003). Ressalta-se que muitos alimentos não apresentam todos os parâmetros texturais (STEFFE, 1996).

O ensaio de fluência (*creep test*) é um teste utilizado para caracterizar as propriedades estruturais de materiais viscoelásticos (OLIVARES et al., 2009), como os queijos. Durante um ensaio de fluência, uma tensão instantânea e constante é aplicada, e a evolução da deformação causada pela aplicação da tensão é medida em função do tempo, sendo avaliado, também, o período de recuperação do material, que se inicia assim que a tensão começa a ser removida (STEFFE, 1996).

Os dados obtidos através de um ensaio de fluência (*creep test*) podem ser interpretados utilizando modelos mecânicos, como os modelos de Maxwell, de Kelvin-Voigt, de Burgers, entre outros, que são muito úteis para explicar os mecanismos moleculares que contribuem para as respostas viscoelásticas (STEFFE, 1996; SUBRAMANIAN et al., 2003), as quais são de grande interesse para compreensão das mudanças físicas ocorridas durante os processos de maturação, transporte, empilhamento e derretimento de queijos (OLIVARES et al., 2009).

O objetivo do presente trabalho foi avaliar por meio de ensaios mecânicos a influência do tipo de acidificante e tempo de armazenamento refrigerado na produção de queijos de Coalho.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado nos Laboratórios de Ensaio de Materiais – LabEM e de Análise de Alimentos, da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), campus Juvino Oliveira.

2.1. Queijos

A produção dos queijos foi realizada conforme descrito no Capítulo II (item 2.1. Queijos, páginas 18-20).

2.2. Avaliação do comportamento mecânico

O comportamento mecânico dos queijos foi avaliado após 0, 7, 14, 21 e 28 dias de armazenamento refrigerado a 10°C. A análise do perfil de textura (TPA) e o ensaio de fluência (*creep test*) foram realizados em um analisador de textura TA.HD plus (*Stable Micro Systems*, UK), previamente calibrado, equipado com uma célula de carga de 50 kg, utilizando de um prato de compressão, *probe*, (P/100) com 100 mm de diâmetro.

Os dados obtidos, coletados a uma taxa de 200 pontos por segundo (200 PPS), foram processados no *software* “Texture Expert for Windows 1.20” (*Stable Micro Systems*, UK).

Para avaliação mecânica dos queijos foram utilizados corpos de prova (espécimes) retirados conforme processo descrito no Capítulo II (item 2.3. Retirada de amostras, páginas 20-21).

Dos onze corpos de prova destinados aos ensaios mecânicos, oito foram utilizados no TPA e três no ensaio de fluência. Os cilindros de queijo destinados às avaliações mecânicas foram embalados individualmente em filmes de PVC e mantidos sob refrigeração a 10°C por 90 minutos antes do início dos ensaios mecânicos para uniformização da temperatura.

2.2.1. Análise do Perfil de Textura (TPA)

Para realização do TPA os corpos de prova foram comprimidos a um grau de compressão de 50% da altura inicial e velocidades de 1,00 mm.s⁻¹, para o pré-teste, teste e pós-teste. O grau de compressão foi determinado de acordo com o objetivo do ensaio que é quantificar as propriedades mecânicas do material. Quanto maior o percentual de deformação, maior será a fragmentação dos corpos de prova utilizados. Essa condição de ensaio é desejada para se obter uma imitação do processo de mastigação, no entanto, algumas variáveis obtidas, como a elasticidade ou a coesividade podem tornar-se fisicamente sem sentido (ALVAREZ et al., 2002). As variáveis avaliadas no teste foram: dureza, elasticidade, mastigabilidade e coesividade.

2.2.2. Fluência e recuperação (*Creep-recovery*)

O ensaio de fluência (*creep test*) foi conduzido utilizando da técnica de monitoramento da deformação de um espécime quando submetido a uma tensão constante (MOHSENIN, 1986).

Os resultados obtidos no ensaio foram expressos em termos da proporção entre a deformação específica normal medida (ϵ) e a tensão normal aplicada (σ_0), conhecida como compliância (D), a qual pode ser representada através de curvas (Figura 7). As curvas de *creep* (compliância (Pa⁻¹) vs. tempo (s)) foram ajustadas ao modelo de Burgers, que consiste na ligação em série de um modelo de Kelvin-Voigt associado a um elemento viscoso (amortecedor) e um elemento elástico (mola),

demonstrado na Figura 1 e representado pela Equação 1. De acordo com Steffe (1996) o modelo de Burgers é o mais adequado para explicar o processo de fluência de materiais biológicos.

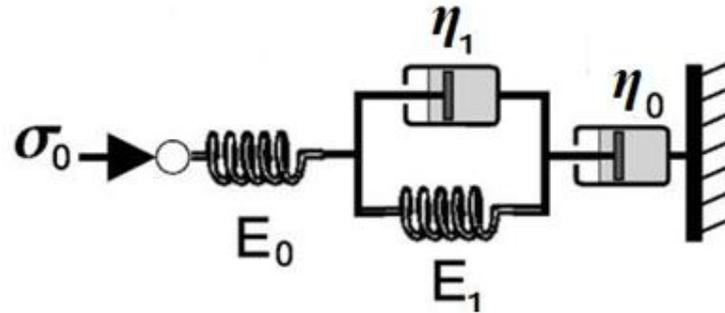


FIGURA 1. Modelo de Burgers.

Fonte: adaptado de HERNÁNDEZ-ESTRADA et al., 2012.

Onde σ_0 é a tensão aplicada, E_0 é o módulo da elasticidade instantânea ou módulo do corpo Hookeano (mola), E_1 é o módulo elástico do elemento de Kelvin-Voigt, η_0 é o coeficiente de viscosidade do elemento viscoso (amortecedor) e η_1 é o coeficiente de viscosidade do elemento de Kelvin-Voigt ou coeficiente de viscosidade correspondente à deformação elástica retardada (HERNÁNDEZ-ESTRADA et al., 2012).

$$D(t) = D_0 + D_1 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\lambda_{ret}}}\right) + \frac{t}{\eta} \quad (1)$$

onde $D(t)$ é a compliância (Pa^{-1}) do corpo para todo tempo t , D_0 (onde $D_0 = 1/E_0$) é a compliância instantânea (Pa^{-1}), D_1 (onde $D_1 = 1/E_1$) é a compliância retardada (Pa^{-1}), λ_{ret} (onde $\lambda_{ret} = \eta_1/E_1$) é o tempo de retardação (s) e η é o coeficiente de viscosidade Newtoniana ($\text{Pa}\cdot\text{s}$) (GUNASEKARAN e AK, 2003).

Além das variáveis mecânicas do modelo de Burgers foi calculado também o percentual de recuperação, Crp (%), tido como uma indicação do grau de elasticidade, capacidade de retorno à condição inicial após a remoção da força deformante, do material e calculada de acordo com a Equação 2 (BROWN et al., 2003):

$$Crp = \frac{D_{max} - D_r}{D_{max}} * 100 \quad (2)$$

onde D_{max} é a compliância máxima (Pa^{-1}) e D_r é a máxima recuperação (Pa^{-1}). A máxima recuperação pode ser calculada através da Equação 3 (MELITO et al., 2013):

$$D_r = D_{max} - D_{min} \quad (3)$$

onde D_{min} é a compliância mínima.

Para construção das curvas de fluência e obtenção das variáveis viscoelásticas do modelo de Burgers através de regressão não linear foi utilizado o *software* SigmaPlot 11.0 (SIGMAPLOT, 2008).

2.3. Análise estatística

O experimento foi conduzido em um Delineamento em Blocos Casualizados (DBC), em esquema fatorial 4 x 5 (ácido x tempo), com três repetições. As análises de textura foram realizadas com 8 (oito) replicatas e o ensaio de fluência em triplicata. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e regressão linear com nível de significância de 5% através do programa computacional Sistema para Análise de Variância – SISVAR, versão 5.3 (FERREIRA, 2011).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Análise do Perfil de Textura (TPA)

O perfil de textura dos queijos de Coalho pode ser observado na Figura 2. O ponto máximo do primeiro ciclo de compressão representa a dureza (N) da amostra no TPA, ou seja, a força necessária para provocar uma determinada deformação. As demais variáveis podem ser obtidas através da relação entre as áreas do primeiro e do segundo ciclo de compressão (BOURNE, 2002).

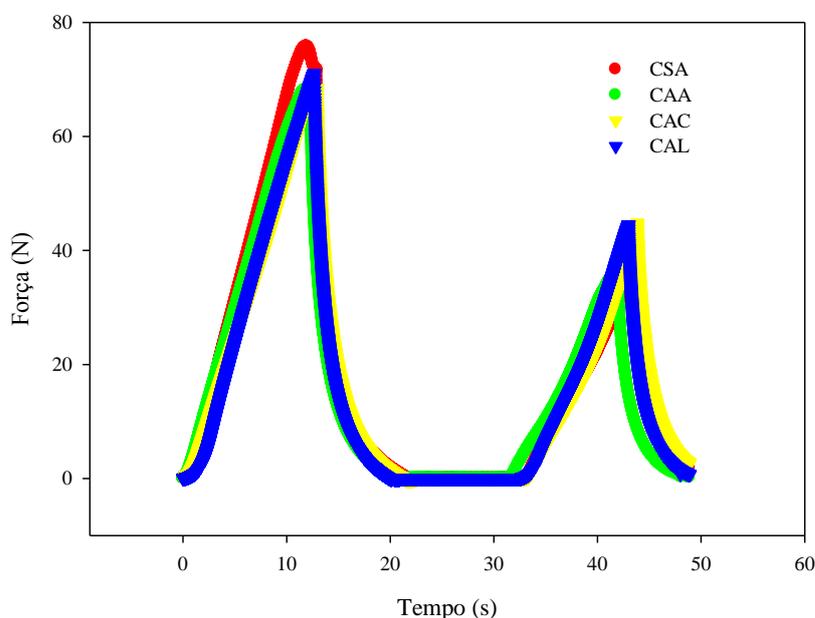


FIGURA 2. Perfil de textura médio dos queijos de Coalho armazenados sob refrigeração.

Na Tabela 1 são apresentadas as probabilidades estatísticas da análise de variância (ANOVA) para as variáveis da análise do perfil de textura (TPA).

TABELA 1. Probabilidade estatística do teste F-ANOVA para variáveis texturais de queijos de Coalho produzidos com diferentes ácidos e armazenados sob refrigeração.

Variável	P-valor		
	Ácido (A)	Tempo (B)	Interação (A x B) ^{ns}
Dureza (N)	0,625 ^{ns}	0,405	0,898
Elasticidade ^a	0,001	0,133	0,362
Coesividade ^a	0,199 ^{ns}	0,659	0,994
Mastigabilidade (N)	0,866 ^{ns}	0,711	0,993

^a Parâmetros adimensionais. ^{ns} Diferença não significativa entre médias (P>0,05).

Verificou-se que apenas o parâmetro elasticidade foi influenciado significativamente (P<0,05) pelo tipo de ácido utilizado na acidificação do leite. Como a interação entre os fatores ácido e tempo foi não significativa (P>0,05) para todos os parâmetros texturais, os fatores foram analisados separadamente, uma vez que atuam de maneira independente. Farkye et al. (1995) também não observaram interação entre os fatores ácido e tempo ao estudar a influência do tipo de ácido nas propriedades sensoriais e texturais de *Quesos Blancos*.

Em relação ao fator tempo de armazenamento refrigerado foi necessária a realização de uma regressão para modelar o comportamento dos parâmetros mecânicos, já que o fator tempo é uma variável quantitativa e nesse caso o teste F-ANOVA não possui valor estatístico para detecção de diferenças.

Os valores médios e desvios-padrão dos parâmetros mecânicos do TPA para os queijos de Coalho avaliados são apresentados na Tabela 2.

TABELA 2. Valores médios e desvios-padrão das variáveis mecânicas do TPA para os queijos de Coalho produzidos com diferentes ácidos.

Tratamento	Dureza (N) ^{ns}	*Elasticidade	*Coesividade ^{ns}	Mastigabilidade (N) ^{ns}
CSA	76,385 ± 4,289	0,856 ± 0,004 ^{ab}	0,395 ± 0,021	27,335 ± 2,948
CAA	68,525 ± 11,738	0,860 ± 0,006 ^b	0,418 ± 0,044	25,017 ± 4,596
CAC	67,411 ± 4,928	0,848 ± 0,006 ^a	0,453 ± 0,019	26,616 ± 3,578
CAL	72,594 ± 13,457	0,849 ± 0,006 ^a	0,444 ± 0,012	28,752 ± 4,660
Média	71,229 ± 4,096	0,853 ± 0,005	0,428 ± 0,026	26,930 ± 1,554
Valor-P	0,625	0,001	0,199	0,866
CV (%)	28,99	0,95	18,71	45,31

*Parâmetro adimensional. CV: Coeficiente de variação percentual (%). Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,05).

Os queijos de Coalho avaliados não apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre si para o parâmetro dureza (N), apresentando um valor médio de 71,229 ± 4,096 (N). O valor da dureza é condizente com outros resultados encontrados na literatura, contudo, observa-se que há

uma grande variação entre os mesmos, o que evidencia a falta de um padrão produtivo e uniformidade entre os diversos “queijos de Coalho” fabricados e comercializados pelo Brasil.

Silva (2013) ao avaliar o perfil de textura de queijos de Coalho tradicionais, elaborados com culturas lácticas, encontrou valores médios para a dureza dos queijos da ordem de $108,452 \pm 6,518$ (N) para um grau de compressão de 45% da altura inicial, enquanto, Queiroga et al. (2013) observaram uma dureza média de $15,992 \pm 3,222$ (N). Andrade et al. (2007) ao estudarem as características texturais de queijos de Coalho artesanais e industrializados encontraram durezas médias de $36,28 \pm 18,99$ (N) e $35,87 \pm 14,17$ (N), para os queijos industrializados e artesanais, respectivamente, com umidades médias de 44,34 % e 44,52% (ANDRADE, 2006).

Ainda em relação à dureza, pode-se afirmar que o processo de proteólise, o teor de umidade, o percentual de gordura, entre outros, são alguns fatores que influenciam na dureza dos queijos (GUNASEKARAN e AK, 2003; PEREIRA et al., 2001; BRYANT et al., 1995).

Dentre os resultados de dureza encontrados na literatura observa-se que há uma grande amplitude dos mesmos, variando de $15,992 \pm 3,222$ (N) a $108,452 \pm 6,518$ (N), o que é decorrente da grande variação entre as características físico-químicas, teor de umidade, teor de gordura, tempo e modo de prensagem e principalmente da falta de padrão dos queijos de Coalho encontrados no mercado.

Os queijos avaliados por Queiroga et al. (2013), apesar de apresentarem um menor teor de gordura, $14,81 \pm 0,90$ (%), o que acarretaria um aumento na dureza (BRYANT et al., 1995), apresentaram um alto teor de umidade, $62,41 \pm 0,32$ (%), o que pode ter compensado a redução do teor de gordura e provocado uma redução na dureza, quando comparado aos resultados do presente experimento, onde foram observados um teor de lípidios de $22,96 \pm 0,89$ (%), $45,8 \pm 1,09$ (%) de umidade e $71,229 \pm 4,096$ (N) de dureza.

O comportamento médio da dureza (N) dos queijos de Coalho ao longo do tempo de armazenamento refrigerado pode ser observado na Figura 3.

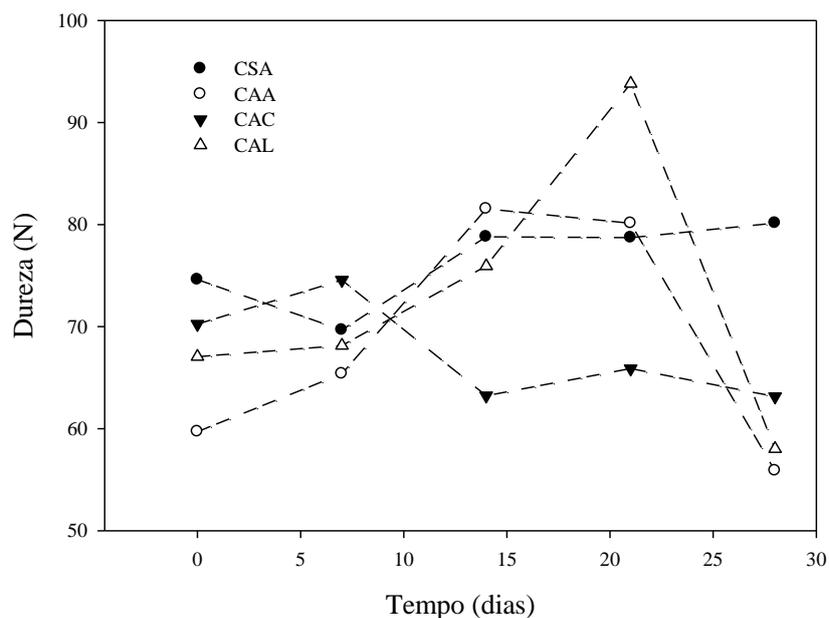


FIGURA 3. Dureza (N) média dos queijos de Coalho em função do tempo de armazenamento refrigerado.

Não foram encontrados modelos que se ajustassem aos dados experimentais para explicar a variação da dureza com o tempo de armazenamento para os queijos de Coalho analisados.

Queiroga et al. (2013) não observaram diferenças na dureza dos queijos de Coalho, fabricados com leite de vaca e cultura láctica, ao longo dos 28 dias de armazenamento refrigerado a 4°C. Silva (2013) não encontrou nenhum modelo que se ajustasse aos dados experimentais para explicar a variação da dureza com o tempo para o queijo de Coalho tradicional.

O aumento inicial na dureza, apresentado por alguns queijos, pode ser atribuído ao processo de solidificação da gordura do queijo e consequente aumento na relação dos teores de gordura sólida: líquida, ocasionado pelo armazenamento refrigerado. Fox et al. (2000) destacam que com o aumento na proporção de gordura na forma líquida, esta se comporta como um fluido viscoso o que reduz a rigidez dos queijos. Os queijos CAA e CAL apresentaram os maiores teores de gordura, estando mais propícios ao processo de solidificação. Contudo, os queijos fabricados com ácido láctico não apresentaram o mesmo comportamento, o que pode ser decorrente da apresentação da gordura entre a matriz de caseína e da interação da gordura com os demais componentes do queijo. Outro fator que poderia ocasionar o aumento na dureza dos queijos é a redução dos teores de umidade, porém, não foram observadas variações nos teores de umidade dos queijos do presente estudo.

A posterior redução nos valores da dureza, apresentada pelos queijos CAA, CAC e CAL, pode ser atribuída ao processo proteolítico mais acentuado na fase de armazenamento a partir da 3ª semana. O processo proteolítico também apresentou influência sobre a elasticidade do queijo CAA. A elasticidade dos queijos sofreu uma redução no período inicial, decorrente da proteólise primária,

em que o coagulante residual promove a hidrólise da caseína e o consequente enfraquecimento da rede protéica (CUNHA, 2002).

Farkye et al. (1995) observaram um aumento na dureza de *Quesos blancos*, fabricados com os ácidos acético, cítrico e láctico, durante as 7 semanas de avaliação. O comportamento do parâmetro dureza foi o mesmo para todos os queijos, independente do tipo de ácido utilizado na fabricação. Contudo, os queijos com ácido cítrico apresentaram os maiores valores para dureza, enquanto os queijos com ácido láctico apresentaram os menores valores. Parnell-Clunies et al. (1985) observaram um comportamento semelhante ao analisar *Quesos blancos* durante 17 dias, quando ocorreu um aumento na dureza dos queijos e uma redução no teor de umidade, sendo atribuída à essa redução da umidade o aumento na firmeza dos queijos.

A mastigabilidade no TPA, segundo a definição para os métodos sensoriais, é definida como a energia necessária para mastigar um alimento sólido até o mesmo estar pronto para ser deglutido. Na avaliação insrumental também é considerado um parâmetro secundário e pode ser obtido através do produto da dureza, coesividade e elasticidade (SZCZESNIAK, 1963). As variáveis mastigabilidade e dureza possuem relação direta e apresentaram boa correlação ($r = 0,84$), apresentando o mesmo comportamento oscilatório mas sem tendência de variação definida para nenhum dos queijos.

Nenhum dos modelos testados se ajustou adequadamente aos resultados de mastigabilidade obtidos para os queijos, o que pode ter sido decorrente da falta de um padrão comportamental ocasionada pela alta variação entre resultados ($CV = 45,31\%$).

A mastigabilidade média dos queijos foi $26,930 \pm 1,554$ (N), valor situado dentro da faixa observada por Andrade et al.(2007), que encontrou valores de mastigabilidade variando entre 10,22 (N) e 33,01 (N), para queijos industriais e artesanais. Silva (2013) encontrou resultados superiores aos do presente trabalho, observando valores de mastigabilidade variando entre $54,21 \pm 12,16$ (N) e $69,32 \pm 9,74$ (N) para queijos de Coalho tradicional, coerentes com os valores de dureza, citados anteriormente, os quais também foram superiores aos dos queijos fabricados através de acidificação direta. No estudo realizado por Silva (2013) o queijo de Coalho tradicional apresentou um aumento linear na mastigabilidade, o que não foi observado nesta pesquisa.

O comportamento médio da variável mastigabilidade dos queijos de Coalho ao longo do tempo de armazenamento pode ser observado na Figura 4.

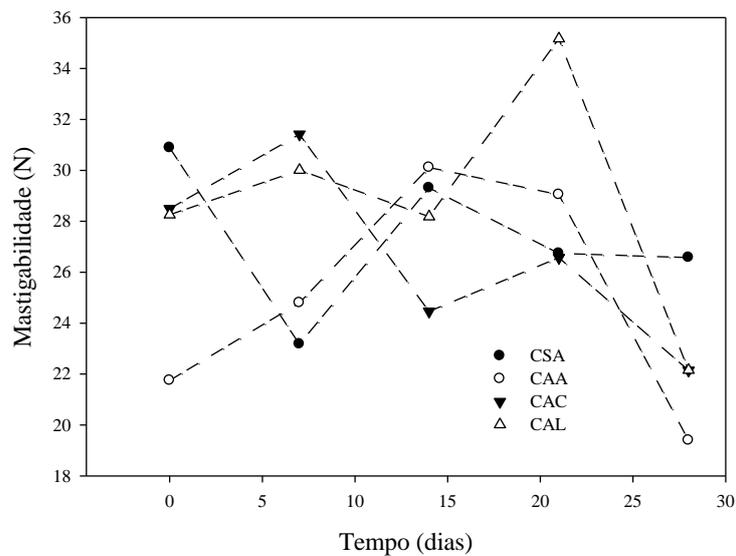


FIGURA 4. Mastigabilidade (N) média dos queijos de Coalho em função do tempo de armazenamento refrigerado.

A elasticidade, que pode ser definida como a tendência à recuperação do material após a remoção da força deformante (FOX et al., 2000), foi o único parâmetro textural onde pôde se observar diferenças significativas ($P < 0,05$) entre as médias dos tratamentos e ao longo do tempo de armazenamento refrigerado.

O comportamento médio da elasticidade dos queijos de Coalho ao longo do tempo de armazenamento refrigerado pode ser observado na Figura 5.

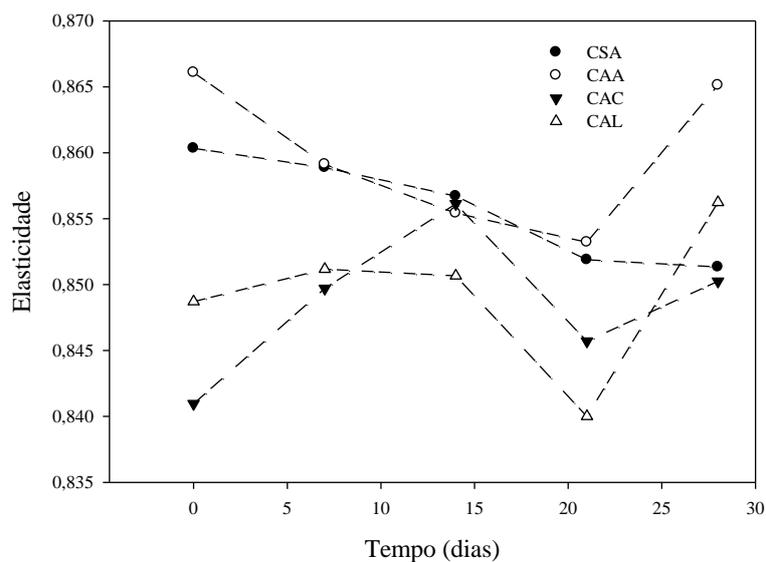


FIGURA 5. Valores médios de Elasticidade dos queijos de Coalho em função do tempo de armazenamento refrigerado.

O queijo fabricado com ácido acético (CAA) apresentou o maior valor médio de elasticidade, $0,860 \pm 0,004$, diferenciando-se significativamente dos queijos fabricados com ácido cítrico e láctico, os quais apresentaram os menores valores médios de elasticidade, $0,848 \pm 0,006$ e $0,849 \pm 0,006$, respectivamente, não havendo diferença significativa entre os mesmos.

O maior valor para elasticidade do queijo CAA está acordo com a dureza apresentada pelo mesmo, visto que um maior valor de dureza indica uma matriz protéica bem formada, mais firme e mais elástica. O ácido acético, utilizado na fabricação do queijo, pode ter influenciado na distribuição das micelas de gordura e preenchimento da rede de caseína, além de não ter provocado uma forte desmineralização da coalhada, como no caso do ácido cítrico, o que ocasionou a formação de um queijo mais firme e mais elástico.

Quanto maior o número de ligações intra e intermoleculares na matriz protéica e quanto mais fortes forem estas, maior será a tendência do queijo apresentar uma maior firmeza e elasticidade (FOX et al., 2000), sendo que o número e a força das ligações protéicas, assim como a estabilidade dessas, é dependente da concentração de cálcio coloidal, por isso, o processo de desmineralização ocasionado por alguns ácidos resultará em queijos mais macios e menos elásticos.

Silva (2013) encontrou valores de elasticidade da ordem de $0,87 \pm 0,01$ ao realizar o TPA de queijos de Coalho tradicionais, elaborados com culturas lácticas, não sendo encontrado nenhum modelo que se ajustasse aos dados obtidos ao longo dos 28 dias de análise. Andrade et al. (2007) ao estudarem as características texturais de queijos de Coalho artesanais e industrializados encontraram elasticidades médias de $0,84 \pm 0,01$ e $0,85 \pm 0,04$. Todos os valores foram condizentes com os resultados encontrados no presente trabalho, independente da utilização de ácidos na fabricação.

O queijo de Coalho CAA apresentou uma redução inicial na elasticidade ao longo das três primeiras semanas, atingindo um valor mínimo e aumentando posteriormente, comportamento explicado através do modelo matemático da Tabela 3.

Não foram encontrados modelos que se ajustassem aos dados experimentais para explicar a variação da elasticidade com o tempo de armazenamento para os demais queijos.

TABELA 3. Modelo matemático para a variável Elasticidade do queijo de Coalho CAA em função do tempo de armazenamento refrigerado.

Modelo*	R ²	P
CAA = $0,000058 t^2 - 0,001719 t + 0,866867$	0,8922	0,029

*t representa o tempo de avaliação (dias), onde $0 \leq t \leq 28$.

O efeito do teor de umidade sobre a elasticidade ainda não é claro. Alguns autores verificaram em seus estudos tanto o aumento como a redução na elasticidade para teores de umidade semelhantes (TUNICK et al., 1991; BRYANT, USTUNOL e STEFFE, 1995; CHEN et al., 1979 *apud* GUNASEKARAN e AK, 2003), o que evidencia que a natureza da matriz protéica

do queijo pode ser mais importante em relação aos parâmetros mecânicos do que a umidade (BRYANT, USTUNOL e STEFFE, 1995). Apesar de ter apresentado uma boa correlação positiva ($r = 0,68$) entre a elasticidade e o teor de umidade, não foram observadas diferenças significativas da umidade ao longo do armazenamento, ao tempo em que variações na elasticidade do queijo CAA foram significativas.

A coesividade representa a medida em que um material pode ser deformado antes de se romper (SZCZESNIAK, 1963), fornecendo um indicativo da força das ligações internas do material (GUNASEKARAN e AK, 2003), no caso dos queijos, as ligações da matriz proteica.

Quanto maior as interações, mais coeso é o queijo, maior sua resistência à ruptura e, portanto mais rígido. Queijos com altos valores de coesividade apresentam um corpo bem constituído, com fortes ligações internas e com textura borrachenta, característica do queijo de Coalho.

Não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre a coesividade das amostras. Esperava-se que o queijo CSA apresentasse a maior coesividade, visto não ter recebido adição de ácidos que pudessem provocar a desmineralização da coalhada e por ter o maior valor de pH, contudo, o maior conteúdo de umidade (valor absoluto) apresentado por este queijo pode ter contribuído para a redução do valor da coesividade o qual não diferiu dos demais queijos.

A coesividade média dos queijos de Coalho foi de $0,428 \pm 0,026$, valor inferior aos encontrados por Silva (2013), os quais variaram entre $0,62 \pm 0,13$ e $0,69 \pm 0,04$. Andrade et al. (2007) observaram valores de coesividade variando entre 0,49 e 0,67 para queijos artesanais e industrializados produzidos no estado do Ceará. Queiroga et al. (2013), apesar de terem observado valores de dureza inferiores ao do presente trabalho, encontraram valores de coesividade superiores, variando entre $0,67 \pm 0,12$ e $0,77 \pm 0,03$.

Farkye et al. (1995) não observaram diferenças estatisticamente significativas entre os valores de coesividade de queijos do tipo *Queso Blanco* elaborados com os ácidos cítrico, acético e láctico, com resultados situados entre $0,76 \pm 0,17$ e $0,78 \pm 0,23$. Também não foi observado pelos autores variações do parâmetro ao longo de 7 semanas sob armazenamento refrigerado.

No presente trabalho, nenhum dos modelos testados se ajustou adequadamente aos dados de coesividade dos queijos de Coalho para explicar as variações ocorridas ao longo dos 28 dias sob armazenamento refrigerado.

O comportamento médio da coesividade dos queijos de Coalho ao longo do tempo de armazenamento refrigerado pode ser observado na Figura 6.

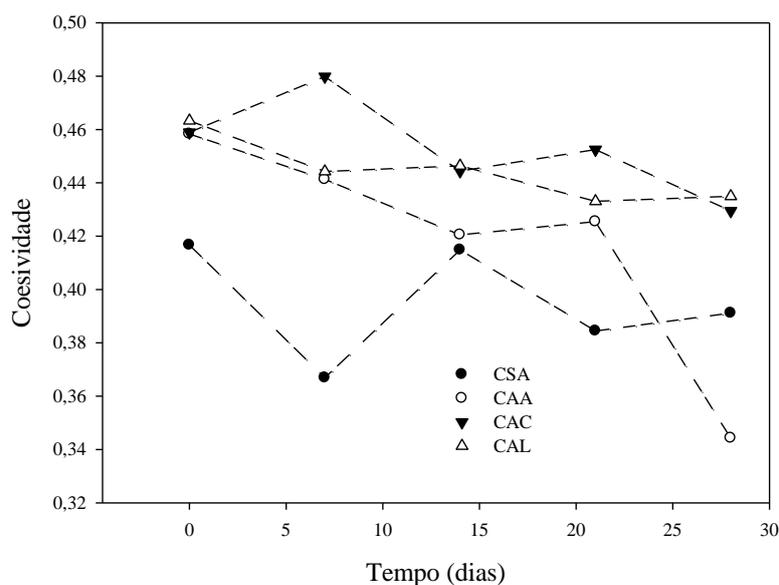


FIGURA 6. Valores médios de Coesividade dos queijos de Coalho em função do tempo de armazenamento refrigerado.

Farkye et al. (1995) observaram que a dureza e a mastigabilidade de *Quesos Blancos* foram influenciadas significativamente pelo tipo de ácido utilizado na fabricação, mas a elasticidade e coesividade não foram dependentes do tipo de ácido. Dureza, elasticidade e mastigabilidade foram afetadas significativamente pelo tempo de armazenamento, mas a coesividade não. De acordo com Farkye et al. (1995) as diferenças na dureza e elasticidade de *Quesos Blancos* produzidos com diferentes ácidos podem ser decorrentes de diferenças na microestrutura dos mesmos.

Queijos com alto teor de umidade apresentam redução na firmeza, o que pode ser atribuído ao aumento da quantidade de submicelas de caseína e aumento da relação caseína-umidade. Assim, mesmo pequenas variações no teor de umidade podem ter efeito significativo sobre a textura dos queijos (GUNASEKARAN e AK, 2003). Como pode ser observado no Capítulo II (Tabela 3), os tratamentos diferenciaram-se entre si quanto ao teor de umidade, contudo, no presente estudo a magnitude da variação entre tratamentos não foi suficiente para provocar mudanças na maioria das variáveis mecânicas, as quais não apresentaram diferenças entre tratamentos e ao longo do tempo de armazenamento.

A mudança mais notável com o tempo, devido à quebra proteolítica da matriz de proteína, é o decréscimo na dureza e na elasticidade (GUNASEKARAN e AK, 2003). No presente estudo, assim como relatado por Queiroga et al. (2013), a atividade proteolítica foi limitada, visto que a atividade metabólica sob armazenamento refrigerado é reduzida. Desta forma, a influência do aumento da proteólise, evidenciada pela elevação do IPP (Capítulo II), sobre as variáveis mecânicas não foi significativa para a maioria dos queijos.

O efeito do ácido utilizado na fabricação pode variar de acordo com o tipo de queijo. *Pizza cheese* e *Blue cheese*, por exemplo, são tipos de queijo que apresentaram diferenças na firmeza e no

teor de umidade de acordo com o ácido usado (SHEHATA et al., 1967). Diferenças também foram observadas por Farkye et al., (1995) no estudo de *Queso Blanco-type cheese* fabricados com ácido acético, cítrico e láctico, quanto às variáveis mecânicas (dureza, fraturabilidade, mastigabilidade e gomosidade), apesar de não terem sido observadas variações nos teores de umidade. Ao contrário do presente estudo, Farkye et al., (1995) não observaram diferenças significativas na elasticidade dos queijos.

Isto evidencia que outros parâmetros de fabricação, como temperatura de cozimento, tempo de prensagem, drenagem do soro, podem exercer maior influência nas características texturais do queijo do que o tipo de ácido utilizado, podendo ainda ser mais evidentes em um determinado parâmetro textural do que em outro, a depender do tipo de queijo.

3.2. Análise reológica

Os dados obtidos nos ensaios de fluência foram ajustados ao modelo de Burgers (Equação 1), por meio de regressão não linear. As curvas experimentais obtidas apresentaram boa correlação ($R^2 > 0,93$) e todos os parâmetros do modelo foram significativos ($P < 0,05$).

As curvas obtidas experimentalmente para os queijos de Coalho são mostradas na Figura 7. O ponto máximo das curvas, alcançado após 180 s, representa a compliância máxima (D_{max}), enquanto que o valor alcançado após 360 s representa a compliância mínima (D_{min}). A recuperação máxima (D_r) é obtida através da subtração entre as compliâncias máxima e mínima.

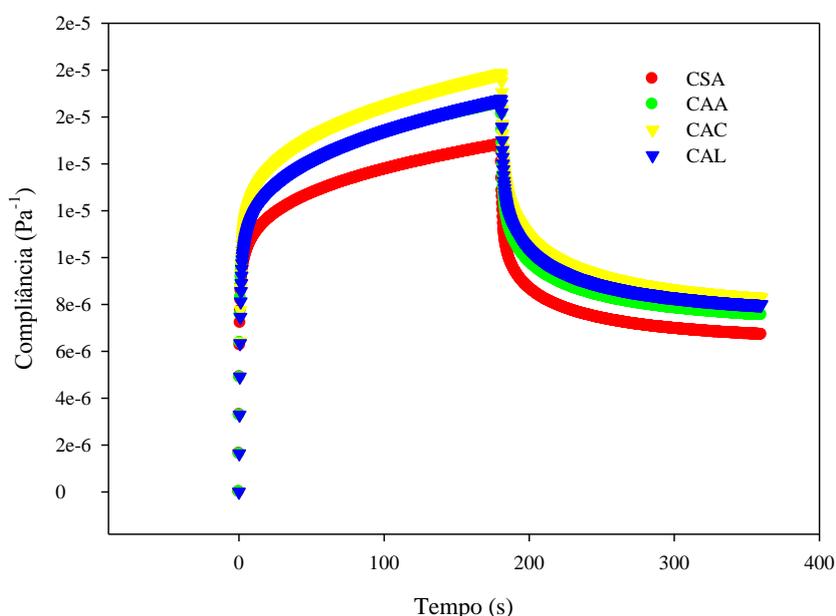


FIGURA 7. Curvas de fluência e recuperação (*creep-recovery*) obtidas das médias dos dados experimentais para os queijos de Coalho armazenados sob refrigeração.

Na Tabela 4 são apresentados os resultados da análise de variância (ANOVA) para as variáveis do ensaio de fluência e recuperação.

TABELA 4. Probabilidade estatística do teste F-ANOVA para variáveis do ensaio de fluência e recuperação.

Variável	P-valor		
	Ácido (A)	Tempo (B)	Interação (A x B)
D_0 (Pa ⁻¹)	0,1582 ^{ns}	0,7753	0,8480 ^{ns}
D_1 (Pa ⁻¹)	0,3951 ^{ns}	0,5370	0,6457 ^{ns}
λ_{ret} (s)	0,4736 ^{ns}	0,5654	0,8190 ^{ns}
η (Pa.s)	0,0003	0,0079	0,9034 ^{ns}
Crp (%)	0,6594 ^{ns}	0,5101	0,0674 ^{ns}

^{ns} Diferença não significativa entre médias (P>0,05).

Verificou-se que apenas a variável η (Pa.s), viscosidade Newtoniana, foi influenciada significativamente (P<0,05) pelo tipo de ácido utilizado na acidificação do leite. Como a interação entre os fatores ácido e tempo foi não significativa (P>0,05) para todos as variáveis mecânicas, os fatores foram analisados separadamente, uma vez que atuam de maneira independente.

Em relação ao fator tempo de armazenamento refrigerado foi necessária a realização de regressão para modelar o comportamento dos parâmetros viscoelásticos, já que o fator tempo é uma variável quantitativa. Nesse caso o teste F-ANOVA não possui valor estatístico para detecção de diferenças.

Os valores médios das variáveis mecânicas do modelo de Burgers para os queijos de Coalho avaliados são apresentados na Tabela 5.

TABELA 5. Valores médios e desvios-padrão das variáveis mecânicas do modelo de Burgers para os queijos de Coalho produzidos com diferentes ácidos.

Tratamento	D_0 (10 ⁻⁶ Pa ⁻¹) ^{ns}	D_1 (10 ⁻⁵ Pa ⁻¹) ^{ns}	λ_{ret} (s) ^{ns}	η (10 ⁷ Pa.s)	Crp (%) ^{ns}
CSA	2,218 ± 0,347	0,923 ± 0,164	2,510 ± 0,920	5,106 ± 0,694 ^b	45,25 ± 2,86
CAA	2,825 ± 0,380	0,989 ± 0,096	2,858 ± 0,896	4,268 ± 0,764 ^a	45,83 ± 2,64
CAC	2,397 ± 0,432	1,124 ± 0,094	2,405 ± 0,944	3,940 ± 0,817 ^a	47,11 ± 1,48
CAL	3,122 ± 0,513	0,946 ± 0,095	3,122 ± 0,771	4,217 ± 0,954 ^a	47,23 ± 1,65
Média	2,640 ± 0,409	0,995 ± 0,089	2,724 ± 0,329	4,383 ± 0,504	46,35 ± 0,97
P-valor	0,1582	0,3951	0,4736	0,0003	0,6594
CV (%)	44,44	34,62	50,63	15,88	11,06

CV: Coeficiente de variação percentual (%). Médias seguidas pela mesma letra nas colunas, não diferem entre si pelo teste de t-Student (P>0,05).^{ns} Diferença não significativa entre médias.

A compliância instantânea (D_0) é um indicativo da firmeza e rigidez do queijo. Queijos com valores de compliância instantânea (D_0) maiores são mais macios e menos rígidos do que queijos com menores valores de D_0 (LOBATO-CALLEROS e AGUIRRE-MANDUJANO, 2000;

KIKUCHI, 2008). A perda da rigidez com o tempo está relacionada à proteólise sofrida pelos queijos, o que torna a matriz protéica mais frágil e conseqüentemente menos resistente à deformações e rupturas (KIKUCHI, 2008).

Maiores valores de compliância instantânea revelam um maior grau de deformação não retardada (elástica), indicando que as cadeias polipeptídicas da rede são relativamente livres para rearranjar entre ligações cruzadas (MA et al., 1997; SUBRAMANIAN et al., 2003).

A variável D_0 não foi afetada pelo tipo de ácido utilizado nem pelo tempo de armazenamento refrigerado (Figura 8), o que aponta para uma proteólise reduzida, decorrente da baixa temperatura de armazenamento (10°C) na qual a atividade metabólica é reduzida (QUEIROGA et al., 2013).

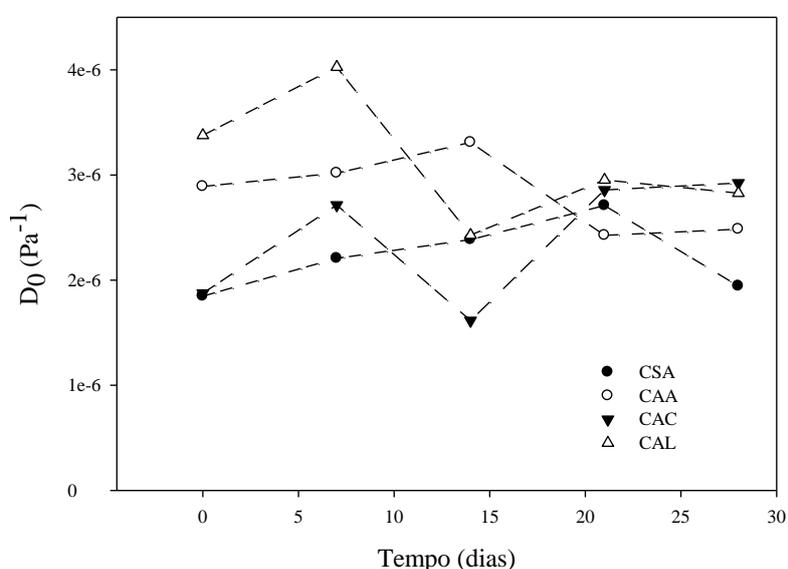


FIGURA 8. Compliância instantânea (D_0) média do modelo de Burgers para os queijos de Coalho em função do tempo de armazenamento refrigerado.

Silva (2013) ao estudar o comportamento mecânico do queijo de Coalho tradicional através do ensaio de fluência utilizando o modelo generalizado de Kelvin-Voigt com 2 elementos ($n=2$) encontrou menor valor médio para a variável D_0 , $1,93 \pm 1,65 (x10^{-15} \text{ Pa}^{-1})$, comparado ao valor médio de D_0 , $2,640 \pm 0,409 (x10^{-6} \text{ Pa}^{-1})$, dos queijos analisados, sem adição de culturas lácticas. Esse resultado indica que o queijo de Coalho tradicional, produzido com culturas lácticas é mais firme e mais rígido. A adição de ácido aos queijos provoca uma maior retenção de umidade na matriz protéica (KELLER et al., 1974), o que leva a um queijo mais macio e menos rígido. O decréscimo na firmeza causado pelo aumento no teor de umidade ocorre devido à maior hidratação e conseqüente enfraquecimento da matriz de caseína (PEREIRA et al., 2001).

Kikuchi (2008) ao avaliar o comportamento mecânico de queijos Minas Frescal com reduzido teor de gordura observaram que a variável compliância instantânea (D_0) foi afetada pelo tempo de armazenamento refrigerado, contudo não houve concordância de comportamento para todos os queijos avaliados, enquanto alguns apresentaram redução do valor da compliância

instantânea com o tempo, outros apresentaram aumento do valor da variável. O aumento do valor de D_0 , e conseqüente redução da rigidez, foram atribuídos à proteólise sofrida pelo queijo.

A compliância retardada (D_1) é útil para mostrar o quão rígido e coeso é um material, pois é uma medida do inverso do módulo da elasticidade ($D_1 = 1/E_1$), menores valores de D_1 sugerem que as forças entre as ligações internas da matriz dos queijos são maiores e, portanto, são mais resistentes à ruptura (SILVA, 2013). O aumento do valor dessa variável é associado a um comportamento menos sólido e mais viscoelástico (OLIVARES et al., 2009).

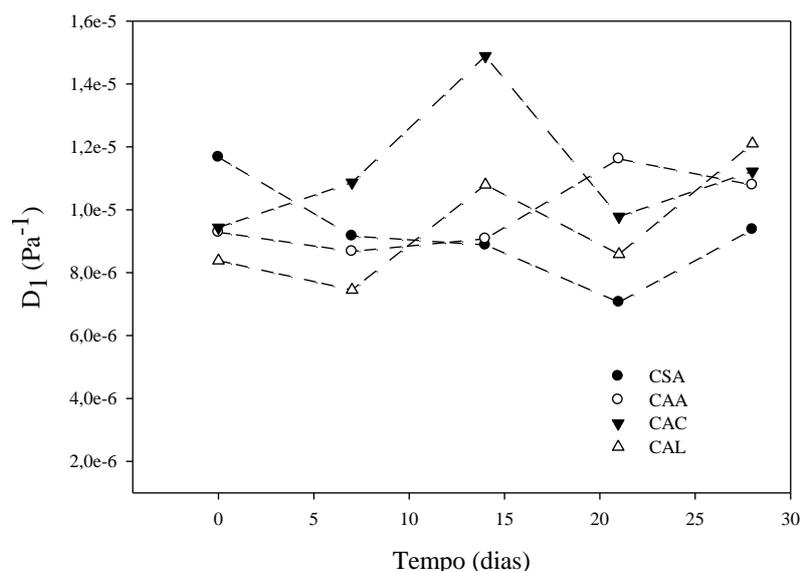


FIGURA 9. Compliância retardada (D_1) média do modelo de Burgers para os queijos de Coalho em função do tempo de armazenamento refrigerado.

A variável D_1 não foi afetada pelo tipo de ácido utilizado nem pelo tempo de armazenamento refrigerado (Figura 9). O valor médio de compliância retardada (D_1) para os queijos avaliados foi de $0,995 \pm 0,089 (x10^{-5} Pa^{-1})$, valor superior ao encontrado por Silva (2013) ao avaliar o queijo de Coalho tradicional, $0,463 \pm 0,039 (x10^{-5} Pa^{-1})$. Este resultado indica que a utilização de culturas lácticas para produção de queijo de Coalho, via método tradicional, resulta em um produto mais sólido e menos viscoelástico, o que está de acordo com os resultados encontrados para a variável D_0 , os quais indicaram que o queijo de Coalho produzido pelo método tradicional é mais firme e mais rígido.

De acordo com Lobato-Calleros et al. (2000) o teor de umidade possui importante contribuição sobre o valor da compliância retardada (D_1). O aumento no teor de umidade provoca o aumento de D_1 , decorrente do enfraquecimento das ligações protéicas e menor resistência à ruptura.

Cunha (2002) não observou variações de D_1 ao longo do tempo de armazenamento de queijos Minas Frescal, encontrando valores da ordem de $1 x 10^{-5} (Pa^{-1})$, para queijos com fator de concentração de retentado de 1,2. Kikuchi (2008) observou um aumento nos valores de D_1 , para queijos Minas Frescal com teor reduzido de gordura, ao longo do tempo de armazenamento. O

aumento de D_1 durante o armazenamento é decorrente do processo de proteólise, onde ocorre a formação de peptídeos mais simples e mais curtos, os quais interagem em menor grau, devido à sua maior solubilidade e menor superfície de contato, com as cadeias de proteínas não degradadas, o que ocasiona um aumento contínuo na compliância retardada (D_1) dos queijos (LOBATO-CALLEROS e AGUIRRE-MANDUJANO, 2000).

O tempo de retardação (λ_{ret}) dá uma indicação do tempo necessário para um material ser deformado e é determinado pelo tempo requerido para a deformação retardada alcançar 63,2% do seu valor final (STEFFE, 1996).

Não foram observados efeitos estatisticamente significantes ($P>0,05$) do tempo de armazenamento ou tipo de ácido utilizado sobre o tempo de retardação (λ_{ret}). O comportamento do tempo de retardação dos queijos de Coalho ao longo do armazenamento refrigerado pode ser observado na Figura 10.

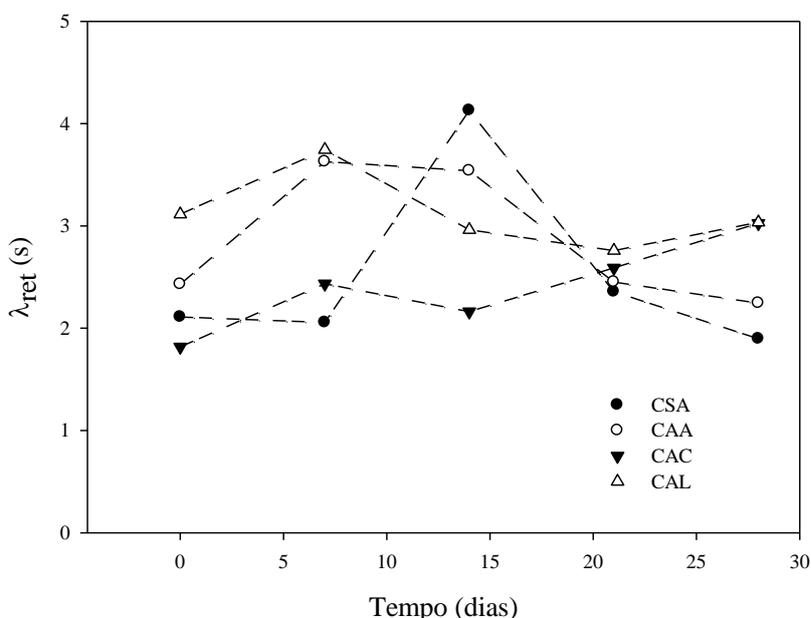


FIGURA 10. Tempo de retardação (λ_{ret}) média do modelo de Burgers para os queijos de Coalho em função do tempo de armazenamento refrigerado.

Os queijos apresentaram um tempo de retardação (λ_{ret}) médio de $2,724 \pm 0,329$ (s), valor inferior ao encontrado por Silva (2013), $3,135 \pm 0,169$ (s). Menores valores de λ_{ret} (s) apontam para queijos com estruturas internas mais frágeis e com maior facilidade de deformação, o que pode ser decorrente de uma maior retenção de água pela matriz protéica, ocasionada pela adição de ácidos.

Não houve variações estatisticamente significativas ($P>0,05$) para λ_{ret} (s) ao longo do tempo de armazenamento refrigerado, um indicativo de que o processo de proteólise ao longo do armazenamento foi limitado, não afetando a estrutura interna dos queijos, o que provocaria uma redução no tempo de retardação.

Queijos com menores valores de λ_{ret} (s) e maior facilidade de deformação consequentemente vão apresentar menores coeficientes de viscosidade Newtoniana (η), visto que o coeficiente de viscosidade é uma medida da resistência do corpo à deformação quando este é submetido a uma certa tensão e, nesse caso reflete na maciez do queijo (KIKUCHI, 2008). Pode-se dizer que é a medida do comportamento mecânico da parte fluída do sistema (OLIVARES et al., 2009).

Os queijos de Coalho apresentaram diferenças significativas ($P < 0,05$) entre tratamentos e ao longo do tempo de armazenamento refrigerado (Figura 11) para o parâmetro viscosidade Newtoniana (η).

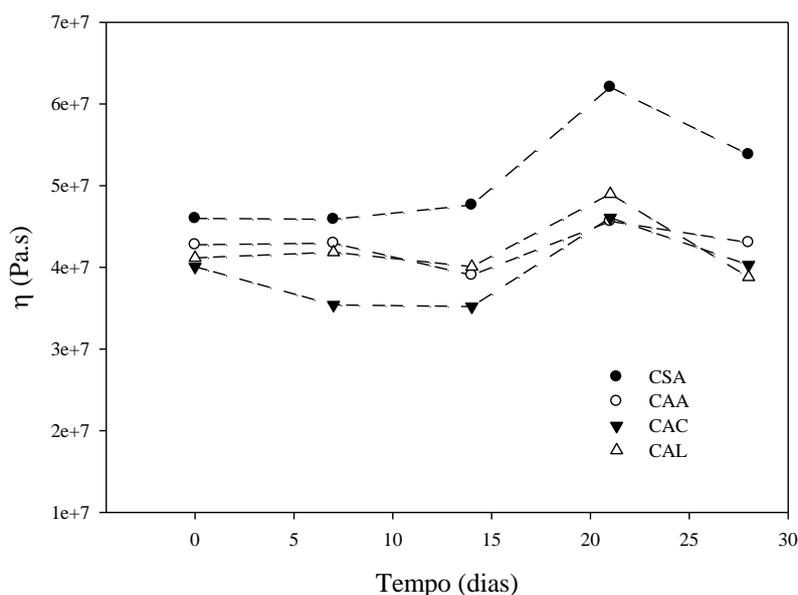


FIGURA 11. Valores médios da variável viscosidade Newtoniana (η) dos queijos de Coalho em função do tempo de armazenamento refrigerado.

O queijo de Coalho sem adição de ácido (CSA) apresentou o maior valor absoluto para o coeficiente de viscosidade Newtoniana, $5,106 \pm 0,694$ ($\times 10^7$ Pa.s), sendo considerado o queijo, dentre os tratamentos, mais viscoso ou com maior resistência à deformação, enquanto o queijo de Coalho com adição de ácido cítrico (CAC) apresentou o menor valor absoluto de η , $3,94 \pm 0,694$ ($\times 10^7$ Pa.s), sendo considerado o queijo menos viscoso ou mais frágil, sendo deformado mais facilmente.

Ao avaliar queijos de Coalho tradicionais, produzidos com adição de culturas lácticas, Silva (2013) não observou diferenças estatisticamente significativas ao longo do tempo de armazenamento refrigerado para o coeficiente de viscosidade, encontrando um valor médio de $1,394 \pm 0,291$ ($\times 10^8$ Pa.s), superior ao coeficiente de viscosidade do queijo CSA, o que demonstra que a utilização de culturas lácticas para produção de queijos de Coalho possibilita a obtenção de queijos mais firmes, rígidos e com maior resistência à deformação. A diferença entre a viscosidade dos queijos pode ser atribuída à retenção de umidade da matriz protéica.

Cunha (2002) observou que aumentos no teor de umidade de queijos Minas Frescal provocam a redução da viscosidade Newtoniana. A água ligada à caseína atua como um plasticizante na matriz de caseína, tornando-a menos rígida e mais susceptível a fraturas por compressão. O aumento no teor de umidade dos queijos resulta em reduções da firmeza e da rigidez (FOX et al., 2000).

O queijo de Coalho CSA foi o único a apresentar variações estatisticamente significativas ($P < 0,05$) do coeficiente de viscosidade (η) ao longo do tempo de armazenamento refrigerado. O modelo matemático que representa essa variação, bem como o coeficiente de determinação e a probabilidade estatística, podem ser observados na Tabela 6.

TABELA 6. Modelo matemático para a variável η (Pa.s) obtido do modelo de Burgers para o queijo de Coalho CSA em função do tempo de armazenamento refrigerado.

Modelo*	R ²	P
η (Pa.s) = $4,54 \times 10^5 t + 4,47 \times 10^7$	0,5252	0,017

*t representa o tempo de avaliação (dias), onde $0 \leq t \leq 28$.

Através do gráfico da Figura 11 e sua representação matemática na Tabela 6, podemos perceber um aumento da viscosidade Newtoniana do queijo de Coalho CSA, esse aumento pode ser atribuído a uma maior dispersão das gotículas de gordura durante o tempo de armazenamento. Uma vez que as gotículas de gordura funcionam como agentes de enchimento ativos, o aumento no número de gotículas e sua dispersão propiciam uma melhoria no sistema emulsionado (PEREIRA et al., 2001), características de queijos com maiores coeficientes de viscosidade.

Kikuchi (2008) observou um aumento na viscosidade Newtoniana de queijos fabricados com leite tratado a 72°C/15 min e com retentados tratados a 63°C/2min, por volta do vigésimo dia de armazenamento refrigerado, atribuindo esse aumento à redução no conteúdo de água livre, ocasionado pela competição pela água disponível entre as espécies iônicas formadas durante a proteólise mais intensa sofrida por esses queijos.

Os queijos de Coalho avaliados não apresentaram diferenças estatisticamente significativas ($P > 0,05$) entre si quanto ao percentual de recuperação (%) (Tabela 4), contudo o queijo CAC apresentou variações de Crp (%) ao longo do armazenamento refrigerado, o que pode ser observado na Figura 12.

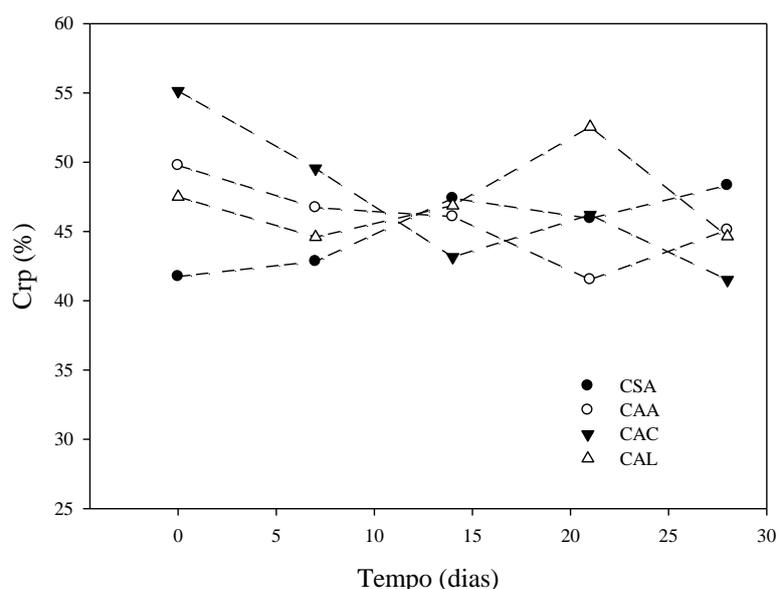


FIGURA 12. Valores médios da variável percentual de recuperação (Crp) dos queijos de Coalho em função do tempo de armazenamento refrigerado

O queijo de Coalho CAC apresentou uma redução no percentual de recuperação, Crp (%), ao longo do tempo de armazenamento refrigerado, comportamento representado através do modelo matemático da Tabela 7.

TABELA 7. Modelo matemático para a variável Crp (%) obtido do modelo de Burgers para o queijo de Coalho CAC em função do tempo de armazenamento refrigerado.

Modelos*	R ²	P
Crp (%) = -0,437 t + 53,228	0,7924	0,002

*t representa o tempo de avaliação (dias), onde $0 \leq t \leq 28$.

O percentual de recuperação é uma medida do quanto a amostra retorna à sua condição original após sofrer uma completa deformação por um período de tempo (BROWN et al., 2003). A redução do Crp (%) é um indicativo da diminuição da elasticidade, parâmetro do TPA, do queijo CAC, que pode ser atribuída a uma desmineralização mais intensa nesse queijo, provocada pelo ácido utilizado na redução do pH do leite. O ácido cítrico é quelante de cálcio o que intensifica a perda do mineral, tornando as ligações protéicas do queijo mais fracas e reduzindo a sua firmeza e resistência à deformação.

4. CONCLUSÃO

A produção de queijos de Coalho sem a utilização de ácido (CSA) não diferiu significativamente dos queijos de Coalho produzidos através da acidificação direta com os ácidos acético, cítrico e láctico, quanto às variáveis do TPA, com exceção da elasticidade.

Apenas o queijo CAA apresentou variações ao longo do tempo de armazenamento refrigerado para variáveis do TPA, apresentando um comportamento explicado através de uma equação de grau 2 para a variável elasticidade.

As variáveis mecânicas D_0 , D_1 , λ_{ret} não foram influenciados significativamente pela utilização ou não de ácidos na redução do pH do leite para fabricação dos queijos de Coalho.

Os queijos de Coalho apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre si para a viscosidade Newtoniana (η), o queijo CSA apresentou o maior valor médio, $5,106 \pm 0,694$ ($\times 10^7$ Pa.s), sendo considerado o queijo mais viscoso, enquanto os demais queijos não diferiram entre si.

O queijo CSA apresentou um aumento na viscosidade Newtoniana (η) ao longo do tempo de armazenamento refrigerado o que foi atribuído ao aumento da dispersão das gotículas de gordura e consequente melhoria no sistema emulsionado.

O queijo CAC apresentou uma diminuição no Crp (%) ao longo do tempo de armazenamento refrigerado, o que indica uma redução da elasticidade e aumento das características viscosas, decorrente do processo proteolítico.

Os resultados do ensaio mecânico de fluência permitiram conhecer o comportamento mecânico e reológico dos queijos de Coalho e o efeito da adição de ácidos no processo produtivo, além do que, serviram para demonstrar que a obtenção e compreensão dos parâmetros dos modelos matemáticos, como o de Burgers, que explicam o comportamento de materiais viscoelásticos é fundamental para caracterização mecânica dos queijos e entendimento das mudanças ocorridas ao longo do tempo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ, M. D.; CANET, W.; LOPEZ, M. E. Influence of deformation rate and degree of compression on textural parameters of potato and apple tissues in texture profile analysis. **European Food Research and Technology**, v. 215, n. 1, p. 13-20, 2002.
- ANDRADE, A. A. **Estudo do perfil sensorial, físico-químico e aceitação de queijo de Coalho produzido no estado do Ceará**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos - UFCE). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, p. 127. 2006.
- ANDRADE, A. A.; RODRIGUES, M. C. P.; NASSU, R. T.; SOUZA NETO, M. A. S. **Medidas instrumentais de cor e textura em queijo de Coalho**. In: Anais do XV ENAAL Congresso Latino Americano de Analistas de Alimentos. Fortaleza. 2007.
- BOURNE, M. **Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement**. 2. ed. San Diego: Academic Press, 2002.
- BROWN, J. A.; FOEGEDING, E. A.; DAUBERT, C. R.; DRAKE, M. A.; GUMPERTZ, M. Relationship among rheological and sensorial properties of young cheeses. **Journal of Dairy Science**, n. 86, p. 3054-3067, 2003.

- BRYANT, A.; USTUNOL, Z.; STEFFE, J. Texture of Cheddar cheese as influenced by fat reduction. **Journal of Food Science**, v. 60, n. 6, p. 1216-1219, 1995.
- CHEN, A. H.; LARKIN, J. W.; CLARCK, C. J.; IRWIN, W. E. Textural analysis of cheese. **Journal of Dairy Science**, v. 62, p. 901-907, 1979.
- CUNHA, C. R. D. **Efeito do uso de retentados de baixo fator de concentração no rendimento, proteólise e propriedades viscoelásticas de queijo Minas Frescal de reduzido teor de gordura**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos - UNICAMP). Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP, p. 118. 2002.
- FARKYE, N. Y.; PRASAD, B. B.; ROSI, R.; NOYES, O. R. Sensory and textural properties of queso blanco-type cheese influenced by acid type. **Journal of Dairy Science**, n. 78, p. 1649-1656, 1995.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, 35, n. 6, 2011. 1039-142.
- FOX, P. F.; GUINEE, T. P.; COGAN, T. M.; McSWEENEY, P. L. H. **Fundamentals of cheese science**. Maryland: Aspen Publication, 2000. 587 p.
- GUNASEKARAN, S.; AK, M. M. **Cheese Rheology and Texture**. London: CRC Press, 2003.
- HERNÁNDEZ-ESTRADA, Z. J.; FIGUEROA, J. D. C.; RAYAS-DUARTE, P.; PEÑA, R. J. Viscoelastic characterization of glutenins in wheat kernels measured by creep tests. **Journal of Food Engineering**, n. 113, p. 19-26, 2012.
- KELLER, B.; OLSON, N. F.; RICHARDSON, T. Mineral retention and rheological properties of Mozzarella cheese made by direct acidification. **Journal of Dairy Science**, v. 57, n. 2, p. 174-180, 1974.
- KIKUCHI, M. **Efeito do tratamento térmico do leite e retentado na qualidade de queijo Minas Frescal light fabricado por ultrafiltração**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos - UNICAMP). Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP, p. 80. 2008.
- LOBATO-CALLEROS, C.; AGUIRRE-MANDUJANO, E. Viscoelastic properties of white fresh cheese filled with sodium caseinate. **Journal of Texture Studies**, n. 31, p. 379-390, 2000.
- MA, L.; DRAKE, M. A.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V.; SWANSON, B. G. Rheology of full-fat and low-fat Cheddar cheeses as related to type of fat mimetic. **Journal of Food Science**, n. 62, p. 748-752, 1997.

- MACHADO, G. M.; COSTA, R. G. B.; PAULA, J. C. J.; PAIVA, P. H. C.; TAVEIRA, L. B.; ALMEIDA, F. A. Viabilidade tecnológica do uso de ácido láctico na fabricação de queijo de coalho, v. 66, n. 379, p. 5-15, 2011.
- MELITO, H. S.; DAUBERT, C. R.; FOEGEDING, E. A. Relationships between nonlinear viscoelastic behavior and rheological, sensory and oral processing behavior of commercial cheese. **Journal of Texture Studies**, v. 44, n. 4, p. 1-36, 2013.
- MOHSENIN, N. N. Rheology and texture of food materials. In: MOHSENIN, N. N. **Physical properties of plant and animal materials**. 2. ed. New York: Gordon and Breach Science Publishers, 1986. p. 383-479.
- MUNCK, A. V. Queijo de Coalho - Princípios básicos da fabricação. **Revista do Instituto de Laticínios "Cândido Tostes"**, Juiz de Fora, v. 59, n. 339, p. 13-15, Julho / Agosto 2004.
- OLIVARES, M. L.; ZORRILA, S. E.; RUBIOLO, A. C. Rheological properties of Mozzarella cheese determined by creep/recovery tests: effect of sampling direction, test temperature and ripening time. **Journal of Texture Studies**, n. 40, p. 300-318, 2009.
- PARNELL-CLUNIES, E. M.; IRVINE, D. M.; BULLOCK, D. H. Textural characteristics of Queso Blanco. **Journal of Dairy Sciences**, v. 68, p. 789-793, 1985.
- PAULA, J. C. J.; CARVALHO, A. F.; FURTADO, M. M. Princípios básicos de fabricação de queijo: do histórico à salga. **Revista do Instituto de Laticínios "Cândido Tostes"**, Juiz de Fora, v. 64, n. 367/368, p. 19-25, Março / Junho 2009.
- PEREIRA, R. B.; BENNETT, R. J.; HEMAR, Y.; CAMPANELLA, O. H. Rheological and microstructural characteristics of model processed cheese analogues. **Journal of Texture Studies**, n. 32, p. 349-373, 2001.
- PEREIRA, R. B.; BENNETT, R. J.; LUCKMAN, M. S. Instrumental and sensory evaluation of textural attributes in cheese analogs: a correlation study. **Journal of Sensory Studies**, v. 20, p. 434-453, 2005.
- PRENTICE, J. H.; LANGLEY, K.; MARSHALL, R. J. Cheese Rheology. In: FOX, P. F. **Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology**. London: Chapman & Hall, v. 1, 1993. Cap. 8, p. 303-340.
- QUEIROGA, R. D. C. R. D. E.; SANTOS, B. M.; GOMES, A. M. P.; MONTEIRO, M. J.; TEIXEIRA, S. M.; SOUZA, E. L.; PEREIRA, C. J. D.; PINTADO, M. M. E. Nutritional, textural and sensory properties of coalho cheese made of goats', cows' milk and their mixture. **LWT - Food Science and Technology**, n. 50, p. 538-544, 2013.

- SHEHATA, A. E.; IYER, M.; OLSON, N. F.; RICHARDSON, T. Effect of type of acid used in direct acidification procedures on moisture, firmness, and calcium levels of cheese. **Journal of Dairy Science**, n. 50, p. 824-829, 1967.
- SIGMAPLOT, for Windows. **Version 11.0**. Copyright, Systat Software. 2008.
- SILVA, W. S. D. **Comportamento mecânico do queijo de Coalho tradicional, com carne seca, tomate seco e orégano armazenados sob refrigeração**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos - UESB). Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Itapetinga, BA, p. 59. 2013.
- STEFFE, J. F. **Rheological Methods in Food Process Engineering**. 2. ed.: East Lansing, 1996. 418 p.
- SUBRAMANIAN, R.; MUTHUKUMARAPPAN, K.; GUNASEKARAN, S. Effect of methocel as a water binder on the linear viscoelastic properties of Mozzarella cheese during early stages of maturation. **Journal of Texture Studies**, n. 34, p. 361-380, 2003.
- SZCZESNIACK, A. S. Texture is a sensory property. **Food Quality and Preference**, n. 13, p. 215-225, 2002.
- SZCZESNIAK, A. K. Classification of textural characteristics. **Journal of Food Science**, v. 4, n. 28, p. 385-389, 1963.
- TUNICK, M. H.; MACKEY, K. L. SMITH, P. W.; HOLSINGER, V. H. Effects of composition and storage on the texture of Mozzarella cheese. **Netherlands Milk and Dairy Journal**, v. 45, p. 117-125, 1991.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

CONCLUSÃO GERAL

Podemos concluir através da presente pesquisa que são escassos os trabalhos acerca do comportamento mecânico de queijos nacionais, em especial, o queijo de Coalho, e que os resultados, contidos na literatura, apontam para uma grande variação entre os queijos comercializados/fabricados nas diversas regiões do país, revelando a falta de padrão produtivo.

Faz-se necessário o aumento de estudos, obtenção de dados e publicações a respeito do comportamento mecânico do Coalho e das variáveis de produção que podem influir sobre as características mecânicas do produto final.

A partir dos resultados obtidos pode-se afirmar que a utilização dos ácidos acético, cítrico e láctico não afeta significativamente o rendimento de fabricação de queijos de Coalho, contudo, provoca mudanças em alguns parâmetros físico-químicos e na elasticidade dos queijos, sem comprometer a utilização da acidificação direta, visto que a mesma apresenta vantagens quanto ao aumento da resistência à contaminações e pode ser utilizada como forma de padronização do método produtivo.

Ressalta-se que a elasticidade é um parâmetro que deve ser estudado mais atentamente visto que, apesar de os valores observados no trabalho e encontrados na literatura se concentrarem numa pequena faixa, a diferença entre os mesmos é, na maioria das vezes, detectada pelos testes estatísticos, provavelmente decorrente dos baixos coeficientes de variação observados, o que pode sinalizar um parâmetro de fácil detecção de diferenças pouco perceptíveis sensorialmente ou através de outros testes mecânicos.

Os resultados do ensaio de fluência para os parâmetros viscosidade Newtoniana (η) e percentual de recuperação (% Crp) concordam com os resultados do TPA para o parâmetro elasticidade, o que aponta, mais uma vez, para uma observação mais atenta do parâmetro e necessidade de maior número de ensaios para confronto entre resultados dos dois testes.

SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Estudos posteriores conjuntos, comparando a análise de textura instrumental e sensorial poderão avaliar se as diferenças detectadas através da análise instrumental são perceptíveis ao consumidor, bem como, quantificar a correlação existente entre os métodos de avaliação.

A realização da análise sensorial também servirá para avaliar a interferência do uso dos ácidos sobre o sabor e aroma dos queijos. Além disso, é interessante comparar os queijos fabricados com diferentes ácidos com queijos comercializados em diversas regiões do Brasil, para assim, se obter uma vasta quantidade de resultados e uma melhor visão sobre a diversidade de produtos encontrados no mercado.

Em trabalhos futuros poderá ser avaliado o processo de relaxação das amostras, além de utilizar um maior número de amostras para as análises de TPA, fluência e relaxação, sendo recomendado um número mínimo 10 amostras para cada um dos testes, visando minimizar o efeito da variabilidade entre amostras sobre os resultados, o que pode ser observado em testes com menor coeficiente de variação.