

MOYSÉS NAVES DE MORAES

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E REOLÓGICA DE IOGURTES
ELABORADOS COM DIFERENTES SUBSTITUTOS DE GORDURA**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa, como parte
das exigências do Programa de Pós-
Graduação em Ciência e Tecnologia de
Alimentos, para obtenção do título de
Magister Scientiae.

**VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2011**

MOYSÉS NAVES DE MORAES

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E REOLÓGICA DE IOGURTES
ELABORADOS COM DIFERENTES SUBSTITUTOS DE GORDURA**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa, como parte
das exigências do Programa de Pós-
Graduação em Ciência e Tecnologia de
Alimentos, para obtenção do título de
Magister Scientiae.

APROVADA: 18 de fevereiro de 2011.

Prof. Paulo César Stringheta
(Coorientador)

Prof. Afonso Mota Ramos
(Coorientador)

Prof. Eduardo Basílio de Oliveira

Prof. Luciano José Quintão Teixeira

Prof. Luis Antonio Minim
(Orientador)

*É melhor tentar e falhar,
que se preocupar e ver a vida passar.*

*É melhor tentar ainda que em vão,
que sentar-se fazendo nada até o final.*

*Eu prefiro caminhar na chuva,
que em dias tristes em casa me esconder.*

*Prefiro ser feliz, embora louco,
que viver em conformidade.*

Martin Luther King

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Delane Alexandre Moraes e Marilena de Oliveira Naves, pelo apoio incondicional tanto emocional quanto financeiro, mesmo isso, algumas vezes, indo além de suas possibilidades. O meu muito obrigado pela liberdade que sempre me deram para que eu pudesse trilhar meu caminho da forma que achasse melhor. Não há como agradecê-los. Obrigado pelo incentivo nos momentos difíceis e por acreditarem em mim muitas vezes mais que eu. Amo vocês!

Um agradecimento mais que merecido ao Prof. Dr. Luis Antonio Minim, pela orientação e paciência. Obrigado por levantar as condições necessárias para que esta pesquisa pudesse ser realizada da melhor forma possível, por isso lhe tenho bastante admiração.

À Profa. Dra. Valéria Paula Rodrigues Minim, pela inigualável atenção ao me receber sempre que necessitei, por disponibilizar a estrutura física do Laboratório de Análise Sensorial, para que os iogurtes pudessem ser estocados. Sem a sua ajuda, com certeza o caminho seria mais árduo.

Aos membros da banca examinadora Prof. Dr. Afonso Mota Ramos, Prof. Dr. Luciano José Quintão Teixeira, Prof. Dr. Eduardo Basílio de Oliveira e Prof. Dr. Paulo César Stringheta, pelas correções e observações pertinentes que, com certeza, acrescentaram bastante esta dissertação.

Aos Profs. Drs. José Benício Paes Chaves, Jane Sélia dos Reis Coimbra, Frederico José Vieira Passos, Paulo César Stringheta e Márcio Arêdes Martins, por permitirem que eu assistisse às aulas como ouvinte e pelo exemplo de que o conhecimento deve ser transmitido sem medo ou restrições, pois caberá a cada um fixá-lo ou não.

Aos professores Drs. Paulo César Stringheta, Nilda de Fátima Ferreira Soares, Valéria Paula Rodrigues Minim, Antônio Fernandes de Carvalho e Lúcio Alberto de Miranda Gomide, por terem disponibilizado equipamentos e laboratório. Sem a colaboração de vocês não seria possível fazer este trabalho da forma que foi executado.

Aos meus irmãos Lívia Naves de Moraes e João Naves de Moraes, pelo companheirismo quando necessário e pelo apoio mesmo que distante. A todos os meus familiares, pela paciência, pelo afeto, e pelos momentos tão gostosos de distração quando nos encontramos, em especial às minhas Avós, Tios e primos.

Em especial ao meu amigo, mestre e sempre orientador Prof. Dr. Celso José de Moura, por ter despertado em mim a curiosidade pela pesquisa e, mais que isso, por fazer parte da minha vida como grande exemplo a ser seguido.

Ao meu bom e grande amigo Djalma Adão Barbosa Júnior, pelo apoio quando cheguei a Viçosa e durante todo o tempo que aqui permaneci, pelas experiências trocadas, planos elaborados e viagens executadas. Obrigado, meu irmão.

A Leozin da Bahia, Leandro Soares, por dividir comigo sua sabedoria durante as disciplinas que cursamos juntos, pela paciência ao ensinar, pelos momentos de descontração e pela amizade sempre sincera. Muito obrigado, “minha pedra”.

Ao Roney Alves, pela amizade verdadeira, pelas conversas, que mais pareciam aulas de tanto conhecimento que me era transmitido, e, principalmente, por despertar em mim o entusiasmo pela programação, pelo uso de softwares de modelagem e simulação.

À minha namorada Mária Herminia, pela paciência, pelo carinho, pelos momentos de descontração e pelo apoio. Sempre que precisei, você me ergueu os braços; sem você, com certeza esta vitória não teria o mesmo gosto.

À Janaína Faria, Jaja, pelo apoio nos momentos difíceis, tanto pessoal quanto profissional. Você foi meu ponto de apoio para que eu pudesse me erguer, e é por isso que, com certeza, esta dissertação é tão sua quanto minha. Obrigado, minha grande amiga, não há como descrever tamanha gratidão que tenho por você.

Ao meu amigo Fábio Coelho, pelos conselhos, ensinamentos e momentos de descontração que sempre foram muito bem acompanhados de refeição e açaí.

Aos meus afilhados, o casal Ivan e Simone, pelos momentos de descontração tão importantes nas horas difíceis, pelo apoio incondicional e pela fé que sempre depositaram em mim. A minha admiração por vocês é imensurável.

À Profa. Dra. Ana Clarissa pela amizade, pelo tratamento sempre muito cordial e, principalmente, pelas conversas agradáveis e sempre educativas.

Aos meus amigos e família torta de Goiânia Priscila Maia, Raphael, Kenji, Enio, Bruno, Fabio Maia, Maritza, Iza Maia, Vó Neta, Tia Inês, Tio Marcim, Marcionílio, Mariza, Rodrigo, Vanessinha, Fabiana, Sara Jane, Jairo e Priscila Castineiras, pelo papel fundamental que tiveram para que hoje chegasse onde estou.

Aos meus amigos feitos em Viçosa Tobias, Ana Carolina, Lauro Eduardo, Daniel (Jack), Bebella VA, Keko, Maycon, Renata Bonomo, Paulo Bonomo, Fran, Fernandinha e Alexandre Navarro, por terem acompanhado de perto todo este trabalho.

Aos meus amigos e anjos da guarda Janaina Faria, Gabriel, Roney, Leo, Djalma Adão, Marcinha, Ritinha Navarro, Mária e Robledo, não só pelo apoio, como também pela ajuda com muito suor na execução deste trabalho.

Aos meus amigos de Jataí-GO Denis Jacinto Gomes e Carolina Barzotto, por serem tão compreensivos, fiéis e verdadeiros. Tenho grande admiração por vocês.

Aos meus colegas do Laboratório de Desenvolvimento e Simulação de Processos Lizzy, Rafael Fontan, Rafael, Cecília, Ana Paula, Priscila, Vanessa, Vanelle, pelos momentos maravilhosos no decorrer desta empreitada.

À Universidade Federal de Viçosa, em especial ao Departamento de Tecnologia de Alimentos e seus funcionários, pelo auxílio e esforço em busca de sempre fazer o melhor para os alunos. Muito obrigado!

À sociedade mineira e à FAPEMIG, pela concessão da bolsa de mestrado.

MUITO OBRIGADO!

BIOGRAFIA

MOYSÉS NAVES DE MORAES, filho de Delane Alexandre de Moraes e Marilena de Oliveira Naves, nasceu em 28 de dezembro de 1982, em Jataí, GO.

Em março de 2007, graduou-se Engenheiro de Alimentos pela Universidade Federal de Goiás.

Em agosto de 2008, ingressou no Programa de Pós-Graduação, em nível de Mestrado, em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa da Dissertação em fevereiro de 2011.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE FIGURAS	xii
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xv
1. INTRODUÇÃO	1
1.2. Objetivos	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. Iogurte	3
2.1.1. Características de qualidade do iogurte.....	7
2.1.2. Iogurtes desnatados	10
2.2. Substitutos de gordura em iogurtes	11
2.2.1. Concentrado proteico de soro.....	11
2.2.2. Caseína micelar concentrada	13
2.2.3. Inulina.....	14
2.3. Análise instrumental do perfil de textura (TPA)	17
2.4. Reologia de alimentos	21
3. MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1. Matéria-prima.....	24
3.2. Fabricação do iogurte	24
3.3. Delineamento experimental.....	25
3.4. Análises físico-químicas.....	26
3.4.1. Determinação da composição centesimal.....	26
3.4.2. Acidez titulável	27
3.4.3. Sinérese	27

3.4.4. Capacidade de retenção de água.....	27
3.5. Análises reológicas.....	28
3.5.1. Análise de perfil de textura (TPA)	28
3.5.2. Ensaio estacionários.....	28
3.6. Análise estatística	29
4. RESULTADO E DISCUSSÃO	30
4.1. Análises físico-químicas.....	30
4.1.1. Determinação da composição centesimal.....	30
4.1.2. Sinérese	31
4.1.3. Acidez titulável	32
4.1.4. Capacidade de retenção de água.....	33
4.2. Análises reológicas.....	37
4.2.1. Análise do perfil de textura	37
4.2.1.1. Adesividade.....	37
4.2.1.2. Firmeza	41
4.2.1.3. Elasticidade	45
4.2.1.4. Coesividade.....	49
4.2.1.5. Gomosidade	53
4.2.2. Propriedades de escoamento	57
5. CONCLUSÃO	62
6. REFERÊNCIAS	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Consumo anual <i>per capita</i> (kg/pessoa) de produtos fermentados, incluindo iogurte	3
Tabela 2 - Efeito dos sólidos totais da mistura na acidez natural (AN), acidez titulável (AT) e acidez desenvolvida (AD), no leite, após a incubação a 42 °C	5
Tabela 3 - Definições instrumentais, físicas e sensoriais das propriedades do perfil de textura.....	20
Tabela 4 - Matriz do planejamento de mistura (ternária), com repetição nos pontos centrais	25
Tabela 5 - ANOVA para as análises centesimais.....	30
Tabela 6 - Valores médios das análises centesimais dos tratamentos.....	31
Tabela 7 - Análise de variância (ANOVA) da acidez titulável.....	32
Tabela 8 - Efeito estimado, erro-padrão e grau de significância estatística (p) da acidez titulável	33
Tabela 9 - Análise de variância (ANOVA) da CRA.....	34
Tabela 10 - ANOVA e coeficiente de determinação do ajuste dos modelos para a CRA ao longo do tempo	34
Tabela 11 - Efeito estimado, erro-padrão e grau de significância estatística (p) da CRA	35
Tabela 12 - Modelos ajustados para a CRA ao longo do tempo.....	35
Tabela 13 - Média e desvio-padrão da formulação-controle para a CRA (%) ao longo do tempo	36
Tabela 14 - Análise de variância (ANOVA) da adesividade	37

Tabela 15 - ANOVA e coeficiente de determinação do ajuste dos modelos para a adesividade.....	38
Tabela 16 - Efeito estimado, erro padrão e grau de significância estatística (p) da adesividade.....	39
Tabela 17 - Modelos ajustados para a adesividade	39
Tabela 18 - Média e desvio-padrão da formulação-controle para a adesividade (N·s) ao longo do tempo	40
Tabela 19 - Análise de variância (ANOVA) da firmeza.....	42
Tabela 20 - ANOVA e coeficiente de determinação do ajuste dos modelos para a firmeza	42
Tabela 21 - Efeito estimado, erro-padrão e grau de significância estatística (p) da firmeza.....	43
Tabela 22 - Modelos ajustados para a firmeza (N)	43
Tabela 23 - Médias e desvios-padrão da formulação-controle para a firmeza (N) e formulações que diferiram estatisticamente do controle ao longo do tempo	44
Tabela 24 - Análise de variância (ANOVA) da elasticidade	46
Tabela 25 - ANOVA e coeficiente de determinação do ajuste do modelo para a elasticidade.....	46
Tabela 26 - Efeito estimado, erro-padrão e grau de significância estatística (p) da elasticidade.....	47
Tabela 27 - Modelos ajustados para a elasticidade	47
Tabela 28 - Média e desvios-padrão da formulação-controle para a elasticidade (mm) e formulações que diferiram estatisticamente do controle ao longo do tempo	48
Tabela 29 - Análise de variância (ANOVA) da coesividade	50
Tabela 30 - ANOVA e coeficiente de determinação do ajuste do modelo para a coesividade.....	50
Tabela 31 - Efeito estimado, erro-padrão e grau de significância estatística (p) para a coesividade	51
Tabela 32 - Modelos ajustados para a coesividade	51
Tabela 33 - Médias e desvios-padrão da formulação-controle para coesividade ao longo do tempo.....	52
Tabela 34 - Análise de variância (ANOVA) da gomosidade.....	54

Tabela 35 - ANOVA e coeficiente de determinação do ajuste do modelo para a gomosidade	54
Tabela 36 - Efeito estimado, erro-padrão e grau de significância estatística (p) da gomosidade	55
Tabela 37 - Modelos ajustados para a gomosidade.....	55
Tabela 38 - Médias e desvios-padrão da formulação-controle para gomosidade (N) ao longo do tempo.....	56
Tabela 39 - Análise de variância (ANOVA) do K e da histerese	58
Tabela 40 - ANOVA e coeficiente de determinação do ajuste do modelo para K e histerese.....	59
Tabela 41 - Efeito estimado, erro-padrão e grau de significância estatística (p) do K e da histerese	59

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação da alfacaseína S2 – cargas negativas (vermelho) e positivas (azul).	13
Figura 2 - Estrutura química da inulina: $n \approx 35$	15
Figura 3 - Curva típica de análise de perfil de textura.	19
Figura 4 - Classificação do comportamento reológico de líquidos.....	23
Figura 5 - Representação gráfica do delineamento proposto.	26
Figura 6 - Representação gráfica das curvas de níveis para CRA durante o armazenamento.....	36
Figura 7 - Representação gráfica das curvas de níveis para adesividade durante o armazenamento.....	40
Figura 8 - Representação gráfica das curvas de níveis para firmeza durante o armazenamento	44
Figura 9 - Representação gráfica das curvas de níveis para elasticidade durante o armazenamento.	48
Figura 10 - Representação gráfica das curvas de níveis para coesividade durante o armazenamento.	52
Figura 11 - Representação gráfica das curvas de níveis para gomosidade durante o armazenamento.	56
Figura 12 - Viscosidade aparente em função da taxa de deformação para a formulação T3 a 10 °C.....	58
Figura 13 - Representação gráfica das curvas de níveis para o índice de consistência (A) e histerese (B).	60
Figura 14 - Representação gráfica da área de histerese para a formulação T6 a 10 °C.....	61

RESUMO

MORAES, Moysés Naves de, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2011. **Caracterização físico-química e reológica de iogurtes elaborados com diferentes substitutos de gordura.** Orientador: Luis Antonio Minim. Coorientadores: Paulo César Stringheta e Afonso Mota Ramos.

O concentrado proteico do soro de leite (CPS), a inulina e a caseína micelar concentrada (CMC) vêm sendo utilizados em diversos produtos devido às suas propriedades tecnológicas e funcionais. Iogurtes desnatados apresentam consistência frágil e sinérese, que são um defeito comum nesse tipo de produto. Uma das atribuições do CPS e da inulina é a de agir como substituinte da gordura. Esta pesquisa objetivou avaliar as propriedades reológicas, a capacidade de retenção de água (CRA), a sinérese e a acidez titulável, utilizando um delineamento de mistura ternária de CMC, CPS e inulina na produção de iogurte desnatado. A análise dos resultados permitiu concluir que a acidez titulável apresentou diferença significativa ($p < 0,10$) apenas para o efeito principal tempo, sendo ela intensificada durante o armazenamento, independentemente da formulação. A sinérese não apresentou diferença significativa entre as formulações nem ao longo do tempo de estocagem. A histerese e o índice de consistência apresentaram diferença significativa ($p < 0,10$) quanto ao efeito principal formulação. Os demais parâmetros apresentaram diferença significativa para a interação tempo x tratamento, sendo decompostos e analisados em cada tempo. As formulações com maiores concentrações de CPS apresentaram valores de CRA elevados e as formulações com misturas de CPS e CMC, valores de firmeza superiores aos das demais formulações. Quanto ao comportamento reológico do iogurte natural desnatado, as amostras foram submetidas a ensaios em estado estacionário (0 a $500 \cdot s^{-1}$), para o ajuste do modelo de escoamento. O modelo de Herschel-Bulkley foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais, apresentando

r^2 superior a 0,99. O índice de consistência (K) aumentou com o incremento da proporção de CPS, e não apresentou variação significativa ao longo do tempo. Já o índice de escoamento (n) não teve variação significativas nem ao longo do tempo nem entre as diferentes formulações. A histerese variou significativamente ($p < 0,10$) apenas no tratamento, e a maior área de histerese refere-se ao tratamento com maior concentração de CMC.

ABSTRACT

MORAES, Moysés Naves de, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2011. **Study of rheological characteristics in light yogurt using different fat replacers.** Adviser: Luis Antonio Minim. Co-Advisers: Paulo César Stringheta and Afonso Mota Ramos.

Whey protein concentrated (WPC), inulin and micellar casein (MC) are used in many products due to their technological and functional properties. Skimmed yogurt show fragile consistency and syneresis, wich is a common defect in this kind of products. An advantage of WPC and inulin is their capacity to act like fat replacers. The present research aimed to evaluate rheological properties, water holding capacity (WHC), syneresis and titratable acidity, applying an experimental design for ternary mixtures with MC, WPC and inulin in producing skimmed yogurt. Results indicated that there were significant differences ($p < 0.10$) in titratable acidity, only for the principal effect (time) what was intensified during storage, independent of the formulation. Formulations did not present differences with regard to syneresis during the storage. Only hysteresis and consistency coefficient were significant ($p < 0.10$) for the principal effect in the formulations. The others parameters were significant ($p < 0.10$) for the interaction (time x treatment), which were, for each time, separately analysed. The formulations with higher concentration of WPC showed, higher values of WHC and the formulations with blends of WPC and MC presented values of firmness higher than the others. On the profile rheological of low-fat yoghurt the samples were submitted to dynamic stationary measurements with the shear rate varying from 0 to 500 s^{-1} . The model of Herschel-Bulkley was that of the best fitting with experimental data presenting r^2 higher than 0.99. Consistency coefficient (K) increased with the development of WPC, although it was not different over time. The flow behavior index (n) was not significantly different the along time

neither between the different formulations. The hysteresis were significant ($p < 0.05$) only for the samples with bigger area, with refers to the treatment with de highest MC concentration.

1. INTRODUÇÃO

As constantes mudanças no mercado alimentício e a crescente exigência dos consumidores por alimentos que apresentem simultaneamente altas qualidades sensorial e nutricional, além de benefícios associados à saúde, aumentam a demanda por novos produtos que atendam a esses anseios.

Entre os alimentos cujas alegações de saúde têm sido amplamente divulgadas, destaca-se o iogurte. Os consumidores têm incluído cada vez mais o iogurte na dieta alimentar não só pelo fato de ser um produto de consumo rápido e prático, mas também e, principalmente, pelas qualidades sensoriais e biofuncionais a ele associadas. Vários estudos reconhecem as características nutricionais do iogurte e a presença de uma série de fatores que implicam promoção da saúde humana.

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em Pesquisa de Orçamento Familiar (POF) divulgou que, entre 1974 e 2003, o consumo *per capita* de iogurte no Brasil aumentou de 0,363 para 2,910 kg/ano¹ (IBGE, 2004). Atualmente, o consumo de iogurte no Brasil é de 4,3 kg *per capita* para a classe de maior rendimento (IBGE, 2010).

Mesmo com a alta no consumo *per capita* de iogurte, o Brasil ainda perde de outros países. A Holanda, por exemplo, é líder, com um consumo sete vezes maior que o do Brasil. A Argentina apresenta consumo três vezes superior ao brasileiro (GLOBO, 2009).

O iogurte pode ser definido como o produto obtido da fermentação do leite por cultivos de *Streptococcus thermophilus* e *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*, varia quanto à sua composição química, método de produção, sabor e consistência e pode ser firme, batido ou líquido.

¹ Quantidade anual *per capita* de alimentos adquiridos para consumo em domicílio (kg).

Nos Estados Unidos da América (EUA), a categoria de iogurte "light" tem uma grande parcela do mercado consumidor, que exige produtos que confirmem benefícios à saúde: os iogurtes "light" têm baixa concentração de gordura e quantidades reduzidas de calorias. Com o aumento da demanda do consumo por melhores sabores de iogurtes de baixas calorias, as indústrias têm investido no desenvolvimento de novos produtos (KING et al., 2000).

A inulina e as proteínas do soro estão sendo aplicadas em diversos produtos, devido às suas propriedades funcionais e tecnológicas, entre as quais a de agir mimetizando a gordura. Já a caseína desempenha papel importante, visto que é fundamental na estabilização da rede tridimensional que aprisionará a água, evitando um defeito tecnológico comum, a sinérese.

Nesse contexto, analisaram-se a sinérese, a capacidade de retenção de água (CRA), a acidez titulável e o comportamento reológico ao longo do período de estocagem de iogurte *light*, de consistência firme, pois o mercado brasileiro está em plena ascensão. Com a crescente demanda por produtos que confirmem benefícios à saúde, optou-se por utilizar nas formulações inulina, concentrado proteico de soro (CPS) e caseína micelar concentrada (CMC) como possíveis substitutos da gordura.

1.2. Objetivos

Objetivo geral:

- (i) Estudar as características reológicas e físico-químicas de iogurtes naturais *light*, de consistência firme, contendo diferentes níveis de CPS, CMC e inulina.

Objetivos específicos:

- (i) Estudar as propriedades reológicas e físico-químicas de iogurte contendo CPS, CMC e inulina ao longo do período de 21 dias de estocagem a 4 °C.
- (ii) Estudar as características físico-químicas e reológicas das diferentes formulações de iogurte, avaliando se há diferença significativa entre as amostras e se o tempo de estocagem influencia as características.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Iogurte

Na Resolução 05/2000, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), leites fermentados são definidos como:

Produtos resultantes da fermentação do leite pasteurizado ou esterilizado, por fermentos lácticos próprios. Os fermentos lácticos devem ser viáveis, ativos e abundantes no produto final durante seu prazo de validade. O leite utilizado na fabricação de leites fermentados poderá ser em natureza ou reconstituído, adicionado ou não de outros produtos de origem láctea, bem como de outras substâncias alimentícias recomendadas pela tecnologia de fabricação de leites fermentados, e que não interfiram no processo de fermentação do leite pelos fermentos lácticos empregados. Nessa definição incluem-se o iogurte, o leite fermentado ou cultivado, o leite acidófilo, o kefir, o kumys e a coalhada.

Os EUA possui um mercado de iogurte pouco desenvolvido, com consumo *per capita* de 5,216 kg/ano. Quando comparado com a Europa Ocidental, esse valor representa aproximadamente 17% do consumo (JONES; DORFMAN, 2010). Os países com destaque no consumo de iogurte até o ano de 2004 são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Consumo anual *per capita* (kg/pessoa) de produtos fermentados, incluindo iogurte

Países	Anos					
	1996	2000	2001	2002	2003	2004
Alemanha	23,0	26,5	26,1	27,0	28,8	28,9
Dinamarca	25,9	35,8	37,0	40,7	43	44,6
Holanda	46,5	46,4	44,6	42,8	42,5	42,0
Islândia	NR	34,9	34,0	35,2	36,3	40,7
Suécia	28,4	32,1	33,7	34,8	34,9	34,5

*NR = não reportado.

Fonte: Modificado de TAMIME; ROBINSON, 2007.

O consumo de iogurte no Brasil cresceu 21% em volume médio no consolidado de 2009 (janeiro a setembro de 2009), em relação ao mesmo período de 2008 (BARROS, 2009). Em valores *per capita*, o consumo de iogurte no Brasil em 2009 foi de 5,7 kg/ano, enquanto em 1997 era quase a metade disso, 3,0 kg/ano (GLOBO, 2009).

No comércio existem diversos tipos de iogurte. Algumas das classificações são: iogurte de consistência firme, batido, líquido, natural, adicionado de frutas, integral, desnatado, semidesnatado, prebiótico (RASIC; KURMANN, 1978; TAMIME, 1980; TAMIME; ROBINSON, 1991).

De acordo com Tamime e Deeth (1980), iogurte de consistência firme é obtido quando a fermentação do leite é transcorrida dentro da própria embalagem, e o iogurte produzido apresenta massa semissólida. Entretanto, iogurte batido é resultante da fermentação em tanques, seguida de ruptura do gel antes do resfriamento e embalagem do produto. Já o iogurte líquido é considerado o iogurte batido de baixa viscosidade (teor reduzido de sólidos totais).

O iogurte de consistência firme caracteriza-se por massa semissólida contínua, apresentando defeito bastante comum durante sua vida útil, que é a sinérese, caracterizada pela formação de uma camada de soro na superfície do produto, resultante da contração natural do gel. Vários recursos tecnológicos podem ser utilizados para prevenir esse defeito, como aumento do conteúdo de sólidos, tratamento térmico intenso, homogeneização, controle das condições de fermentação e utilização de agentes de textura que interagem com o gel do iogurte (HATANAKA, 2009).

Em geral, o iogurte apresenta percentual de lactose equivalente ao do leite, pois, embora parte deste açúcar seja convertida em glicose e galactose pela ação das culturas lácticas, a adição do leite em pó com o intuito de aumentar o teor de sólidos eleva também a porcentagem de lactose. A melhora na digestibilidade da lactose (cerca de 90% do iogurte é digerido após a primeira hora de consumo contra apenas 30% do leite) ocorre em função da atividade de lactase conferida pela presença das culturas lácticas (DEETH; TAMIME, 1981; LEE et al., 1988; SALJI, 1989; SHAHANI; CHANDAN, 1979).

As principais etapas na produção de iogurte são padronização do leite para teores de sólidos (solubilização e estabilização) e gordura desejáveis, tratamento

térmico e homogeneização da mistura, adição de culturas lácticas, acondicionamento, fermentação até pH na faixa de $4,7 \pm 0,1$, refrigeração e armazenamento refrigerado do produto final (LUCEY, 2004).

A reação inicial do processo de geleificação envolve o enfraquecimento e quebra das pontes de hidrogênio e dissulfídicas desestabilizando a estrutura conformacional das proteínas. Posteriormente, ocorre a polimerização das moléculas de proteína, produzindo uma estrutura tridimensional capaz de imobilizar fisicamente grande parte da fase contínua, através de ligações dissulfídicas intermoleculares, interações hidrofóbicas e iônicas (MANGINO, 1992). A integridade física do gel é mantida pelo contrabalanceamento das forças de atração e repulsão entre as moléculas de proteína e dessas com a fase contínua circundante (ZIEGLER, FOEGEDING et al., 1990).

Segundo Davis (1973), ao dobrar o conteúdo de extrato seco desengordurado do leite, a acidez titulável também dobra. Entretanto, diferentes níveis de sólido desengordurado do leite podem influenciar o tempo de geração e a contagem celular da cultura *starter* do iogurte, sendo as condições ótimas 12 g e 14 g de sólido desengordurado para *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* e *Streptococcus thermophilus*, respectivamente (AL-DABBAGH; ALLAN, 1989).

A Tabela 2 apresenta dados de acidez obtidos pela fermentação de leite em pó desnatado reconstituído em diferentes níveis de sólidos totais.

Tabela 2 - Efeito dos sólidos totais da mistura na acidez natural (AN), acidez titulável (AT) e acidez desenvolvida (AD), no leite, após a incubação a 42 °C

Sólidos totais (g 100 g ⁻¹) no leite-base do iogurte	Tempo de incubação (horas)	% Ácido láctico		
		AN	AT	AD
12	3,5	0,15	0,80	0,65
14	3,5	0,19	0,84	0,65
16	3,0	0,21	0,83	0,62
18	2,5	0,24	0,88	0,64
20	3,0	0,29	0,93	0,64

Fonte: TAMIME; ROBINSON, 2007.

A proporção da adição de leite em pó desnatado para a produção de iogurte pode variar de níveis baixos como 1% até níveis altos como 6%, mas o nível recomendado é de 3 a 4%, desde que a adição do maior nível de leite em pó

desnatado não altere o sabor característico do iogurte (TAMIME; ROBINSON, 2007).

O efeito da substituição do leite em pó desnatado por CPS ou caseinato sobre a textura e propriedades físicas do iogurte tem sido estudada por vários pesquisadores (AKALIN et al., 2007; BHULLAR et al., 2002; DAMIN et al., 2008; OLIVEIRA et al., 2001), alguns autores relataram resultados não conclusivos (SAINT-EVE et al., 2006; SODINI et al., 2005; SODINI et al., 2005). Em estudos utilizando CPS, caseinato e leite em pó desnatado (LPD) como ingrediente no leite-base, conseguiu-se reduzir a quantidade de cada ingrediente na fabricação do iogurte, sendo essas quantidades otimizadas com instrumento estatístico adequado (MARAFON et al., 2011).

De acordo com Fox (2001) e Tamime et al. (2001), a padronização da proteína em $5 \text{ g } 100^{-1} \text{ g}$ de leite melhorou as propriedades reológicas do iogurte, mas ressaltaram a dificuldade do estudo separado do efeito da proteína ou dos sólidos totais, pois essas duas variáveis não são alteradas de forma independente da composição da formulação.

Ao aumentar o teor de sólidos totais, há melhora no perfil sensorial, mesmo se este teor for aumentado pela adição de sacarose ou outros agentes de estabilização. O aumento do teor de sólidos totais do leite-base promoveu melhoria na consistência. O principal efeito foi observado entre 12-14% em massa, no entanto níveis superiores a $16 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ resultaram em variações menores (TAMIME; ROBINSON, 2007).

Tradicionalmente, usa-se leite em pó desnatado para padronizar o teor de sólidos do leite antes da fermentação. No entanto, outros ingredientes lácteos podem ser alternativa rentável, devido à sua disponibilidade e qualidade. Entre esses ingredientes está o concentrado proteico de soro (CPS) que melhora a textura e as propriedades funcionais do produto (SÉVERIN; WENSHUI, 2005; VASILJEVIC; SHAH, 2008).

O tipo e nível do teor de proteína afetam as características reológicas do produto (PENNA et al., 2006; PRENTICE, 1992; PUVANENTHIRAN et al., 2002; SODINI et al., 2005). Além disso, a concentração de sólidos totais influenciou a viabilidade de *Lactobacillus bulgaricus* e *L. acidophilus* no leite e na mistura de leite com CPS (ALMEIDA et al., 2009).

2.1.1. Características de qualidade do iogurte

Devido à existência de poucas especificações do padrão de qualidade do iogurte, torna-se difícil padronizar sua qualidade até mesmo devido às diversas formas, métodos de fabricação, ingredientes e preferências do consumidor (PENNA, 1994). Entretanto, essa avaliação pode ser orientada tanto por determinações físico-químicas (pH e acidez) quanto por avaliações instrumentais, firmeza, por exemplo, ou avaliação sensorial de sabor, aparência e textura (KROGER, 1976).

Iogurte de consistência firme deve apresentar consistência semissólida e suave sem soro na superfície, sem fendas, orifícios ou outros defeitos (LUCEY; SINGH, 1997). Schmidt et al. (1980) relataram que iogurtes feitos de leites aquecidos a 90 °C/30 min apresentavam-se com aparência “granulosa”, enquanto iogurtes preparados de leites aquecidos a 80 ou 85 °C/30 min foram descritos como suaves e de corpo “firme”.

O conteúdo de proteínas do leite é um parâmetro de grande influência nas características reológicas dos produtos lácteos fermentados, pois ocorrem modificações na estrutura do gel formado durante a fermentação quando a composição do leite é modificada. Além disso, variações na estrutura e composição da matriz do alimento devido à natureza das proteínas podem ser responsáveis pela modificação do sabor e aroma do produto (SAINT-EVE et al., 2006), influenciando diretamente na aceitação do iogurte.

A mais importante propriedade estrutural do iogurte de consistência firme são a força de seu coágulo e a sua consequente habilidade para imobilizar água. A sinérese é um defeito comum nos produtos fermentados de leite e é consequência da contração do gel com concomitante expulsão do soro (LUCEY; SINGH, 1997). A sinérese durante a vida útil do produto é indesejável e resulta na formação de uma camada de soro na superfície do iogurte, que leva à sua rejeição pelos consumidores (LUCEY, 2002).

Durante a fermentação do leite, o pH diminui gradualmente até cerca de 4,5, ocorrendo desestabilização das micelas que se agregam formando uma rede tridimensional, na qual o soro é aprisionado (JAROS et al., 2002). O pH, assim como a força iônica, pode alterar a distribuição das cargas entre as cadeias laterais das

proteínas, causando aumento ou diminuição das interações proteína-proteína (GOSSETT et al., 1984).

A variação nas interações interproteicas influencia a formação do gel durante a acidificação, visto que a geleificação é governada por duas forças opostas que atuam simultaneamente. De um lado, uma tendência de desagregação das micelas de caseína causada pela solubilização do fosfato de cálcio coloidal e, do outro lado, uma tendência de agregação das micelas num sistema mais ordenado causado pela redução das cargas negativas da superfície da micela e pela diminuição da hidratação da caseína na faixa de pH de 5,3 a 4,6. A formação do gel ocorre quando as forças que promovem a agregação se sobrepõem às forças que promovem a repulsão. Em géis ácidos, como o iogurte, a alta umidade (~ 85%) e o baixo pH (~ 4,7), próximo ao ponto isoelétrico da caseína, são responsáveis pela baixa capacidade de retenção de água do produto, tornando-o altamente suscetível a sinérese (FOX, 2000).

Os rearranjos na rede produzidos por forças atrativas entre as moléculas de caseína ou micelas agrupadas podem levar à formação de ligações intermoleculares adicionais e, conseqüentemente, a contração do gel com expulsão de líquido. Esse fenômeno, chamado de sinérese, é, portanto, causado pela liberação espontânea de água do gel acompanhada pela redução do seu volume e intensificado por mudanças na temperatura, valor de pH e fatores mecânicos (DANNENBERG; KESSLER, 1988).

Na prática, uma rápida acidificação do leite e uma temperatura de incubação alta podem ser as principais causas da separação do soro em géis ácidos, como é o caso do iogurte. Outras possíveis causas para esse fenômeno são: tratamento térmico excessivo da mistura, baixo teor de sólidos totais (proteína e, ou, gordura) da mistura, movimento ou agitação durante ou logo após a formação do coágulo e baixa produção de ácido ($\text{pH} \geq 4.8$) (LUCEY; SINGH, 1997). Assim, é possível resumir os fatores que causam sinérese a danos ou perturbações à rede de gel formada, a rearranjos estruturais severos da rede, ou a algum parâmetro físico-químico que altere as interações proteicas responsáveis pela estrutura da rede (LUCEY et al., 1998).

Para evitar esse tipo de defeito, pode-se recorrer a algumas práticas, como: homogeneização da gordura, aumento do conteúdo de proteínas para cerca de 3,5%;

diminuição do conteúdo de minerais, tratamento térmico adequado; abaixamento da temperatura de incubação, resfriamento lento do coágulo; uso de culturas produtoras de substâncias viscosas e de estabilizantes; aumento da concentração de sólidos no leite-base; e cuidados na manipulação e no transporte (JAROS et al., 2002; KROGER, 1976).

A consistência do iogurte é um atributo tão importante quanto o sabor e o aroma. A firmeza adequada, sem separação de soro, é essencial para a máxima qualidade do produto (PENNA, 1994).

Uma textura excessivamente firme pode ser causada por fatores como alto teor de sólidos totais na mistura, adição de estabilizantes ou temperatura de incubação muito baixa. Já um coágulo com textura pouco firme pode ser causado devido ao baixo teor de sólidos na mistura, tratamento térmico do leite insuficiente, baixa acidez e altas temperaturas de incubação (LUCEY; SINGH, 1997).

Defeitos como “grumoso”, “granular” ou presença de “nódulos” são desagradáveis, uma vez que os consumidores esperam produtos "suaves" e de "corpo fino" (BODYFELT et al., 1988). "Grumoso" geralmente refere-se à presença de grandes agregados de proteína em iogurtes, que podem, muitas vezes, atingir tamanhos de 1 mm a 5 mm, devido à produção excessiva de ácido, altas temperaturas de incubação, uso excessivo de cultura para inoculação (HUMPHREYS; PLUNKETT, 1969). Greig e Van Kan (1984) observaram textura “granulosa” em amostras de iogurtes, onde mais de 20% de sólidos desengordurados do leite foram substituídos por CPS.

Dois fatores são de grande influência nas características de textura do iogurte: a adição de sólidos e o tratamento térmico (TAMIME; ROBINSON, 2007).

O tratamento térmico da mistura-base é importante por promover a agregação protéica, proporcionando géis mais firmes e diminuindo o grau de acidificação necessário para provocar a associação da matriz no iogurte (HAQUE et al., 2001). A adsorção das proteínas do soro às micelas de caseína, mediada pelo aquecimento do leite, é fundamental nas propriedades físicas e químicas das micelas e, conseqüentemente, influencia a textura do iogurte (MOTTAR et al., 1989).

2.1.2. Iogurtes desnatados

O iogurte desnatado representa importante parcela do mercado, especialmente consumido por indivíduos com excesso de peso, dislipidemias, diabetes e cardiopatias, entre outros. A aceitabilidade desse produto desnatado depende de sua textura e corpo (SIVIERI; OLIVEIRA, 2002).

Iogurtes desnatados tendem a apresentar textura mais frágil e quebradiça, portanto a quantidade e qualidade dos sólidos acrescidos à mistura-base, bem como o tratamento térmico subsequente, são de fundamental importância para garantir um produto de alta qualidade (ANTUNES, 2004).

A baixa viscosidade do iogurte desnatado incentivou muitas pesquisas visando à melhoria da textura desses produtos com reduzido teor de gordura. Entre essas pesquisas, podem ser citados os trabalhos sobre o uso de culturas *starter* especiais que produzem exopolissacarídeos (FOLKENBERG et al., 2006), o estudo do leite submetido a altas pressões (LANCIOTTI et al., 2004), a influência do tratamento térmico no comportamento reológico do gel do iogurte (REMEUF et al., 2003) e o efeito da adição de substitutos de gordura, como espessantes e derivados de soro de leite, nas características reológicas, físico-químicas e sensoriais do iogurte (GUGGISBERG et al., 2007). Um substituto de gordura é ingrediente que pode ser usado para fornecer algumas ou todas as funções da gordura, resultando em produtos com menor teor calórico (ADA, 2005).

A quantidade requerida de substitutos de gordura para atingir o teor de sólidos totais semelhantes ao do iogurte “convencional” pode produzir alterações sensoriais e tecnológicas, como acidez e firmeza excessiva, separação de fases e textura granulosa (GUZMÁN-GONZÁLEZ et al., 2000; SODINI et al., 2005).

Os substitutos de gordura podem ser classificados em três categorias principais: baseados em proteínas, em carboidratos e compostos sintéticos. Os substitutos de gordura baseados em proteínas têm sua aplicação limitada, pois o aquecimento pode causar coagulação e desnaturação da proteína, resultando em perda de cremosidade e textura que simulam a presença de gorduras. Esses substitutos podem ser utilizados na formulação de sobremesas, iogurtes, queijos, sorvetes, maioneses, margarinas e molhos. Entre os pertencentes a esse grupo, destacam-se as proteínas do leite, do soro de leite e do ovo. Os baseados em

carboidratos e produtos à base de carboidratos têm sido usados para substituir total ou parcialmente óleos e gorduras em uma variedade de alimentos. Nesse grupo, encontram-se dextrinas, amidos modificados, polidextrose e gomas. Por fim, os substitutos de gordura sintéticos são substâncias similares à gordura, mas resistentes à hidrólise pelas enzimas digestivas; a esse grupo pertence os poliésteres de sacarose (LIMA; NASSU, 1996).

2.2. Substitutos de gordura em iogurtes

2.2.1. Concentrado proteico de soro

O concentrado proteico de soro (CPS), além da capacidade de mimetizar a gordura, tem sido apontado como estimulador do crescimento de culturas lácticas. Bury et al. (1998) suplementaram meio de cultura com CPS, o que refletiu em acidificação mais rápida e aumento no número de células de *L. bulgaricus* e *S. thermophilus*. Do mesmo modo, Dave e Shah (1998) observaram aumento acima de três ciclos logarítmicos na contagem de bifidobactérias nos iogurtes suplementados com CPS.

Aziznia e colaboradores (2008), estudando o efeito do CPS na elaboração de iogurte desnatado, concluíram que o aumento do teor de sólidos totais, proteína total, cinza e acidez foi proporcional ao da concentração de CPS, resultando em estrutura mais compacta e, conseqüentemente, em menor sinérese.

O aumento de concentrado proteico provoca modificação na textura dos géis, resultando em aumento da firmeza e intensificando a retenção de água pela matriz (MANGINO, 1984; SCHMIDT et al., 1978). As proteínas do soro de leite que apresentam melhores propriedades geleificantes são a β -Lactoglobulina e a albumina sérica (BSA). A primeira é de 10 a 20 vezes mais abundante nos produtos com soro lácteo, portanto considerada o principal agente geleificante (AGUILERA, 1995). Essa propriedade se deve à presença de grupos sulfidrila livres (RATTRAY; JELEN, 1997).

A adição de CPS em iogurtes desnatados proporciona maior firmeza e gomosidade, com menores valores de sinérese. Essas características são

potencializadas durante o armazenamento (ANTUNES et al., 2004; MULVIHILL, 1994), resultando em um produto com melhor aparência, textura e aceitabilidade, em comparação com formulações em que não utilizou CPS (MARTIN-DIANA et al., 2004).

O CPS é composto por quatro frações proteicas principais que apresentam pontos isoelétricos de 5,2 (β -Lactoglobulina), 4,2-4,5 (α -Lactoalbumina), 4,7-4,9 (albumina sérica) e 5,5-8,3 (imunoglobulinas). As proteínas do soro em sua forma nativa permanecem solúveis em seus pontos isoelétricos, devido aos seus estados conformacionais globulares e compactos (MORR; HA, 1993). O aquecimento de soluções de CPS em valores de pH próximos ao ponto isoelétrico leva à formação de coágulos túrbidos e sujeitos à sinérese devido às forças atrativas intensas entre as moléculas proteicas, resultando em géis frágeis e de reduzida elasticidade (BRANDENBERG et al., 1992; KINSELLA; WHITEHEAD, 1989; MORR; HA, 1993).

A redução da sinérese com o uso de proteínas do soro de leite é devida ao fato de estas apresentarem microestrutura mais homogênea, sugerindo a formação de uma rede de proteína mista entre micelas de caseína e agregados da proteína do soro (MATUMOTO-PINTRO et al., 2011).

Além das propriedades tecnológicas, o soro de leite é um suplemento proteico dietético popularmente conhecido por sua atividade antimicrobiana e imunomoduladora e melhoria da força muscular e na composição corporal, além da prevenção de doenças cardiovasculares e da osteoporose (SMITHERS, 2008). Estudos evidenciam que o soro de leite, na forma de concentrado proteico, apresenta como propriedades nutricionais e tecnológicas um excelente conteúdo de aminoácidos essenciais e elevada digestibilidade e solubilidade, boa capacidade emulsificante, geleificante e de retenção de água, boa retenção e incorporação de gordura; facilita o batimento, boa formação de espuma e aeração e, por fim, realça a cor, sabor e textura (REGESTER et al., 1996; SODINI et al., 2005).

2.2.2. Caseína micelar concentrada

Segundo Fox e McSweeney (2003), as caseínas emulsificam gordura, retêm água e estabilizam espuma, o que contribui para a estabilidade do produto e a sua aparência sensorial. A estrutura da alfacaseína S2 é apresentada na Figura 1.

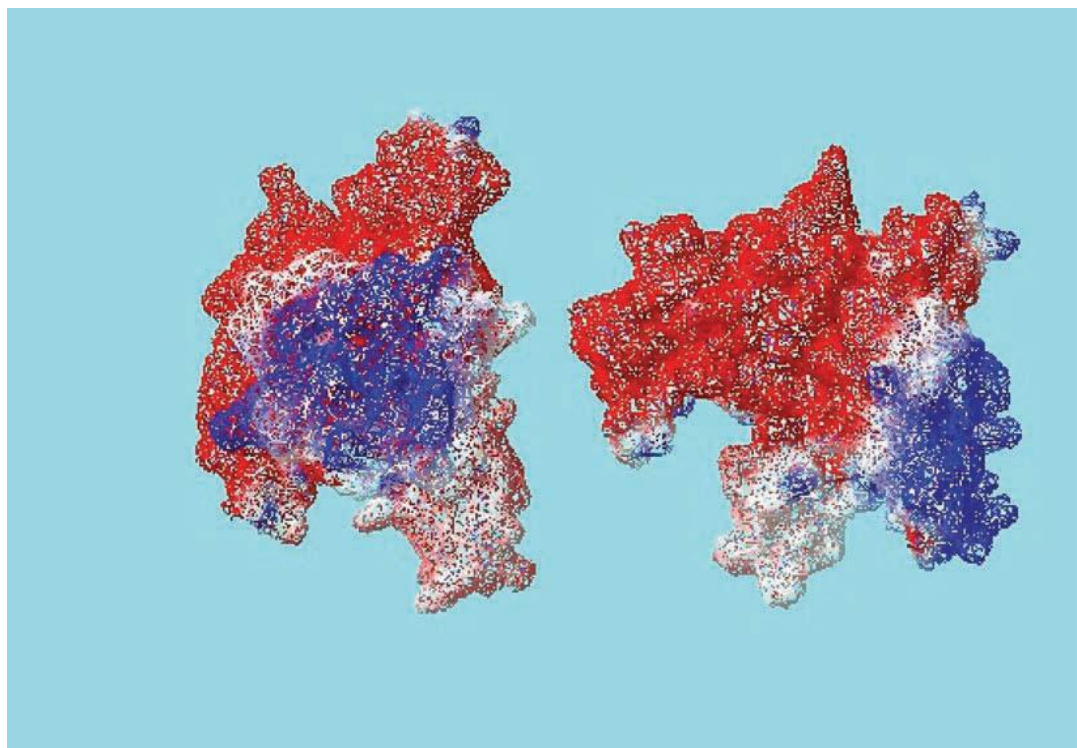


Figura 1 - Representação da alfacaseína S2 – cargas negativas (vermelho) e positivas (azul).

Fonte: FARRELL et al., 2009.

A caseína micelar concentrada é obtida por microfiltração (porosidade de 0,1-0,2 μm), processo esse que reduz a concentração de proteínas do soro. Posteriormente, há uma diafiltração para a redução dos componentes solúveis, sendo então, atomizada em secador do tipo *spray* com temperatura de secagem igual a 40 °C (GAIANI et al., 2006; JOST et al., 1999; O'CONNELL; FLYNN, 2006).

Iogurtes fortificados com caseína micelar apresentam poros maiores na estrutura do gel formado. Já a diminuição do pH (para $\text{pH} < 5$) apresenta taxa menor de acidificação, promovendo aumento significativo no tempo de fermentação necessário para atingir pH 4,6, efeito esse causado pelo elevado poder tamponante da caseína, visto que sua maior capacidade tamponante é em seu ponto isoelétrico (pH 4,6) (CHANDAN; HUI, 2006; PENG et al., 2009). De acordo com Walstra et al.

(1984), a caseína geralmente possui maior capacidade tamponante que as proteínas do soro, e estas últimas, de acordo com Chandan e Hui (2006), têm sua capacidade tamponante máxima no intervalo de pH 4 a 5.

Iogurtes enriquecidos com ingredientes à base de caseína mostram aumento na firmeza e viscosidade e redução na sinérese (GUZMÁN-GONZÁLEZ et al., 2000; MODLER et al., 1983; REMEUF et al., 2003). Tem-se demonstrado que iogurtes preparados com caseína micelar apresentam textura mais firme do que iogurtes preparados com leite em pó desnatado. Isso está provavelmente relacionado ao fato de que os constituintes do leite (proteínas do soro e lactose) interagem com a matriz contínua do gel. A vantagem da caseína micelar sobre o leite em pó desnatado é que não há aumento concomitante de sólidos do soro, levando a redução na habilidade de o leite coagular enzimaticamente, pois diminui a extensão de formação do complexo κ -caseína/ β -lactoglobulina, o que causa aumento na firmeza e rigidez da rede proteica e coagulação levemente mais rápida (GAREM et al., 2000; O'CONNELL; FLYNN, 2006; SABOYAINSTA; MAUBOIS, 2000).

Em comparação com leite em pó desnatado, caseinato de sódio e isolado proteico de leite, o uso de caseína micelar resulta em iogurtes com baixo G' (módulo de armazenamento) e alta permeabilidade em pH 4,6 (PENG et al., 2009).

Além das características tecnológicas, o uso da caseína micelar traz benefício à saúde, podendo ser utilizada na produção de peptídeos biologicamente ativos, como \hat{a} -casomorfina, fosfopeptídeos e peptídeos envolvidos na imunomodulação (FITZGERALD, 1998).

2.2.3. Inulina

A estrutura química da inulina é apresentada na Figura 2.

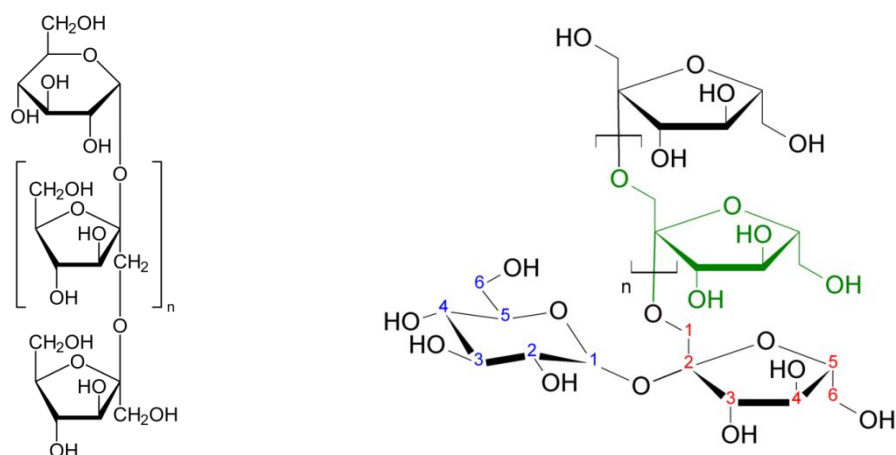


Figura 2 - Estrutura química da inulina: $n \approx 35$.

A inulina é um tipo de fibra que tem sido utilizada em muitos países como substitutos de gordura devido à sua característica de melhorar a estabilidade de emulsões e utilizada com o intuito de reduzir as calorias dos alimentos (BARRETTO, 2007; PAK, 2006). Um grama de inulina tem o potencial de substituir 4 g de gordura (JAKUBCZYK; KOSIKOWSKA, 2000). Uma de suas vantagens é sua alta solubilidade, permitindo o uso de doses altas em bebidas lácteas e produtos lácteos fermentados; outra vantagem é não precipitar nem cristalizar, e também não transmitir a sensação de arenosidade no paladar, típica de fibras insolúveis (MONTAN, 2003).

Do ponto de vista tecnológico, a utilização da inulina interfere na capacidade de retenção de água, capacidade de ligação com gordura, viscosidade (interferência mínima), geleificação, capacidade fermentativa, textura e outras propriedades. Conforme descrito por Borderías e colaboradores (2005), as fibras têm as seguintes características, do ponto de vista tecnológico:

- a) Capacidade de retenção de água: considerada a mais importante propriedade do ponto de vista tecnológico, é a capacidade em ligar água. Essa capacidade é relativa ao comprimento e espessura da partícula da fibra. O pH do meio geralmente influencia a capacidade de retenção de água.
- b) Capacidade de ligar gordura: a capacidade da fibra em ligar gordura depende mais da porosidade da fibra do que da afinidade molecular.
- c) Viscosidade: a viscosidade de fibras insolúveis e de algumas solúveis, como a inulina, é mínima.

d) Capacidade de formar géis: esta capacidade dependerá de vários fatores que incluem a concentração, temperatura, presença de certos íons e pH. Algumas fibras possuem sinergismo quando administradas em conjunto com amido, goma xantana ou carragenatos.

e) Capacidade fermentativa: dependendo do tipo de fibra, ela é capaz de ser fermentada. Enquanto celulose é pouco fermentada, pectina tem maior capacidade de ser fermentada.

f) Melhora da textura: em muitos produtos lácteos, cárneos e alguns produtos derivados de peixe, o uso dessas fibras pode auxiliar na textura adequada do produto.

De acordo com Modzelewska-Kapitula e Klebukowska (2009), as diferentes concentrações de inulina (0,7% e 2,7%) na fabricação de iogurte apresentaram variação significativa nos valores de pH. Houve diferença significativa apenas no primeiro dia, quando a maior concentração de inulina foi a responsável pelo maior valor de pH. Já analisando ao longo do tempo, percebe-se que houve diferença significativa até o 14º dia de estocagem, tal que os maiores valores de pH são referentes ao primeiro dia de estocagem.

Diferentes concentrações de inulina não provocaram diferença significativa ($p < 0,05$) para a contagem de unidades formadoras de colônias de *Lactobacillus delbrueckii ssp. bulgaricus*, resultado esse encontrado também ao longo do tempo de estocagem (MODZELEWSKA-KAPITUŁA; KŁĘBUKOWSKA, 2009).

Quanto a aparência, aroma, textura e sabor do iogurte em dois níveis de inulina (1,24 e 2,48)%, as variáveis respostas não foram significativamente diferentes ($p < 0,05$) (ALLGEYER et al., 2010).

Iogurte produzido com 0,1% de gordura apresentou o valor de elasticidade, diminuiu ligeiramente nas concentrações entre 0% e 1% de inulina e aumentou nas concentrações de 2% a 4% de inulina, comportamento esse semelhante ao observado para a viscosidade complexa. Já a firmeza não apresentou diferença significativa a 5% de probabilidade (GUGGISBERG et al., 2009).

Além de suas propriedades tecnológicas, a inulina pode exercer determinados benefícios à saúde: proteção contra câncer de cólon, melhoria na resistência a hospedeiros patogênicos, aumento na absorção de cálcio, redução no nível de lipídios no sangue e estimulação do sistema imunológico (BLAUT, 2002; LOSADA;

OLLEROS, 2002; MANNING; GIBSON, 2004). A inulina é considerada um prebiótico devido à sua resistência à digestão na parte superior do trato intestinal e posterior fermentação no cólon, por componentes benéficos da flora intestinal (HUEBNER et al., 2007; ROBERFROID, 2002). Por exercer efeito de aumento de volume, como consequência do aumento da biomassa microbiana que resulta de sua fermentação, bem como promover aumento na frequência de evacuações, sua classificação como fibra é confirmada (BRUZZESE et al., 2006; JUSKIEWICZ et al., 2007; MACFARLANE et al., 2006).

2.3. Análise instrumental do perfil de textura (TPA)

Segundo a Organização Internacional de Normalização (ISO), a textura é definida como o conjunto de propriedades reológicas de um produto alimentício, perceptíveis por meio de receptores mecânicos, táteis e, eventualmente, visuais e auditivos (CHAVES, 1998). De forma mais simples, a textura é definida como o conjunto de sensações percebidas durante a manipulação e mastigação do alimento (RAMOS, 1997).

O processo fisiológico de mastigação é bastante complexo. O ser humano mede e integra as percepções sensoriais do alimento que sofre transformação contínua durante a mastigação. Para reduzir os gastos e a variabilidade dos testes com indivíduos, foram realizadas muitas tentativas para produzir instrumentos que simulem percepções sensoriais (DUIZER, 1996).

Apesar de a textura ser uma propriedade sensorial, ela pode ser estudada também por métodos objetivos instrumentais. Por causa da natureza física da textura, um grande número de instrumentos mecânicos foram desenvolvidos e se tornaram disponíveis para a descrição quantitativa da textura.

A forma mais comum de se avaliar a textura de alimentos por métodos instrumentais é submeter a amostra a uma força e avaliar a extensão da deformação ou resistência da amostra a essa força. Embora existam várias metodologias de avaliação instrumental de textura, a força exercida sobre a amostra pode ser aplicada basicamente de cinco formas diferentes: através da compressão, do cisalhamento, do corte, da tensão e da compressão e cisalhamento (BOURNE, 1982).

Os métodos instrumentais de determinação de textura são divididos em três tipos de testes: fundamentais, imitativos e empíricos.

Fundamentais: medem propriedades reológicas bem definidas, e seus resultados são expressos em grandezas físicas fundamentais, como componente elástica e viscoelástica G e G'' (Pa), viscosidade η (Pa.s). O inconveniente desse teste é que envolve aparelhos sofisticados e dispendiosos, e muitas vezes os resultados não se relacionam bem com os obtidos em análise sensorial.

Imitativos: são os que imitam as condições a que o alimento é submetido na prática. Os instrumentos imitativos somente simulam o complexo processo de mastigação em grau muito limitado. Geralmente, apresentam dispositivos em forma de dentes e, ou, uma ação que copia o movimento das mandíbulas, mas somente num plano vertical. O primeiro instrumento desse tipo foi o texturômetro da "General Foods" (BRENNAN, 1984).

Empíricos: medem propriedades mecânicas da amostra em unidades empíricas do instrumento, em que geralmente a amostra é submetida a um complexo de forças, mas um tipo de ação predomina (BRENNAN, 1984). O problema com esse tipo de teste, a definição insuficiente do que é medido e a arbitrariedade do teste são efetivos somente com número limitado de alimentos, porém bastante utilizados nas indústrias de alimentos (BOURNE et al., 1978; SZCZESNIAK, 1963).

Atualmente, dois instrumentos têm sido mais utilizados para a análise de perfil de textura (TPA): o Instron e o Analisador de Textura. Os instrumentos são usados em grande variedade de testes de textura por apresentarem ótima precisão (BOSI, 2008).

Esses equipamentos consistem basicamente em três elementos: um "probe" (objeto de aplicação da força), uma fonte de movimento e um registrador. As propriedades mecânicas são estudadas submetendo-se o alimento a uma força e observando a deformação produzida pelo esforço correspondente (RICHTER, 2006).

A TPA é um conjunto de medidas que foi desenvolvida com base na imitação da compressão de uma mordida em um pedaço de alimento, representando duas vezes a movimentação da ação da boca (BOSI, 2008).

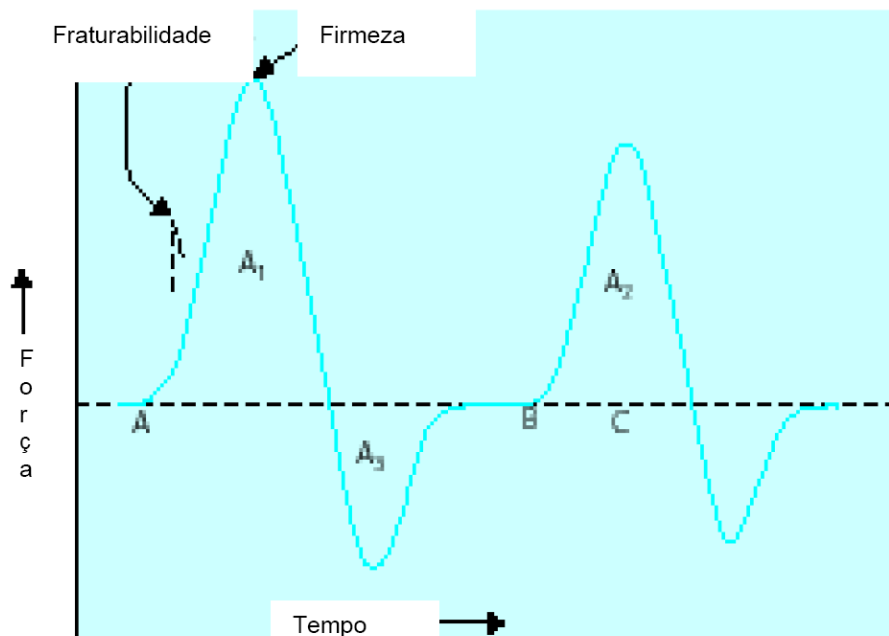


Figura 3 - Curva típica de análise de perfil de textura.
 Fonte: BOURNE, 2002.

No teste de textura instrumental, as medidas são baseadas na resistência da amostra à força aplicada. Níveis de deformação entre 20-50% são geralmente aplicados em produtos semissólidos. Nesses níveis, as amostras não quebram, sendo possível obter informações valiosas das propriedades de textura (PONS et al., 1996).

O Perfil de Textura Instrumental vem sendo aplicado com eficiência para uma gama de alimentos. Esse método tem como vantagem a simplicidade e a possibilidade das medidas de textura obtidas poderem ser correlacionadas com textura sensorial (BOURNE, 2002).

No estudo da textura instrumental utilizando texturômetro e o Perfil de Textura (TPA), a amostra deve ser submetida a dois ciclos de compressão, e através da resposta gráfica são determinados os seguintes parâmetros, estabelecidos por Friedman et al. (1963), modificados por Bourne (1968) e apresentados por Van Vliet (1991), conforme descrito a seguir.

- ✓ Dureza TPA (“TPA hardness”): força necessária para atingir dada deformação.
- ✓ Fraturabilidade TPA ("fracturability"): é a força com que o material fratura.
- ✓ Coesividade TPA (“TPA cohesiveness”): força necessária para que o dispositivo se descole da amostra.

- ✓ Elasticidade TPA (“TPA springiness”): é a velocidade com que o material deformado volta a sua condição original após ser retirada a força deformante.
- ✓ Adesividade TPA (“TPA adhesiveness”): é a quantidade de força para simular o trabalho necessário para sobrepor as forças de atração entre a superfície do alimento e a superfície em contato com este.
- ✓ Gomosidade TPA (“gumminess”): é a energia requerida para desintegrar um alimento semissólido o ponto de ser engolido.
- ✓ Mastigabilidade TPA (“TPA chewiness”): é a energia requerida para se mastigar um alimento sólido até o ponto de ser engolido.

Tabela 3 - Definições instrumentais, físicas e sensoriais das propriedades do perfil de textura

Parâmetros	Instrumental	Física	Sensorial
Dureza / Firmeza (N)	É definido como o pico de força durante o primeiro ciclo de compressão.	Força necessária para produzir certa deformação.	Força requerida para compressão entre os dentes molares (para sólidos) e entre a língua e o palato (para semissólidos).
Coesividade (adimensional)	Razão da força positiva da área do segundo ciclo de compressão pelo primeiro ciclo de compressão.	Quantidade de energia necessária para romper as ligações internas das amostras.	Grau que uma substância é comprimida entre os dentes antes de se romper.
Elasticidade (mm)	É a medida que o alimento atinge entre o final do primeiro ciclo de compressão e o segundo ciclo.	Velocidade na qual um material deformado volta à condição não deformada depois que a força de compressão é removida.	Grau que o produto volta à sua forma original.
Adesividade (J)	É a área de força negativa do primeiro ciclo de compressão representando a força necessária para a retirada do probe do alimento.	Trabalho necessário para superar as forças atrativas entre a superfície do alimento e outra superfície da qual o alimento esteja em contato.	Força requerida para remover o alimento que adere à boca (palato).
Gomosidade (N)	É definido como o produto entre firmeza e coesividade.	Força para mastigar alimentos semissólidos até deglutição.	Força requerida para desintegrar uma amostra semissólida à consistência adequada para deglutição.
Mastigabilidade (J)	É definida como o produto entre coesividade, elasticidade e dureza.	Força para mastigar alimentos sólidos até a deglutição.	Força requerida para desintegrar uma amostra sólida à consistência adequada para deglutição.

Fonte: BOURNE, 1978.

De um ponto de vista mais tecnológico, a textura é importante por, às vezes, ser usada como:

- ✓ Parâmetro na marcação da data de colheita: quantificar e acompanhar a evolução da dureza do fruto/vegetal.
- ✓ Prevenção das lesões mecânicas nos frutos: quantificar a resistência às forças envolvidas na destruição da textura dos frutos (opções de colheita e transporte; dimensionamento das zonas de recepção).
- ✓ Seleção da matéria-prima (Ex.: ervilhas para congelar ou enlatar);
- ✓ Quantificação das alterações devidas ao processamento;
- ✓ Desenvolvimento de produtos; e
- ✓ Controlo da qualidade.

A textura de iogurtes firme e leites fermentados constitui importante critério para avaliação da qualidade, uma vez que desempenha papel importante na aceitação dos consumidores desses produtos (ROHM, 1990; MUIR; HUNTER, 1992; GONZÁLEZ-ANDRADA et al., 1994).

2.4. Reologia de alimentos

Todos os materiais possuem propriedades reológicas, de modo que a reologia é uma ciência que pode ser aplicada em diversas áreas de estudo. O estudo dessas propriedades em alimentos, segundo Rao (1986), é essencial para várias aplicações que incluem desde os projetos e avaliação de processos até o controle de qualidade, a correlação com a avaliação sensorial e a compreensão da estrutura de materiais.

A Reologia Clássica considera dois tipos de materiais ideais: o sólido elástico e o líquido viscoso. O sólido elástico é um material com forma definida que, quando deformado por uma força externa dentro de certos limites, irá retornar à sua forma e dimensões originais após a remoção dessa força. O líquido viscoso, por sua vez, não tem forma definida e irá escoar irreversivelmente com a aplicação de uma força externa (STANLEY et al., 1996).

Na reologia de sólidos, a propriedade de maior interesse é a elasticidade, enquanto nos líquidos, a viscosidade. A viscosidade de um material pode ser definida

como a propriedade física dos fluidos que caracteriza a sua resistência ao escoamento (PARK; LEITE, 2001).

Quando uma força é aplicada a um material sólido e a curva resultante de tensão *versus* deformação é uma linha reta, passando pela origem, diz-se que o sólido é ideal ou *hookeano*. Esses materiais não escoam e são linearmente elásticos. A tensão permanece constante até que a deformação seja removida, e, uma vez que isso ocorra, o material retorna à sua forma original. A Lei de Hooke pode ser utilizada para descrever o comportamento de muitos sólidos quando submetidos a pequenas deformações, tipicamente inferiores a 1%. Grandes deformações normalmente produzem a ruptura do material ou um comportamento não linear.

O comportamento reológico dos materiais se divide em dois perfis extremos: o de sólidos elásticos e o de líquidos viscosos (MONTEIRO, 2004). Os sólidos ditos elásticos se deformam elasticamente, isto é, obedecendo à Lei de Hooke (Equação 1) quando submetidos a uma perturbação mecânica.

$$F = -k \cdot x \quad \text{Equação 1}$$

em que F é a força (N), k é a constante de força do material ($\text{kg}\cdot\text{s}^{-2}$) e x é o comprimento da deformação (m). Nesse caso, a energia empregada na deformação é armazenada e, subsequentemente, recuperada pelo sistema ao cessar a perturbação, e o material retorna ao seu formato original.

Já no caso dos líquidos viscosos, quando submetidos a uma tensão de cisalhamentos, eles escoam. Nos casos mais simples, a tensão de cisalhamento (τ) apresenta relação de proporção direta com a taxa de deformação ($\dot{\gamma}$) aplicada (Equação 2).

$$\tau \propto \dot{\gamma} \quad \text{Equação 2}$$

A constante de proporcionalidade é denominada viscosidade (η). E, assim, pode-se escrever:

$$\tau = \eta \cdot \dot{\gamma} \quad \text{Equação 3}$$

em que τ é a tensão de cisalhamento (Pa), η é a viscosidade (Pa.s) e $\dot{\gamma}$ é a taxa de deformação (s^{-1}). Os líquidos para os quais essa relação se aplica são denominados líquidos newtonianos; a relação matemática, modelo de Newton.

Todavia, diversos tipos de líquidos não possuem viscosidade constante. Entre esses, distinguem-se aqueles cujo comportamento reológico é independente do tempo e aqueles que são dependentes do tempo. Líquidos com comportamento reológico

independente do tempo, sob condições de temperatura e composição constantes, apresentam viscosidade aparente dependente somente da taxa de deformação ou da tensão de cisalhamento. Para o caso de líquidos com comportamento dependente do tempo, a viscosidade aparente também depende da duração dessa taxa de deformação (RAO, 2007). A Figura 4 apresenta uma classificação geral do comportamento reológico de líquidos:

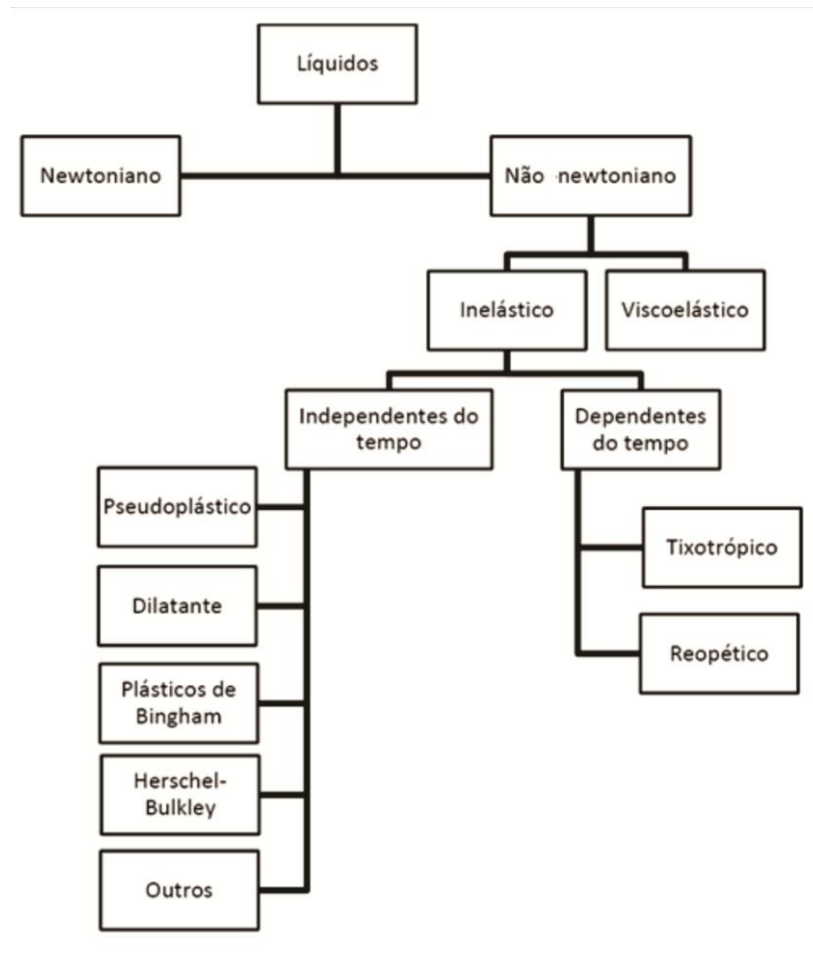


Figura 4 - Classificação do comportamento reológico de líquidos.

Nesses materiais (líquidos viscosos), a energia empregada na deformação é dissipada pelo sistema, e ao cessar a perturbação o material mantém a configuração após a perturbação. Diz-se, então, que os líquidos viscosos escoam, ao passo que os sólidos elásticos se deformam. Esses extremos de comportamento se referem a sistemas ideais, enquanto na maioria das vezes os materiais apresentam comportamento intermediário a esses extremos, sendo caracterizados como viscoelásticos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Matéria-prima

O leite desnatado (fluido) foi adquirido de Indústria de Laticínios FUNARBE no mesmo dia do seu beneficiamento. O leite em pó desnatado foi adquirido no comércio local, enquanto a inulina (BENEO Raftiline GR/Oratfti, Oreye, Bélgica), o CPS (WPC 80%, Davisco Food International) e a CMC (obtida por microfiltração com membrana de porosidade igual a 0,2 μm).

3.2. Fabricação do iogurte

Primeiramente, fez-se a padronização do leite para teores de sólidos desejados (13% de sólidos totais no iogurte), com a adição de leite em pó desnatado. A dissolução dos substitutos de gordura e do leite em pó desnatado (LPD) foi feita na temperatura de 30 °C por 30 minutos, utilizando um mixer vertical (Black & Decker, model KMVSB40T). Após essa etapa, as formulações foram deixadas em repouso a 4 °C, por 12 horas, para reidratação e estabilização.

Em seguida, a solução sofreu tratamento térmico a 90 °C por 5 min, sendo posteriormente resfriado a 45 °C e inoculado *Streptococcus thermophilus* e *Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus*. Em seguida foram acondicionados em recipientes de polipropileno com diâmetro de 50 mm e 40 mm de altura (120 mL) e incubados a 43 ± 1 °C em câmara com temperatura controlada (ELETROlab model 101M/3). Ao atingirem 0,65% de ácido láctico, então foram resfriados, primeiramente circulando-se água fria até uma temperatura de 30 °C e, depois, adicionou-se gelo picado até que a temperatura atingisse 20 °C, sendo então armazenado a 4 °C, por 21 dias.

3.3. Delineamento experimental

Utilizou-se um planejamento experimental de modelagem de mistura com três componentes: concentrado proteico de soro (CPS80), inulina e caseína micelar concentrada (CMC), com o intuito de obter um iogurte *light* (0,3% de gordura). A quantidade de aditivo foi mantida fixa em 1% do volume de iogurte, variando apenas a proporção de cada componente na mistura, como pode ser constatado na Tabela 4.

A proporção de cada componente está apresentada na Tabela 4, com as respectivas codificações e identificação referente a qual ponto se refere no gráfico.

Tabela 4 - Matriz do planejamento de mistura (ternária), com repetição nos pontos centrais

Código	Ponto	Suplemento		
		Inulina	CPS	CMC
T1	1	1,000	0,000	0,000
T2	2	0,500	0,500	0,000
T3	3	0,000	1,000	0,000
T4	4	0,000	0,500	0,500
T5	5	0,000	0,000	1,000
T6	6	0,500	0,000	0,500
T7	7	0,667	0,167	0,167
T7	7	0,667	0,167	0,167
T8	8	0,167	0,667	0,167
T8	8	0,167	0,667	0,167
T9	9	0,167	0,167	0,667
T9	9	0,167	0,167	0,667
T10	10	0,333	0,333	0,333
T10	10	0,333	0,333	0,333
T11	Controle	0,000	0,000	0,000

Dez combinações dos três aditivos foram definidas conforme pontos experimentais apresentados na Figura 5. Os quatro pontos que compõem o triângulo interno foram repetidos uma vez.

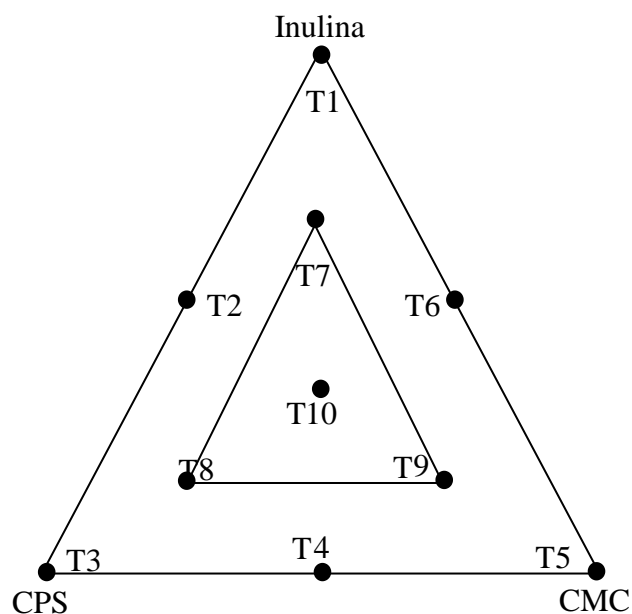


Figura 5 - Representação gráfica do delineamento proposto.

3.4. Análises físico-químicas

3.4.1. Determinação da composição centesimal

Determinou-se o extrato seco total (sólidos totais) por secagem em estufa a 105 °C até massa constante, de acordo com AOAC (1998).

O teor de nitrogênio total (proteína) foi determinado pelo método micro-Kjeldahl, sendo utilizado o fator de 6,38 para conversão de nitrogênio total em proteína em todos os iogurtes, pois a maior parte das proteínas é de origem láctea (AOAC, 1998).

O teor de gordura foi determinado conforme o método de Gerber (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2004).

O resíduo por incineração (cinzas) foi determinado por diferença de pesagem, após a incineração em mufla a 550 °C, de acordo com AOAC (1998).

As análises de extrato seco total, teor de nitrogênio total, teor de gordura e resíduo por incineração foram realizadas apenas no primeiro dia após a fabricação do produto.

A concentração da lactose foi calculada por diferença, segundo a Equação 4.

$$Lact = EST - (Prt + Gd + Cz) \quad \text{Equação 4}$$

em que *Lact* é a concentração de lactose, *EST* é a concentração de extrato seco total, *Prt* é a concentração de proteína total, *Gd* é a concentração de gordura e *Cz* é o valor do resíduo por incineração da amostra.

3.4.2. Acidez titulável

Foi determinada através de titulação da amostra com hidróxido de sódio em presença do indicador fenolftaleína, de acordo com AOAC (1995). Esse parâmetro foi determinado no dia da fabricação e após 1, 7, 14 e 21 dia(s) da produção, sendo o iogurte armazenado a 4 °C durante esse período. Seu valor foi expresso em porcentagem de ácido láctico ($\text{g} \cdot 100\text{g}^{-1}$).

3.4.3. Sinérese

Foi determinada pela expulsão do soro sob a força centrífuga, segundo Guzmán-González e colaboradores (1999), em que 10 g de iogurte foram submetidos à centrifugação de 350 x g por 30 minutos a uma temperatura de 4 °C. O resultado foi expresso em gramas de soro liberado por 100 gramas do produto.

A sinérese foi determinada após 1, 7, 14 e 21 dia(s) da produção, sendo o iogurte armazenado a 4 °C durante esse período.

3.4.4. Capacidade de retenção de água

A capacidade de retenção de água foi determinada após 1, 7, 14 e 21 dia(s) da produção, sendo o iogurte armazenado a 4 °C durante esse período.

Foi determinada pela centrifugação de 5 g de iogurte a 1.800 x g por 30 minutos a 10 °C, sendo o sobrenadante removido após a centrifugação e o precipitado, pesado. O resultado, expresso em %, foi calculado de acordo com a Equação 5.

$$CRA = \left[\frac{m_p}{m_i} \right] \cdot 100 \quad \text{Equação 5}$$

em que CRA é a capacidade de retenção de água, m_p representa a massa do precipitado e m_i a massa total do iogurte (WU et al., 2000).

3.5. Análises reológicas

3.5.1. Análise de perfil de textura (TPA)

A análise de perfil de textura (teste de penetração) foi conduzida em máquina universal de teste mecânico (Instron – Série 3367, Estados Unidos, 2005).

Uma probe de 15 mm de diâmetro foi movida perpendicularmente sobre a amostra acondicionada em recipientes de polipropileno com diâmetro de 50 mm e 40 mm de altura. As condições de trabalho foram: célula de carga de 1 kN, distância de compressão de 40% da altura da amostra, velocidade de pré-teste de 1 mm/s, velocidade de teste de 1 mm/s e velocidade pós-teste de 1 mm/s (RAPACCI, 1997).

A força exercida sobre a amostra foi automaticamente registrada, e os parâmetros dureza (N), coesividade (adimensional), elasticidade (mm), gomosidade (N) e adesividade (N·s) foram automaticamente calculados pelo software Blue Hill 2.0. Para cada tratamento foram realizadas cinco análises a 10 °C.

3.5.2. Ensaio estacionários

Todos os ensaios reológicos foram realizados na temperatura de 10 °C. As medidas dos ensaios foram realizadas em duplicatas e os dados, analisados pelo *software* RheoWin 4 Data Manager. As análises foram realizadas após 1, 7, 14 e 21 dia(s) da produção, sendo o iogurte armazenado a 4 °C, durante esse período.

Testes estacionários foram conduzidos a 10 °C, usando um reômetro MARS (HAAKE MARS, Thermo Electron Corp., Alemanha), equipado com sensor de aço inoxidável de duplo *gap* DG 41 e acoplado a um banho termostático (Phoenix 2C30P, Thermo Electron Corp., Alemanha). Rampas de taxa de deformação (ascendente, descendente e ascendente) foram aplicadas em um intervalo de taxa de cisalhamento variando de 0 a 500 s⁻¹, durante 150 segundos cada. A área entre a primeira e a segunda curva (ascendente e descendente) foi utilizada para a avaliação da tixotropia. A última curva ascendente foi utilizada para ajustar o modelo de

Herschel-Bulkley (Equação 6), por meio de regressão linear usando o *software* RheoWin 4 Data Manager.

$$\tau = \tau_0 + k (\dot{\gamma})^n \quad \text{Equação 6}$$

em que τ é a tensão de cisalhamento (Pa), τ_0 a é tensão inicial de escoamento (Pa), k é o índice de consistência do fluido (Pa·sⁿ) e $\dot{\gamma}$ é a taxa de deformação (s⁻¹).

A tensão inicial (τ_0) foi determinada pelo método das tangentes, utilizando-se uma rampa de tensão de cisalhamento de 1 a 100 Pa obtida em 120 segundos.

3.6. Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) em parcelas subdivididas, e a formulação encontra-se na parcela e o tempo, na subparcela. Nos casos em que houve diferença significativa ($p < 0,10$), submeteram-se os resultados a uma análise de regressão ($p < 0,05$), testando a falta de ajuste e a significância de cada parâmetro, a fim de obter o modelo ajustado que melhor represente a variável resposta em função das variáveis independentes.

Foram ajustados modelos preditivos, considerando-se apenas os parâmetros significativos ($p < 0,05$) pelo teste t. Todas as análises utilizaram o programa estatístico SAS, versão 9.1, licenciado pela Universidade Federal de Viçosa.

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

4.1. Análises físico-químicas

4.1.1. Determinação da composição centesimal

As formulações apresentaram diferença significativa para proteína, cinzas, extrato seco total (EST) e lactose no nível de 5% de probabilidade, pelo teste F (Tabela 5).

Tabela 5 - ANOVA para as análises centesimais

	Fontes de variação	GL	QM	Pr > F
Proteína	Modelo	10	0,54249219	<0,0001*
	Erro	47	0,06348649	
	Total	57		
Cinzas	Modelo	10	0,007612	0,0007*
	Erro	47	0,0019486	
	Total	57		
Extrato Seco Total (EST)	Modelo	10	1,2353179	0,0052*
	Erro	48	0,4129314	
	Total	58		
Lactose	Modelo	10	1,460850	0,0046*
	Erro	44	0,472769	
	Total	54		

* Significativo a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$).

Sendo: Form. = formulação; GL = grau de liberdade; SQ = soma de quadrados; e QM = quadrado médio.

Na Tabela 6 são apresentados os valores das análises centesimais dos tratamentos no primeiro dia de estocagem. Os valores médios das análises centesimais foram de $12,694 \pm 0,441\%$ para o extrato seco total, $4,831 \pm 0,329\%$ para proteína, $0,285 \pm 0,016\%$ para gordura, $1,077 \pm 0,040\%$ para cinzas e $6,501 \pm 0,508\%$ para a lactose.

Tabela 6 - Valores médios das análises centesimais dos tratamentos

Trat.	Gord.(%)*	Prot.(%)*	Cinzas(%)*	EST(%)*	Lactose(%)*
T1	$0,26 \pm 0,02^A$	$4,52 \pm 0,059^{BC}$	$1,06 \pm 0,018^B$	$12,88 \pm 0,438^{AB}$	$7,04 \pm 0,342^A$
T2	$0,29 \pm 0,02^A$	$4,66 \pm 0,421^{BC}$	$1,06 \pm 0,057^B$	$12,63 \pm 0,175^{AB}$	$6,62 \pm 0,379^{AB}$
T3	$0,29 \pm 0,02^A$	$5,53 \pm 0,22^A$	$1,08 \pm 0,02^B$	$12,84 \pm 0,75^{AB}$	$5,95 \pm 0,77^{AB}$
T4	$0,28 \pm 0,02^A$	$5,07 \pm 0,16^{AB}$	$1,09 \pm 0,01^{AB}$	$12,13 \pm 0,30^{AB}$	$5,68 \pm 0,44^B$
T5	$0,30 \pm 0,00^A$	$4,98 \pm 0,35^{AB}$	$1,11 \pm 0,03^{AB}$	$12,71 \pm 0,42^{AB}$	$6,32 \pm 0,82^{AB}$
T6	$0,29 \pm 0,02^A$	$4,11 \pm 0,010^C$	$1,06 \pm 0,05^B$	$12,69 \pm 0,72^{AB}$	$7,24 \pm 0,77^A$
T7	$0,28 \pm 0,02^A$	$4,94 \pm 0,25^B$	$1,07 \pm 0,01^B$	$12,50 \pm 0,37^{AB}$	$6,21 \pm 0,40^{AB}$
T8	$0,29 \pm 0,02^A$	$4,99 \pm 0,10^{AB}$	$1,099 \pm 0,03^{AB}$	$12,815 \pm 0,22^{AB}$	$6,436 \pm 0,73^{AB}$
T9	$0,28 \pm 0,01^A$	$4,668 \pm 0,32^{BC}$	$1,045 \pm 0,06^B$	$12,101 \pm 0,52^{AB}$	$6,108 \pm 0,40^{AB}$
T10	$0,29 \pm 0,02^A$	$4,703 \pm 0,29^B$	$1,040 \pm 0,05^B$	$12,057 \pm 0,33^B$	$6,024 \pm 0,83^{AB}$
T11	$0,29 \pm 0,02^A$	$4,823 \pm 0,09^B$	$1,186 \pm 0,01^A$	$13,009 \pm 0,01^A$	$6,710 \pm 0,11^{AB}$

^{ABC} Na mesma coluna, as médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de média de Tukey.

* Média \pm desvio-padrão.

Todas as formulações apresentaram valores de proteína acima de 4,1% (m/m), portanto atendem ao Padrão de Identidade e Qualidade (PIQ) de leites fermentados (BRASIL, 2000), que estabelece como requisito que os leites fermentados apresentem no mínimo 2,9% (m/m) de proteínas lácteas, requisito atendido em todas as formulações.

4.1.2. Sinérese

Por meio do tratamento estatístico dado aos dados experimentais, não foi encontrado nenhum modelo significativo para explicar o efeito da composição da mistura sobre a sinérese ao longo do tempo. Assim, apenas a média de todas as medidas é apresentada com o respectivo desvio-padrão.

$$Y = 13,3265 \pm 1,9846 \quad \text{Equação 7}$$

em que Y representa a média da sinérese em g de ácido láctico por 100 g de iogurte.

Moretti (2009), em seu estudo, constatou que iogurtes adicionados de isolado proteico de soro não apresentaram diferença significativa ($p > 0,01$) na sinérese durante 36 dias de estocagem a 5 °C, resultado esse idêntico ao encontrado neste trabalho. Mas quando se trata da avaliação da sinérese ao longo do tempo, não há consenso na literatura. Achanta et al. (2007), estudando iogurtes firmes fortificados com diferentes tipos de minerais, relataram que a sinérese foi significativamente menor durante a primeira semana de estocagem, em comparação com a terceira e quinta semanas. Esses autores reportaram que o decréscimo do pH durante a estocagem pode ter causado efeito de contração na matriz da micela de caseína, liberando mais soro. Já, de acordo com Matumoto-Pintro (2011), a sinérese em iogurtes firmes preparados com proteína de soro diminuiu ao longo de 22 dias de estocagem a 4 °C.

Guirguis et al. (1984) estudaram o efeito da substituição de 25% de LPD por CPS na manufatura de iogurtes com 14, 16 e 18% de sólidos totais. Entre os resultados, a fortificação com CPS levou à redução da sinérese. Esse resultado é contrário ao obtido neste estudo, provavelmente devido à menor quantidade de LPD substituída por CPS.

4.1.3. Acidez titulável

A acidez titulável apresentou diferença significativa ($p < 0,10$) apenas em relação ao tempo, sendo a interação (tratamento x tempo) não significativa ($p > 0,10$) (Tabela 7). Assim, todos os tratamentos foram avaliados juntos, obtendo-se um modelo (Equação 5) para estimar o valor de acidez titulável em função do tempo.

Tabela 7 - Análise de variância (ANOVA) da acidez titulável

Fontes de variação	GL	QM	Pr > F
Form.	10	0,006936	0,1707
Tempo	3	0,118536	<0,0001*
Form. x Tempo	30	0,002473	0,3415

* Significativo a 10% de probabilidade ($p \leq 0,10$).

Sendo: Form. = formulação; GL = grau de liberdade; SQ = soma de quadrados; e QM = quadrado médio.

O modelo foi significativo a 5% de probabilidade para a falta de ajuste ($p = 0,014$) e apresentou coeficiente de determinação igual a 47,74%, sendo os coeficientes estimados apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Efeito estimado, erro-padrão e grau de significância estatística (p) da acidez titulável

Fatores	Efeito estimado	Erro-padrão	Pr > t
Intercepto	0,958444968	0,01754493	<0,0001 *
t	0,029182981	0,00397256	<0,0001 *
t ²	-0,000911181	0,00017388	<0,0001 *

* Significativo a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$).

A acidez titulável em função do tempo é representada pela Equação 8.

$$Y = -0,000911181 \cdot T^2 + 0,029182981 \cdot T + 0,958444968 \quad \text{Equação 8}$$

em que t representa o tempo, em dias, e Y é a acidez titulável expressa em g de ácido láctico por 100 g de iogurte.

Estudo com iogurtes fortificados com isolado proteico de soro apresentou grande diferença de acidez titulável após os primeiros dias de armazenamento, devido ao fato de a pós-acidificação ter sido maior nos primeiros dias (MORETTI, 2009).

Antunes (2004) reporta que, no final de 21 dias de estocagem a 4 °C, iogurtes produzidos com 1,5% LPD/0 e 5% CPS não diferiram do iogurte-controle (2,0% LPD) para a acidez titulável, sendo seu valor igual a 2% de ácido láctico. Reporta ainda que a formulação sem CPS acidificou por praticamente todo o período de estocagem, enquanto as formulações com adição de CPS obtiveram seu ápice por volta do 14º dia e, a partir dessa data, estabilizaram.

Os resultados encontrados neste estudo condizem com a literatura citada, visto que a acidez titulável não apresentou diferença significativa ($p > 0,05$) entre as formulações, tendo sido significativa ($p < 0,05$) apenas para o fator tempo. Visto que a pós-acidificação é um processo natural do iogurte, pois ao resfriá-lo as bactérias lácticas tem sua taxa de produção de ácido reduzida por não estarem em sua temperatura ótima de fermentação, o resultado encontrado é coerente.

O fato de a acidez titulável não ter sido significativa ($p > 0,05$) nas formulações pode estar relacionado à pequena quantidade de CMC, CPS e inulina utilizada neste trabalho.

4.1.4. Capacidade de retenção de água

A CRA apresentou diferença significativa ($p < 0,10$) na interação tratamento x tempo, assim a decomposição da interação foi necessária, ou seja, avaliou-se cada

formulação nos diferentes dias de estocagem. A análise de variância (ANOVA) em parcelas subdivididas é apresentada na Tabela 9 para a CRA.

Tabela 9 - Análise de variância (ANOVA) da CRA

Fontes de variação	GL	QM	Pr > F
Form.	10	78,082790	0,0667*
Tempo	3	194,006974	<0,0001*
Form. x Tempo	30	24,791570	0,0075*

* Significativo a 10% de probabilidade ($p \leq 0,10$).

Sendo: Form. = formulação; GL = grau de liberdade; SQ = soma de quadrados; e QM = quadrado médio.

A influência dos substitutos de gordura para a CRA foi modelada estatisticamente para os quatro dias de análise. Os modelos foram avaliados quanto à falta de ajuste e coeficiente de determinação (Tabela 10). O efeito da interação entre os substitutos de gordura foi significativo ($p > 0,05$) pelo teste t apenas no 14º dia de estocagem (Tabela 10).

Tabela 10 - ANOVA e coeficiente de determinação do ajuste dos modelos para a CRA ao longo do tempo

Tempo	Fontes de variação	GL	QM	Pr > F	r ² (%)
1 Dia	Regressão	3	27543	0,0001*	99,05
	Erro	25	31,74911	0,00934*	
	Falta de ajuste	7	68,32607		
	Erro puro	18	17,52474		
	Total	28			
7 Dias	Regressão	3	36968,5	0,0001*	97,77
	Erro	25	101	0,61513	
	Falta de ajuste	7	84		
	Erro puro	18	108		
	Total	28			
14 Dias	Regressão	4	25665,5	0,0001*	99,63
	Erro	24	15,72896	0,6834	
	Falta de ajuste	6	11,32770		
	Erro puro	18	17,19605		
	Total	28			
21 Dias	Regressão	3	36208,4	0,0001*	99,56
	Erro	25	19,32993	0,81895	
	Falta de ajuste	7	11,32857		
	Erro puro	18	22,44157		
	Total	28			

* Significativo a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$).

Sendo: GL = grau de liberdade; SQ = soma de quadrados; e QM = quadrado médio.

Tabela 11 - Efeito estimado, erro-padrão e grau de significância estatística (p) da CRA

Tempo	Fatores	Efeito estimado	Erro-padrão	Pr > t
1 Dia	X1	51,058090	2,679791	0,0001*
	X2	64,593800	2,679791	0,0001*
	X3	46,712370	2,679791	0,0001*
7 Dias	X1	57,68710	4,78627	0,0001*
	X2	69,78567	4,78627	0,0001*
	X3	61,09710	4,78627	0,0001*
14 Dias	X1	59,37836	2,30003	0,0001*
	X2	68,15310	1,88998	0,0001*
	X3	60,72979	2,30003	0,0001*
	X1·X3	-33,72540	12,06043	0,010013*
21 Dias	X1	56,60978	2,09098	0,0001*
	X2	69,76693	2,09098	0,0001*
	X3	60,19550	2,09098	0,0001*

*Significativo a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$).

Os modelos ajustados para a CRA em função da concentração dos substitutos de gordura em cada um dos quatro dias de análises estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 - Modelos ajustados para a CRA ao longo do tempo

Tempo	Modelos ajustados
1º dia	$Y = 51,05809 \cdot X_1 + 64,5938 \cdot X_2 + 46,71237 \cdot X_3$
7º dia	$Y = 57,6871 \cdot X_1 + 69,78567 \cdot X_2 + 61,0971 \cdot X_3$
14º dia	$Y = 59,37836 \cdot X_1 + 68,1531 \cdot X_2 + 60,72979 \cdot X_3 - 33,72543 \cdot X_1 \cdot X_3$
21º dia	$Y = 56,60978 \cdot X_1 + 69,76693 \cdot X_2 + 60,1955 \cdot X_3$

em que inulina, CPS e CMC estão codificados como X_1 , X_2 e X_3 , e a CRA é representada por Y, sendo expressa em %.

Para melhor visualização e entendimento dos modelos exibidos na Tabela 12, seus gráficos de curvas de níveis foram plotados (Figura 6).

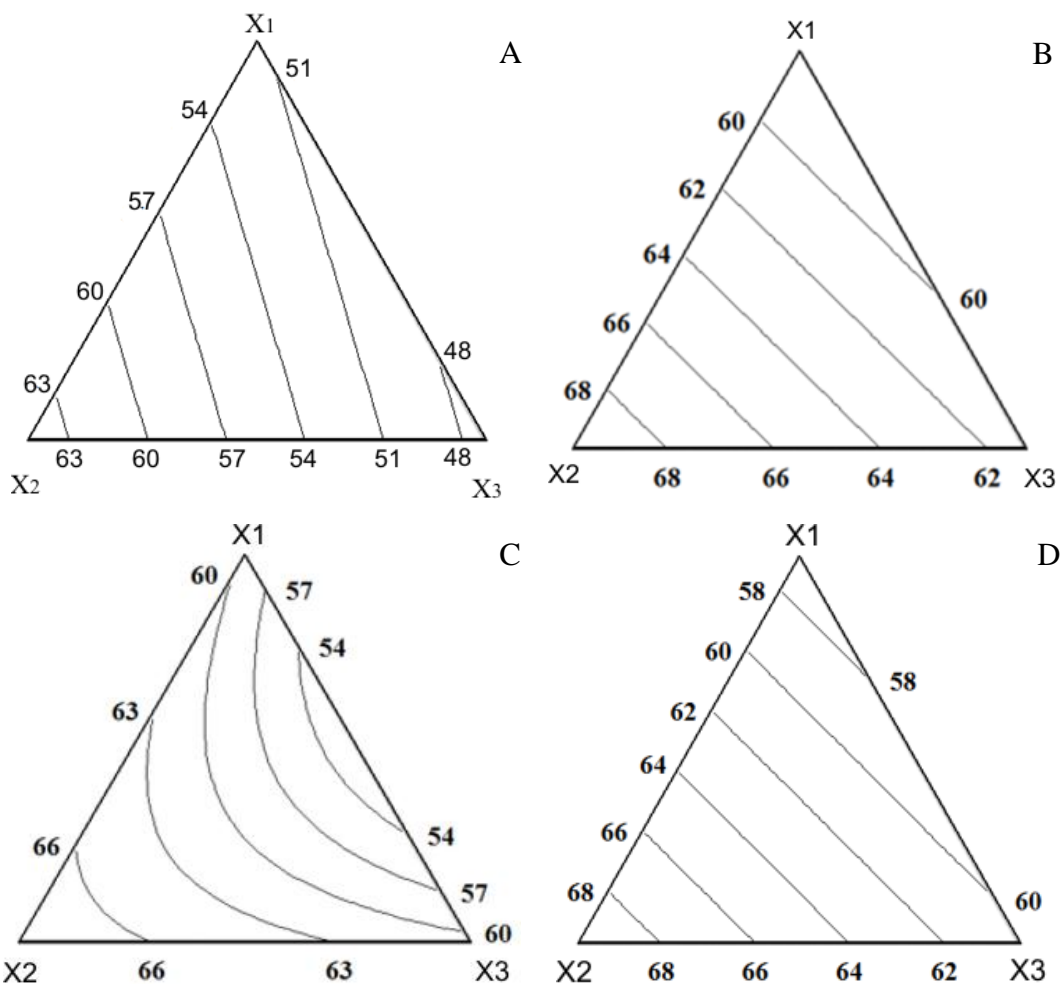


Figura 6 - Representação gráfica das curvas de níveis para CRA durante o armazenamento: 1 dia (A), 7 dias (B), 14 dias (C) e 21 dias (D).

A formulação-controle não apresentou diferença significativa pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade. Dessa forma, apenas suas médias e desvios-padrão ao longo do tempo foram apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 - Média e desvio-padrão da formulação-controle para a CRA (%) ao longo do tempo

Dia	Médias e desvios-padrão para a CRA
1°	$Y = 59,905 \pm 3,692$
7°	$Y = 60,080 \pm 0,735$
14°	$Y = 62,350 \pm 1,753$
21°	$Y = 64,280 \pm 2,074$

Analisando a Figura 6, constata-se que a CRA foi maior ao longo do tempo nos tratamentos em que a concentração de CPS foi máxima (X2), o que já era esperado, visto que dados da literatura reportam a modificação na textura dos géis

com o aumento da concentração de CPS, o que intensifica a retenção de água pela matriz (MANGINO, 1984; SCHMIDT et al., 1978). Essa propriedade está relacionada à presença de grupos sulfidrilas livres nas moléculas de proteínas, principalmente na α -lactoglobulina (RATTRAY; JELEN, 1997). A maior capacidade de retenção de água com o uso de proteínas do soro de leite é decorrente da formação de uma microestrutura mais homogênea, sugerindo a formação de uma rede de proteína mista entre micelas de caseína e agregados de proteína do soro (MATUMOTO-PINTRO et al., 2011). Dessa forma, ao se adicionar inulina há uma tendência de diminuição da CRA, visto que essa fibra provoca o enfraquecimento da rede protéica, por possuir interações mais fracas quando comparada com as ligações dissulfídicas entre a beta-lactoglobulina e a kappa-caseína.

4.2. Análises reológicas

4.2.1. Análise do perfil de textura

4.2.1.1. Adesividade

Adesividade (N·s) é definida como a quantidade de força para simular o trabalho necessário para sobrepor as forças de atração entre a superfície do alimento e a superfície em contato com este. Instrumentalmente, é definida como a área de força negativa do primeiro ciclo de compressão (BOURNE et al., 1978).

A adesividade apresentou diferença significativa ($p < 0,10$) na interação (tratamento x tempo); assim, a decomposição da interação foi necessária, ou seja, avaliou-se cada formulação ao longo do período de estocagem. A análise de variância (ANOVA) da adesividade em parcelas subdivididas é apresentada na Tabela 14.

Tabela 14 - Análise de variância (ANOVA) da adesividade

Fontes de variação	GL	QM	Pr > F
Form.	10	4,719123E-07	0,0094*
Tempo	3	2,678094E-07	0,0006*
Form. x Tempo	30	5,119056E-08	0,0604*

* Significativo a 10% de probabilidade ($p \leq 0,10$).

Sendo: Form. = formulação; GL = grau de liberdade; SQ = soma de quadrados; e QM = quadrado médio.

A influência dos substitutos de gordura para a adesividade foi modelada estatisticamente para os quatro dias de análise. Os modelos foram avaliados quanto à falta de ajuste e ao coeficiente de determinação (Tabela 15). Apenas o 1º e o 7º dia não apresentaram efeito significativo na interação dos substitutos de gordura no nível de 5% de probabilidade, pelo teste t (Tabela 16).

Tabela 15 - ANOVA e coeficiente de determinação do ajuste dos modelos para a adesividade

Tempo	Fontes de variação	GL	QM	Pr > F	r² (%)
1 Dia	Regressão	3	0.000015	0.0001*	97,61
	Erro	11	1,032E-07		
	Falta de ajuste	7	1,452E-07	0,071843	
	Erro puro	4	2,965E-08		
	Total	14			
7 Dias	Regressão	3	0.000012	0.0001*	98,78
	Erro	11	3,95E-08		
	Falta de ajuste	7	4,51E-08	0,358559	
	Erro puro	4	2,96E-05		
	Total	14			
14 Dias	Regressão	5	9,57E-06	0,0001*	99,13
	Erro	9	4,68E-08		
	Falta de ajuste	5	6,86E-08	0,122599	
	Erro puro	4	1,94E-08		
	Total	14			
21 Dias	Regressão	4	0,000013	0,0001*	98,91
	Erro	10	5,69E-08		
	Falta de ajuste	6	8,25E-08	0,084311	
	Erro puro	4	1,85E-08		
	Total	14			

* Significativo a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$)

Sendo: GL = grau de liberdade; SQ = soma de quadrados; e QM = quadrado médio.

Tabela 16 - Efeito estimado, erro padrão e grau de significância estatística (p) da adesividade

Tempo	Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	Pr > t
1 Dia	X1	-0,00139	0,000216	0,0001*
	X2	-0,00193	0,000216	0,0001*
	X3	-0,00212	0,000216	0,0001*
7 Dias	X1	-0,00131	0,000134	0,0001*
	X2	-0,00171	0,000134	0,0001*
	X3	-0,00171	0,000134	0,0001*
14 Dias	X1	-0,00124	0,000178	0,0001*
	X2	-0,00157	0,000202	0,0001*
	X3	-0,00133	0,000178	0,0001*
	X1X2	-0,00226	0,000931	0,038402*
	X2X3	-0,00401	0,000931	0,001983*
21 Dias	X1	-0,001	0,000196	0,000443*
	X2	-0,00155	0,000196	0,0001*
	X3	-0,00233	0,000161	0,0001*
	X1X2	-0,00385	0,001026	0,003746*

*Significativo a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$).

Os modelos ajustados para a adesividade em função da concentração dos substitutos de gordura em cada um dos quatro dias de análises estão apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 - Modelos ajustados para a adesividade

Tempo	Modelos ajustados
1º dia	$Y = - 0,001387 \cdot X_1 - 0,001927 \cdot X_2 - 0,002118 \cdot X_3$
7º dia	$Y = - 0,001313 \cdot X_1 - 0,00171 \cdot X_2 - 0,00171 \cdot X_3$
14º dia	$Y = - 0,001235 \cdot X_1 - 0,001573 \cdot X_2 - 0,00133 \cdot X_3 - 0,002256 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,004005 \cdot X_2 \cdot X_3$
21º dia	$Y = - 0,001004 \cdot X_1 - 0,001547 \cdot X_2 - 0,002331 \cdot X_3 - 0,003853 \cdot X_1 \cdot X_2$

¹ Pr > F para falta de ajuste com ($p < 0,05$).

* Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

em que Inulina, CPS e CMC estão codificados como X_1 , X_2 e X_3 , e a adesividade é representada pelo Y, sendo expressa em (N·s).

Para melhor visualização e entendimento dos modelos exibidos na Tabela 17 seus gráficos de curva de nível foram plotados (Figura 7).

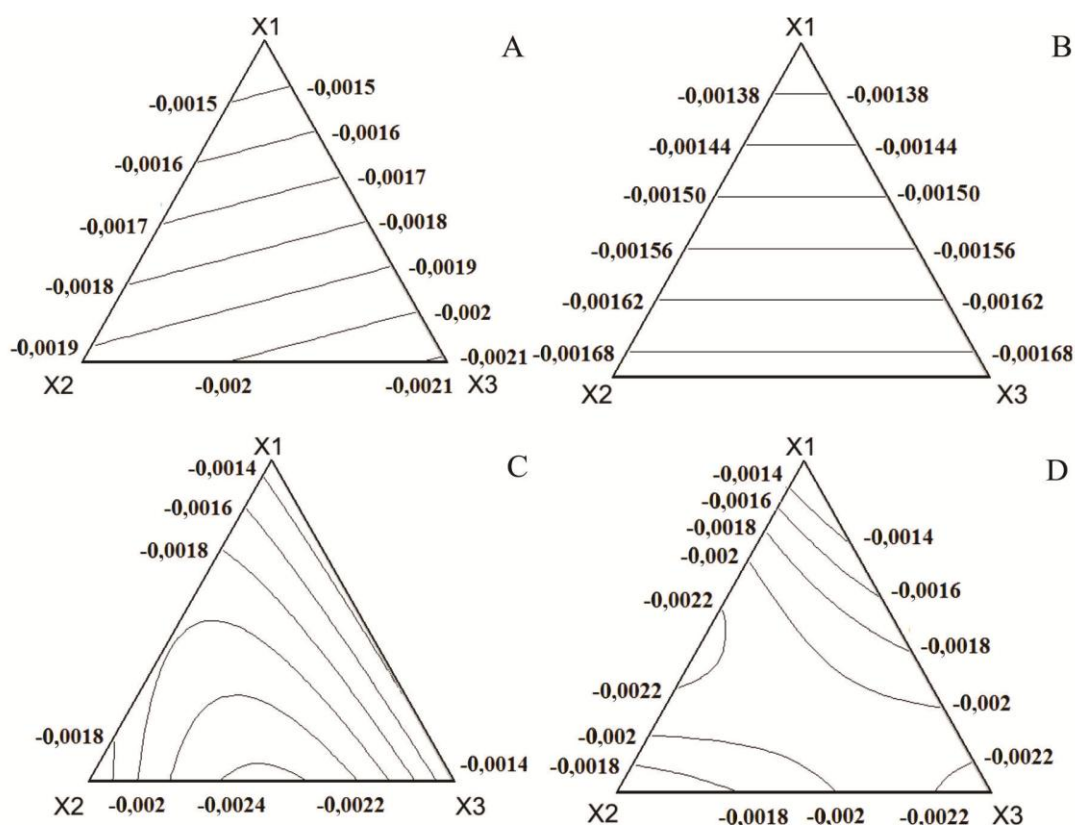


Figura 7 - Representação gráfica das curvas de níveis para adesividade durante o armazenamento: 1 dia (A), 7 dias (B), 14 dias (C) e 21 dias (D).

A formulação-controle não apresentou diferença significativa pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade. Dessa forma, apenas suas médias e respectivo desvio-padrão ao longo do tempo foram apresentadas na Tabela 18.

Tabela 18 - Média e desvio-padrão da formulação-controle para a adesividade (N.s) ao longo do tempo

Dia	Médias e desvios-padrão para adesividade
1°	$Y = -0,00149 \pm 0,00008$
7°	$Y = -0,00144 \pm 0,00003$
14°	$Y = -0,00175 \pm 0,00012$
21°	$Y = -0,00174 \pm 0,00011$

A formulação com máxima concentração de inulina (X_1) foi a que apresentou menor valor absoluto de adesividade, apresentado, assim, menor aderência, em valor absoluto, que as demais formulações.

A princípio (após 1 dia), o componente CMC apresentou maior contribuição para o aumento da adesividade do iogurte. Após uma semana de armazenamento, a

contribuição de CPS e de CMC predominam, sendo suas contribuições similares. No 14º dia, observaram-se maiores valores de adesividade na formulação com maior proporção de X2 e X3. Decorridos 21 dias, maiores valores de adesividade foram encontrados para formulações com maior proporção de X1 e X2 e a de maior concentração, de X3.

De acordo com El-Nagar et al. colaboradores (2002), o aumento da adesividade está relacionado à formação de um gel mais viscoso. Dessa forma, acredita-se que as interações proteicas, por serem mais fortes, promoveram a formação de uma rede mais coesa e um gel mais estável, comparação com as interações proteína-inulina.

Em estudos de comparação da textura entre iogurtes de consistência firme de leite de vaca e de leite de cabra fortificados com 1% de concentrado proteico de soro ao longo de 28 dias de estocagem a 4 °C, observou-se que a adição de CPS promoveu aumento na adesividade de 18% na média do produto (HERRERO; REQUENA, 2006). Em acordo com a referência citada, é constatado que o uso de CPS (X₂) promoveu aumento no valor absoluto da adesividade, sendo também aumentada com o incremento de CMC (X₃). Dessa forma, a razão CPS/CMC pode estar relacionada com a adesividade.

4.2.1.2. Firmeza

Firmeza é definida como a força necessária para atingir dada deformação, sendo seu valor expresso em Newton (N). Instrumentalmente, é definida como o pico da força durante o primeiro ciclo de compressão (BOURNE et al., 1978).

A firmeza apresentou diferença significativa ($p < 0,10$) na interação (tratamento x tempo). Assim, a decomposição da interação foi necessária, ou seja, avaliou-se cada formulação ao longo do período de estocagem. A análise de variância (ANOVA) de firmeza em parcelas subdivididas é apresentada na Tabela 19.

Tabela 19 - Análise de variância (ANOVA) da firmeza

Fontes de variação	GL	QM	Pr > F
Form.	10	0,0464198	0,0041*
Tempo	3	0,0165694	0,0023*
Form. x Tempo	30	0,0039081	0,0908*

* Significativo a 10% de probabilidade ($p \leq 0,10$).

Sendo: Form. = formulação; GL = grau de liberdade; SQ = soma de quadrados; e QM = quadrado médio.

A influência dos substitutos de gordura para a firmeza foi modelada estatisticamente para os quatro dias de análise. Os modelos foram avaliados quanto à falta de ajuste e ao coeficiente de determinação (Tabela 20). Apenas o 1º dia não apresentou efeito significativo ($p > 0,05$) para a interação dos substitutos de gordura a 5% de probabilidade, pelo teste t (Tabela 20).

Tabela 20 - ANOVA e coeficiente de determinação do ajuste dos modelos para a firmeza

Tempo	Fontes de variação	GL	QM	Pr > F	r ² (%)
1 Dia	Regressão	3	0,621605	0,0001*	98,03
	Erro	11	0,003408		
	Falta de ajuste	7	0,002341	0,836028	
	Erro puro	4	0,005275		
	Total	14			
7 Dias	Regressão	4	0,57317	0,0001*	98,60
	Erro	10	0,003262		
	Falta de ajuste	6	0,005128	0,017871*	
	Erro puro	4	0,000462		
	Total	14			
14 Dias	Regressão	5	0,526081	0,0001*	98,92
	Erro	9	0,003188		
	Falta de ajuste	5	0,004749	0,108468	
	Erro puro	4	0,001237		
	Total	14			
21 Dias	Regressão	7	0,413563	0,0001*	99,50
	Erro	7	0,00208		
	Falta de ajuste	3	0,003954	0,060331	
	Erro puro	4	0,000675		
	Total	14			

* Significativo a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$).

Sendo: GL = grau de liberdade; SQ = soma de quadrados; e QM = quadrado médio.

Tabela 21 - Efeito estimado, erro-padrão e grau de significância estatística (p) da firmeza

Tempo	Fatores	Efeito estimado	Erro-padrão	Pr > t
1 Dia	X1	0,233085	0,039262	0,0001*
	X2	0,435942	0,039262	0,0001*
	X3	0,413085	0,039262	0,0001*
7 Dias	X1	0,263508	0,038491	0,0001*
	X2	0,415569	0,046842	0,0001*
	X3	0,341283	0,046842	0,0001*
	X2X3	0,810624	0,24562	0,008009*
14 Dias	X1	0,261708	0,046453	0,00032*
	X2	0,413537	0,052778	0,0001*
	X3	0,237081	0,046453	0,000642*
	X1X2	0,533732	0,243094	0,049741*
	X2X3	1,124546	0,243094	0,001244*
21 Dias	X1	0,176392	0,042988	0,004554*
	X2	0,34331	0,042988	0,0001*
	X3	0,545624	0,042988	0,0001*
	X1X2	1,439351	0,220831	0,000329*
	X1X3	0,004029	0,220831	0,985952
	X2X3	0,617873	0,220831	0,026603*
	X1X2X3	-4,35098	1,283888	0,011617*

* Significativo a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$).

Os modelos ajustados para a firmeza em função da concentração dos substitutos de gordura em cada um dos quatro dias de análises estão apresentados na Tabela 22.

Tabela 22 - Modelos ajustados para a firmeza (N)

Tempo	Modelos ajustados
1º dia	$Y = 0,233085 \cdot X_1 + 0,435942 \cdot X_2 + 0,413085 \cdot X_3$
7º dia	$Y = 0,263508 \cdot X_1 + 0,415569 \cdot X_2 + 0,341283 \cdot X_3 + 0,810624 \cdot X_2 \cdot X_3$
14º dia	$Y = 0,261708 \cdot X_1 + 0,413537 \cdot X_2 + 0,237081 \cdot X_3 + 0,533732 \cdot X_1 \cdot X_2 + 1,124546 \cdot X_2 \cdot X_3$
21 dia	$Y = 0,176392 \cdot X_1 + 0,34331 \cdot X_2 + 0,545624 \cdot X_3 + 1,439351 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,004029 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,617873 \cdot X_2 \cdot X_3 - 4,350978 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3$

¹ Pr > F para falta de ajuste com ($p < 0,05$).

* Não significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

** Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

em que inulina, CPS e CMC estão codificados como X_1 , X_2 e X_3 , e a firmeza é representada pelo Y, sendo expressa em Newton (N).

Para uma melhor visualização e entendimento dos modelos exibidos na Tabela 22 seus gráficos de curva de nível foram plotados (Figura 8).

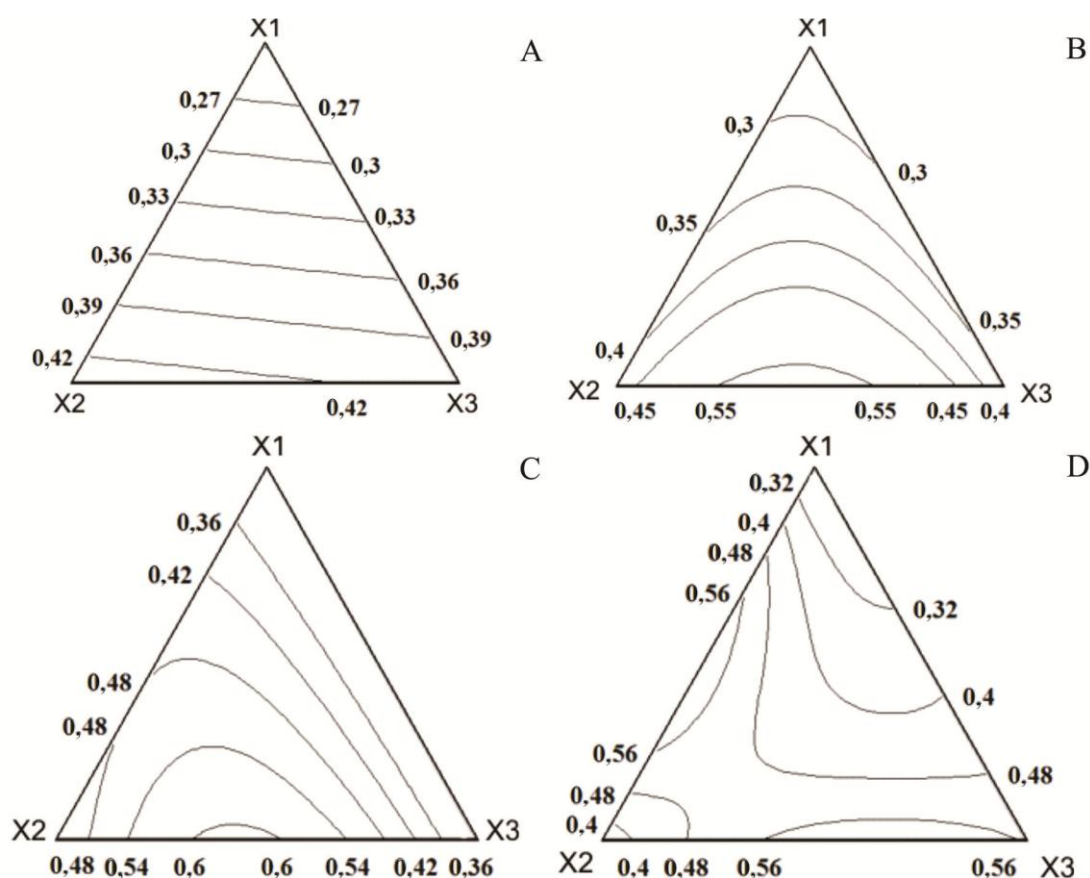


Figura 8 - Representação gráfica das curvas de níveis para firmeza durante o armazenamento: 1 dia (A), 7 dias (B), 14 dias (C) e 21 dias (D).

A formulação-controle apresentou diferença significativa pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade, nos dias 7, 14 e 21, sendo as médias da firmeza ao longo do tempo apresentadas na Tabela 18.

Tabela 23 - Médias e desvios-padrão da formulação-controle para a firmeza (N) e formulações que diferiram estatisticamente do controle ao longo do tempo

Dia	Formulação-controle (T11)	Formulações estatisticamente diferentes do controle
1°	$Y = 0,330 \pm 0,042$...
7°	$Y = 0,300 \pm 0,014$	T4*, T2*, T9*, T10* e T8*
14°	$Y = 0,390 \pm 0,057$	T4*
21°	$Y = 0,350 \pm 0,035$	T2*, T4*, T5* e T9*

...Não significativo a 5% de probabilidade, pelo teste de Dunnett.

* Média maior que a da formulação-controle.

Comparando os valores da firmeza da formulação-controle com os valores plotados nos gráficos de curvas de níveis (Figura 8), observou-se que esses apresentaram níveis baixos.

Maiores valores de firmeza foram obtidos para misturas contendo, sobretudo, CMC e CPS. Provavelmente, esse resultado se deve à formação de ligação dissulfídica através de reação de troca tiol/dissulfeto entre a beta-lactoglobulina e a kappa-caseína, sendo esta intensificada ao longo do tempo.

Em estudo de interação entre proteínas do soro e inulina, constatou-se que a inulina interage com a beta-lactoglobulina, mas não com a beta-lactoalbumina (SCHALLER-POVOLNY; SMITH, 2002), interação essa devida ao fato de a estrutura da beta-lactoglobulina permitir a ligação de compostos hidrofóbicos (GLIBOWSKI; BOCHYNSKA, 2006). Assim, a interação entre a beta-lactoglobulina e a inulina é mais fraca que a ligação dissulfídica entre a beta-lactoglobulina e a kappa-caseína.

Menores valores de firmeza foram observados para misturas com maiores proporções de inulina, uma vez que essa fibra provocou o enfraquecimento da rede proteica. De acordo com Lobato et al. (2009) e Pasephol et al. (2008), há uma tendência de decréscimo na firmeza com o uso da inulina.

A adição de níveis superiores a 1% de inulina influencia negativamente na avaliação sensorial de iogurtes (GUVEN et al., 2005), o que leva a crer que iogurtes de consistência firme contendo valor máximo de 1% de inulina também não apresentem diferença significativa em testes de aceitação.

4.2.1.3. Elasticidade

Elasticidade é definida como a velocidade com que o material deformado retorna à sua condição original depois de ser cessada a força deformante, sendo seu valor expresso em milímetros (mm). Instrumentalmente, define-se como a medida (mm) que o alimento atinge entre o final do primeiro ciclo de compressão e o segundo ciclo (BOURNE et al., 1978).

A elasticidade apresentou diferença significativa ($p < 0,10$) na interação (tratamento x tempo). Assim, a decomposição da interação foi necessária, ou seja, avaliou-se cada formulação ao longo do período de estocagem. A análise de variância (ANOVA) da elasticidade em parcelas subdivididas é apresentada na Tabela 24.

Tabela 24 - Análise de variância (ANOVA) da elasticidade

Fontes de variação	GL	QM	Pr > F
Form.	10	11,7310738	0,0012*
Tempo	3	3,4468904	0,0003*
Form. x Tempo	30	1,6846954	0,0005*

* Significativo a 10% de probabilidade ($p \leq 0,10$).

Sendo: Form. = formulação; GL = grau de liberdade; SQ = soma de quadrados; e QM = quadrado médio.

A influência dos substitutos de gordura na elasticidade foi modelada estatisticamente nos quatro dias de análise. Os modelos foram avaliados quanto à falta de ajuste e ao coeficiente de determinação (Tabela 24). Apenas o 14° e o 21° dia apresentaram efeito significativo na interação dos substitutos de gordura no nível de 5% de probabilidade pelo teste t (Tabela 25).

Tabela 25 - ANOVA e coeficiente de determinação do ajuste do modelo para a elasticidade

Tempo	Fontes de variação	GL	QM	Pr > F	r ² (%)
1 Dia	Regressão	4	115,48	0,0001*	98,33
	Erro	10	0,78438	0,443201	
	Falta de ajuste	6	0,845188		
	Erro puro	4	0,693167		
	Total	14			
7 Dias	Regressão	3	183,4938	0,0001*	97,47
	Erro	11	1,29989	0,02087*	
	Falta de ajuste	7	1,93262		
	Erro puro	4	0,192604		
	Total	14			
14 Dias	Regressão	4	163,4253	0,0001*	99,02
	Erro	10	0,64956	0,00681*	
	Falta de ajuste	6	1,04527		
	Erro puro	4	0,055993		
	Total	14			
21 Dias	Regressão	4	176,0542	0,0001*	99,51
	Erro	10	0,348559	0,014622*	
	Falta de ajuste	6	0,551243		
	Erro puro	4	0,044532		
	Total	14			

* Significativo a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$).

Sendo: GL = grau de liberdade; SQ = soma de quadrados; e QM = quadrado médio.

Tabela 26 - Efeito estimado, erro-padrão e grau de significância estatística (p) da elasticidade

Tempo	Fatores	Efeito estimado	Erro-padrão	Pr > t
1 Dia	X1	3,73288	0,726375	0,000438*
	X2	8,69217	0,596878	0,0001*
	X3	6,03284	0,726375	0,0001*
	X1X3	-9,31812	3,80882	0,034466*
7 Dias	X1	3,903875	0,766838	0,000349*
	X2	8,199309	0,766838	0,0001*
	X3	6,427249	0,766838	0,0001*
14 Dias	X1	5,454548	0,543166	0,0001*
	X2	8,097209	0,661009	0,0001*
	X3	3,491863	0,661009	0,000356*
	X2X3	14,00311	3,466071	0,002361*
21 Dias	X1	1,88974	0,484212	0,002948*
	X2	6,87921	0,484212	0,0001*
	X3	8,51697	0,397888	0,0001*
	X1X2	16,09674	2,53902	0,0001*

*Significativo a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$).

Os modelos ajustados para a elasticidade em função da concentração dos substitutos de gordura em cada um dos quatro dias de análises estão apresentados na Tabela 27.

Tabela 27 - Modelos ajustados para a elasticidade

Tempo	Faj ¹	r ² (%)	Modelos ajustados
1º dia	0,4432*	98,33	$Y = 3,732876 \cdot X_1 + 8,692167 \cdot X_2 + 6,032839 \cdot X_3 - 9,318124 \cdot X_1 \cdot X_3$
7º dia	0,0209**	97,47	$Y = 3,903875 \cdot X_1 + 8,199309 \cdot X_2 + 6,427249 \cdot X_3$
14º dia	0,0068**	99,02	$Y = 5,454548 \cdot X_1 + 8,097209 \cdot X_2 + 3,491863 \cdot X_3 + 14,00311 \cdot X_2 \cdot X_3$
21º dia	0,0146**	99,51	$Y = 1,889737 \cdot X_1 + 6,879212 \cdot X_2 + 8,516972 \cdot X_3 + 16,09674 \cdot X_1 \cdot X_2$

¹ Pr > F para falta de ajuste com ($p < 0,05$).

* Não significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

** Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

em que inulina, CPS e CMC estão codificados como X₁, X₂ e X₃ e a elasticidade é representada pelo Y, sendo expressa em milímetros (mm).

Para melhor visualização e entendimento dos modelos exibidos na Tabela 27, os gráficos de curvas de níveis foram plotados (Figura 9).

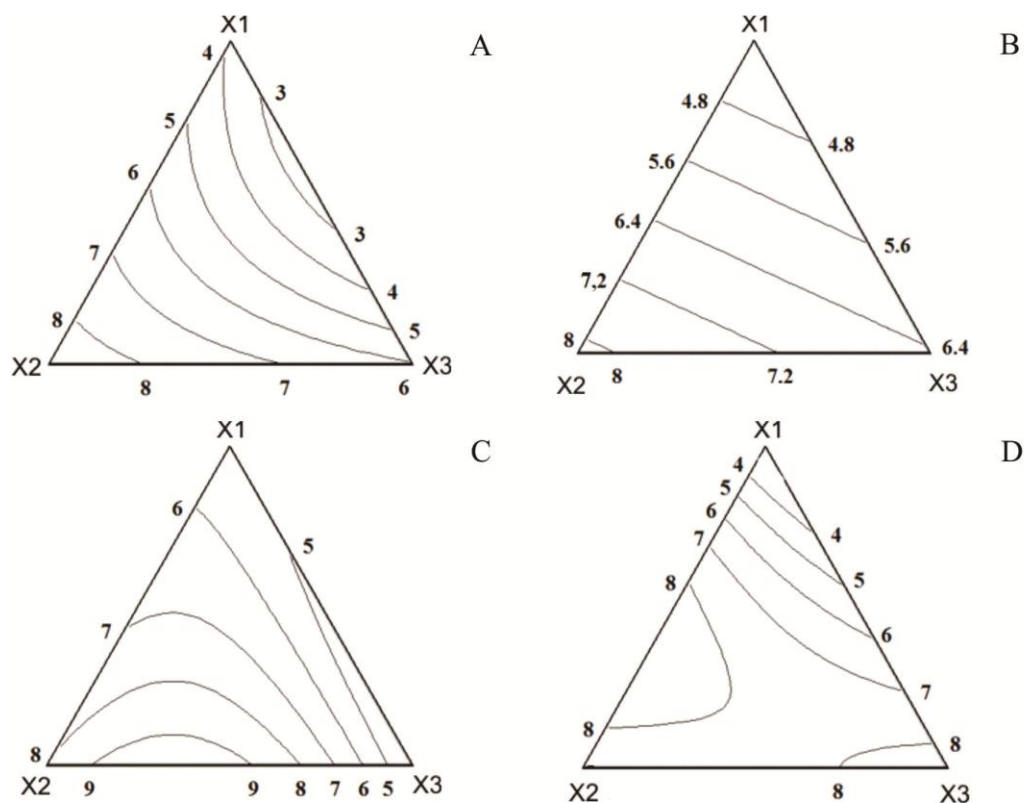


Figura 9 - Representação gráfica das curvas de níveis para elasticidade durante o armazenamento: 1 dia (A), 7 dias (B), 14 dias (C) e 21 dias (D).

A formulação-controle apresentou diferença significativa a 5% de probabilidade, pelo teste de Dunnett, apenas no 14º e no 21º dia, sendo as médias e os desvios-padrão de elasticidade da formulação-controle ao longo do tempo apresentados na Tabela 28.

Tabela 28 - Média e desvios-padrão da formulação-controle para a elasticidade (mm) e formulações que diferiram estatisticamente do controle ao longo do tempo

Dia	Formulação-controle (T11)	Formulações estatisticamente diferentes do controle
1º	$Y = 6,612 \pm 0,245$...
7º	$Y = 5,191 \pm 0,663$...
14º	$Y = 6,752 \pm 0,318$	T8*, T4*, T1**, T6** e T5**
21º	$Y = 3,886 \pm 0,413$	T2*, T4*, T9*, T8*, T5*, T10*, T3*, T6*, T7* e T1**

...Não significativo a de 5% de probabilidade, pelo teste de Dunnett.

* Média maior que a da formulação-controle.

** Média menor que a da formulação-controle.

Comparando os valores da elasticidade da formulação-controle com os valores plotados nos gráficos de curvas de níveis (Figura 9), observou-se que eles oscilaram de níveis baixos (dia 21) a intermediários (dia 14).

A elasticidade apresentou seus maiores valores ao longo do tempo em uma das duas fontes proteicas, ou em uma combinação das duas, resultado esse semelhante ao encontrado por Gustaw et al. (2006), em estudo com iogurte padronizado adicionado de CPS. Já Antunes (2004) e Herrero e Requenha (2006) constataram que a elasticidade não teve diferença significativa com o incremento de CPS. Em relação à inulina, Pasephol et al. (2008) relata que o incremento de inulina em iogurtes diminui a magnitude do valor da elasticidade.

De acordo com a Figura 5 a princípio (até o 7º dia), o componente CPS apresentou maior contribuição para o aumento da elasticidade do iogurte. No 14º dia, maiores valores para esse parâmetro foram obtidos nas formulações com maior proporção de X2 e X3. Decorridos 21 dias, maiores valores de elasticidade foram encontrados para formulações com maior proporção de X1 e X2 e a de maior concentração, de X3. Provavelmente, esse resultado se deve ao fato de a formação de ligação dissulfídica através de reação de troca tiol/dissulfeto entre a beta-lactoglobulina e a kappa-caseína ter maior magnitude que a interação hidrofóbica entre a beta-lactoglobulina e a inulina.

4.2.1.4. Coesividade

Coesividade é definida como a força necessária para que o dispositivo se descole da amostra, sendo esta uma medida adimensional. Instrumentalmente, é definida como a razão da força positiva da área do segundo ciclo de compressão pelo primeiro ciclo de compressão (BOURNE et al., 1978).

A coesividade apresentou diferença significativa ($p < 0,10$) para a interação (tratamento x tempo). Assim, a decomposição da interação foi necessária, ou seja, avaliou-se cada formulação ao longo do período de estocagem. A análise de variância (ANOVA) da coesividade em parcelas subdivididas é apresentada na Tabela 29.

Tabela 29 - Análise de variância (ANOVA) da coesividade

Fontes de variação	GL	QM	Pr > F
Form.	10	0,5006895	0,6404
Tempo	3	1,4210396	0,0002*
Form. x Tempo	30	0,3188852	0,0113*

*Significativo a 10% de probabilidade ($p \leq 0,10$)

Sendo: Form. = formulação; GL = grau de liberdade; SQ = soma de quadrados; e QM = quadrado médio.

A influência dos substitutos de gordura para a coesividade foi modelada estatisticamente para os quatro dias de análise. Os modelos foram avaliados quanto à falta de ajuste e o coeficiente de determinação (Tabela 29). Apenas o 1º e o 7º dia apresentaram efeito significativo para a interação dos substitutos de gordura ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t (Tabela 30).

Tabela 30 - ANOVA e coeficiente de determinação do ajuste do modelo para a coesividade

Tempo	Fontes de variação	GL	QM	Pr > F	r ² (%)
1 Dia	Regressão	5	6,09955	0,0001*	96,79
	Erro	9	0,11256		
	Falta de ajuste	5	0,16549	0,120906	
	Erro puro	4	0,04640		
	Total	14			
7 Dias	Regressão	7	6,35688	0,00011*	96,71
	Erro	7	0,21599		
	Falta de ajuste	3	0,12669	0,732426	
	Erro puro	4	0,28297		
	Total	14			
14 Dias	Regressão	3	16,31023	0,0001*	96,31
	Erro	11	0,170464		
	Falta de ajuste	7	0,156457	0,626045	
	Erro puro	4	0,194976		
	Total	14			
21 Dias	Regressão	3	6,05713	0,000689*	77,53
	Erro	11	0,478767		
	Falta de ajuste	7	0,549039	0,353979	
	Erro puro	4	0,355791		
	Total	14			

*Significativo a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$).

Sendo: GL = grau de liberdade; SQ = soma de quadrados; e QM = quadrado médio.

Tabela 31 - Efeito estimado, erro-padrão e grau de significância estatística (p) para a coesividade

Tempo	Fatores	Efeito estimado	Erro-padrão	Pr > t
1 Dia	X1	2,68020	0,313583	0,0001*
	X2	1,34443	0,276005	0,000882*
	X3	1,77159	0,276005	0,000123*
	X1X2	-2,58695	1,444359	0,010689*
	X1X3	-4,77115	1,444359	0,009182*
7 Dias	X1	2,486895	0,43804	0,000753*
	X2	1,069056	0,43804	0,044723*
	X3	2,023597	0,43804	0,002427*
	X1X2	-3,765050	2,25026	0,138211
	X1X3	-2,058780	2,25026	0,390666
	X2X3	-3,191090	2,25026	0,199108
	X1X2X3	35,384840	13,08273	0,030431*
14 Dias	X1	2,035777	0,277694	0,0001*
	X2	1,499999	0,277694	0,000216*
	X3	2,052725	0,277694	0,0001*
21 Dias	X1	1,126522	0,465385	0,033969*
	X2	0,788516	0,465385	0,041182*
	X3	1,464850	0,465385	0,009282*

* Significativo a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$).

Os modelos ajustados para a coesividade em função da concentração dos substitutos de gordura em cada um dos quatro dias de análises estão apresentados na Tabela 32.

Tabela 32 - Modelos ajustados para a coesividade

Tempo	Modelos ajustados
1º dia	$Y = 2,680195 \cdot X_1 + 1,344425 \cdot X_2 + 1,771592 \cdot X_3 - 2,586946 \cdot X_1 \cdot X_2 - 4,771146 \cdot X_1 \cdot X_3$
7º dia	$Y = 2,486895 \cdot X_1 + 1,069056 \cdot X_2 + 2,023597 \cdot X_3 - 3,765052 \cdot X_1 \cdot X_2 - 2,05878 \cdot X_1 \cdot X_3 - 3,191086 \cdot X_2 \cdot X_3 + 35,38484 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3$
14º dia	$Y = 2,035777 \cdot X_1 + 1,499999 \cdot X_2 + 2,052725 \cdot X_3$
21 dia	$Y = 1,126522 \cdot X_1 + 0,788516 \cdot X_2 + 1,46485 \cdot X_3$

¹ Pr > F para falta de ajuste com ($p < 0,05$).

* Não significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

em que X_1 , X_2 e X_3 e a coesividade são representados por Y.

Para melhor visualização e entendimento dos modelos exibidos na Tabela , os gráficos de curva de nível foram plotados (Figura 10).

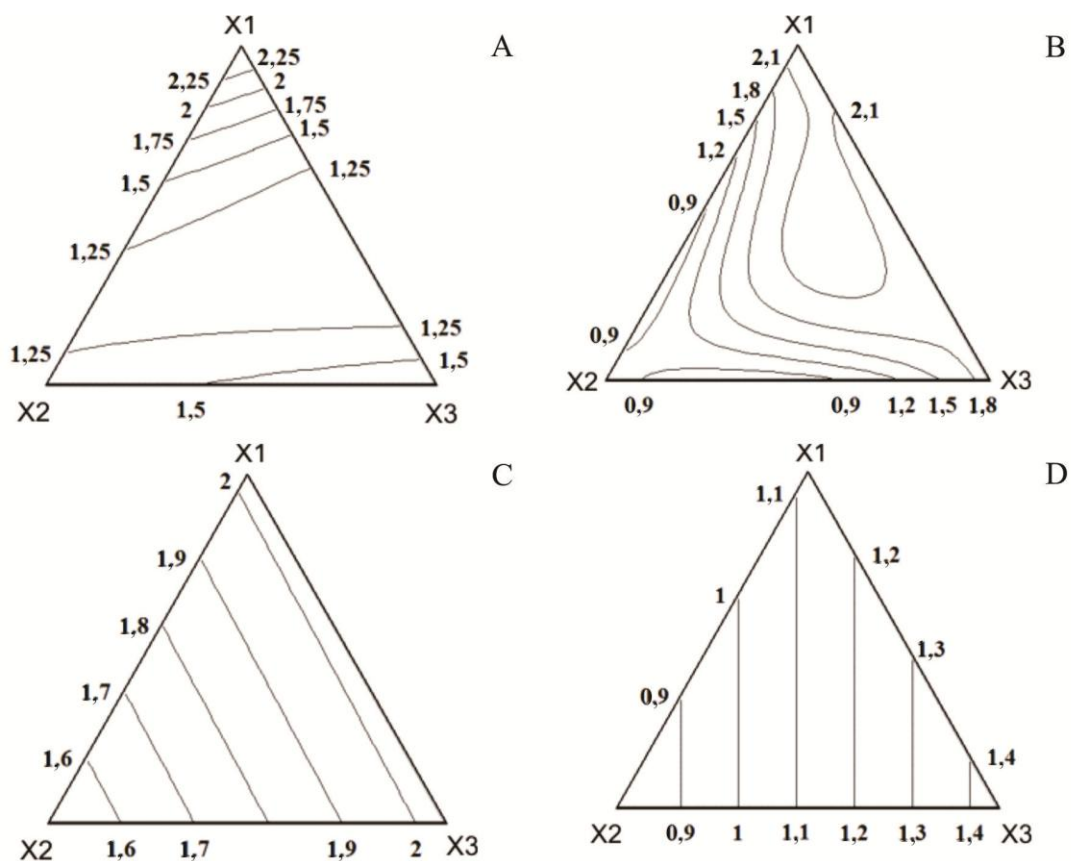


Figura 10 - Representação gráfica das curvas de níveis para coesividade durante o armazenamento: 1 dia (A), 7 dias (B), 14 dias (C) e 21 dias (D).

A formulação-controle apresentou diferença significativa a 5% de probabilidade, pelo teste de Dunnett, apenas no 1º dia, sendo as médias e os respectivos desvios-padrão da coesividade da formulação-controle ao longo do tempo e as formulações estatisticamente diferentes da T11 apresentados na Tabela 33.

Tabela 33 - Médias e desvios-padrão da formulação-controle para coesividade ao longo do tempo

Dia	Formulação-controle (T11)	Formulações estatisticamente diferentes do controle
1º	$Y = 2,631 \pm 0,178$	T10**, T9**, T2**, T8** e T6**
7º	$Y = 1,964 \pm 0,930$...
14º	$Y = 1,936 \pm 0,413$...
21º	$Y = 1,343 \pm 0,073$...

...Não significativo a 5% de probabilidade, pelo teste de Dunnett.

* Média maior que a da formulação-controle.

** Média menor que a da formulação-controle.

Comparando os valores da coesividade da formulação-controle com os valores plotados nos gráficos de curvas de níveis, observou-se que seu valor foi superior. A coesividade relaciona-se com as forças envolvidas nas ligações internas do produto.

De acordo com Antunes (2004), para a coesividade apenas as variáveis temperatura e pH apresentaram efeito significativo a 95% de confiança. O efeito mais pronunciado foi do pH, sendo as amostras ajustadas para pH 4,9 as mais coesas (ANTUNES, 2004).

Ribeiro (2001), avaliando o perfil de textura de géis de CPS, observou igualmente que a concentração de proteína (de 9,0 a 12%) não influenciou na coesividade das amostras com pH ácido. Observou, também, no entanto, aumento da coesividade em valores mais elevados de pH, atribuindo-o à formação de ligações dissulfídicas pela oxidação dos grupos SH, que é favorecida nessas condições.

Maiores valores de coesividade estão relacionados com as formulações com maior concentração de inulina. Isso provavelmente se deva ao fato de a característica da inulina ter interações mais fracas do que as ligações dissulfídicas, dando assim mais mobilidade para a água, o que acaba por promover maior coesividade. Ao comparar os valores ao longo do tempo, verificou-se que houve tendência sutil de diminuição da coesividade.

4.2.1.5. Gomosidade

Gomosidade pode ser definida como a força (N) para mastigar alimentos semissólidos até a deglutição, sendo instrumentalmente definida como o produto entre firmeza e coesividade (BOURNE et al., 1978).

A gomosidade apresentou diferença significativa ($p < 0,10$) para a interação (tratamento x tempo). Assim, a decomposição da interação foi necessária, ou seja, avaliou-se cada formulação ao longo do período de estocagem. A análise de variância (ANOVA) da gomosidade em parcelas subdivididas é apresentada na Tabela 34.

Tabela 34 - Análise de variância (ANOVA) da gomosidade

Fontes de variação	GL	QM	Pr > F
Form.	10	0,0715233	0,7601
Tempo	3	0,2530299	0,0008*
Form. x Tempo	30	0,0809755	0,0113*

* Significativo a 10% de probabilidade ($p \leq 0,10$).

Sendo: Form. = formulação; GL = grau de liberdade; SQ = soma de quadrados; e QM = quadrado médio.

A influência dos substitutos de gordura na gomosidade foi modelada estatisticamente por meio das equações da Tabela 35, nos quatro dias de análise. Os modelos foram avaliados quanto à falta de ajuste e ao coeficiente de determinação. Apenas o 7° e o 21° dia não apresentaram efeito significativo na interação dos substitutos de gordura no nível de 5% de probabilidade, pelo teste t.

Tabela 35 - ANOVA e coeficiente de determinação do ajuste do modelo para a gomosidade

Tempo	Fontes de variação	GL	QM	Pr > F	r ² (%)
1 Dia	Regressão	4	0,959317	0,0001*	96,76
	Erro	10	0,012864	0,247895	
	Falta de ajuste	6	0,016257		
	Erro puro	4	0,007775		
	Total	14			
7 Dias	Regressão	3	2,109511	0,0001*	88,20
	Erro	11	0,076995	0,289947	
	Falta de ajuste	7	0,09233		
	Erro puro	4	0,050159		
	Total	14			
14 Dias	Regressão	4	2,49201	0,0001*	97,51
	Erro	10	0,025505	0,831036	
	Falta de ajuste	6	0,01662		
	Erro puro	4	0,038833		
	Total	14			
21 Dias	Regressão	3	1,170657	0,000574*	78,28
	Erro	11	0,088563	0,527281	
	Falta de ajuste	7	0,088976		
	Erro puro	4	0,08784		
	Total	14			

* Significativo a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$).

Sendo: GL = grau de liberdade; SQ = soma de quadrados; e QM = quadrado médio.

Tabela 36 - Efeito estimado, erro-padrão e grau de significância estatística (p) da gomosidade

Tempo	Fatores	Efeito estimado	Erro-padrão	Pr > t
1 Dia	X1	0,594165	0,093023	0,0001*
	X2	0,49752	0,076439	0,0001*
	X3	0,79646	0,093023	0,0001*
	X1X3	-1,71895	0,487774	0,005501*
7 Dias	X1	0,636643	0,186631	0,005812*
	X2	0,494789	0,186631	0,022539*
	X3	0,865872	0,186631	0,000717*
14 Dias	X1	0,661123	0,107631	0,000109*
	X2	0,547902	0,130983	0,001879*
	X3	0,365228	0,130983	0,019173*
	X2X3	3,985489	0,686821	0,000172*
21 Dias	X1	0,263561	0,200159	0,014694*
	X2	0,410599	0,200159	0,044824*
	X3	0,775427	0,200159	0,00259*

Os modelos ajustados para a gomosidade em função da concentração dos substitutos de gordura em cada um dos quatro dias de análises estão apresentados na Tabela 37.

Tabela 37 - Modelos ajustados para a gomosidade

Tempo	Modelos ajustados
1º dia	$Y = 0,594165 \cdot X_1 + 0,49752 \cdot X_2 + 0,79646 \cdot X_3 - 1,718955 \cdot X_1 \cdot X_3$
7º dia	$Y = 0,636643 \cdot X_1 + 0,494789 \cdot X_2 + 0,865872 \cdot X_3$
14º dia	$Y = 0,661123 \cdot X_1 + 0,547902 \cdot X_2 + 0,365228 \cdot X_3 + 3,985489 \cdot X_2 \cdot X_3$
21º dia	$Y = 0,263561 \cdot X_1 + 0,410599 \cdot X_2 + 0,775427 \cdot X_3$

[†] Pr > F para falta de ajuste com (p < 0,05).

* Não significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

em que os aditivos inulina, CPS e CMC estão codificados como X₁, X₂ e X₃ e a gomosidade é representada pelo Y, sendo expressa em Newton (N).

Para melhor visualização e entendimento dos modelos exibidos na Tabela 37, plotaram-se os gráficos de curvas de níveis (Figura 11).

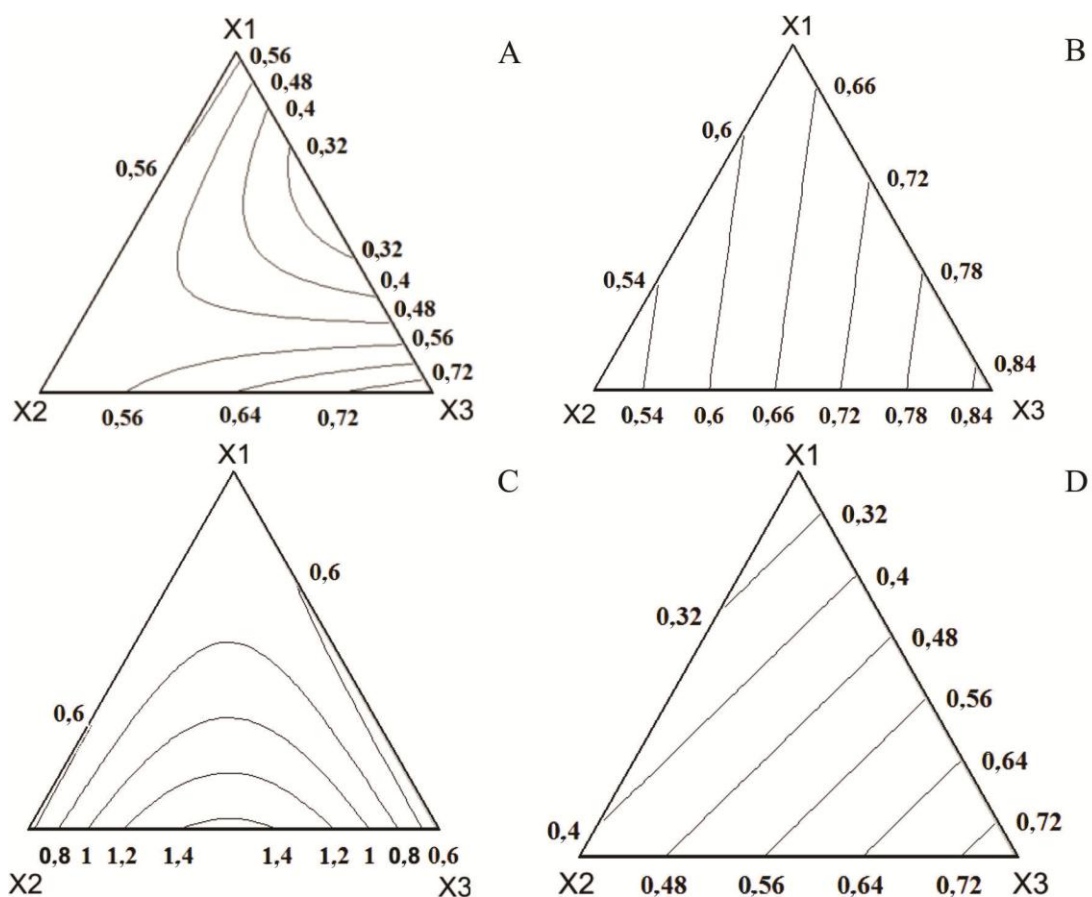


Figura 11 - Representação gráfica das curvas de níveis para gomosidade durante o armazenamento: 1 dia (A), 7 dias (B), 14 dias (C) e 21 dias (D).

A formulação-controle apresentou diferença significativa no nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Dunnett, apenas no 1º dia, sendo as médias da gomosidade da formulação-controle ao longo do tempo apresentadas na Tabela 38.

Tabela 38 - Médias e desvios-padrão da formulação-controle para gomosidade (N) ao longo do tempo

Dia	Formulação-controle (T11)	Formulações diferentes estatisticamente do controle
1º	$Y = 0,854 \pm 0,074$	T6**
7º	$Y = 0,557 \pm 0,055$...
14º	$Y = 0,794 \pm 0,105$...
21º	$Y = 0,328 \pm 0,198$...

...Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett.

**Média menor que a da formulação-controle.

Comparando os valores da gomosidade da formulação-controle com os valores das demais formulações que estão plotados nos gráficos de curvas de níveis (Figura 12), observou-se que, inicialmente, a formulação-controle apresentou valores

maiores e, posteriormente, intermediários quando comparados com os das demais formulações.

De acordo com a Figura 12, não foi observada nenhuma tendência dos componentes da mistura para o aumento da gomosidade ao longo do tempo. Até o 7º dia, o componente CMC apresentou maior contribuição para o aumento da gomosidade do iogurte. No 14º dia, maiores valores desse parâmetro foram obtidos nas formulações com maior proporção de X2 e X3. Decorridos 21 dias, maiores valores de gomosidade foram encontrados para formulações com maior proporção de X3.

Haully et al. (2005) constataram que a adição de inulina (14,24% e 4,43%) em iogurte de soja não apresentou diferença significativa ($p > 0,05$) para a gomosidade. Provavelmente, os menores valores de gomosidade relacionados às maiores concentrações de inulina relacionam com o enfraquecimento da rede proteica com o acréscimo de inulina.

4.2.2. Propriedades de escoamento

O modelo de Herschel-Bukley foi escolhido devido à sua característica de ser um modelo completo, que poderia descrever todos os parâmetros reológicos (tensão inicial τ_0 [Pa], índice de consistência K [$\text{Pa}\cdot\text{s}^n$] e índice de comportamento n [adimensional]), em comparação com outros modelos. O modelo apresentou excelente ajuste aos dados experimentais ($r^2 > 0,99$).

A variação da viscosidade aparente (η) ao longo do tempo apresentou comportamento comum em todas as formulações avaliadas. Dessa forma, na Figura 8 é apresentada a variação da η em função do tempo para a formulação T3. De acordo com essa figura, observa-se comportamento pseudoplástico da amostra, caracterizado pelo decréscimo da viscosidade aparente com o aumento da tensão de cisalhamento.

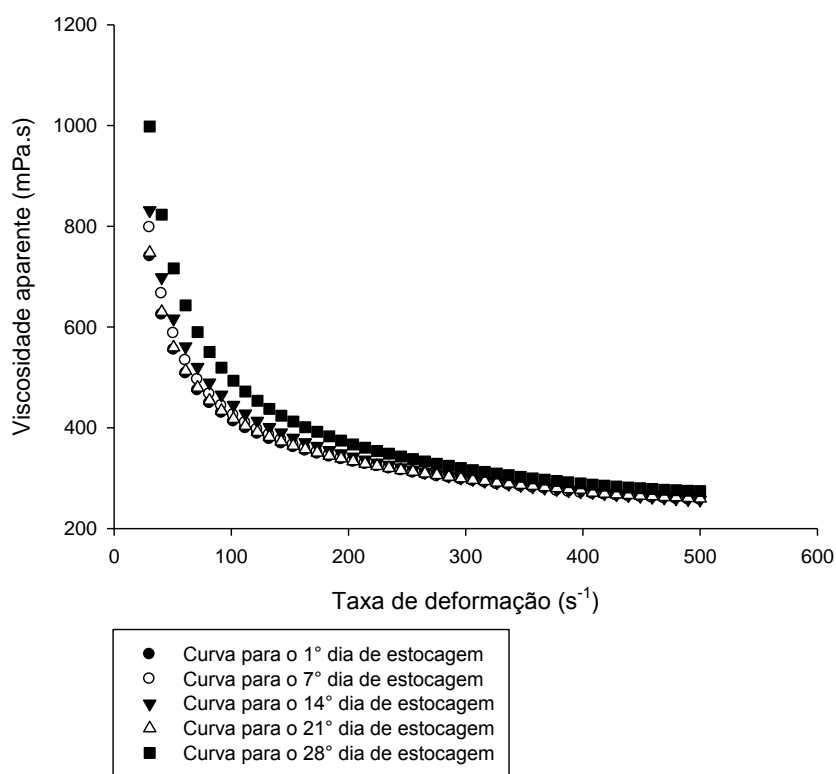


Figura 12 - Viscosidade aparente em função da taxa de deformação para a formulação T3 a 10 °C.

De acordo com o delineamento em parcelas subdivididas, no qual as formulações se referem às parcelas e o tempo à subparcela, foi possível obter modelos significativos ($p < 0,10$) apenas para o índice de consistência (K) e a histerese (Tabela 39).

Tabela 39 - Análise de variância (ANOVA) do K e da histerese

Prop.	Fontes de variação	GL	QM	Pr > F
K	Form.	10	0,3129040	0,0544*
	Tempo	3	0,4376030	0,6776
	Form. x Tempo	30	0,2364673	0,9984
Histerese	Form.	10	11844405,67	0,0069*
	Tempo	3	29641954,67	0,1675
	Form. x Tempo	30	7143946,67	0,9801

* Significativo a 10% de probabilidade ($p \leq 0,10$).

Sendo: Form. = formulação; GL = grau de liberdade; SQ = soma de quadrados; e QM = quadrado médio.

Por meio do tratamento estatístico dado aos dados experimentais, não foi encontrado nenhum modelo significativo para explicar o efeito da composição da

mistura sobre o índice de comportamento (n) ao longo do tempo. Assim, apenas a média de todas as medidas é apresentada com o respectivo desvio-padrão.

$$N = 0,7661 \pm 0,0921 \quad \text{Equação 9}$$

A influência dos substitutos de gordura para o K e para a histerese foi modelada estatisticamente. Os modelos foram avaliados quanto à falta de ajuste e ao coeficiente de determinação (Tabela 40). Nenhuma das duas propriedades apresentou efeito significativo para a interação dos substitutos de gordura no nível de 5% de probabilidade, pelo teste t (Tabela 41).

Tabela 40 - ANOVA e coeficiente de determinação do ajuste do modelo para K e histerese

Prop.	Fontes de variação	GL	QM	Pr > F	r ² (%)
K	Regressão	3	11,79710	0,0001*	64,70
	Erro	67	0,28814		
	Falta de ajuste	7	0,30763	0,389878	
	Erro puro	60	0,285866		
	Total	70			
Histerese	Regressão	3	6,14E+09	0,0001*	96,96
	Erro	67	8636783		
	Falta de ajuste	7	11099938	0,25244	
	Erro puro	60	8349415		
	Total	70			

* Significativo a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$).

Sendo: GL = grau de liberdade; SQ = soma de quadrados; e QM = quadrado médio.

Tabela 41 - Efeito estimado, erro-padrão e grau de significância estatística (p) do K e da histerese

Prop.	Fatores	Efeito estimado	Erro-padrão	Pr > t
K	X1	0,515927	0,161461	0,00213*
	X2	0,965327	0,161461	0,0001*
	X3	0,62255	0,161461	0,000261*
Histerese	X1	16221,3	883,9775	0,0001*
	X2	14847,58	883,9775	0,0001*
	X3	17563,01	883,9775	0,0001*

* Significativo a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$).

Os modelos estimados para K [Pa·sⁿ] e histerese (H) [Pa·s⁻¹] são dados pelas funções polinomiais a seguir (Equações 10 e 11, respectivamente).

$$K = 0,515927 \cdot X_1 + 0,965327 \cdot X_2 + 0,62255 \cdot X_3 \quad \text{Equação 10}$$

$$H = 16221,3 \cdot X_1 + 14847,58 \cdot X_2 + 17563,01 \cdot X_3 \quad \text{Equação 11}$$

em que inulina, CPS e CMC estão codificados no modelo como X_1 , X_2 e X_3 .

De acordo com as equações 6 e 7, observa-se que os parâmetros K e H foram influenciados apenas pelos componentes da formulação, não sendo significativamente ($p > 0,05$) influenciados pelo tempo. Para melhor visualização plotaram-se os modelos ajustados em gráficos de curva de nível (Figura 13).

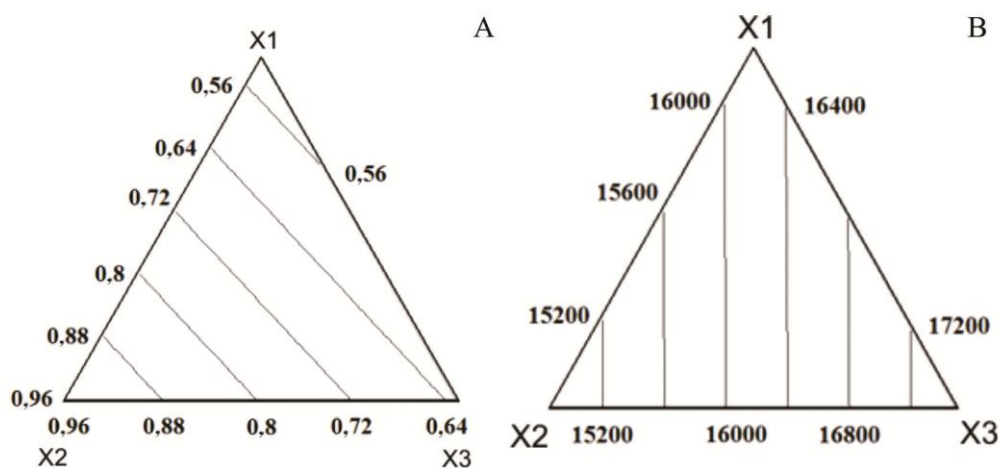


Figura 13 - Representação gráfica das curvas de níveis para o índice de consistência (A) e histerese (B).

A formulação-controle não apresentou diferença significativa no nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Dunnett, para a histerese e o K, sendo suas médias correspondentes a $14410 \pm 299,56 \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$ e $0,728 \pm 0,194 \text{ Pa} \cdot \text{s}^n$, respectivamente. Comparando esses valores com os plotados nos gráficos de curvas de níveis (Figura 9), observou-se que a histerese apresentou nível baixo, enquanto K correspondeu a valores intermediários.

De acordo com a Figura 13A, observou-se que o componente X_2 apresentou maior contribuição para o aumento de K. Maiores valores de histerese foram obtidos nas formulações com maiores concentrações de X_3 . Resultado esse que pode estar relacionado ao fato de a formação de ligação dissulfídica através da reação de troca tiol/dissulfeto entre a beta-lactoglobulina e a kappa-caseína ter maior magnitude que a interação hidrofóbica entre a beta-lactoglobulina e a inulina.

A histerese está relacionada com a tixotropia, ou seja, com a capacidade do iogurte em recuperar sua estrutura depois de cessada a tensão cisalhante. A tixotropia fornece informações sobre a capacidade e o tempo necessário para o produto retornar à sua estrutura depois de cessada a tensão de cisalhamento. A tixotropia foi avaliada

pela área resultante entre a curva ascendente e descendente do reograma, a que se denomina área de histerese (MARTIN; BUSTAMANTE, 1993; TADROS, 2004). A área entre as curvas é uma medida da extensão da quebra estrutural durante um ciclo (RAMASWAMY; BASAK, 1991). Na Figura 10 é apresentada a área de histerese para a formulação T6.

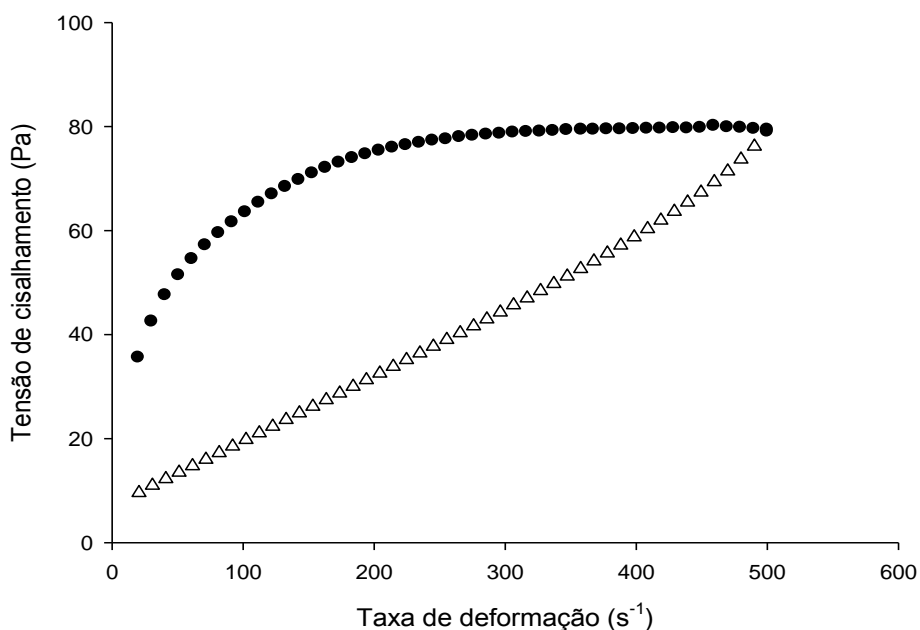


Figura 14 - Representação gráfica da área de histerese para a formulação T6 a 10 °C, em que os símbolos representam: ● indica a curva ascendente e Δ a curva descendente.

A tixotropia (Figura 14B) foi maior na formulação T5. Teo et al. (2000) relataram que a tixotropia em suspensões de proteínas de soro aquecida foi atribuída à quebra de partículas ou à quebra de ligações entre as proteínas, o que provavelmente é a causa da tixotropia em iogurte.

Com o auxílio da Figura 9B, pode-se constatar que houve variação da histerese em função dos componentes do iogurte, e os tratamentos com maiores proporções de concentrado proteico obtiveram áreas menores de histerese. Esse resultado pode estar relacionado ao fato de a formação de ligação dissulfídica através de reação de troca tiol/dissulfeto entre a beta-lactoglobulina e a kappa-caseína ter maior magnitude que a interação hidrofóbica entre a beta-lactoglobulina e a inulina.

5. CONCLUSÃO

Verificou-se que a variação na composição dos substitutos de gordura influenciou a CRA, a adesividade, a firmeza, a elasticidade, a coesividade, a gomosidade, o índice de consistência e a histerese. Além disso, o tempo teve influência na acidez titulável, na CRA, na adesividade, na firmeza, na elasticidade, na coesividade e na gomosidade. Já a sinérese e o índice de comportamento não apresentaram diferença significativa ($p > 0,10$) nos fatores em estudo.

Observou-se que a maior concentração de CPS resultou, principalmente, em aumento da CRA, da elasticidade e do índice de consistência, podendo esse aumento estar relacionado à formação de ligação dissulfídica através de reação de troca tiol/dissulfeto entre a beta-lactoglobulina e a kappa-caseína. O incremento de inulina nas formulações aumentou expressivamente a coesividade. A maior concentração de CMC aumentou a histerese e a gomosidade, já a combinação de níveis de CMC e de CPS potencializou a firmeza dos iogurtes em razão, provavelmente, da formação de ligação dissulfídica através da reação de troca tiol/dissulfeto entre a beta-lactoglobulina e a kappa-caseína.

A partir dos modelos matemáticos ajustados é possível prever e manipular as propriedades de adesividade, firmeza, elasticidade, coesividade, gomosidade, K e histerese dos iogurtes a partir da escolha de combinação adequada dos substitutos de gordura (inulina, CPS e CMC), nas condições de processamento semelhantes às empregadas neste trabalho. Outra possibilidade é estimar valores da acidez titulável em função do tempo, desde que respeitadas as condições utilizadas neste estudo.

6. REFERÊNCIAS

ACHANTA, K.; ARYANA, K. J.; BOENEKE, C. A. Fat free plain set yogurts fortified with various minerals. **LWT – Food Science and Technology**, v. 40, n. 3, p. 424-429, 2007.

AGUILERA, J. M. Gelation of whey proteins. **Food Technology**, v. 49, n. 10, 1995.

AKALIN, A. S. et al. Effects of fructooligosaccharide and whey protein concentrate on the viability of starter culture in reduced-fat Probiotic yogurt during storage. **Journal of Food Science**, v. 72, n. 7, 2007.

AL-DABBAGH, W. Y.; ALLAN, M. C. Influence of concentration of non-fat dried milk solids (NFDM) on growth and acid production of *Lactobacillus bulgaricus* and *Streptococcus thermophilus*. **Asian Journal of Dairy Research**, v. 8, p. 115-121, 1989.

ALLGEYER, L. C.; MILLER, M. J.; LEE, S. Y. Drivers of liking for yogurt drinks with prebiotics and probiotics. **Journal of Food Science**, v. 75, n. 4, 2010.

ALMEIDA, K. E.; TAMIME, A. Y.; OLIVEIRA, M. N. Influence of total solids contents of milk whey on the acidifying profile and viability of various lactic acid bacteria. **Lwt-Food Science and Technology**, v. 42, n. 2, p. 672-678, 2009.

AMERICAN DIETETIC ASSOCIATION. Position of the American Dietetic Association: fat replacers. **Journal of the American Dietetic Association**, v. 105, n. 2, p. 266-275, 2005.

ANTUNES, A. E. C. **Influência do concentrado protéico do soro de leite e de culturas probióticas nas propriedades de iogurte naturais desnatados**. 2004. 219 f. (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2004.

ANTUNES, A. E. C. et al. Elaboracion de yogurt descremado con perfil de textura y sinéresis similares al yogurt integral. **Alimentaria**, n. 356, p. 61-67, 2004.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. Arlington, Va.: AOAC International 1995.

AZIZNIA, S. et al. Whey protein concentrate and gum tragacanth as fat replacers in nonfat yogurt: chemical, physical, and microstructural properties. **Journal of Dairy Science**, v. 91, n. 7, p. 2545-2552, 2008.

BARRETTO, A. C. D. S. **Efeito da adição de fibras como substitutos de gordura em mortadela**. 2007. 189 f. (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2007.

BARROS, G. Consumo de bens não duráveis cresceu 10,8% no ano. [S.l.], 2009. Disponível em: <<http://colunistas.ig.com.br/guilhermebarros/2009/12/21/consumo-de-bens-nao-duraveis-cresceu-108-no-ano>>. Acesso em: 11 out. 2010.

BHULLAR, Y. S.; UDDIN, M. A.; SHAH, N. P. Effects of ingredients supplementation on textural characteristics and microstructure of yoghurt. **Milchwissenschaft-Milk Science International**, v. 57, n. 6, p. 328-332, 2002.

BLAUT, M. Relationship of prebiotics and food to intestinal microflora. **European Journal of Nutrition**, v. 41, n. 0, 2002.

BODYFELT, F. W.; TOBIAS, J.; TROUT, G. M. **The sensory evaluation of dairy products**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1988.

BORDERÍAS, A. J.; SÁNCHEZ-ALONSO, I.; PÉREZ-MATEOS, M. New applications of fibres in foods: Addition to fishery products. **Trends in Food Science & Technology**, v. 16, n. 10, p. 458-465, 2005.

BOSI, M. G. **Desenvolvimento de processo de fabricação de requeijão light e de requeijão sem adição de gordura e com fibra alimentar**. 2008. Dissertação (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, SP, 2008.

BOURNE, M. C. **Food texture and viscosity: concept and measurement**. 2. ed. Elsevier Science & Technology Books, 2002.

BOURNE, M. C.; KENNY, J. F.; BARNARD, J. Computer-assisted readout of data from texture profile analysis curves1. **Journal of Texture Studies**, v. 9, n. 4, p. 481-494, 1978.

BRANDENBERG, A. H.; MORR, C. V.; WELLER, C. L. Gelation of commercial whey protein concentrates: effect of removal of low-molecular-weight components. **Journal of Food Science**, v. 57, n. 2, p. 427-432, 1992.

BRENNAN, J. G. Texture perception and measurement. In: PIGGOTT, J. R. (Ed.). **Sensory Analysis of Foods**. London: Elsevier Applied Sci., 1984.

BRUZZESE, E. et al. Impact of prebiotics on human health. **Digestive and Liver Disease**, v. 38, n. 2, p. S283-S287, 2006. (Supplement)

BURY, D.; JELEN, P.; KIMURA, K. Whey protein concentrate as a nutrient supplement for lactic acid bacteria. **International Dairy Journal**, v. 8, n. 2, p. 149-151, 1998.

CHANDAN, R. C.; HUI, Y. H. **Manufacturing yogurt and fermented milks**. 1st. Ames, Iowa: Blackwell Publishing, 2006.

CHAVES, J. B. P. **Análise Sensorial: Histórico e Desenvolvimento**. Viçosa, MG: Editora UFV, 1998.

DAMIN, M. R. et al. Effect of cold storage on culture viability and some rheological properties of fermented milk prepared with yogurt and probiotic bacteria. **Journal of Texture Studies**, v. 39, n. 1, p. 40-55, 2008.

DANNENBERG, F.; KESSLER, H. G. Effect of denaturation of β -lactoglobulin on texture properties of set-style nonfat yoghurt. 2. Firmness and flow properties. **Milchwissenschaft**, v. 43, 1988.

DAVE, R. I.; SHAH, N. P. Ingredient supplementation effects on viability of probiotic bacteria in yogurt. **Journal of Dairy Science**, v. 81, n. 11, p. 2804-2816, 1998.

DAVIS, J. G. **Food manufacture**, v. 48, n. 6, p. 23, 1973.

DEETH, H. C.; TAMIME, A. Y. Yogurt: nutritive and therapeutic aspects. **Journal of Food Protection**, v. 44, n. 1, p. 78-86, 1981.

DUIZER, L. M.; GULLET, E. A.; FINDLAY, C. J. The relationship between sensory time-intensity, physiological electromyography and instrumental texture profile analysis measurements of beef tenderness. **Meat Science**, v. 42, n. 2, p. 215-224, 1996.

EL-NAGAR, G. et al. Rheological quality and stability of yog-ice cream with added inulin. **International Journal of Dairy Technology**, v. 55, n. 2, p. 89-93, 2002.

FARRELL, H. M. et al. Review of the chemistry of α S2-casein and the generation of a homologous molecular model to explain its properties1. **Journal of dairy science**, v. 92, n. 4, p. 1338-1353, 2009.

FITZGERALD, R. J. Potential uses of caseinophosphopeptides. **International Dairy Journal**, v. 8, n. 5-6, p. 451-457, 1998.

FOLKENBERG, D. M. et al. Sensory and rheological screening of exopolysaccharide producing strains of bacterial yoghurt cultures. **International Dairy Journal**, v. 16, n. 2, p. 111-118, 2006.

FOX, P. F. **Fundamentals of Cheese Science**. Gaithersburg, MD: Aspen Pub., 2000. 587 p.

FOX, P. F. Milk proteins as food ingredients. **International Journal of Dairy Technology**, v. 54, n. 2, p. 41-55, 2001.

FOX, P. F.; MCSWEENEY, P. L. H. **Advanced dairy chemistry**. 3rd. New York: Kluwer Academic/Plenum, 2003.

FRIEDMAN, H. H.; WHITNEY, J. E.; SZCZESNIAK, A. S. The Texturometer – A New Instrument for Objective Texture Measurement. **Journal of Food Science**, v. 28, n. 4, p. 390-396, 1963.

GAIANI, C. et al. The dissolution behaviour of native phosphocaseinate as a function of concentration and temperature using a rheological approach. **International Dairy Journal**, v. 16, n. 12, p. 1427-1434, 2006.

GAREM, A.; SCHUCK, P.; MAUBOIS, J.-L. Cheesemaking properties of a new dairy-based powder made by a combination of microfiltration and ultrafiltration. **Lait**, v. 80, n. 1, p. 25-32, 2000.

GLIBOWSKI, P.; BOCHYNSKA, R. Effect of inulin on rheological properties of whey protein solutions. **Acta Agrophysica**, v. 8, p. 337-345, 2006.

O GLOBO. Iogurtes já estão em 87,9% dos lares do país. Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <<http://oglobo.globo.com/economia/mat/2009/06/19/iogurtes-ja-estao-em-87-9-dos-lares-do-pais-756430143.asp>>. Acesso em: 12 dez. 2010.

GONZÁLEZ-ANDRADA, J. I.; ROMERO-ESTÉVEZ, C.; JIMÉNEZ-PÉREZ, S. Quality control in manufacture of yoghurt. **Alimentación Equipos y Tecnología**, v. 13, n. 6, p. 77-81, 1994.

GOSSETT, P. W.; RIZVI, S. S. H.; BAKER, R. C. Quantitative analysis of gelation in egg protein systems. **Food Technology**, v. 38, n. 5, p. 67-96, 1984.

GREIG, R. I.; VAN KAN, J. Effect of whey protein concentrate on fermentation of yoghurt. **Dairy Industries International**, v. 49, n. 10, p. 28-29, 1984.

GUGGISBERG, D. et al. Rheological, microstructural and sensory characterization of low-fat and whole milk set yoghurt as influenced by inulin addition. **International Dairy Journal**, v. 19, n. 2, p. 107-115, 2009.

GUGGISBERG, D.; EBERHARD, P.; ALBRECHT, B. Rheological characterization of set yoghurt produced with additives of native whey proteins. **International Dairy Journal**, v. 17, n. 11, p. 1353-1359, 2007.

GUIRGUIS, N.; BROOME, M. C.; HICKEY, M. W. The effect of partial replacement of skim milk powder with whey protein concentrate on the viscosity and syneresis of yoghurt. **Australian Journal of Dairy Technology**, v. 91, n. 1, p. 33-35, 1984.

GUSTAW, W.; GLIBOWSKI, P.; MLEKO, S. The rheological properties of yoghurt with incorporated whey protein aggregates/polymers. **Milchwissenschaft-Milk Science International**, v. 61, p. 415-419, 2006.

GUVEN, M. et al. The effect of inulin as a fat replacer on the quality of set-type low-fat yogurt manufacture. **International Journal of Dairy Technology**, v. 58, n. 3, p. 180-184, 2005.

GUZMÁN-GONZÁLEZ, M.; MORAIS, F.; AMIGO, L. Influence of skimmed milk concentrate replacement by dry dairy products in a low-fat set-type yoghurt model system. Use of caseinates, co-precipitate and blended dairy powders. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 80, n. 4, p. 433-438, 2000.

GUZMÁN-GONZÁLEZ, M. et al. Influence of skimmed milk concentrate replacement by dry dairy products in a low fat set-type yoghurt model system. I: Use of whey protein concentrates, milk protein concentrates and skimmed milk powder. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 79, n. 8, p. 1117-1122, 1999.

HAQUE, A.; RICHARDSON, R. K.; MORRIS, E. R. Effect of fermentation temperature on the rheology of set and stirred yogurt. **Food Hydrocolloids**, v. 15, n. 4-6, p. 593-602, 2001.

HATANAKA, C. L. **Efeito da adição de goma tara e carragena em iogurte firme desnatado**. 2009. 73 f. (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2009.

HAULY, M. C. D. O.; FUCHS, R. H. B.; PRUDENCIO-FERREIRA, S. H. Suplementação de iogurte de soja com frutooligossacarídeos: características probióticas e aceitabilidade. **Revista de Nutrição**, v. 18, p. 613-622, 2005.

HERRERO, A. M.; REQUENA, T. The effect of supplementing goats milk with whey protein concentrate on textural properties of set-type yoghurt. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 41, n. 1, p. 87-92, 2006.

HUEBNER, J.; WEHLING, R. L.; HUTKINS, R. W. Functional activity of commercial prebiotics. **International Dairy Journal**, v. 17, n. 7, p. 770-775, 2007.

HUMPHREYS, C. L.; PLUNKETT, M. L. Yoghurt: a review of its manufacture. **Dairy Science Abstracts**, v. 31, p. 607-622, 1969.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**: Brasília; São Paulo, 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Brasileiro come menos arroz com feijão e mais comida industrializada em casa**. 2010. Disponível em: <http://ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1788&id_pagina=1>. Acesso em: 2 jan. 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Em 30 anos, importantes mudanças nos hábitos de consumo dos brasileiros**. 2004. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=171&id_pagina=1>. Acesso em: 10 dez. 2010.

JAKUBCZYK, E.; KOSIKOWSKA, M. New generation of fermented dairy products with prebiotics and probiotics, synbiotic products. **Przegląd Mleczarski**, v. 12, p. 397-400, 2000.

JAROS, D. et al. Influence of the starter culture on the relationship between dry matter content and physical properties of stirred yogurt. **Milchwissenschaft-Milk Science International**, v. 57, n. 8, p. 447-450, 2002.

JONES, D.; DORFMAN, B. **Danone**: U.S. yogurt consumption to double. Chicago, 2010. Disponível em: <<http://www.reuters.com/article/idUSTRE62E5LX20100316>>. Acesso em: 11 dez. 2010.

JOST, R.; BRANDSMA, R.; RIZVI, S. Protein composition of micellar casein obtained by cross-flow micro-filtration of skimmed milk. **International Dairy Journal**, v. 9, n. 3-6, p. 389-390, 1999.

JUSKIEWICZ, J. et al. Minor effect of the dietary combination of probiotic *Pediococcus acidilactici* with fructooligosaccharides or polysaccharidases on beneficial changes in the cecum of rats. **Nutrition Research**, v. 27, n. 3, p. 133-139, 2007.

KING, S. C.; LAWLER, P. J.; ADAMS, J. K. Effect of aspartame and fat on sweetness perception in yogurt. **Journal of Food Science**, v. 65, n. 6, p. 1056-1059, 2000.

KINSELLA, J. E.; WHITEHEAD, D. M. Proteins in whey: chemical, physical, and functional properties. In: KINSELLA, J. E. (Ed.). **Advances in Food and Nutrition Research**. New York: Academic Press, 1989. v. 33.

KROGER, M. Quality of yogurt. **Journal of Dairy Science**, v. 59, n. 2, p. 344-350, 1976.

LANCIOTTI, R. et al. Suitability of high-dynamic-pressure-treated milk for the production of yoghurt. **Food Microbiology**, v. 21, n. 6, p. 753-760, 2004.

LEE, H.; FRIEND, B. A.; SHAHANI, K. M. Factors affecting the protein quality of yogurt and acidophilus milk. **Journal of Dairy Science**, v. 71, n. 12, p. 3203-3213, 1988.

LIMA, J. R.; NASSU, R. T. Substitutos de gordura em alimentos: características e aplicações. **Química Nova**, v. 19, n. 2, p. 127-134, 1996.

LOBATO, L. P.; GROSSMANN, M. V. E.; BENASSI, M. T. Inulin Addition in Starch-based Dairy Desserts: Instrumental Texture and Sensory Aspects. **Food Science and Technology International**, v. 15, n. 4, p. 317-323, 2009.

LOSADA, M. A.; OLLEROS, T. Towards a healthier diet for the colon: the influence of fructooligosaccharides and lactobacilli on intestinal health. **Nutrition Research**, v. 22, n. 1-2, p. 71-84, 2002.

LUCEY, J. A. Formation and physical properties of milk protein gels. **Journal of Dairy Science**, v. 85, n. 2, p. 281-294, 2002.

LUCEY, J. A. Cultured dairy products: an overview of their gelation and texture properties. **International Journal of Dairy Technology**, v. 57, n. 2-3, p. 77-84, May 2004.

LUCEY, J. A.; MUNRO, P. A.; SINGH, H. Rheological properties and microstructure of acid milk gels as affected by fat content and heat treatment. **Journal of Food Science**, v. 63, n. 4, p. 660-664, 1998.

LUCEY, J. A.; SINGH, H. Formation and physical properties of acid milk gels: a review. **Food Research International**, v. 30, n. 7, p. 529-542, 1997.

MACFARLANE, S.; MACFARLANE, G. T.; CUMMINGS, J. H. Review article: prebiotics in the gastrointestinal tract. **Alimentary Pharmacology & Therapeutics**, v. 24, n. 5, p. 701-714, 2006.

MANGINO, M. E. Physicochemical aspects of whey protein functionality. **Journal of Dairy Science**, v. 67, n. 11, p. 2711-2722, 1984.

MANGINO, M. E. Gelation of whey protein concentrates. **Food Technology**, v. 46, n. 1, p. 114, 1992.

MANNING, T. S.; GIBSON, G. R. Prebiotics. **Best Practice & Research in Clinical Gastroenterology**, v. 18, n. 2, p. 287-298, 2004.

MARAFON, A. P. et al. Optimization of the rheological properties of probiotic yoghurts supplemented with milk proteins. **LWT – Food Science and Technology**, v. 44, n. 2, p. 511-519, 2011.

MARTIN-DIANA, A. B. et al. Effect of milk fat replacement by polyunsaturated fatty acids on the microbiological, rheological and sensorial properties of fermented milks. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 84, n. 12, p. 1599-1605, 2004.

MARTIN, A. N.; BUSTAMANTE, P. **Physical pharmacy**: physical chemical principles in the pharmaceutical sciences. 4th ed. Philadelphia: Lea & Febiger, 1993.

MATUMOTO-PINTRO, P. T. et al. Use of modified whey protein in yoghurt formulations. **International Dairy Journal**, v. 21, n. 1, p. 21-26, 2011.

MODLER, H. W. et al. Physical and sensory properties of yogurt stabilized with milk proteins. **Journal of Dairy Science**, v. 66, n. 3, p. 422-429, 1983.

MODZELEWSKA-KAPITUŁA, M.; KŁĘBUKOWSKA, L. Investigation of the potential for using inulin HPX as a fat replacer in yoghurt production. **International Journal of Dairy Technology**, v. 62, n. 2, p. 209-214, 2009.

MONTAN, M. As fibras invisíveis. **Brasil Alimentos**, v. 19, n. mar.-abr., p. 28-29, 2003.

MORETTI, B. R. **Efeito da suplementação do leite com proteínas de diferentes fontes (soro de leite, soja e colágeno) e da composição da cultura láctica em iogurtes**. 2009. 160 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, SP, 2009.

MORR, C. V.; HA, E. Y. Whey protein concentrates and isolates: processing and functional properties. **Critical Reviews Food Science Nutrition**, v. 33, n. 6, p. 431-76, 1993.

MOTTAR, J. et al. Effect of heat-induced association of whey proteins and casein micelles on yogurt texture. **Journal of Dairy Science**, v. 72, n. 9, p. 2247-2256, 1989.

MUIR, D. D.; HUNTER, E. A. Sensory evaluation of fermented milks: vocabulary development and the relations between sensory properties and composition and between acceptability and sensory properties. **International Journal of Dairy Technology**, v. 45, n. 3, p. 73-80, 1992

MULVIHILL, D. M. Functional milk protein products. In: ANDREWS, A. T.; VARLEY, J., et al (Ed.). **Biochemistry of Milk Products**. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 1994.

O'CONNELL, J. E.; FLYNN, C. The manufacture and applications of casein-derived ingredients. In: HUI, Y. H. (Ed.). **Handbook of food products manufacturing**. [s.l.]: John Wiley & Sons, Inc., 2006. p. 557-591.

OLIVEIRA, M. N. et al. Effect of milk supplementation and culture composition on acidification, textural properties and microbiological stability of fermented milks containing probiotic bacteria. **International Dairy Journal**, v. 11, n. 11-12, p. 935-942, 2001.

PAK, N. Inulina e fructooligosacáridos: propiedades nutricionales y funcionales. In: LAJOLO, F. M.; MENEZES, E. W. (Eds.). **Carboidratos em alimentos regionales iberoamericanos**. São Paulo: Edusp, 2006.

PASEEPHOL, T.; SMALL, D. M.; SHERKAT, F. Rheology and texture of set yogurt as affected by inulin addition. **Journal of Texture Studies**, v. 39, n. 6, p. 617-634, 2008.

PENG, Y. et al. Effect of fortification with various types of milk proteins on the rheological properties and permeability of nonfat set yogurt. **Journal of Food Science**, v. 74, n. 9, 2009.

PENNA, A. L. B. **Uso de soro desmineralizado em pó na fabricação de iogurte**. 1994. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 1994.

PENNA, A. L. B.; CONVERTI, A.; OLIVEIRA, M. N. D. Simultaneous effects of total solids content, milk base, heat treatment temperature and sample temperature on the rheological properties of plain stirred yogurt. **Food Technology and Biotechnology**, v. 44, n. 4, p. 449-570, 2006.

PONS, M.; FISZMAN, S.M. Instruemntal texture profile analysis with particular reference to gelled systems. **Journal of Texture Studies**, v. 27, p. 597-624, 1996.

PRENTICE, J. H. **Dairy Rheology: a concise guide**. New York, N.Y.: VCH Publishers, 1992.

PUVANENTHIRAN, A.; WILLIAMS, R. P. W.; AUGUSTIN, M. A. Structure and visco-elastic properties of set yoghurt with altered casein to whey protein ratios. **International Dairy Journal**, v. 12, n. 4, p. 383-391, 2002.

RAMASWAMY, H. S.; BASAK, S. Rheology of stirred yoghurts. **Journal of Texture Studies**, v. 22, p. 231-241, 1991.

RAMOS, A. M. **Caracterización reológica y transmisión de calor em derivados de frutas en el interior de tanques agitados**. 1997. 304 f. Tese (Doutorado) – Universitat de Lleida, Lleida-Espanha, 1997.

RAO, M. A. **Rheology of fluid and semisolid foods principles and applications**. Gaithersburg, Md.: Aspen Publishers: xiv, 1999. 433 p.

RAO, M. A.; RIZVI, S. S. **Engineering properties of foods**, New York, Marcel Dekker, 1986.

RAPACCI, M. **Estudo comparativo das características físicas, químicas, reológicas e sensoriais do requeijão cremosos obtido por fermentação láctica e acidificação direta**. 1997. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 1997.

RASIC, J. L.; KURMANN, J. A. Yogurt: scientific grounds, technology, manufacture and preparations. **Technical Dairy Publishing House**, v. 1, p. 428, 1978.

RATTRAY, W.; JELEN, P. Thermal stability of skim milk/whey protein solution blends. **Food Research International**, v. 30, n. 5, p. 327-334, 1997.

REGESTER, G. O. et al. Whey proteins as nutritional and functional food ingredients. **Food Australia**, v. 48, n. 3, p. 123-128, 1996.

REMEUF, F. et al. Preliminary observations on the effects of milk fortification and heating on microstructure and physical properties of stirred yogurt. **International Dairy Journal**, v. 13, n. 9, p. 773-782, 2003.

RIBEIRO, H. S. **Obtenção e aplicação de concentrado protéico de soro de leite bovino em produtos cárneos**. 2001. 194 f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2001.

RICHTER, V. B. **Desenvolvimento de uma técnica descritiva por ordenação**. 2006. 74 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2006.

ROBERFROID, M. B. Functional foods: concepts and application to inulin and oligofructose. **British Journal Nutrition**, v. 87, p. S139-43, 2002. Suppl 2.

ROHM, H. Consumer awareness of food texture in Austria. **Journal of Texture Studies**, v. 21, n. 3, p. 363-374, 1990.

SABOYAINSTA, L. V.; MAUBOIS, J. -L. Current developments of microfiltration technology in the dairy industry. **Lait**, v. 80, n. 6, p. 541-553, 2000.

SAINT-EVE, A. et al. Complex viscosity induced by protein composition variation influences the aroma release of flavored stirred yogurt. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 54, n. 11, p. 3997-4004, 2006.

SAINT-EVE, A. et al. Flavored yogurt complex viscosity influences real-time aroma release in the mouth and sensory properties. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 54, n. 20, p. 7794-7803, Oct. 4, 2006.

SALJI, J. P. The miracle food. **Food Science and Technology Today**, v. 3, n. 4, p. 228-231, 1989.

SCHALLER-POVOLNY, L. A.; SMITH, D. E. Interaction of milk proteins with inulin. **Milchwissenschaft-Milk Science International**, v. 57, p. 494-497, 2002.

SCHMIDT, R. H.; ILLINGWORTH, B. L.; AHMED, E. M. Heat-induced gelation of peanut protein/whey protein blends. **Journal of Food Science**, v. 43, n. 2, p. 613-621, 1978.

SCHMIDT, R. H. et al. Heat treatment and storage effects on texture characteristics of milk and yogurt systems fortified with oilseed proteins. **Journal of Food Science**, v. 45, n. 3, p. 471-475, 1980.

SÉVERIN, S.; WENSHUI, X. Milk biologically active components as nutraceuticals: review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 45, n. 7, p. 645-656, 2005.

SHAHANI, K. M.; CHANDAN, R. C. Nutritional and healthful aspects of cultured and culture-containing dairy foods. **Journal of Dairy Science**, v. 62, n. 10, p. 1685-1694, 1979.

SIVIERI, K.; OLIVEIRA, M. N. D. Avaliação da vida-de-prateleira de bebidas lácteas preparadas com "fat replacers" (Litesse e Dairy-lo). **Ciência Tecnologia Alimentos**, v. 22, n. 1, p. 24-31, 2002.

SMITHERS, G. W. Whey and whey proteins - From 'gutter-to-gold'. **International Dairy Journal**, v. 18, n. 7, p. 695-704, 2008.

SODINI, I. et al. Physical properties and microstructure of yoghurts supplemented with milk protein hydrolysates. **International Dairy Journal**, v. 15, n. 1, p. 29-35, 2005.

SODINI, I.; MONTELLA, J.; TONG, P. S. Physical properties of yogurt fortified with various commercial whey protein concentrates. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 85, n. 5, p. 853-859, 2005.

STANLEY, D. W.; GOFF, H. D.; SMITH, A. K. Texture-structure relationships in foamed dairy emulsions. **Food Research International**, v. 29, n. 1, p. 1-13, 1996.

STEFFE, J. F. **Rheological Methods in Food Process Engineering**. 2. ed. East Lansing, USA: Freeman Press, 1996.

SZCZESNIAK, A. S. Classification of textural characteristics. **Journal of Food Science**, v. 28, n. 4, p. 385-389, 1963.

TADROS, T. Application of rheology for assessment and prediction of the long-term physical stability of emulsions. **Advances in Colloid and Interface Science**, v. 108-109, p. 227-258, 2004.

TAMIME, A. Y.; DEETH, H. C. Yogurt: technology and biochemistry. **Journal of Food Protection**, v. 43, n. 12, p. 939-977, 1980.

TAMIME, A. Y.; ROBINSON, R. K. **Yogurt Ciencia y Tecnologia**. Zaragoza: Acribia, 1991.

TAMIME, A. Y.; ROBINSON, R. K. **Tamime and robinson's yoghurt science and technology**. Cambridge, England: CRC: xii, 2007. 791 p.

TAMIME, A. Y.; ROBINSON, R. K.; LATRILLE, E. Yoghurt and other fermented milks. In: TAMIME, A. Y.; LAW, B. A. (Ed.). **Mechanisation and Automation in Dairy Technology**. Sheffield, England; Boca Raton, FL: Sheffield Academic Press; CRC Press, 2001.

TEO, C. T.; MUNRO, P. A.; SINGH, H. Time dependence of rheological breakdown and recovery of heat precipitated whey protein suspensions. **Milchwissenschaft-Milk Science International**, v. 55, p. 29-32, 2000.

VAN VLIET, T. Terminology to be used in cheese rheology. **International Dairy Federation Bulletin**, v. 268, p. 67, 1991.

VASILJEVIC, T.; SHAH, N. P. Probiotics--from metchnikoff to bioactives. **International Dairy Journal**, v. 18, n. 7, p. 714-728, 2008.

WALSTRA, P.; JENNESS, R.; BADINGS, H. T. **Dairy chemistry and physics**. New York: Wiley, 1984.

WU, H.; HULBERT, G. J.; MOUNT, J. R. Effects of ultrasound on milk homogenization and fermentation with yogurt starter. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 1, n. 3, p. 211-218, 2000.

ZIEGLER, G. R.; FOEGEDING, E. A.; JOHN, E. K. The gelation of proteins. In: _____ (Ed.). **Advances in Food and Nutrition Research**. New York: Academic Press, 1990. v. 34.