

Maria Helena Machado Canella

**POTENCIAL DA CRIOCONCENTRAÇÃO DO SORO
DE LEITE E SEU EMPREGO NA ELABORAÇÃO DE
UMA BEBIDA LÁCTEA FERMENTADA SIMBIÓTICA**

Dissertação submetida ao Programa de
Pós-Graduação em Ciência dos
Alimentos da Universidade Federal de
Santa Catarina para a obtenção do Grau
de mestre em Ciência dos Alimentos.
Orientador: Prof^ª. Dr^ª. Elane
Schwinden Prudêncio

Florianópolis
2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor através do
Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Canella, Maria Helena Machado

POTENCIAL DA CRIOCONCENTRAÇÃO DO SORO DE LEITE E SEU
EMPREGO NA ELABORAÇÃO DE UMA BEBIDA LÁCTEA FERMENTADA
SIMBIÓTICA / Maria Helena Machado Canella ; orientadora,
Elane Schwinden Prudêncio - Florianópolis, SC, 2016.
108 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós
Graduação em Ciência dos Alimentos.

Inclui referências

1. Ciência dos Alimentos. 2. Soro de leite. 3.
Criocentralização. 4. Bebida láctea. 5. Simbiótico. I.
Prudêncio, Elane Schwinden. II. Universidade Federal de
Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciência dos
Alimentos. III. Título.

**POTENCIAL DA CRIOCONCENTRAÇÃO DO SORO DE LEITE
E SEU EMPREGO NA ELABORAÇÃO DE UMA BEBIDA
LÁCTEA FERMENTADA SIMBIÓTICA**

Por

Maria Helena Machado Canella

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de “Mestre em Ciência dos Alimentos”, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos.

Florianópolis, 26 de fevereiro de 2016.

Prof^a. Roseane Fett, Dr^a.
Coordenadora do Programa

Banca Examinadora:

Prof.(a). Dr.(a). Elane Schwinden Prudêncio,
Orientador (UFSC)

Prof.(a). Dr.(a). José Carlos Cunha Petrus,
Membro (UFSC)

Prof.(a). Dr.(a). Renata Dias de Mello Castanho Amboni,
Membro (UFSC)

Prof.(a). Dr.(a). Carmen Olivera Müller,
Membro (UFSC)

*Dedico este trabalho à minha mãe
Suzana e minha madrinha Tereza por
acreditarem em mim.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela proteção em cada passo da minha vida.

À Universidade Federal de Santa Catarina e ao Programa de Pós-graduação em Ciência dos alimentos, pela oportunidade de realização do mestrado, e aos professores do programa pelo bom exemplo e conhecimento dados.

À minha orientadora Profa. Dr.^a Elane Schwinden Prudêncio pelo acolhimento no laboratório e pela oportunidade de ser orientada por ela. Muito obrigada pela dedicação, pelo incentivo, pelos ensinamentos e presença em todos os momentos deste trabalho.

À professora Prof.^a Dr.^a Renata Dias de Mello Castanho Amboni, pelas sugestões e colaboração durante o trabalho.

À Prof.^a Dr.^a Carmen Maria Olivera Müller, pela ajuda e ensinamentos na área de reologia dos alimentos.

A todos do Laboratório de Frutas e Hortaliças pelo carinho, por permitir o uso de alguns equipamentos e pela realização de algumas análises.

A todos do Laboratório de Propriedades físicas de alimentos pelo uso de alguns equipamentos.

A todas as meninas do Laboratório de Leite e Derivados pelo apoio, pela troca de conhecimentos, pelo suporte nos experimentos e pela companhia durante esse período. Em especial à Isabella pela amizade e grande ajuda durante todas as etapas do trabalho.

Aos professores, funcionários e colegas do Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos.

À banca, por aceitar o convite de participação e pelas considerações.

À CAPES e ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudos e pelo apoio financeiro.

A toda minha família, em especial à minha mãe e irmãs, pela compreensão, carinho, por estarem sempre ao meu lado em todos os momentos e me ensinarem valores importantes para a formação da minha personalidade e caráter. Ao meu namorado por me apoiar em todos os momentos.

Aos meus amigos, em especial à Patricia por estar sempre ao meu lado me apoiando e dividindo histórias.

A todos que contribuíram para a realização deste trabalho. Muito obrigada!

"Desistir? Eu já pensei seriamente nisso, mas nunca me levei realmente a sério. É que tem mais chão nos meus olhos do que cansaço nas minhas pernas, mais esperança nos meus passos do que tristeza nos meus ombros, mais estrada no meu coração do que medo na minha cabeça."

Cora Coralina

RESUMO

A utilização do soro de leite como um produto lácteo funcional pode oferecer benefícios à saúde dos seus consumidores, além de ser uma alternativa à utilização de um poluente ambiental. Desta forma, a crioconcentração foi utilizada para concentrar soro de leite a um fator igual a 4 no terceiro estágio de concentração. O soro concentrado do segundo estágio (SC 2) foi usado na elaboração de duas bebidas lácteas fermentadas, ambas produzidas com 70 mL 100 mL⁻¹ de leite, 30 mL 100 mL⁻¹ de SC 2 e co-culturas de *Lactobacillus acidophilus* LA-5, *Bifidobacterium* BB-12 e *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus*. A bebida 1 foi produzida sem adição de inulina enquanto a bebida 2 foi adicionada de 6 g de inulina por 100 mL de produto. No dia 1 e no 30 de armazenamento, ambas bebidas foram avaliadas em relação as suas propriedades físicoquímicas, índice de sinérese, parâmetros de cor e propriedades microbiológicas a $4,0 \pm 1,0$ °C enquanto suas propriedades reológicas foram avaliadas a $4,0 \pm 0,1$ °C e $6,0 \pm 0,1$ °C. A adição de inulina e o período de armazenamento influenciaram no teor de sólidos totais, índice de sinérese, parâmetro de cor a^* e viscosidade aparente. No entanto, a histerese foi maior na bebida adicionada de inulina, enquanto que um comportamento tixotrópico foi observado para ambas bebidas. Os modelos Lei da Potência e Casson foram aplicados com sucesso para descrever o comportamento reológico das bebidas. As bebidas 1 e 2 podem ser classificadas como um produto probiótico e um produto simbiótico, respectivamente. Os resultados obtidos neste estudo mostraram que o uso do soro crioconcentrado, das culturas probióticas e do prebiótico inulina na elaboração das bebidas lácteas fermentadas pode ser extremamente atrativo para indústria láctea.

Palavras-chave: Crioconcentração, soro concentrado, bebida láctea fermentada, propriedades reológicas, prebiótico, probiótico.

ABSTRACT

The use of cheese whey as a functional dairy product can offer the health benefits to its consumers, and also an alternative to utilize an environmental pollutant. Thus, the freeze concentration was used to concentrate cheese whey to factor equal to 4 at the third concentration stage. The concentrated whey from the second stage (CW 2) was used to manufacture two fermented lactic beverages, both consisting of 70 mL 100 mL⁻¹ milk and 30 mL 100 mL⁻¹ CW2 and co-cultures of *Lactobacillus acidophilus* LA-5, *Bifidobacterium* BB-12 and *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus*. Beverage 1 was produced without inulin whereas beverage 2 was added with 6 g of inulin per 100 mL of the product. On day 1 and on day 30 of storage, both beverages were evaluated in relation to their physicochemical properties, syneresis index, color parameters and microbiological properties at 4.0 ± 1.0 °C while their rheological properties were evaluated at 4.0 ± 0.1 °C and 6.0 ± 0.1 °C. Addition of inulin and storage time influenced on the total solids content, syneresis index, parameter a^* , and apparent viscosity values. However, hysteresis was greater in the beverage added with inulin whereas a thixotropic behavior was noted for both beverages. The Power Law and Casson models were successfully applied to describe the rheological behavior of the beverages. The beverages 1 and 2 can be classified as a probiotic product and a symbiotic product, respectively. The results obtained in the present study showed that the use of freeze concentrated whey, the probiotic cultures, and the prebiotic inulin in the preparation of fermented lactic beverages can be extremely attractive to the dairy industry.

Keywords: freeze concentration, concentrated whey, fermented lactic beverage, rheological properties, prebiotic, probiotic.

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1

- Figura 1** Estrutura química da inulina. 35
- Figura 2** Curva descrevendo os comportamentos de fluxo dos fluidos. 38

Capítulo 2

- Figura 1** Diagrama do processo de crioconcentração do soro de leite. 65
- Figura 2** Viscosidade aparente *versus* taxa de deformação nas temperaturas de (a) $4,0 \pm 0,1$ °C e (b) $6,0 \pm 0,1$ °C para a bebida láctea fermentada sem adição de inulina (bebida 1) (■) e para a bebida láctea fermentada com 6 g 100 mL⁻¹ de inulina (bebida 2) (●) no dia 1 de armazenamento. 79
- Figura 3** Curvas de fluxo, tensão de cisalhamento *versus* taxa de deformação, para a bebida láctea fermentada sem adição de inulina (bebida 1) nas temperaturas de $4,0 \pm 0,1$ °C (■) e $6,0 \pm 0,1$ °C (●) e para a bebida láctea fermentada com 6 g 100 mL⁻¹ de inulina (bebida 2) nas temperaturas de $4,0 \pm 0,1$ °C (▲) e $6,0 \pm 0,1$ °C (▼) (a) no dia 1 e (b) no dia 30 de armazenamento. 77

LISTA DE TABELAS

Capítulo 1

Tabela 1	Variação da composição do soro de queijo doce e ácido.	28
-----------------	--	----

Capítulo 2

Tabela 1	Teor de sólidos totais do soro de leite, soros concentrados (SC) e gelos (G) de cada estágio de crioconcentração e o fator de concentração (FC) e eficiência do processo (EP) em relação ao teor de sólido totais.	71
Tabela 2	Balanço de massa dos estágios de crioconcentração do soro de leite.	72
Tabela 3	Propriedades físico químicas e parâmetros de cor (L^* , a^* , b^* , ΔE^* , C^* , h^*) da bebida láctea fermentada sem adição de inulina (bebida 1) e bebida láctea fermentada adicionada de 6 g 100 mL ⁻¹ de inulina (bebida 2), no dia 1 e no dia 30 de armazenamento a $4,0 \pm 1,0$ °C.	74
Tabela 4	Parâmetros reológicos obtidos utilizando os modelos Lei da Potência $\sigma = K(\dot{\gamma})^n$, Casson $\sigma^{0.5} = \sigma_0^{0.5} + (\eta_c \dot{\gamma})^{0.5}$ viscosidade aparente e índice tixotrópico para a bebida láctea fermentada sem adição de inulina (bebida 1) e para a bebida láctea fermentada adicionada de 6 g 100 mL ⁻¹ de inulina (bebida 2), no dia 1 e no dia 30 de armazenamento a $4,0 \pm 0,1$ °C e $6,0 \pm 0,1$ °C.	81

Tabela 5	Propriedades microbiológicas da bebida láctea fermentada sem adição de inulina (bebida 1) e da bebida láctea fermentada adicionada de 6 g 100 mL ⁻¹ de inulina (bebida 2), no dia 1 e no dia 30 de armazenamento a 4,0 ± 1,0°C.	85
-----------------	--	----

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	21
CAPÍTULO 1 – Revisão Bibliográfica	25
1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	27
1.1 O soro de leite	27
1.2 Bebidas lácteas fermentadas	29
1.3 Probióticos	31
1.4 Prebióticos	32
1.5 Processo de crioconcentração	35
1.6 Análise reológica	37
REFERÊNCIAS	40
CAPÍTULO 2 – Potencial do uso do concentrado do soro de leite obtido do processo de crioconcentração na obtenção de bebida láctea fermentada funcional	57
Resumo	59
Abstract	60
1 INTRODUÇÃO	61
2 MATERIAL E MÉTODOS	63
2.1 Material	63
2.2 Obtenção do soro de leite	64
2.3 Protocolo do procedimento de crioconcentração	64
2.3.1 Balanço de massa	66
2.4 Elaboração das bebidas lácteas fermentadas	66
2.5 Análises físicas e químicas	66
2.6 Medidas reológicas	68
2.7 Análise microbiológica	68
2.8 Análise estatística	69
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	69
3.1 Crioconcentração do soro de leite	69
3.2 Propriedades físico químicas das bebidas lácteas fermentadas	73
3.3 Medidas reológicas	77
3.4 Análise microbiológica	85

4 CONCLUSÃO	86
REFERÊNCIAS	87
Anexos	97
Anexo A – Artigo “ Freeze concentration process potential of cheese whey and its application on functional fermented lactic beverage ” submetido à “ Journal of Food Engineering ”	99
Anexo B – Trabalho apresentado em evento	103

INTRODUÇÃO

O soro de leite, produto secundário da indústria láctea, é o líquido residual obtido a partir da coagulação do leite destinado à fabricação de queijos ou de caseína (SMITHERS, 2008; DRAGONE et al., 2009; CARVALHO; PRAZERES; RIVAS, 2013). A fabricação de queijo é um método de transformação de componentes do leite em um produto de fácil conservação, menor volume, alto valor nutritivo, sabor agradável e boa digestibilidade. Neste processo não há conversão de 100 % dos nutrientes presentes no leite para o produto queijo, pois de cada 10 litros de leite são obtidos em média de 1 a 2 kg de queijo, sendo o restante soro de leite (8 a 9 litros). Entretanto, o soro de leite é reconhecido por apresentar elevados teores de aminoácidos sulfurados presentes em suas proteínas, caracterizando-as como de alto valor biológico (SINHA et al., 2007). Ming (2000) afirma que os teores de aminoácidos essenciais do soro estão de acordo com as exigências da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO) e da Organização Mundial de Saúde (OMS).

O uso do soro em derivados ajudaria a indústria láctea a reduzir problemas relativos ao seu descarte (MINHALMA et al., 2007), já que o tratamento biológico do soro por processo aeróbico convencional apresenta elevado custo (OZMIHCI; KARGI, 2007). Athanasiadis et al. (2002) e Yadav et al. (2015) relatam que o não aproveitamento do soro de leite pode gerar o descarte deste no meio ambiente, causando sérios problemas de poluição, já que contém alto teor de matéria orgânica. De acordo com Magalhães et al. (2011) há uma preocupação recorrente em gerar aplicabilidade ao soro de leite em novos alimentos, visto que, cerca de 50 % do soro produzido no mundo não é aproveitado (BALDASSO; BARROS; TESSARO, 2011), gerando desperdício nutricional, financeiro e impactos ambientais relevantes.

Alternativas para a utilização deste produto secundário, visando o seu aproveitamento, têm gerado interesse tanto para o setor industrial, quanto para o científico. Em suma, pode-se inferir que o soro, antes de ser considerado apenas mais um componente dos efluentes das indústrias de laticínios, pode e deve ser aproveitado como complemento na alimentação humana (FOEGEDING et al., 2002). Desta forma, têm-se as tecnologias que visam agregar valor aos resíduos agroindustriais, como o soro de leite, que podem contribuir para reduzir seu volume e os custos de um descarte apropriado. A concentração do soro de leite é uma

alternativa para essa redução. Dentre os métodos tradicionalmente utilizados para concentração de soro de leite tem-se a evaporação, a microfiltração e a ultrafiltração. Entretanto, a evaporação possui efeitos negativos sobre a qualidade sensorial e nutricional dos produtos alimentares concentrados (LEWICKI, 2006), como por exemplo, a diminuição de importantes compostos aromáticos e voláteis, vitaminas solúveis em água e proteínas termo sensíveis, como as proteínas de soro de leite (FRYER; ROBBINS, 2005). Os processos de micro e ultrafiltração estão sujeitos ao entupimento da membrana. Este fenômeno é responsável pela diminuição da eficácia do processo de separação e requer paradas periódicas para a limpeza da membrana. Já a tecnologia de crioconcentração, que se baseia na separação das fases em um sólido e um líquido a baixas temperaturas, faz com que seja possível preservar o máximo de características dos alimentos líquidos (HINDMARSH; RUSSELL; CHEN, 2007). Isso porque as reações químicas e bioquímicas no alimento que são responsáveis pela sua deterioração, são mais demoradas à baixa temperatura.

Almeida, Bonassi e Roça (2000) afirmam que a conversão do soro em uma bebida fermentada seria uma das mais atrativas opções de aproveitamento do soro devido à simplicidade do processo. Já a utilização do concentrado do soro de leite na elaboração de uma bebida láctea fermentada seria uma forma racional de aproveitamento de um produto secundário com maior valor nutritivo, devido a concentração dos seus componentes.

Assim como o maior valor nutritivo do soro concentrado, a incorporação de um prebiótico, como a inulina, uma fibra solúvel, e de probiótico, que são microrganismos vivos, que quando ingeridos em dose suficiente acarretam uma série de benefícios à saúde dos consumidores deste tipo de produto, seriam altamente recomendados. Desta forma, este trabalho está apresentado em dois capítulos:

(a) Capítulo 1: Revisão bibliográfica abordando os principais temas envolvidos no trabalho, ou seja, soro de leite, bebidas lácteas fermentadas, probióticos, prebióticos, processo de crioconcentração e análise reológica.

(b) Capítulo 2: onde foi avaliado o efeito da crioconcentração do soro de leite e escolhido o soro concentrado do estágio de melhor desempenho. Após este processo, bebidas lácteas fermentadas foram elaboradas com co-culturas de *Lactobacillus acidophilus* LA-5, *Bifidobacterium* BB-12 e *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* e/ou adicionadas de inulina. Finalmente, estas bebidas lácteas fermentadas foram avaliadas quanto suas propriedades físicoquímicas,

índice de sinérese, parâmetros de cor e propriedades reológica e microbiológicas no dia 1 e no dia 30 de armazenamento refrigerado.

O artigo submetido em revista indexada (Anexo A) e o comprovante do trabalho publicado em evento científico da área de Ciência dos Alimentos (Anexo B) estão apresentados em anexo.

CAPÍTULO 1
Revisão bibliográfica

1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 O soro de leite

O soro de leite, também chamado de lactosoro, é um líquido amarelo-esverdeado, resultado da precipitação e/ou da remoção das caseínas do leite durante o processo de fabricação de queijos (BARBOSA et al., 2010; PRAZERES; CARVALHO; RIVAS, 2012). O soro representa 85 a 95 % do volume inicial de leite empregado na fabricação de um queijo e contém aproximadamente 55 % do total de nutrientes do leite (SISO, 1996), incluindo proteínas, 20 % da proteína total, a maior parte da lactose, minerais e vitaminas (GONZÁLEZ-MARTÍNEZ et al., 2002; BALDASSO; BARROS; TESSARO, 2011). Entretanto, o tipo e a composição do soro dependem principalmente das técnicas utilizadas para a separação das caseínas do leite. O tipo de soro encontrado com maior frequência é obtido pela coagulação da caseína por coalho (um complexo enzimático industrial de coagulação da caseína contendo quimosina ou outras enzimas coagulantes de caseína). A coagulação da caseína pelo coalho ocorre a um pH de 6,5, e por isso o soro produzido durante o tratamento enzimático é chamado de soro doce. Já o soro ácido (pH inferior a 5) é gerado quando a coagulação da caseína é conseguida através da adição de ácidos minerais ou orgânicos (YADAV et al., 2015). A Tabela 1 apresenta a composição dos soros ácido e doce, no entanto, as suas composições variam com a qualidade do leite, (GHALY; KAMAL, 2004), o tratamento térmico, o manuseio, e o tipo de leite utilizado na fabricação do queijo (vaca, cabra, búfala entre outros mamíferos) (CARVALHO; PRAZERES; RIVAS, 2013).

A fração de proteínas do soro contém aproximadamente 50 % de β -lactoglobulina, 25 % de α -lactoalbumina e 25 % de outras frações proteicas incluindo imunoglobulinas. O soro também é rico em vitaminas hidrossolúveis, que passam do leite para o soro, como tiamina, riboflavina, ácido pantotênico, vitamina B6 e B12 e sais minerais, como cálcio, magnésio, zinco, potássio e fósforo (VENTURINI FILHO, 2010). Além disso, o soro de leite é reconhecido pelas suas propriedades nutricionais e funcionais, não somente pelo alto valor biológico de suas proteínas, mas também pelo teor de aminoácidos sulfurados presentes nas proteínas do soro (SINHA et al., 2007). Os aminoácidos essenciais respondem por aproximadamente 60 % do teor proteico total do soro, representados pela leucina e lisina, além de constituir uma boa fonte de aminoácidos sulfurados como cisteína e metionina (BURRINGTON, 2000).

Tabela 1: Variação da composição do soro de queijo doce e ácido.

Componentes	Soro doce (g L⁻¹)	Soro ácido (g L⁻¹)
Sólidos totais	63-70	63-70
Lactose	46-52	44-46
Proteína	6-10	6-8
Cálcio	0,4-0,6	1,2-1,6
Fosfato	1,0-3,0	2,0-4,5
Lactato	2,0	6,4
Cloreto	1,1	1,1

Fonte: Jelen (2003) *apud* Panesar et al. (2007).

A produção mundial de soro de leite é estimada na ordem de 180 a 190 milhões de toneladas ao ano (BALDASSO; BARROS; TESSARO, 2011), sendo que no ano de 2011 o Brasil produziu cerca de 461 milhões de litros (IBGE, 2011). O soro de leite, quando considerado resíduo líquido industrial e despejado junto aos demais resíduos das indústrias de laticínios, o soro de leite, pode significar duplicação do sistema de tratamento, pois possui elevada demanda bioquímica de oxigênio (DBO) (GIROTO; PAWLOWSKY, 2001), entre 27 a 60 g L⁻¹ (CARVALHO; PRAZERES; RIVAS, 2013), afetando a estrutura física e química do solo, resultando em uma diminuição na produtividade da cultura e, quando lançado em rios e lagos, reduz a vida aquática, esgotando o oxigênio dissolvido (GIROTO; PAWLOWSKY, 2001). Logo, o soro necessita de uma solução eficaz de descarte (PANESAR et al., 2007), no entanto, o tratamento de efluentes possui alto custo. Assim uma alternativa é reaproveitar esse produto secundário, que tem alto valor nutricional e alegações funcionais (OLIVEIRA et al., 2006; MOREIRA et al., 2010).

Os produtos do soro podem proporcionar emulsificação, retenção e incorporação de água ou gordura, gelificação, coagulação pelo calor, modificação de textura, realce de sabor e aeração, dependendo do produto e do objetivo para o qual é utilizado. O soro tem se mostrado flexível e adaptável, o que justifica um grande aumento na sua utilização em muitos produtos processados (VENTURINI FILHO, 2010).

Ingredientes lácteos à base de soro podem substituir com eficiência e baixo custo, os sólidos do leite e dar origem a novas fórmulas para produção de diversos alimentos (ZAVAREZE; MORAES; SALAS-MELLADO, 2010). A bebida láctea é um produto que pode reaproveitar o soro de leite em sua formulação (MEENA et al., 2012).

1.2 Bebidas lácteas fermentadas

Os leites fermentados são definidos como preparados lácteos que passam pelo processo de fermentação, ocorrendo modificações em suas propriedades físicas, químicas e sensoriais (TSUCHIYA et al., 2006). Alguns exemplos de leites fermentados são os iogurtes e as bebidas lácteas fermentadas. As bebidas lácteas vêm se destacando como substitutos do iogurte, por apresentarem características sensoriais e físico-químicas semelhantes e também por serem comercializadas por um preço menor do que os iogurtes (LERAYER et al., 2002; CUNHA et al., 2008). Este destaque das bebidas lácteas no mercado global de lácteos também se dá devido ao uso de tecnologias simples para sua produção e também porque são amplamente aceitas por consumidores de diferentes faixas etárias (KRESIC et al., 2010). Segundo Santos et al. (2008), o notável aumento no consumo de bebidas fermentadas verificado nos últimos anos acarreta na utilização racional de soro na elaboração desses produtos. Mesmo assim, apenas 15 % do total de soro produzido é utilizado para este fim (CAPITANI et al., 2005).

Segundo o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade, a bebida láctea é definida como o produto lácteo resultante da mistura do leite (in natura, pasteurizado, esterilizado, UHT, reconstituído, concentrado, em pó, integral, semidesnatado ou parcialmente desnatado e soro de leite (líquido, concentrado ou em pó) adicionado ou não de produtos ou substâncias alimentícias, gordura vegetal, leites fermentados, fermentos lácteos selecionados e outros produtos lácteos. A base láctea representa pelo menos 51 % do total de ingredientes do produto (BRASIL, 2005).

A tecnologia de fabricação de bebidas lácteas, segundo Sivieri e Oliveira (2002), baseia-se na mistura de leite ou iogurte e soro em

proporções adequadas, seguida de adição de cultura láctica e de outros ingredientes como aromatizantes, corantes, edulcorantes, polpa de frutas e outros, de acordo com a formulação (SIVIERI; OLIVEIRA, 2002; GALLARDO-ESCAMILLA; KELLY; DELAHUNTY, 2007). Além disso, a concentração de ácido láctico, acetaldeído e diacetil, compostos associados ao sabor e aroma característicos das bebidas lácteas fermentadas, é igual ou mais alta em amostras de bebida láctea no qual se utilizou soro concentrado para substituir parcialmente os sólidos de leite desnatado (HUGUNIM, 1999).

Em contraste com os compostos biologicamente ativos que o leite possui, os efeitos promotores da saúde dos produtos lácteos fermentados podem ser relacionados com a atividade biológica das bactérias empregadas na produção desses alimentos e os metabólitos gerados durante o processo de fermentação (GALLINA et al., 2011). O uso de probióticos, associados ou não às bactérias tradicionais geralmente melhoram as características do produto tradicional como a redução da pós-acidificação, fato evidenciado pela ação de *Lactobacillus acidophilus* e *Bifidobacterium* ssp. (ANTUNES, 2001). Segundo Shori (2016), o uso de soro e culturas probióticas na preparação de bebidas lácteas tem se tornado extremamente atrativo para a indústria de biotecnologia.

As bactérias ácido-láticas frequentemente utilizadas como culturas iniciadoras para produção de bebidas lácteas pertencem aos gêneros *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Streptococcus*, *Leuconostoc*, *Bifidobacterium*, *Propionibacterium* (SABOYA; OETTERER; OLIVEIRA, 1997). Essas bactérias promovem redução de pH dos produtos, impedindo o crescimento de microrganismos indesejáveis, aumentando a vida útil destes. Alimentos fermentados por essas bactérias produzem β -D-galactosidase e apresentam maiores valores nutricionais pela digestão parcial de proteínas, lipídios e carboidratos (DEMIATE; OETTERER; WOSIACKI, 1994).

A elaboração de bebidas lácticas fermentadas adicionadas de microrganismos probióticos foi estudado por Cunha et al. (2008), que compararam características físico-químicas, microbiológicas e reológicas de bebida láctea elaborada com 30 % de soro de leite com leite fermentado elaborado com 100 % de leite, utilizando os microrganismos probióticos *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus*, *Lactobacillus acidophilus* LA-5 e *Bifidobacterium* BB-12. Cunha et al. (2009), também avaliaram as propriedades de bebidas lácteas fermentadas produzidas com 30, 40 e 50 % de soro de leite adicionadas dos mesmos microrganismos. Outros pioneiros no mesmo seguimento de pesquisa foram Castro et al. (2009), que estudaram os efeitos de diferentes teores de soro de leite e

concentração do prebiótico oligofrutose em bebidas lácteas fermentadas adicionadas de *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus*, *Lactobacillus acidophilus* LA-5 e *Bifidobacterium* BB-12.

1.3 Probióticos

No grupo dos alimentos com alegação de propriedades funcionais à saúde destacam-se aqueles que contêm microrganismos probióticos (LOURENS-HATTINGH; VILJOEN, 2001; KRISTO; BILIADERIS; TZANETAKIS, 2003).

A primeira experiência com o uso de microrganismos em alimentos foi realizada por Metchnikoff, em 1907, quando relatou que o consumo regular de leite fermentado contendo *Lactobacillus acidophilus* poderia trazer benefícios à saúde (FIORAMONTI; THEODOROU; BUENO, 2003). Define-se probióticos como microrganismos vivos que quando administrados em quantidade adequada conferem benefícios aos seus consumidores (FAO/WHO, 2006), sendo capazes de melhorar o equilíbrio da microbiota intestinal (SANDERS, 2003). Os microrganismos probióticos devem pertencer à microbiota intestinal humana, sobreviver às condições de baixo pH, resistir à bile e aderir ao tecido epitelial alvo (O'SULLIVAN, 2001; LIN et al., 2006). Espera-se, também, que o microrganismo produza substâncias antimicrobianas (bacteriocinas), apresente antagonismo em relação as bactérias patogênicas, seja seguro para o consumo humano e proporcione benefícios à saúde cientificamente comprovados (DUNNE et al., 2001; MATTILA-SANDHOLM et al., 2002).

Do ponto de vista tecnológico, é fundamental que um microrganismo probiótico possibilite a sua produção em grande escala (TRIPATHI; GIRI, 2014); resista ao processamento (FERREIRA; TESHIMA, 2000); mantenha a acidez estável; apresente sabores e aromas adequados, bem como textura agradável, após a fermentação; além de manter uma determinada contagem de células viáveis durante toda a vida útil do produto (PUUPPONEN-PIMIÄ et al., 2002; FARIA; BENEDET; GUERROUE, 2006). Para desempenhar efeito no organismo, a ingestão diária mínima recomendada de bactérias probióticas deve estar situada entre 8 e 9 log de Unidades Formadoras de Colônia (UFC) por 100 g de produto (BOYLSTON et al., 2004). Segundo Ranadheera et al. (2010), o teor de gordura, de proteínas, açúcares e o pH do produto são alguns dos fatores que podem afetar a sobrevivência de probióticos nos alimentos. Com isso, os produtos lácteos são considerados, dentre outros alimentos, os suportes adequados para que as bactérias probióticas alcancem o trato

gastrointestinal humano (RANADHEERA et al., 2010).

Em produtos alimentícios, os microrganismos probióticos mais empregados são pertencentes aos gêneros *Lactobacillus* e *Bifidobacterium* (LOURENS-HATTINGH; VILJOEN, 2001; FIORAMONTI; THEODOROU; BUENO, 2003; MOHAMMADI et al., 2011). Estes gêneros têm sido isolados de todas as porções do trato gastrointestinal de humanos saudáveis, sendo que o local de preferência para colonização intestinal dos lactobacilos e bifidobactérias são, respectivamente, o íleo terminal e o cólon (BIELECKA; BIEDRZYCKA; MAJKOWSKA, 2002). Estes microrganismos apresentam características em comum como, por exemplo, serem seguros ou Generally Regarded As Safe (GRAS) (DUNNE et al., 2001).

Devido à limitada atividade proteolítica de bactérias probióticas sobre a caseína do leite, recomenda-se a utilização de fontes adicionais de nutrientes para a fermentação ou mesmo de outras culturas fermentativas (culturas iniciadoras), como as utilizadas na fabricação de iogurtes, o que também contribui para a redução do tempo de fermentação (GRANATO et al., 2010; ZARE et al., 2012). O *Lactobacillus bulgaricus*, comumente empregado na produção de leites fermentados, entretanto, interfere na viabilidade de bactérias probióticas por promover a pós-acidificação do produto durante o armazenamento refrigerado devido a produção de ácido láctico, podendo dessa forma afetar a viabilidade das bactérias probióticas. A fim de solucionar esse problema a tendência é utilizar fermentos conhecidos como ABT, que contêm *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus acidophilus* e *Bifidobacterium* sp. (OLIVEIRA et al., 2001; VINDEROLA et al., 2002). Por outro lado, Ziemer e Gibson (1998) citam que assim como os probióticos, a adição de prebióticos, em determinados teores em alimentos, resultaria também em produtos com alegações funcionais.

1.4 Prebióticos

O prebiótico é classificado como um ingrediente alimentar que permite mudanças específicas na composição e/ou atividade da microbiota intestinal, conferindo benefícios à saúde do hospedeiro (GIBSON et al., 2004). Segundo Saad (2006), os prebióticos são componentes alimentares não digeríveis que afetam benéficamente o hospedeiro, por estimularem seletivamente a proliferação ou atividade de populações de bactérias desejáveis no cólon. Também pode garantir um benefício adicional ao hospedeiro, como inibir a multiplicação de patógenos. Os prebióticos resistem à digestão na porção superior do trato

intestinal, apresentando pouco impacto no intestino delgado, chegando ao intestino grosso praticamente intacto (GILLILAND, 2001), onde são metabolizados por bactérias como lactobacilos e bifidobactérias, podendo então ser classificados como fibras alimentares solúveis (ROBERFROID, 1993; VALERO-CASES; FRUTOS, 2015). Além disso, a combinação de prebióticos com microrganismos probióticos é conhecida como simbiótico e é usado em produtos alimentares para tirar proveito de seus efeitos sinérgicos (AL-SHERAJI et al., 2013). A estimulação seletiva da multiplicação de bactérias benéficas no cólon (KLAENHAMMER, 2001); a capacidade de alterar a microbiota intestinal, aumentando o número de espécies sacarolíticas e reduzindo microrganismos putrefativos (KOLIDA; TOOHY; GIBSON, 2002) e ser substrato seletivo para um número limitado de microrganismos habitantes do cólon, são também propriedades benéficas dos prebióticos. (ROBERFROID, 2002).

Como exemplos de prebióticos têm-se os oligossacarídeos como a lactulose, lactitol, lactosacarose, rafinose, frutooligossacarídeos (FOS) (oligofrutose), e polissacarídeos como a inulina (CONWAY, 2001). A inulina e oligofrutose são pertencentes ao grupo dos de frutanos (oligossacarídeos ou polissacarídeos de frutose presentes em alguns vegetais) e servem como carboidrato reserva das plantas. Estes prebióticos são encontrados em muitos produtos vegetais, como no grupo Liliaceae (alho, cebola, aspargos, alho-poró) e Compositae (chicória, alcachofra de Jerusalém e na batata yacon). Entre os quais, as raízes de chicória são consideradas mais adequadas para aplicações industriais (VAN LOO et al., 1995; FLAMM et al., 2001).

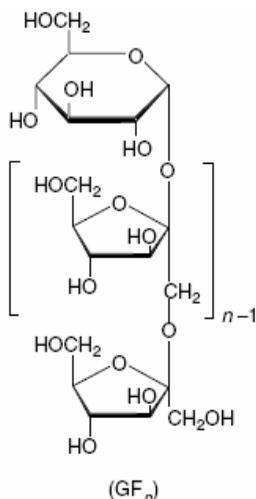
A inulina nativa (Figura 1) é formada por cadeias lineares de unidades de frutose, ligadas por ligações β -(2,1), que normalmente incluem uma molécula de glicose no final da cadeia, unida por uma ligação do tipo α -(1,2) (ROBERFROID, 2002; FRANCK, 2002; MOERMAN; VAN LEEUWEN; DELCOUR, 2004). O comprimento da cadeia, definido pelo número de unidades de monossacarídeos, também denominado de grau de polimerização (DP), é o que diferencia a inulina (DP 10-60), polissacarídeo de cadeia longa, da oligofrutose (DP < 10), oligossacarídeo de cadeia curta (BIEDRZYCKA; BIELECKA, 2004; SAAD, 2006). Aplicando métodos físicos (ultrafiltração, cristalização, entre outros), pode-se obter inulina com um grau de polimerização médio variando entre 22 e 25 (FRANCK, 2002; MOERMAN; VAN LEEUWEN; DELCOUR, 2004).

Um consumo mínimo de 5 g por dia de inulina é considerado suficiente para aumentar a proporção de bifidobactéria na microbiota intestinal, embora a maioria dos estudos realizados in vivo

complementaram a dieta com quantidades maiores (ROBERFROID; SLAVIN, 2000). Segundo Holzapfel e Schillinger (2002), o consumo de inulina em doses diárias superiores às recomendadas, mostraram que não foram detectadas evidências de toxicidade, porém, assim como no caso de outros tipos de fibra, o seu consumo excessivo pode resultar em diarreia, flatulência, cólica e inchaço (ROBERFROID, 2005; STEWART; TIMM; SLAVIN, 2008).

A inulina é amplamente aplicada na indústria de alimentos e tem sido usada como um edulcorante (baixo teor calórico), para formar géis, para aumentar a viscosidade, para melhorar as propriedades organolépticas e como uma fibra não digerível (MENSINK et al., 2015). Para uso tecnológico a inulina possui também interessantes propriedades como um substituto de gordura, mas suas propriedades estão relacionadas ao seu grau de polimerização (DP). Quando a cadeia é longa (DP entre 23 e 25 unidades), o prebiótico é termicamente mais estável do que os de cadeia curta (DP média de 11 unidades) (WADA et al., 2005). A utilização de inulina de cadeia longa como um substituto de gordura é relacionada com a sua capacidade em formar microcristais, quando misturados à água ou ao leite, que interagem uns com os outros formando pequenos agregados. Estes agregados englobam uma grande quantidade de água, criando assim uma textura suave e cremosa, mantendo a mesma sensação que a gordura promove nos alimentos (KAUR; GUPTA, 2002; MONTAN, 2003; BOT et al., 2004).

Figura 1: Estrutura química da inulina.



Fonte: Franck (2006).

Alguns autores analisaram o efeito de diferentes concentrações de inulina nas características reológicas e sensoriais de vários produtos lácteos tais como iogurtes (KIP; MEYER; JELLEMA, 2006; GUGGISBERG et al., 2009; CRISPÍN-ISIDRO et al., 2015), bebidas lácteas (DEBON et al., 2012; VILLEGAS et al., 2010; SILVEIRA et al., 2015) ou sobremesas lácteas (CARDARELLI et al., 2008; GONZÁLEZ-TOMÁS; BAYARRI; COSTELL, 2009; TORRES; TÁRREGA; COSTELL, 2010). A adição de inulina em concentrações inferiores a 5 g 100 g⁻¹ de produtos lácteos líquidos e semi-sólidos não modificam suas características de textura, no entanto, para servir como substituto de gordura, é necessária uma concentração maior.

1.5 Processo de crioconcentração

O processo de crioconcentração tem como objetivo promover a concentração de produtos alimentares líquidos, pelo congelamento e subsequente separação de uma parte da água congelada a partir de um produto líquido (BELÉN et al., 2012). Esta tecnologia preserva as propriedades sensoriais e os componentes termicamente sensíveis dos alimentos, pelo uso de baixas temperaturas. Desta forma, pode ser uma

alternativa atraente às técnicas de concentração convencionais utilizadas no processamento de alimentos (SÁNCHEZ et al., 2011a,b).

A crioc concentração possui algumas vantagens para ser realizada com alimentos, como a baixa deterioração química pela diminuição da atividade enzimática e microbiológica e quase nenhuma perda de componentes voláteis (YEE et al., 2003). Esta tecnologia assegura maior qualidade do produto concentrado (AIDER; HALLEUX, 2009), proporcionando a remoção de água mais seletiva do que a evaporação ou micro/ultrafiltração (YEE; WILEY; BAO, 2007) e possui custos menores do que a evaporação (SÁNCHEZ et al., 2011a).

Segundo Hartel e Chung (1993), quando a água é cristalizada a partir de soluções aquosas, o gelo que se forma pode ser de elevada pureza devido à natureza seletiva de cristalização acima do ponto eutético da solução. Quando este gelo puro é removido, um produto concentrado permanece com todas as características da solução original. Em um processo típico de concentração por congelamento, a nucleação de cristais de gelo é seguida por um processo de crescimento para produzir cristais de tamanho suficiente que permitam uma separação eficiente de cristais de gelo (HARTEL; CHUNG, 1993). O crescimento de cristais é simplesmente o alargamento dos núcleos formados na fase de nucleação, promovido pela adição de moléculas de água ao núcleo de cristalização. A formação de cristais pode ocorrer de diferentes formas, dependendo do meio. Na presença de solutos em solução, as moléculas de água cristalizam junto ao sólido, levando à formação de cristais irregulares, nos quais várias colunas são formadas a partir do centro de cristalização (COLLA; PRENTICE-HERNANDEZ, 2003).

Existem diferentes métodos para a aplicação da tecnologia de crioc concentração, porém os mecanismos básicos para a formação de cristais de gelo na solução de alimentação são a crioc concentração em suspensão, crioc concentração em camada e crioc concentração em blocos. O processo de crioc concentração em suspensão é o mais complexo, pois utiliza trocadores de calor de superfície raspada para nucleação do gelo, recristalizadores para aumentar o crescimento dos cristais de gelo e colunas de lavagem pressurizada para separar o gelo do líquido concentrado. Na crioc concentração em camada ocorre a formação de um único cristal de gelo sob uma superfície fria, a qual fica em contato direto com a solução a ser concentrada. (AIDER; HALLEUX, 2009; GULFO et al., 2013). A crioc concentração realizada em blocos é recente, e consiste no congelamento total de uma solução com descongelamento gravitacional parcial do bloco formado (AIDER; HALLEUX, 2009; NAKAGAWA et al., 2010; MORENO et al., 2013; PETZOLD et al.,

2015). Esse método permite a obtenção de duas frações, a fração concentrada e a fração de gelo contendo o mínimo de sólidos totais. A eficiência desse processo é dependente da taxa de impurezas no gelo (AIDER; HALLEUX; AKBACHE, 2007). Além disso, o processo pode ser repetido em ciclos sucessivos para aumentar a eficiência da concentração (AIDER; OUNIS, 2012). Neste método o controle da temperatura de descongelamento é importante, pois possibilita que a quantidade de sólidos retidos no gelo seja minimizada (AIDER; HALLEUX, 2009).

Um parâmetro importante que influencia na eficiência de separação na crioc concentração, é a densidade de empacotamento dos cristais no bloco de gelo formado. Quanto maior a densidade de empacotamento, melhor é a separação do concentrado (BURDO; KOVALENKO; KHARENKO, 2007).

Na indústria alimentícia, a crioc concentração já foi utilizada para concentração de extrato de café (MORENO et al., 2014), sucos de frutas (AIDER; HALLEUX, 2009; SÁNCHEZ et al., 2010; AULEDA, RAVENTÓS; HERNÁNDEZ, 2011; PETZOLD et al., 2015), açúcares (RAVENTÓS et al., 2007; PETZOLD; NIRANJAN; AGUILERA, 2013), mosto (HERNÁNDEZ et al., 2010), compostos bioativos (BOAVENTURA et al., 2013), soro de tofu (BELÉN et al., 2013; BENEDETTI et al., 2015) e soro de leite (AIDER; HALLEUX; AKBACHE, 2007; AIDER; HALLEUX; MELNIKOVA, 2009; SÁNCHEZ et al., 2011c).

1.6 Análise reológica

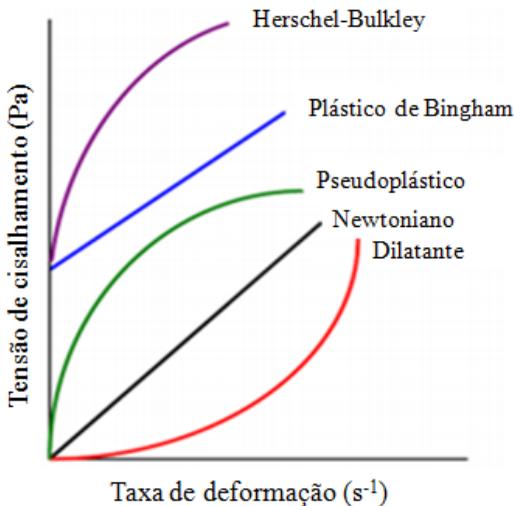
A reologia é definida como a ciência que estuda as propriedades mecânicas da matéria, como a deformação e o escoamento, quando esta é submetida às forças externas, denominadas tensão ou deformação (TABILO-MUNIZAGA; BARBOSA-CÁNOVAS, 2005). Descreve o comportamento de fluxo dos alimentos, sendo que o principal interesse está relacionado aos materiais com propriedades intermediárias entre sólidos e líquidos (SCHRAMM, 2006).

A reologia possui muitas aplicações na área de aceitabilidade e processamento de alimentos. No entanto, alimentos são materiais complexos estruturalmente e reologicamente e, em muitos casos, consistem de misturas de sólidos, assim como componentes estruturais fluidos (TABILO-MUNIZAGA; BARBOSA-CÁNOVAS, 2005). O conhecimento do comportamento reológico de alimentos, como produtos lácteos fermentados, é de grande importância na caracterização do

produto quanto à funcionalidade, no controle da qualidade e da vida útil do produto e na projeção de equipamentos (cálculo de vazão, seleção de bombas, determinação da perda de carga em tubulações, entre outros) (AICHINGER et al., 2003; MASSON et al., 2011).

Um fluido é caracterizado por apresentar capacidade de deformação contínua quando submetido à ação de uma força tangencial, denominada tensão de cisalhamento (CAMPOS, 1989; STREETER, 1996). A propriedade do fluido que tem a maior influência nas características de escoamento é a viscosidade, a qual descreve a magnitude da resistência ao escoamento devido a forças de cisalhamento (BHATTACHARYA, 1997). A viscosidade é dada pela relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação, o que caracteriza o comportamento de fluxo de alimentos fluidos, classificando-os em Newtonianos e não-Newtonianos (Figura 2) (STOKES; TELFORD, 2004; TABILO-MUNIZAGA; BARBOSA-CÁNOVAS, 2005; SCHRAMM, 2006).

Figura 2: Curva descrevendo os comportamentos de fluxo dos fluidos.



Fonte: Campos, (1989).

Um fluido é chamado de Newtoniano quando apresenta uma relação linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação, independente do tipo de escoamento, dependendo apenas da temperatura e da composição do fluido (SILVA, 2000). Exemplos de fluidos

Newtonianos incluem água, soluções de sacarose, a maioria das bebidas carbonatadas, óleos comestíveis, vinho, sucos de frutas filtrados e leite (SHARMA; MULVANEY; RIZVI, 2000). No entanto, em um fluido não-Newtoniano, a relação entre a taxa de deformação e tensão de cisalhamento não é constante e depende ainda do tempo de observação ou das forças de recuperação elástica, o que caracteriza a maioria dos alimentos líquidos. Estes podem ser dependentes ou independentes do tempo (SCHRAMM, 2006). Entretanto, a maioria dos alimentos fluidos são não-Newtonianos (ABU-JDAYIL, 2003; TABILO-MUNIZAGA; BARBOSA-CÁNOVAS, 2005; SCHRAMM, 2006).

Os fluidos não-Newtonianos ainda podem ser classificados em independentes ou dependentes do tempo e viscoelásticos. Os independentes do tempo dividem-se em pseudoplásticos (*shear thinning*), nos quais a viscosidade aparente do fluido diminui ao aumentar a taxa de deformação e em dilatantes (*shear thickening*), quando a viscosidade aparente aumenta com o aumento da taxa de deformação (TABILO-MUNIZAGA; BARBOSA-CÁNOVAS, 2005). Os fluidos não-Newtonianos independentes do tempo também podem ser classificados como o plástico de Bingham, que necessita de uma tensão de cisalhamento inicial para escoar, chamada limite de escoamento e, depois de atingida essa tensão, comporta-se como Newtoniano (MACHADO, 2002).

O comportamento de fluidos não-Newtonianos tem sido descrito por modelos como o da Lei da Potência, representado na Equação 1, onde σ é a tensão de cisalhamento (Pa), K é o índice de consistência (Pa.sn), $\dot{\gamma}$ é a taxa de deformação (s^{-1}) e n é o índice de comportamento de fluxo. O índice de comportamento de fluxo reflete a proximidade do fluido ao comportamento newtoniano. Neste modelo, quando $n < 1$, o fluido é chamado de shear thinning; quando $n > 1$ o fluido é de natureza dilatante (PIAU; DEBIANE, 2005; MULLINEUX; SIMMONS, 2007).

$$\sigma = K(\dot{\gamma})^n \quad (1)$$

Na reologia de produtos lácteos, o modelo da Lei da Potência é frequentemente aplicado para descrever as propriedades de fluxo de iogurtes (ABU-JDAYIL; MOHAMEED, 2002), iogurtes elaborados a partir de leite e soro concentrados por ultrafiltração (MAGENIS et al., 2006), leites fermentados elaborados a partir de leite concentrado por microfiltração (DEBON; PRUDÊNCIO; PETRUS, 2010) e bebidas lácteas fermentadas (PENNA; SIVIERI; OLIVEIRA, 2001; CUNHA et

al., 2008; CASTRO et al., 2009; CUNHA et al., 2009; GOMES; PENNA, 2009).

Na literatura existem muitos modelos reológicos propostos, porém a escolha do modelo a ser utilizado é uma função das características do fluido (RAO; ANANTHESWARAM, 1982). O modelo de Casson, apresentado na Equação 2, foi desenvolvido por Casson (1959) inicialmente para aplicação em tintas de impressão, entretanto, foi considerado eficaz para análise de alguns alimentos (BOURNE, 2002), bem como, chocolates (STEFFE, 1996), frozen iogurte (REZAEI et al., 2011; PINTO et al., 2012) e iogurte (MULLINEUX; SIMMONS, 2008).

$$\sigma^{0.5} = \sigma_0^{0.5} + (\eta_c \dot{\gamma})^{0.5} \quad (2)$$

onde σ é a tensão de cisalhamento (Pa), σ_0 é o limite de escoamento (Pa), η_c é a viscosidade de Casson (Pa.s) e $\dot{\gamma}$ é a taxa de deformação (s^{-1}).

Os fluidos podem passar por processos ascendentes e descendentes de tensão de cisalhamento, com o intuito de obter o grau de tixotropia, o qual é definido como uma diminuição contínua da viscosidade aparente com o tempo, a uma determinada tensão, e a uma recuperação da viscosidade, quando se interrompe o fluxo (KOKSOY; KILIC, 2004; SCHRAMM, 2006). Segundo Vidal (2000) os modelos reológicos são úteis para relacionar propriedades reológicas de um fluido com grandezas práticas, como temperatura, pH, entre outros. As medidas reológicas em produtos lácteos fermentados são afetadas pelos tratamentos térmicos (SHAKER; JUMAH; ABU-JDAYIL, 2000; ABU-JDAYIL, 2003), pela composição do leite utilizado, pela temperatura de fermentação (KRISTO; BILIADERIS; TZANETAKIS, 2003), tipo de cultura láctea utilizada, tempo de armazenamento, entre outros (SODINI et al., 2005; CHAMMAS et al., 2006).

REFERÊNCIAS

ABU-JDAYIL, B. Modelling the time-dependent rheological behavior of semisolid foodstuffs. **Journal of Food Engineering**, v. 57, p. 97-102, 2003.

ABU-JDAYIL, B.; MOHAMEED, H. Experimental and modelling studies of the flow properties of concentrated yogurt as affected by the storage time. **Journal of Food Engineering**, v. 52, p. 359-365, 2002.

AICHINGER, P. A. et al. Fermentation of a skim milk concentrate with *Streptococcus thermophilus* and chymosin: structure, viscoelasticity and syneresis of gels. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 3, p. 243-255, 2003.

AIDER, M.; OUNIS, W.B. Skim milk cryoconcentration as affected by the thawing mode: gravitational vs. microwave-assisted. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 47, p. 195-202, 2012.

AIDER, M.; HALLEUX, D.; MELNIKOVA, I. Skim acidic milk whey ocryoconcentration and assessment of its functional properties: Impact of processing conditions. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 10, p. 334-341, 2009.

AIDER, M.; HALLEUX, D. Cryoconcentration technology in the bio-food industry: Principles and applications. **LWT- Food Science and Technology**, v. 42, p. 679-685, 2009.

AIDER, M.; HALLEUX, D.; AKBACHE, A. Whey cryoconcentration and impact on its composition. **Journal of Food Engineering**, v. 82, p. 92-102, 2007.

AL-SHERAJI, S. H. et al. Prebiotics as functional foods: a review. **Journal of Functional Foods**, v. 5, p. 1542-1553, 2013.

ALMEIDA, K. E. de; BONASSI, I. A.; ROÇA, R. de O. Avaliação sensorial de bebida láctea preparada com diferentes teores de soro, utilizando-se dois tipos de cultura láctica. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 55, p. 7-13, 2000.

ANTUNES, L. A. F. Microrganismos probióticos e alimentos funcionais. **Revista Indústria de Laticínios**, v. 6, p. 30-34, 2001.

ATHANASIADIS, I. et al. Whey liquid waste of the dairy industry as raw material for potable alcohol production by kefir granules. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, p. 7231-7234, 2002.

AULEDA, J.M.; RAVENTÓS, M.; HERNÁNDEZ, E. Calculation method for designing a multi-plate freeze-concentrator for concentration of fruit juices. **Journal of Food Engineering**, v. 107, p. 27-35, 2011.

BALDASSO, C.; BARROS, T. C.; TESSARO, I. C. Concentration and purification of whey proteins by ultrafiltration. **Desalination**, v. 278, p. 381-386, 2011.

BARBOSA, A. S. et al. Utilização do soro como substrato para produção de aguardente: estudo cinético da produção de etanol. **Revista Verde**, v.5, p. 07-25, 2010.

BELÉN, F. et al. Behavior of functional compounds during freeze concentration of tofu whey. **Journal of Food Engineering**, v. 116, p. 681-688, 2013.

BELÉN, F. et al. One option for the management of wastewater from tofu production: Freeze concentration in a falling-film system. **Journal of Food Engineering**, v. 110, p. 364-373, 2012.

BENEDETTI, S. et al. Antioxidant properties of tofu whey concentrate by freeze concentration and nanofiltration processes. **Journal of Food Engineering**, v. 160, p. 49-55, 2015.

BHATTACHARYA, S. N. **Rheology: Fundamentals and Measurements**. Australia: Royal Melbourne Institute of Technology, 1997.

BIEDRZYCKA, E.; BIELECKA, M. Prebiotic effectiveness of fructans of different degrees of polymerization. **Food Science Technology**, v. 15, p. 170-175, 2004.

BIELECKA, M.; BIEDRZYCKA, E.; MAJKOWSKA, A. Selection of probiotics and prebiotics for synbiotics and confirmation of their in vivo effectiveness. **Food Research International**, v.35, n.2/3, p.125-131, 2002.

BOAVENTURA, B.C.B. et al. Enhancement of bioactive compounds content and antioxidant activity of aqueous extract of mate (*Ilex paraguariensis* A. St. Hil.) through freeze concentration technology. **Food Research International**, v. 53, 686-692, 2013.

BOT, A., et al. Influence of crystallization conditions on the large deformation rheology of inulin gels. **Food Hydrocolloids**, v. 18, p. 547–556, 2004.

BOURNE, M.C. **Food texture and viscosity: concept and measurement**. 2. ed. San Diego: Academic Press, 2002. 427 p.

BOYLSTON, T. D. et al. Incorporation of bifidobacteria into cheeses: challenges and rewards. **International Dairy Journal**, v. 14, p. 375-387, 2004.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 16, de 23 de agosto de 2005. Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Bebida Láctea. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 24 agosto 2005, sec. 1, p. 7. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br>. Acesso em: 25 de setembro de 2014.

BURDO, O. G.; KOVALENKO, E. A.; KHARENKO, D. A. Development of freeze concentration device. **Communication of the Odessa State Academy of Food Technologies**, Odessa, Ukraine, 2007.

BURRINGTON, K. J. Aditivos: Os Benefícios do Soro. **Revista Leites e Derivados**, v. 50, 2000.

CAMPOS, S. D. S. et al. **Reologia e Textura em Alimentos**. Campinas: ITAL, 1989. 84 p.

CAPITANI, C.D. et al. Recuperação de proteínas do soro de leite por meio de coacervação com polissacarídeo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, p. 1123-1128, 2005.

CARDARELLI, H. R. et al. Inulin and oligofructose improve sensory quality and increase the probiotic viable count in potentially symbiotic Petit-Suisse cheese. **LWT - Food Science and Technology**, v. 41, p. 1037-1046, 2008.

CARVALHO, F.; PRAZERES, A. R.; RIVAS, J. Cheese whey wastewater: Characterization and treatment. **Science of the Total Environment**, v. 445-446, p. 385-396, 2013.

CASSON, N. A flow equation for pigment-oil suspensions of the printing ink type C.C. Mill (Ed.), **Rheology of disperse suspensions**, Pergamon Press, New York, 1959, 84-104. p.

CASTRO, F. P. et al. Influence of different content of cheese whey and oligofructose on the properties of fermented lactic beverages: Study using response surface methodology. **LWT - Food Science and Technology**, v. 42, p. 993-997, 2009.

CHAMMAS, G. I. et al. Characterization of lactic acid bacteria isolated from fermented milk “laban”. **International Journal of Food Microbiology**, v. 110, p. 52-61, 2006.

COLLA, L. M.; PRENTICE-HERNANDEZ, C. Congelamento e Descongelamento: Sua Influência sobre os Alimentos. **Vetor**, v.13, p. 53-66, 2003.

CONWAY, P. Prebiotics and human health: the state of the art and future perspectives. **Journal of Clinical Nutrition**, v. 45, p. 13-21, 2001.

CRISPÍN-ISIDRO, G. et al. Effect of inulin and agave fructans addition on the rheological, microstructural and sensory properties of reduced-fat stirred yogurt. **LWT – Food Science and Technology**, v. 62, p. 1-7, 2014.

CUNHA, T. M. et al. The influence of whey and probiotic bacteria on the properties of fermented lactic beverages. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 12, p. 23-33, 2009.

CUNHA, T. M. et al. Avaliação físico-química, microbiológica e reológica de bebida láctea e leite fermentado adicionados de probióticos. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 29, p. 103-116, 2008.

DEBON, J. et al. Storage stability of prebiotic fermented milk obtained from permeate resulting of the microfiltration process. **LWT - Food Science and Technology**, v. 47, p. 96-102, 2012.

DEBON, J.; PRUDÊNCIO, E. S.; PETRUS, J. C. C. Rheological and physico-chemical characterization of prebiotic microfiltered fermented milk. **Journal of Food Engineering**, v. 99, p. 128-135, 2010.

DEMIATE, J. M.; OETTERER, M.; WOSIACKI, G. A fermentação como processo de enriquecimento nutricional. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, p. 170-181, 1994.

DERMIKI, M. et al. Shelf-life extension and quality attributes of the whey cheese “Myzithra Kalathaki” using modified atmosphere packaging. **LWT- Food Science and Technology**, v. 41, p. 284–294, 2008.

DRAGONE, G. et al. Characterization of volatile compounds in an alcoholic beverage produced by whey fermentation. **Food Chemistry**, v. 112, p. 929-935, 2009.

DUNNE, C. et al. *In vitro* selection criteria for probiotic bacteria of human origin: correlation with in vivo findings. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 73, p. 386-392, 2001.

FAO/WHO. **Probiotics in Food Health and Nutritional Properties and Guidelines for Evaluation**. Report of a Joint FAO/WHO, Rome, Italy, 2006. Disponível em: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/009/a0512e/a0512e00.pdf>. Acesso em: 20 de setembro de 2015.

FARIA, C.P.; BENEDET, H.D.; GUERROUE, J.L. Parâmetros de produção de leite de búfala fermentado por *Lactobacillus casei*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 511-516, 2006.

FERREIRA, C.L.L.F.; TESHIMA, E. Prebióticos. **Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento**, n.16, p. 22-25, 2000.

FIORAMONTI, J.; THEODOROU, V.; BUENO, L. Probiotics: what are they? What are their effects on gut physiology? **Best Practice & Research Clinical Gastroenterology**, v. 17, p. 711-724, 2003.

FLAMM, G. et al. Inulin and oligofructose as dietary fiber: a review of the evidence. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 41, p. 353–362, 2001.

FOEGEDING, E. A. et al. Advances in modifying and understanding whey protein functionality. **Trends in Food Science and Technology**, v. 13, p. 151-159, 2002.

FRANCK, A. Inulin. In: **Food Polysaccharides and Their Applications**. 2. ed. Nova Iorque: Stephen A, 2006. 733 p.

FRANCK, A. Technological functionality of inulin and oligofructose. **British Journal of Nutrition**, v. 87, p. 287–291, 2002.

FRYER, P. J.; ROBBINS, P. T. Heat transfer in food processing: Ensuring product quality and safety. **Applied Thermal Engineering**, v. 25, p. 2499–2510, 2005.

GALLARDO-ESCAMILLA, F. J.; KELLY, A. L.; ELAHUNTY, C. M. Mouthfeel and flavour of fermented whey with added hydrocolloids. **International Dairy Journal**, v. 17, p. 308-315, 2007.

GALLINA, D. A. et al. Caracterização de leites fermentados com e sem adição de probióticos e prebióticos e avaliação da viabilidade de bactérias lácticas e probióticas durante a vida-de-prateleira. **UNOPAR Científica Ciências Biológicas e da Saúde**, v. 13, n. 4, p. 239-244, 2011.

GHALY, A. E.; KAMAL, M. A. Submerged yeast fermentation of acid cheese whey for protein production and pollution potential reduction. **Water Research**, v. 38, p. 631- 644, 2004.

GIBSON, G.R. et al. Dietary modulation of the human colonic microbiota: updating the concept of prebiotics. **Nutrition Research Review**, v. 17, p. 259-275, 2004.

GILLILAND, S.E. Probiotics and prebiotics. In: MARTH, E.H.; STEFFE, J.L.; eds. **Applied Dairy Microbiology**, New York: Marcel Dekker, 2001, 327-243 p.

GIROTO, J.M.; PAWLOWSKY, U. O soro de leite e as alternativas para o seu beneficiamento. **Brasil Alimentos**, n. 10, p. 43-46, 2001.

GOMES, R. G.; PENNA, A. L. B. Características reológicas e sensoriais de bebidas lácteas funcionais. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 30, p. 629-646, 2009.

GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, C. et al. Influence of substituting milk powder for whey powder on yogurt quality. **Trends Food Science and Technology**, v. 13, p. 334-340, 2002.

GONZÁLEZ-TOMÁS, L.; BAYARRI, S.; COSTELL, E. Inulin-enriched dairy desserts: Physicochemical and sensory aspects. **Journal of Dairy Science**, v. 92, p. 4188-4199, 2009.

GRANATO, D. et al. Probiotic dairy products as functional foods. **Comprehensive Teviews in Food Science and food Safety**, v. 9, p. 445-470, 2010.

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. 9, p. 107-115, 2009.

GULFO, R. et al. Multi-plate freeze concentration: Recovery of solutes occluded in the ice and determination of thawing time. **Food Science and Technology International**, v. 0, p. 1-15, 2013.

HARTEL, R. W.; CHUNG, M. S. Contact Nucleation of Ice in Fluid Dairy Products. **Journal of Food Engineering**, v. 18, p. 281-296, 1993.

HERNÁNDEZ, E. et al. Freeze concentration of must in a pilot plant falling film cryoconcentrator. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 11, p.130-136, 2010.

HINDMARSH, J. P.; RUSSELL, A. B.; CHEN, X. D. Fundamentals of the spray freezing of foods-microstructure of frozen droplets. **Journal of Food Engineering**, v. 78, p. 136–150, 2007.

HOLZAPFEL, W. H.; SCHILLINGER, U. Introduction to pre and probiotics. **Food Research International**, v. 35, p. 109-116, 2002.

HUGUNIM, A. O. Uso de produtos de soro em iogurtes e produtos lácteos fermentados. **Revista Leites e Derivados**, v. 49, p. 22-33, 1999.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Tabela 1 – Produção e vendas dos produtos e/ou serviços industriais, segundo as classes de atividades e a descrição dos produtos – Brasil – 2011**. Rio

de Janeiro: IBGE, 2011. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/industria/pia/produtos/produto2011/defaulttabzip_xls.shtm. Acesso em: 04 de abril de 2016.

KAUR, N.; GUPTA, A. K. Applications of inulin and oligofructose in health and nutrition. **Journal of Biosciences**, v. 27, p. 703-714, 2002.

KIP, P.; MEYER, D.; JELLEMA, R. H. Inulins improve sensoric and textural properties of low-fat yoghurts. **International Dairy Journal**, v. 16, p. 1098-1103, 2006.

KLAENHAMMER, T. R. Probiotics and prebiotics. In: DOYLE, M. P.; BEUCHAT, L. R.; MONTVILLE, T. J. **Food Microbiology: Fundamentals and frontiers**. 2. ed. Washington: ASM, 2001, p. 797-811.

KOKSOY, A.; KILIC, M. Use of hydrocolloids in textural stabilization of a yoghurt drink, ayran. **Food Hydrocolloids**, v.18, p. 593-600, 2004.

KOLIDA, S.; TUOHY, K.; GIBSON, G.R. Prebiotic effects of inulin and oligofructose. **British Journal of Nutrition**, v. 87, p. 193-197, 2002.

KREŠIĆ, G. et al. Consumers' behaviour and motives for selection of dairy beverages in Kvarner region: a pilot study. **Mljekarstvo**, v. 60, p. 50-58, 2010.

KRISTO, E.; BILIADERIS, C. G.; TZANETAKIS, N. Modelling of rheological, microbiological and acidification properties of a fermented milk product containing a probiotic strain of *Lactobacillus paracasei*. **International Dairy Journal**, v. 13, p. 517-528, 2003.

LERAYER, A. L. S. et al. Nova legislação comentada de produtos lácteos: revisada e ampliada. **Revista Indústria de Alimentos**, São Paulo, v. 1, 2002.

LEWICKI, P. P. Design of hot air drying for better foods. **Trends in Food Science and Technology**, v. 17, p. 153-163, 2006.

LOURENS-HATTINGH, A.; VILJOEN, B. C. Yogurt as probiotic carrier food. **International Dairy Journal**, v. 11, n. 1-2, p. 1-17, 2001.

LIN, W.H. et al. Viable counts, characteristic evaluation for commercial lactic acid bacteria products. **Food Microbiology**, v. 23, p. 74-81, 2006.

MACHADO, J. C. V. **Reologia e escoamento de fluidos: ênfase na indústria do petróleo**. Rio de Janeiro: Interciência: PETROBRÁS, 2002. 257p.

MAGALHÃES, K.T. et al. Comparative study of the biochemical changes and volatile compound formations during the production of novel whey-based kefir beverages and traditional milk kefir. **Food Chemistry**, v.126, p.249-253, 2011.

MAGENIS, R. B. et al. Compositional and physical properties of yogurts manufactured from milk and whey cheese concentrated by ultrafiltration. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 41, p. 560-568, 2006.

MASSON, L. M. P. et al. Effect of ultra-high pressure homogenization on viscosity and shear stress of fermented dairy beverage. **LWT - Food Science and Technology**, v. 44, p. 495-501, 2011.

MATTILA-SANDHOLM, T. et al. Technological challenges for future probiotic foods. **International Dairy Journal**, v.12, p.173-182, 2002.

MEENA, M. K. et al. Formulation optimization of whey lemon beverage using a blend os sweeteners aspartame and saccharin. **International Journal of Dairy Technology**, v. 65, p. 146-151, 2012.

MENSINK, M. A. Inulin, a flexible oligosaccharide. I: Review of its physicochemical characteristics. **Carbohydrate Polymers**, v. 130, p. 405-419, 2015.

MING, P. Propriedades nutricionais das proteínas de soro de leite. **Revista leite e Derivados**, v.9, p.64-68. 2000.

MINHALMA, M. et al. Optimization of “Serpa” cheese whey nanofiltration for effluent minimization and by-products recovery. **Journal of Environmental Management**, v. 82, p. 200–206, 2007.

MOERMAN, F. T.; VAN LEEUWEN, M. B.; DELCOUR, J. A. Enrichment of higher molecular weight fractions in inulin. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, p. 3780-3783, 2004.

MOHAMMADI, R. et al. Probiotic ice cream: viability of probiotic bacteria and sensory properties. **Annals of Microbiology**, v. 61, p. 411-424, 2011.

MONTAN, M. As fibras invisíveis. **Revista Brasil Alimentos**, v. 4, n. 19, 2003.

MOREIRA, R. W. M. et al. Avaliação sensorial e reológica de uma bebida achocolatada elaborada a partir de extrato hidrossolúvel de soja e soro de queijo. **Acta Scientiarum Technology**, v. 32, p. 435-438, 2010.

MORENO, F. L. et al. Block freeze-concentration of coffee extract: Effect of freezing and thawing stages on solute recovery and bioactive compounds. **Journal of Food Engineering**, v. 120, p. 158-166, 2014.

MORENO, F. L. et al. Effect of separation and thawing mode on block freeze-concentration of coffee brews. **Food and Bioproducts Processing**, v. 91, p. 396-402, 2013.

MULLINEUX, G.; SIMMONS, M.J.H. Influence of rheological model on the processing of yoghurt. **Journal of Food Engineering**, v. 84, p. 250-257, 2008.

MULLINEUX, G.; SIMMONS, M.J.H. Effects of processing on shear rate of yoghurt. **Journal of Food Engineering**, v. 79, p. 850-857, 2007.

NAKAGAWA, K. et al. Usefulness of solute elution from frozen matrix for freeze-concentration technique. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 88, p. 718-724, 2010.

OLIVEIRA, V. M. et al. Avaliação sensorial de bebida láctea fermentada com diferentes concentrações de soro de queijo, enriquecida com ferro. **Revista Brasileira de Ciências Veterinárias**, v. 13, p. 67-70, 2006.

OLIVEIRA, M. N. et al. Effect of milk supplementation and cultura composition on acidification textural properties and microbiological

stability of fermented milks containing probiotic bacteria. **International Dairy Journal**, v. 11, p. 935-942, 2001.

O'SULLIVAN, D.J. Screening of intestinal microflora for effective probiotic bacteria. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.49, p.1751-1760, 2001.

OZMIHCI, S.; KARGI, F. Ethanol fermentation of cheese whey powder solution by repeated fed-batch operation. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 41, p. 169-174, 2007.

PANESAR, P. S. et al. Bioutilisation of whey for lactic acid production. **Food Chemistry**, v. 105, p. 1-14, 2007.

PENNA, A. L. B.; SIVIERI, K.; OLIVEIRA, M. N. Relation between quality and rheological properties of lactic beverages. **Journal of Food Engineering**, v. 49, p. 7-13, 2001.

PETZOLD, G., et al. Block freeze concentration assisted by centrifugation applied to blueberry and pineapple juices. **Innovative Food Science Emerging Technologies**, v. 30, p. 192-197, 2015.

PETZOLD, G.; NIRANJAN, K.; AGUILERA, J. M. Vacuum-assisted freeze concentration of sucrose solutions. **Journal of Food Engineering**, v. 115, p. 357-361, 2013.

PIAU, J. M.; DEBIANE, K. Consistometers rheometry of power-law viscous fluids. **Journal Non-Newtonian Fluid Mechanics**, v. 127, p. 213-224, 2005.

PINTO, S.S. et al. Effects of the addition of microencapsulated *Bifidobacterium* BB-12 on the properties of frozen yogurt. **Journal of Food Engineering**, v. 111, p. 563-569, 2012.

PRAZERES, A. R.; CARVALHO, F.; RIVAS, J. Cheese whey management: A review. **Journal of Environmental Management**, v. 110, p. 48-68, 2012.

PUUPPONEN-PIMIÄ, R. et al. Development of functional ingredients for gut health. **Trends in Food Science and Technology**, v. 13, p. 3-11, 2002.

RANADHEERA, R.D.C.S; BAINEES S.K.; ADAMS M.C. Importance of food in probiotic efficacy. **Food Research International**, v. 43, p. 1-7, 2010.

RAO, M.A.; ANANTHESWARAM, R.C. Rheology of fluids in food processing. **Food Technology**, Chicago, v.36, p.116-26, 1982.

RAVENTÓS, M. et al. Concentration of aqueous sugar solutions in a multi-plate cryoconcentrator. **Journal of Food Engineering**, v. 79, p. 577- 585, 2007.

REZAEI, R. et al. Effects of guar gum and arabic gum on the physicochemical, sensory and flow behavior characteristics of frozen yoghurt. **International Journal of Dairy Technology**, v. 64, p. 563–568, 2011.

ROBERFROID, M.B. Introducing inulin-type fructans. **British Journal of Nutrition**. v. 93, p. 13-25, 2005.

ROBERFROID, M.B. Functional foods: concepts and application to inulin and oligofructose. **British Journal of Nutrition**, v. 87 (suppl 2), p. 139-143, 2002.

ROBERFROID, M.B. Dietary fiber, inulin and oligofructose: a review comaring their physiological effects. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**. v.33, p.103-148, 1993.

ROBERFROID, M.; SLAVIN, J. L. Nondigestible oligosaccharides. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**. v. 40, p. 461–480, 2000.

SAAD, S. M. I. Probiotics and prebiotics: the state of the art. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 42, p. 1-16, 2006.

SABOYA, L.V.; OETTERER, M.; OLIVEIRA, A.J. Propriedades profiláticas e terapêuticas de leites fermentados - uma revisão. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 2, p.176-85, 1997.

SÁNCHEZ, J. et al. Freeze concentration of whey in a falling-film based pilot plant: Process and characterization. **Journal of Food Engineering**, v. 103, p.147-155, 2011a.

SÁNCHEZ, J. et al. Review: freeze concentration technology applied to dairy products. **Food Science and Technology International**, v.17, p. 5-13, 2011b.

SÁNCHEZ, J. et al. Freeze concentration of whey in a falling-film based pilot plant: process and characterization. **Journal of Food Engineering**, v. 103, p.147-155, 2011c.

SÁNCHEZ, J. et al. Progressive freeze concentration of orange juice in a pilot plant falling film. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 11, p. 644-651, 2010.

SANDERS, M.E. Probiotics: considerations for human health. **Nutrition Reviews**, v. 61, p. 91-99, 2003.

SANTOS, C. T. et al. Influência da concentração de soro na aceitação sensorial de bebida láctea fermentada com polpa de manga. **Alimentos e Nutrição**, v. 19, p. 55-60, 2008.

SCHRAMM, G. **Reologia e Reometria: Fundamentos Teóricos e Práticos**. 2. ed. São Paulo: Artliber, 2006. 237 p.

SHAKER, R.R.; JUMAH, R.Y.; ABU-JDAYIL, B. Rheological properties of plain yogurt during coagulation process: impact of fat content and preheat treatment of milk. **Journal of Food Engineering**, v. 44, p. 175-180, 2000.

SHARMA, S. K.; MULVANEY, S. J.; RIZVI, S. S. H. **Food Processing Engineering: Theory and Laboratory Experiments**. United States of America: Wiley-Interscience. 2000. 348p.

SHORI, A. B. Influence of food matrix on the viability of probiotic bacteria: A review based on dairy and non-dairy beverages. **Food Bioscience**, v. 13, p. 1-8, 2016.

SILVA, F. C. **Reologia do suco de acerola: efeito da concentração e da temperatura**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia de

Alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, UNICAMP, Campinas.

SILVEIRA, E. O. et al. The effects of inulin combined with oligofructose and goat cheese whey on the physicochemical properties and sensory acceptance of a probiotic chocolate goat dairy beverage. **LWT - Food Science and Technology**, v. 62, p. 445-451, 2015.

SINHA, R. et al. Whey protein hydrolysate: Functional properties, nutritional quality and utilization in beverage formulation. **Food Chemistry**, v. 101, p. 1484-1491, 2007.

SISO, M. I. G. The biotechnological utilization of cheese whey: a review. **Bioresource Technology**, v. 57, n. 1, p. 1-11, 1996.

SIVIERI, K.; OLIVEIRA, M. N. Avaliação da vida de prateleira de bebidas lácteas preparadas com “fat replaces” (litenesse e dairy-lo). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 22, p. 24-31, 2002.

SMITHERS, G. W. Proteínas do soro de leite e soro de leite 'calha-de-ouro'. **International Journal Dairy**, v. 18, p. 695-704, 2008.

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

STEFFE, J.F. **Rheological methods in food process engineering**. 2. ed. East Lansing: Freeman Press, 1996. 412p.

STEWART, M. L.; TIMM, D. A.; SLAVIN J. L. Fructooligosaccharides exhibit more rapid fermentation than long-chain inulin in a vitro fermentation systems. **Nutrition Research**, v. 28, p. 329-334, 2008.

STOKES, J. R.; TELFORD, J. H. Measuring the yield behaviour of structured fluids. **Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics**, v. 124, p. 137-146, 2004.

STREETER, V. L. **Mecânica de fluidos**. México: McGraw Hill. 1996. 594p.

TABILO-MUNIZAGA, G.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. Rheology for the food industry. **Journal of Food Engineering**, v. 67, p. 147-156, 2005.

TORRES, J. D.; TÁRREGA, A.; COSTELL, E. Storage stability of starch-based dairy desserts containing long-chain inulin: Rheology and particle size distribution. **International Dairy Journal**, v. 20, p. 46-52, 2010.

TRIPATHI, M. K.; GIRI, S. K. Probiotic functional foods: Survival of probiotics during processing and storage. **Journal of Functional Foods**, v. 9, p. 225-241, 2014.

TSUCHIYA, A. et al. Higher satiety ratings following yogurt consumption relative to fruit drink or dairy fruit Drink. **Journal of the American Dietetic Association**, v. 106, p. 550-557, 2006.

VALERO-CASES, E.; FRUTOS, M. J. Effect of different types of encapsulation on the survival of *Lactobacillus plantarum* during storage with inulin and in vitro digestion. **LWT - Food Science and Technology**, v. 64, p. 824-828, 2015.

VAN LOO, J. et al. On the presence of inulin and oligofructose as natural ingredients in the western diet. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 35, p. 525-552, 1995.

VENTURINI FILHO, W. G. **Bebidas não alcoólicas: Ciência e Tecnologia**. 2. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2010. 412 p.

VIDAL, J. R. M. B. **Comportamento reológico da polpa de manga (*Mangífera indica* LKeitt)**. 2000. 159f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, UNICAMP, Campinas.

VILLEGAS, B. et al. Optimising acceptability of new prebiotic low-fat milk beverages. **Food Quality and Preference**, v. 21, p. 234-242, 2010.

VINDEROLA, C. G. et al. Influence of compounds associated with fermented dairy products on the growth of lactic acid starter and probiotic bacteria. **International Dairy Journal**, v. 12, p. 579-589, 2002.

WADA, T. et al. Physicochemical characterization and biological effects of inulin enzymatically synthesized from sucrose. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, v. 53, p. 1246-1253, 2005.

YADAV, J.S.S. et al. Cheese whey: A potential resource to transform into bioprotein, functional/nutritional proteins and bioactive peptides. **Biotechnology Advances**, v. 33, p. 756-774, 2015.

YEE, K. W. K.; WILEY, D. E.; BAO, J. Whey protein concentrate production by continuous ultrafiltration: operability under constant operating conditions. **Journal of Membrane Science**, v. 290, p. 125–137, 2007.

YEE, P.L. et al. Effects of single food components on freeze concentration by freezing and thawing technique. **Japan Journal of Food Engineering**, v. 4, p. 77-83, 2003.

ZARE, F. et al. Effect of the addition of pulse ingredients to milk on acid production by probiotic and yogurt starter cultures. **Food Science and Technology**, v. 45, p. 155-160, 2012.

ZAVAREZE, E. R.; MORAES, K. S.; SALAS-MELLADO, M. L. M. Qualidade tecnológica e sensorial de bolos elaborados com soro de leite. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, p. 100-105, 2010.

ZIEMER, C. J.; GIBSON, G. R. An overview of probiotics, prebiotics and synbiotics in the functional food concept: perspectives and future strategies. **International Dairy Journal**, v. 8, p. 473-479, 1998.

CAPÍTULO 2 -

Potencial do uso do concentrado do soro de leite obtido do processo de crioconcentração na obtenção de bebida láctea fermentada funcional

* Artigo submetido:

CANELLA, M H. M.; MUÑOZ, I. B.; PINTO, S. S.; LIZ, G. R.; MÜLLER, C. O.; AMBONI, R. D. C. M.; PRIDÊNCIO, E. S. Potential of concentrated whey obtained by freeze concentration process as an ingredient for functional fermented lactic beverage. **Journal of Food Engineering**, com o seguinte número de manuscrito: JFOODENG-D-16-0023.

Potencial do uso do concentrado do soro de leite obtido do processo de crioconcentração na obtenção de bebida láctea fermentada funcional

Resumo

A crioconcentração foi utilizada para concentrar o soro de leite a um fator igual a 4 no terceiro estágio de crioconcentração. O soro concentrado do segundo estágio (SC 2) foi usado na elaboração de duas bebidas lácteas fermentadas, ambas produzidas com 70 mL 100 mL⁻¹ de leite pasteurizado, 30 mL 100 mL⁻¹ de SC 2 e co-culturas de *Lactobacillus acidophilus* LA-5, *Bifidobacterium* BB-12 e *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus*. A bebida 1 foi produzida sem adição de inulina enquanto que a bebida 2 foi adicionada de 6 g de inulina por 100 mL de produto. No dia 1 e no dia 30 de armazenamento, ambas bebidas foram avaliadas em relação as suas propriedades físico-químicas, índice de sinerese, parâmetros de cor e propriedades microbiológicas a 4,0 ± 1,0 °C, enquanto que suas propriedades reológicas foram avaliadas a 4,0 ± 0,1 °C e 6,0 ± 0,1 °C. A adição de inulina e o tempo de armazenamento influenciaram no teor de sólidos totais, no índice de sinerese, no parâmetro de cor *a** e na viscosidade aparente. No entanto, a histerese foi maior na bebida adicionada de inulina, enquanto que, um comportamento tixotrópico foi observado em ambas as bebidas. Os modelos Lei da Potência e Casson foram aplicados com sucesso para descrever o comportamento reológico das bebidas. As bebidas 1 e 2 podem ser classificadas como produtos probióticos e simbióticos, respectivamente.

Palavras-chave: Crioconcentração, soro concentrado, bebida láctea fermentada, propriedades reológicas, prebiótico, probiótico.

Potential of concentrated whey obtained by freeze concentration process as an ingredient for functional fermented lactic beverage

Abstract

Freeze concentration was used to concentrate cheese whey to factor equal to 4 at the third concentration stage. The concentrated whey from the second stage (CW 2) was used to manufacture two fermented lactic beverages, both consisting of 70 mL 100 mL⁻¹ milk and 30 mL 100 mL⁻¹ CW2 and co-cultures of *Lactobacillus acidophilus* LA-5, *Bifidobacterium* BB-12 and *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus*. Beverage 1 was produced without inulin whereas beverage 2 was added with 6 g of inulin per 100 mL of the product. On day 1 and on day 30 of storage, both beverages were evaluated in relation to their physicochemical properties, syneresis index, color parameters and microbiological properties at 4.0 ± 1.0 °C while their rheological properties were evaluated at 4.0 ± 0.1 °C and 6.0 ± 0.1 °C. Addition of inulin and storage time influenced on the total solids content, syneresis index, parameter a^* , and apparent viscosity values. However, hysteresis was greater in the beverage added with inulin whereas a thixotropic behavior was noted for both beverages. The Power Law and Casson models were successfully applied to describe the rheological behavior of the beverages. The beverages 1 and 2 can be classified as a probiotic product and a symbiotic product, respectively.

Keywords: freeze concentration, concentrated whey, fermented lactic beverage, rheological properties, prebiotic, probiotic.

1. INTRODUÇÃO

A tecnologia de crioconcentração em blocos torna possível a produção de alimentos concentrados com alta qualidade através da recuperação de um soluto pela separação de cristais de gelo puros de uma fase aquosa crioconcentrada. Quando comparada com os processos tradicionais de concentração como a evaporação, a crioconcentração não só apresenta vantagens para produção de um concentrado onde não exista interface vapor/líquido, mas também é capaz de proteger compostos alimentares termo sensíveis (PETZOLD et al., 2015). Esta tecnologia possui aplicações altamente promissoras, especialmente na produção de alimentos e ingredientes com alto valor nutritivo (AIDER; HALLEUX, 2009). Nesta tecnologia, uma solução de alimentação líquida é completamente congelada, em seguida, toda solução congelada é descongelada e então, a fração concentrada é separada da fração de gelo por descongelamento gravitacional, podendo ser assistido por outras técnicas a fim de melhorar a eficiência de separação (AIDER; HALLEUX, 2008; PETZOLD et al., 2015). Sob estas condições, o bloco de gelo atua como uma carcaça sólida, através da qual passa a fração concentrada. No entanto, a eficiência deste processo é determinada pela pureza do gelo formado, isto é, com uma retenção mínima de solutos (AIDER; HALLEUX, 2009). A crioconcentração tem sido aplicada na concentração de produtos lácteos, assim como o soro de leite (CHABAROV; AIDER, 2014; SÁNCHEZ et al., 2011).

As plantas de processamento de queijo geram grandes volumes de resíduos líquidos incluindo o soro, o qual é a porção de líquido produzido durante a fabricação de queijos. De acordo com Mollea, Marmo e Bosco (2013) o soro contém pelo menos, metade do total de sólidos presentes no leite e, portanto, pode ser considerado um valioso subproduto com diversas aplicações, especialmente nas indústrias de alimentos. Por outro lado, Yadav et al. (2015) relataram que os componentes do soro são difíceis de degradar e como resultado, criam um grande problema para estações de tratamento de águas residuais que tratam outros efluentes. Estes autores também mencionaram que uma gestão apropriada (tratamento ou reutilização econômica e ecológica) do soro de leite é necessário antes de sua eliminação. Embora uma significativa quantidade de soro mantenha-se inutilizada, tecnologias avançadas, tais como a crioconcentração, poderiam ser usadas para sanar este problema de gerenciamento de soro, e assim o soro de leite poderia ser transformado em um valioso produto funcional. No entanto, a

formação e o crescimento de cristais de gelo podem causar alterações nas propriedades de soro concentrado, e conseqüentemente, pouca atenção tem sido dada para sua utilização. Do ponto de vista da valorização da crioconcentração, opções na gestão do soro concentrado, tal como sua utilização na elaboração de uma bebida láctea fermentada, podem ser consideradas.

A imagem de saúde associada a bebidas funcionais tem levado a um aumento no consumo destes produtos. De acordo com o regulamento brasileiro, o qual estabelece um padrão de identidade e de qualidade para bebidas lácteas fermentadas, estas bebidas podem ser definidas como um tipo de alimento fermentado resultante da mistura de leite e soro de leite contendo cultura láctica e outros produtos lácteos, como o soro crioconcentrado.

Bebidas lácteas apresentam bom potencial para prolongar a sobrevivência de probióticos, (CUNHA et al., 2008; CUNHA et al. 2009), para adição de prebióticos (DEBON; PRUDÊNCIO; PETRUS, 2010; DEBON et al., 2012) e para a mistura de probióticos e prebióticos, isto é, simbiótico (CASTRO et al., 2008; CASTRO et al., 2009) em produtos. Probióticos são microrganismos livres que, em quantidades adequadas e administrados regularmente, conferem benefícios a saúde do hospedeiro melhorando o equilíbrio microbiano no intestino do hospedeiro e as defesas contra microrganismos patogênicos (FAO/WHO, 2006). As bactérias do gênero *Lactobacillus* e *Bifidobacterium* são utilizadas predominantemente em alimentos probióticos (TRIPATHI; GIRI, 2014). Pelo fato destas bactérias crescerem lentamente em leite, recomenda-se a utilização destas combinadas com *Streptococcus thermophilus* (CASAROTTI et al., 2014). O conceito de prebiótico é definido como “a estimulação seletiva do crescimento e/ou a atividade (s) de um ou de um número limitado de gênero/espécie microbiano na microbiota intestinal que conferem benefícios à saúde do hospedeiro” (ROBERFROID et al., 2010). Karimi et al. (2015) relataram que a inulina exerce um efeito protetor para algumas espécies de *Lactobacillus acidophilus* e *Bifidobacterium* spp., muitas vezes melhorando sua sobrevivência e atividade durante o armazenamento. Inulina, uma fibra solúvel e fermentável, é um exemplo de prebiótico que tem sido amplamente utilizado devido suas propriedades funcionais e tecnológicas. Por isso, Chaito, Judprasong e Puwastien (2016) destacaram que a inulina representa um ingrediente chave que oferece novas oportunidades para as indústrias de alimentos que estão constantemente à procura de produtos bem balanceados para o futuro.

Estudos têm sido realizados para enriquecer produtos lácteos com suplementos a fim de melhorar o crescimento de culturas probióticas, e assim, oferecer uma oportunidade para inovação nas indústrias de alimentos. Uma bebida láctea fermentada produzida com soro concentrado, bactérias probióticas e inulina pode resultar em um alimento funcional. Além disso, considerando a falta de estudos realizados com crioconcentração, tal bebida poderia servir como uma nova alternativa para a indústria de laticínios, bem como para os consumidores interessados em alimentos saudáveis. No entanto, poucos estudos têm sido feitos sobre a avaliação das propriedades físicas e químicas de bebidas lácteas fermentadas que combinam probióticos, prebióticos e diferentes matérias-primas. No que diz respeito ao índice de sinerese e as propriedades reológicas das bebidas, essas combinações, bem como o tempo de armazenamento, também são capazes de causar alterações a estes produtos.

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi primeiramente avaliar os efeitos da crioconcentração do soro de leite e em seguida, escolher o soro concentrado do estágio com melhor desempenho. Após este processo, bebidas lácteas fermentadas foram elaboradas com coculturas de *Lactobacillus acidophilus* LA-5, *Bifidobacterium* BB-12 e *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* e/ou inulina. Finalmente, estas bebidas lácteas fermentadas foram avaliadas quanto suas propriedades físico-químicas, índice de sinerese, parâmetros de cor, propriedades reológicas e microbiológicas, no dia 1 e no dia 30 de armazenamento refrigerado.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material

Na obtenção do soro de leite foram utilizados leite pasteurizado integral (10,98 g de sólidos totais 100 g^{-1} , 3,20 g de lipídios 100 g^{-1} , 2,98 g de proteína 100 g^{-1} , 0,73 g de cinzas 100 g^{-1} e 4,07 g de carboidrato 100 g^{-1} , Tirol, Treze Tílias, Brasil), coagulante enzimático HA-LA® com poder coagulante de 1:3000 (Chr. Hansen, Valinhos, São Paulo, Brasil), ácido láctico (Purac Sínteses, Rio de Janeiro, Brasil) e cloreto de cálcio (Vetec, Rio de Janeiro, Brasil). As bebidas lácteas fermentadas foram elaboradas utilizando leite pasteurizado integral, cultura láctea (ABT-4®, Chr. Hansen, Hønsholm, Dinamarca) composto por *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus*, *Bifidobacterium* BB-12 e *Lactobacillus*

acidophilus LA-5, inulina (Orafti® HPX Orafti, Tienen, Bélgica) com grau de polimerização (DP) ≥ 23 e sacarose. Ágar MRS (Difco, Sparks, EUA), ágar M17 (Fluka, Neu-Ulm, Alemanha), cloreto de lítio (Vetec, Rio de Janeiro, Brasil), propionato de sódio (Fluka, Neu-Ulm, Alemanha), bile (Sigma-Aldrich, St. Louis, EUA), lactose (Vetec, Rio de Janeiro, Brasil) e AnaeroGen® (Oxoid, Hampshire, Reino Unido) foram utilizados para as análises microbiológicas. Todos os reagentes utilizados foram de grau analítico.

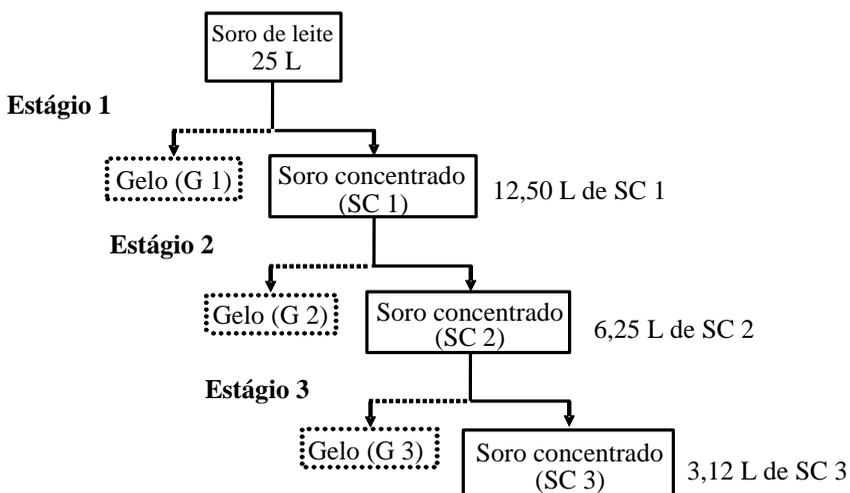
2.2 Obtenção do soro de leite

O soro de leite foi obtido a partir do queijo Minas Frescal como descrito por Souza e Saad (2009), com modificações. O queijo Minas Frescal foi produzido em um recipiente com 30 L de leite pasteurizado aquecido a 37 ± 1 °C, adicionado de ácido láctico ($0,25 \text{ mL L}^{-1}$ de uma solução de ácido láctico 85 %). Cloreto de cálcio ($0,4 \text{ mL L}^{-1}$ de uma solução de cloreto de cálcio 40 %) e coagulante enzimático com poder coagulando de 1:3000 ($0,9 \text{ mL L}^{-1}$ de leite pasteurizado) foram adicionados ao leite seguido de incubação a 37 ± 1 °C, por 40 minutos. O gel resultante foi gentilmente cortado em cubos, drenado e colocado em recipientes cilíndricos perfurados, cada um com capacidade para 500 g, visando a separação do soro.

2.3 Protocolo do procedimento de crioconcentração do soro de leite

O método de crioconcentração em blocos foi empregado no soro de leite, seguindo a metodologia descrita por Boaventura et al. (2013). Em cada estágio do processo de crioconcentração, duas frações foram obtidas e denominadas soro concentrado (SC) e gelo (G) (Figura 1). Um volume inicial de 25 L de soro de leite foi dividido em porções de 1 L, os quais foram congelados a -40 ± 2 °C em congelador de placas (Frigostrella PF-5, São Paulo, Brasil). Uma vez que o soro de leite foi congelado, 50 % do volume inicial foi descongelado a temperatura ambiente (20 ± 2 °C). O líquido descongelado constituiu o concentrado do primeiro estágio de crioconcentração (SC 1), o qual foi congelado a -40 ± 2 °C e utilizado como solução de alimentação no segundo estágio. Este procedimento foi repetido até o terceiro estágio de crioconcentração. O gelo (G) remanescente dos estágios do processo de crioconcentração e uma alíquota de cada concentrado (SC) foram armazenados a -20 ± 2 °C para posterior análise química.

Figura 1: Diagrama do processo de crioconcentração do soro de leite.



Para cada estágio de crioconcentração, o fator de concentração (FC) foi calculado de acordo com a metodologia proposta por Aider e Ounis (2012), utilizando a seguinte Equação (1):

$$FC(\%) = \frac{ST_n}{ST_0} \times 100 \quad (1)$$

onde ST_n é o teor de sólidos totais ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$) do soro concentrado de cada estágio da crioconcentração e ST_0 é o teor de sólidos totais ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$) do soro de leite inicial.

A eficiência do processo (EP) de crioconcentração foi determinada com base no aumento dos sólidos totais (ST) no concentrado (SC_n) ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$) em relação aos sólidos totais (ST) remanescentes no gelo (G_n) ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$) de cada estágio de crioconcentração, como descrito na Equação 2:

$$EP(\%) = \frac{ST \text{ no } SC_n - ST \text{ no } G_n}{ST \text{ no } SC_n} \times 100 \quad (2)$$

O soro concentrado utilizado na elaboração das bebidas lácteas fermentadas foi escolhido a partir da avaliação dos resultados do FC e da EP.

2.3.1 Balanço de massa

A determinação do balanço de massa permite avaliar o desempenho e o rendimento do processo de crioconcentração, possibilitando mensurar a perda de sólidos aderidos nos cristais de gelo e comprovar a precisão dos experimentos. Sendo assim, para confirmar os resultados experimentais obtidos, foi calculado o balanço de massa para cada estágio de crioconcentração a partir dos resultados do teor de sólidos totais do soro de leite, soro concentrado (SC) e gelo (G).

2.4 Elaboração das bebidas lácteas fermentadas

Duas bebidas lácteas fermentadas, denominadas bebida 1 e bebida 2, foram elaboradas de acordo com a metodologia de Almeida, Bonassi e Roça (2001), com modificações. A bebida 1 foi preparada sem adição de inulina e a bebida 2 foi preparada com adição de 6 g 100 mL⁻¹ de inulina, como sugerido por González-Tomás, Bayarri e Costell (2009). A mistura de leite (70 mL 100 mL⁻¹) com sacarose (5 g 100 mL⁻¹) foi submetida a tratamento térmico a 95 ± 5 °C por 5 minutos, enquanto que o soro concentrado escolhido do procedimento de crioconcentração (30 mL 100 mL⁻¹) com ou sem adição de inulina foi aquecido a 65 ± 2 °C durante 30 minutos. A temperatura das misturas foi reduzida até 40 ± 1 °C e então a homogeneização destas foi realizada. Em seguida, a cultura láctea (75 mg 100 mL⁻¹) foi adicionada às bebidas (1 e 2), as quais foram incubadas a 40 ± 1 °C, até atingir pH igual a 4,6. Após a fermentação, as bebidas (1 e 2) foram resfriadas a 4 ± 1 °C, gentilmente batidas e armazenadas em recipientes plásticos termo selados (Sulplack SPO-150, Caxias do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil) com folhas de alumínio de múltiplas camadas de polietileno a esta temperatura. As bebidas (1 e 2) foram produzidas em triplicata. Alíquotas de cada lote das bebidas foram utilizadas para análises no dia 1 e no dia 30 de armazenamento.

2.5 Análises físicas e químicas

O soro de leite, os concentrados (SC 1, SC 2 e SC 3), os gelos (G 1, G 2 e G 3) e as bebidas (1 e 2) foram avaliados em relação ao teor de sólidos totais (g 100 g⁻¹), através da secagem das amostras até peso

constante a 105 °C (IAL, 2008). As bebidas (1 e 2) também foram analisadas em relação ao teor de proteínas (g 100 g⁻¹) pelo método de Kjeldahl (N x 6,38) (AOAC, 2005), teor de lipídios (g 100 g⁻¹) através da extração dos lipídios com éter de petróleo, utilizando o equipamento Soxhlet após a desnaturação de proteínas com ácido clorídrico e cinzas (g 100 g⁻¹) através do método gravimétrico (IAL, 2008). O teor de carboidratos totais (g 100 g⁻¹) de ambas bebidas foram calculados por diferença (AOAC, 2005). A acidez titulável (g 100 g⁻¹ de ácido láctico) das bebidas foi determinada de acordo com as normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008), enquanto que os valores de pH foram determinados utilizando pHmetro (PHS-3 BW, BEL, Piracicaba, São Paulo, Brasil).

O índice de sinerese das bebidas (1 e 2) foi determinado de acordo com a metodologia descrita por Modler e Kalab (1983) através da drenagem de 100 mL de cada amostra em uma malha de inox (100-mesh), acoplada em um funil, o qual foi introduzido em uma proveta para coleta do líquido. O índice de sinerese foi considerado como a quantidade de líquido (mL) por 100 mL de amostra após 2 horas de drenagem (4 ± 1 °C).

Para ambas bebidas (1 e 2) as análises de cor foram determinadas utilizando o colorímetro Minolta Chroma Meter CR-400 (Konica Minolta, Osaka, Japão), ajustado para operar com iluminante D65 e ângulo de observação de 10°. O colorímetro foi calibrado com uma placa padrão branca e para medir os parâmetros L^* , a^* e b^* foi utilizada a escala de cor CIELab. O parâmetro L^* varia de 0 a 100 e indica a luminosidade (variação do preto para branco); o eixo b^* é a variação do amarelo ($+b^*$) para azul ($-b^*$) e o eixo a^* mostra a variação do vermelho ($+a^*$) para verde ($-a^*$). A diferença total da cor (ΔE^*) entre os valores observados no tempo final (dia 30) e no tempo inicial (dia 1) de armazenamento foi calculado de acordo com Okpala, Piggott e Schaschke (2010), como descrito na Equação 3:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (3)$$

onde ΔL^* é a diferença da luminosidade para a mesma bebida, entre o dia 1 e dia 30 de armazenamento, enquanto Δa^* representa a intensidade da cor vermelha e Δb^* a intensidade da cor amarela. Os valores do ângulo Hue (h^*) e Chroma (C^*) foram determinados usando as Equações 4 e 5, respectivamente (MASOUD; JAKOBSEN, 2003). Todas as análises físicas e químicas foram realizadas em triplicata.

$$h^* = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad (4)$$

$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

2.6 Medidas reológicas

As medidas reológicas de ambas bebidas lácteas fermentadas (bebida 1 e bebida 2) foram realizadas utilizando reômetro rotacional Brookfield com cilindros concêntricos (Brookfield Engineering Laboratories, modelo DVIII Ultra, Stoughton, EUA) e spindle ULA. As medidas foram coletadas através do software Rheocalc® 32 versão 3.2 (Brookfield Engineering Laboratories, Inc., Middleboro, MA, EUA). As curvas de fluxo foram geradas pelo aumento linear da taxa de deformação de 4,89 s⁻¹ a 75,83 s⁻¹ nos primeiros 15 minutos (curva ascendente) e retornou para 4,89 s⁻¹ nos 15 minutos seguintes (curva descendente). O reômetro foi controlado termostaticamente por um banho de água circulante (TECNAL model TE-184, São Paulo, Brasil) nas temperaturas de 4,0 ± 0,1 °C e 6,0 ± 0,1 °C. A velocidade de rotação foi aumentada de 2 rpm para 62 rpm, aumentando 2 rpm a cada 30 s. O comportamento de fluxo foi descrito através dos modelos Lei da Potência e Casson, de acordo com as Equações 6 e 7, respectivamente:

$$\sigma = K(\dot{\gamma})^n \quad (6)$$

$$\sigma^{0.5} = \sigma_0^{0.5} + (\eta_c \dot{\gamma})^{0.5} \quad (7)$$

2.7 Análise microbiológica

As contagens de células viáveis de *Lactobacillus acidophilus* (LA-5), *Bifidobacterium* BB-12 e *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* foram avaliadas nas bebidas 1 e 2. Para cada avaliação, porções de 25 g de cada bebida assepticamente coletada foram misturada com 225 mL de 0,1 g 100 g⁻¹ de água peptonada em Bag Mixer 400 (Interscience, St. Nom, France), seguido de diluição decimal com o mesmo diluente. De acordo com Vinderola e Reinheimer (2000), para as contagens de *L. acidophilus* LA-5 e *Bifidobacterium* BB-12 (culturas probióticas) foram utilizados ágar MRS modificado com adição de 0,15 g 100 mL⁻¹ de bile (MRS-Bile) e ágar MRS modificado com adição de 0,20 g 100 mL⁻¹ de cloreto de lítio e 0,30 g 100 mL⁻¹ de propionato de sódio (MRS-LP), respectivamente. As placas foram incubadas a 37 ± 1

°C por 72 horas, no entanto, para a contagem de bifidobactéria, as placas foram incubadas em jarras anaeróbicas contendo AnaeroGen®. A contagem de *S. thermophilus* foi realizada utilizando a técnica de plaqueamento em profundidade em ágar M17 adicionado de 50 mL L⁻¹ de uma solução de lactose (10 g 100 mL⁻¹), incubado a 37 ± 1 °C por 48 horas, como na metodologia descrita pela International Dairy Federation (IDF, 1997). Após os períodos de incubação, todas as contagens de células viáveis foram realizadas e expressas como log de unidade formadora de colônia por g de bebida (log UFC g⁻¹). Todas as análises foram realizadas em triplicata.

2.8 Análise estatística

Os dados obtidos foram expressos como média e desvio padrão. A análise de variância simples (ANOVA) e o teste de Tukey (5 % de significância) foram utilizados para testar qualquer diferença significativa entre os resultados. A validade dos modelos Lei da Potência e Casson foi avaliada baseada no coeficiente de determinação (R²). Os dados foram obtidos utilizando o software STATISTICA versão 7.0 (StatSoft Inc., Tulsa, OK, EUA).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Crioconcentração do soro de leite

A Tabela 1 apresenta os resultados do teor de sólidos totais, do fator de concentração (FC) e da eficiência do processo (EP) da crioconcentração do soro de leite. Os dados na tabela 1 mostram que foi possível concentrar os sólidos totais do soro de leite a um FC igual a 4, no terceiro estágio crioconcentração. A EP foi maior no primeiro estágio de crioconcentração e apresentou uma pequena redução ($P < 0,05$) no segundo estágio. Miyawaki et al. (2016) afirmaram que nos primeiros estágios de crioconcentração este comportamento é esperado, ou seja, alta eficiência de separação resultando em um concentrado de alta qualidade. No entanto, a EP no terceiro estágio diminuiu ($P < 0,05$) drasticamente, enquanto que o teor de sólidos totais na fração de gelo deste estágio aumentou ($P < 0,05$). O mesmo comportamento foi notado por Aider, Halleux e Akbache (2007) e Aider, Halleux e Melnikova (2009) durante a crioconcentração de soro, onde foi observado que a EP é diretamente dependente do teor de sólidos totais na fração de gelo. Burdo, Kovalenko

e Kharenko (2007) citaram que muitos fatores influenciam na separação dos componentes. Aider e Ounis (2012) afirmam que o aumento no teor de sólidos totais na fração de gelo pode ser explicado pelo alto teor de sólidos totais aprisionado nestas frações nos estágios finais do processo de crioconcentração. Petzold et al. (2015) afirmam que este efeito é explicado por um aumento na concentração inicial em cada estágio, o que implica em um concentrado com viscosidade mais elevada e que a concentração da solução recuperada geralmente depende da viscosidade do concentrado em todos os diferentes tipos de processos de crioconcentração. Okawa, Ito e Saito (2009) observaram que a orientação do cristal foi outro fator muito importante a ser considerado para a eliminação de sólidos da fração de gelo. Além disso, estes autores esclarecem que a razão da concentração entre o soluto capturado no gelo e o soluto da solução de alimentação varia de 1/10 a 1/250, dependendo da orientação do cristal de gelo. Por outro lado, Samsuri, Amran e Jusoh (2015) notaram que grandes cristais de gelo possuem menos impurezas e sólidos que pequenos cristais de gelo. Portanto, se os cristais de gelo crescem rapidamente, como no congelamento rápido gerado pelo congelador de placas, pode haver uma formação de cristais irregulares, o que poderia explicar a redução de EP no terceiro estágio, uma vez que os cristais irregulares são de difícil separação. Tal comportamento também foi observado quando calculado o balanço de massa dos estágios de crioconcentração (Tabela 2), confirmando o melhor desempenho do segundo estágio. Com base nestes resultados, o soro de leite do segundo estágio (SC 2) foi utilizado na elaboração das bebidas lácteas fermentadas.

Tabela 1: Teor de sólidos totais do soro de leite, soros concentrados (SC) e gelos (G) de cada estágio de criocentralização e o fator de concentração (FC) e eficiência do processo (EP) em relação ao teor de sólidos totais.

		Sólidos totais (g 100 g ⁻¹)	FC (%)	EP (%)
Soro de leite		5,93 ± 0,02 ^{dB}	-	-
Estágio 1	SC1	10,93 ± 0,02 ^c	2,00 ± 0,02 [♦]	93,36 ± 0,05 [*]
	G1	0,73 ± 0,01 ^D	-	-
Estágio 2	SC2	18,31 ± 0,03 ^b	3,00 ± 0,03 [†]	91,01 ± 0,26 [†]
	G2	1,64 ± 0,05 ^C	-	-
Estágio 3	SC3	24,09 ± 0,25 ^a	4,00 ± 0,02 [*]	55,86 ± 0,78 [♦]
	G3	10,64 ± 0,08 ^A	-	-

Resultados expressos como média ± desvio padrão, entre três lotes realizado em triplicata para cada estágio de criocentralização, com três repetições para sólidos totais, CF e PE.

^{a,b,c} Para a mesma coluna, diferentes letras minúsculas sobrescritas indicam diferenças significativas ($P < 0,05$) entre o soro de leite e os SC de cada estágio da criocentralização.

^{A,B,C} Para a mesma coluna, diferentes letras maiúsculas sobrescritas indicam diferenças significativas ($P < 0,05$) entre o soro de leite e os G de cada estágio da criocentralização.

Diferentes símbolos indicam diferenças significativas ($P < 0,05$) nos FC e EP de cada estágio da criocentralização.

Tabela 2: Balanço de massa dos estágios de crioconcentração do soro de leite.

	Volume de gelo (L)	Massa de gelo (g)	Massa de sólidos totais (g) / 100 g de gelo	Massa de sólido totais no gelo (g)	% de sólidos totais no gelo em relação a massa total do soro de leite
Estágio 1	12,50	12.500	0,73	91,25	6,16
Estágio 2	6,25	6.250	1,64	102,5	6,91
Estágio 3	3120	3.120	10,64	332	22,39

3.2 Propriedades físicas e químicas das bebidas lácteas fermentadas

A Tabela 3 apresenta os resultados das propriedades físico-químicas de ambas bebidas lácteas fermentadas, nos dias 1 e 30 de armazenamento, sendo que a bebida 1 foi produzida sem adição de inulina e a bebida 2 com adição de 6 g 100 mL⁻¹ de inulina. A adição de inulina aumentou o teor de sólidos totais, resultando também em um aumento dos carboidratos totais ($P < 0,05$). O mesmo comportamento foi observado por Crispín-Isidro et al. (2014) e Debon et al. (2012) para iogurtes com adição de inulina e para leite fermentado prebiótico, respectivamente. Estes resultados reforçam a pesquisa de Bot et al. (2004), que afirmaram que a inulina é capaz de afetar a composição de produtos lácteos. No entanto, no dia 30 de armazenamento ambas bebidas (1 e 2) apresentaram um aumento ($P < 0,05$) no teor de sólidos totais. Independentemente do material de embalagem, Saint-Eve et al. (2008) afirmam que o tipo de embalagem tem um grande impacto nas propriedades físico-químicas do iogurte e que algumas mudanças nestas propriedades podem ocorrer a baixas temperaturas e em um curto período de armazenamento. Além disso, estes autores reportaram que existem outros fatores que podem influenciar nas propriedades dos iogurtes, tais como a composição das matrizes alimentares e o ambiente externo (temperatura, umidade, entre outros). Por outro lado, a adição de inulina e o tempo de armazenamento não influenciaram ($P > 0,05$) nos teores de proteína, lipídios e cinzas.

Tabela 3: Propriedades físico químicas e parâmetros de cor (L^* , a^* , b^* , ΔE^* , C^* , h^*) da bebida láctea fermentada sem adição de inulina (bebida 1) e bebida láctea fermentada adicionada de 6 g 100 mL⁻¹ de inulina (bebida 2), no dia 1 e no dia 30 de armazenamento a $4,0 \pm 1,0$ °C.

Análises	Bebida 1		Bebida 2	
	Dia 1	Dia 30	Dia 1	Dia 30
Sólidos totais (g 100 g ⁻¹)	16,60 ± 0,01 ^{bB}	16,87 ± 0,02 ^{aB}	20,78 ± 0,05 ^{bA}	21,25 ± 0,18 ^{aA}
Proteína (g 100 g ⁻¹)	3,02 ± 0,01 ^{aA}	3,07 ± 0,21 ^{aA}	3,10 ± 0,32 ^{aA}	3,10 ± 0,12 ^{aA}
Lipídio (g 100 g ⁻¹)	2,47 ± 0,05 ^{aA}	2,53 ± 0,01 ^{aA}	2,43 ± 0,06 ^{aA}	2,45 ± 0,19 ^{aA}
Cinzas (g 100 g ⁻¹)	1,00 ± 0,08 ^{aA}	0,91 ± 0,02 ^{aA}	0,92 ± 0,01 ^{aA}	0,90 ± 0,02 ^{aA}
Carboidratos totais (g 100 g ⁻¹)	10,12 ± 0,12 ^{aB}	10,36 ± 0,22 ^{aB}	13,81 ± 0,44 ^{bA}	14,83 ± 0,51 ^{aA}
Acidez titulável (g 100 g ⁻¹)	0,72 ± 0,14 ^{aA}	0,74 ± 0,16 ^{aA}	0,58 ± 0,01 ^{bA}	0,63 ± 0,01 ^{aA}
pH	4,28 ± 0,01 ^{aA}	4,14 ± 0,01 ^{bB}	4,28 ± 0,01 ^{aA}	4,21 ± 0,01 ^{bA}
Índice de sinerese (g 100 g ⁻¹)	1,59 ± 0,18 ^{bA}	2,19 ± 0,23 ^{aA}	0,83 ± 0,04 ^{aB}	0,68 ± 0,04 ^{bB}
L^*	76,58 ± 0,22 ^{bB}	76,98 ± 0,01 ^{aB}	77,43 ± 0,41 ^{aA}	77,49 ± 0,24 ^{aA}
b^*	17,50 ± 0,25 ^{bA}	18,04 ± 0,05 ^{aA}	17,59 ± 0,04 ^{bA}	17,70 ± 0,16 ^{aB}
a^*	-3,60 ± 0,06 ^{bA}	-3,72 ± 0,05 ^{aA}	-3,54 ± 0,08 ^{aA}	-3,36 ± 0,24 ^{aB}
ΔE^*		0,69		0,22
C^*	17,87 ± 0,25 ^{bA}	18,42 ± 0,05 ^{aA}	17,94 ± 0,03 ^{aA}	18,02 ± 0,13 ^{aB}
h^*	78,39 ± 0,14 ^{aA}	78,34 ± 0,16 ^{aA}	78,64 ± 0,28 ^{aA}	79,26 ± 0,82 ^{aA}

Resultados expressos como média ± desvio padrão, entre três lotes realizados em triplicata para cada tipo de bebida láctea fermentada, com três repetições para cada análise físico química. ^{a,b} Para cada linha, diferentes letras minúsculas sobrescritas indicam diferenças significativas ($P < 0,05$) entre os diferentes tempos de armazenamento para cada tipo de bebida láctea fermentada estudada. ^{A,B} Para cada linha, diferentes letras maiúsculas sobrescritas indicam diferenças significativas ($P < 0,05$) entre os diferentes tipos de bebida láctea fermentada para o mesmo período de armazenamento.

A adição de inulina não afetou ($P > 0,05$) os valores de acidez comparados entre as bebidas 1 e 2. No entanto, no dia 30 de armazenamento a acidez apresentou um pequeno aumento ($P < 0,05$) para a bebida 2, isto é, adicionada de inulina. Para ambas bebidas, os valores de pH diminuíram ($P < 0,05$) no final do período de armazenamento, porém, este decréscimo foi maior ($P < 0,05$) para a bebida 1. Estes comportamentos estão de acordo com Guven et al. (2005), Guggisberg et al. (2009) e Paseephol e Sherkat (2009), que reportaram que a adição de inulina não afetou os valores de pH ou de acidez de leites fermentados. Kailasapathy (2006) atribui este fato a pós acidificação usualmente detectada em produtos lácteos. Durante o armazenamento refrigerado (entre 0 e 5 °C), a enzima β -galactosidase a qual é produzida por bactérias geralmente adicionadas em leites fermentados, são responsáveis pelo catabolismo da lactose durante o processo de fermentação, resultando na diminuição do pH (KAILASAPATHY; SULTANA, 2003; RESA et al., 2007). O catabolismo da lactose contribui para a acumulação de ácido lático, ácido acético, ácido cítrico, ácido butírico, acetaldeído e ácido fórmico produzidos por culturas iniciadoras como subprodutos metabólicos (KAILASAPATHY, 2006). Além disso, os valores de acidez e pH de ambas bebidas estão de acordo com os recomendados por Gallardo-Escamilla, Kellya e Delahunty (2007) para leites fermentados.

Como esperado, a adição de inulina resultou em uma diminuição ($P < 0,05$) do índice de sinerese, o que poderia ser também relacionado ao maior teor de sólidos totais na bebida 2. Rinaldoni, Campderrós e Padilla (2012) afirmam que um baixo índice de sinerese em leites fermentados é muito importante pois os consumidores tendem a rejeitar a presença de exsudato. De acordo com Vargas et al. (2008), quando o teor de sólidos totais em produtos lácteos aumenta, a intensidade das forças atrativas entre as micelas de caseína diminui, aumentando a capacidade de retenção de água, enquanto que o encolhimento do gel, a porosidade e o índice sinerese diminuem. Além disso, Meyer et al. (2011) afirmam que as moléculas de inulina possuem capacidade de ligar-se com a água, impedindo sua livre circulação. Ademais, a inulina interage com as proteínas de leite promovendo a estabilização da rede proteica, originando uma matriz proteica menos propensa a expulsão de soro (MEYER et al., 2011).

Visto que a bebida 1 não foi adicionada de inulina, o aumento ($P < 0,05$) do seu índice de sinerese no dia 30 de armazenamento pode

estar relacionado com a presença de soro. Este resultado está de acordo com o obtido por Penna, Gurram e Barbosa-Cánovas (2006), que afirmam que o soro contribui para a formação de géis ácidos, os quais possuem uma estrutura aberta devido à redução nas suas interações intermoleculares e, portanto, são mais suscetíveis a sinerese.

Os parâmetros de cor da bebida 1 e da bebida 2 nos dias 1 e 30 de armazenamento também estão apresentados na Tabela 3. Apesar das variações observadas nos parâmetros b^* e a^* , os valores do parâmetro ângulo Hue (h^*) de ambas as bebidas não apresentaram nenhuma diferença significativa ($P > 0,05$) no dia 1 e no dia 30 de armazenamento. A bebida 2 não apresentou diferença ($P > 0,05$) no parâmetro L^* . Este resultado está de acordo com o observado por Dello Staffolo et al. (2004), que avaliaram os efeitos de diferentes adições de fibras dietéticas comerciais em iogurtes. No entanto, no dia 30 de armazenamento, a bebida 1 apresentou um leve aumento ($P < 0,05$) do parâmetro L^* , tendendo a coloração branca. No período de armazenamento avaliado neste trabalho foi observado um aumento ($P < 0,05$) da coloração amarela (valores do parâmetro b^*) em ambas as bebidas lácteas fermentadas. Este aumento dos valores de b^* pode ser devido ao aumento do teor de sólidos totais, especialmente do teor de carboidratos totais, o que pode ter aumentado a reação de Maillard. Wang, Qian e Yao (2011) relacionam o aumento do parâmetro b^* à fase intermediária da reação de Maillard, onde há uma maior produção de compostos amarelos em produtos lácteos, confirmando assim, os resultados obtidos neste estudo.

Os valores do parâmetro a^* indicam que ambas as bebidas apresentaram uma tendência a coloração verde. Como notado por Prudêncio et al. (2014) para queijo ricota, estes resultados ocorreram provavelmente devido à presença de riboflavina no soro de leite, uma vez que é atribuído a coloração ligeiramente verde do soro. No entanto, no período de armazenamento avaliado neste estudo, os valores observados para o parâmetro a^* indicaram que a bebida 1 apresenta maior tendência a tonalidade esverdeada que a bebida 2, a qual foi adicionada de inulina (um açúcar redutor). Portanto, a cor avermelhada da bebida 2 pode também ser atribuída à adição de inulina e ao teor de sólidos totais mais elevado. Por outro lado, a combinação destes parâmetros de cor (L^* , a^* , b^*) são relevantes, uma vez que resulta nos valores da diferença total da cor (ΔE^*). O valor de ΔE^* da bebida 2 foi menor ($P < 0,05$) que o da bebida 1, confirmando o que foi observado por Dello Staffolo et al. (2004), que relataram que o leite fermentado

adicionado de inulina apresentou uma cor estável durante o período de armazenamento.

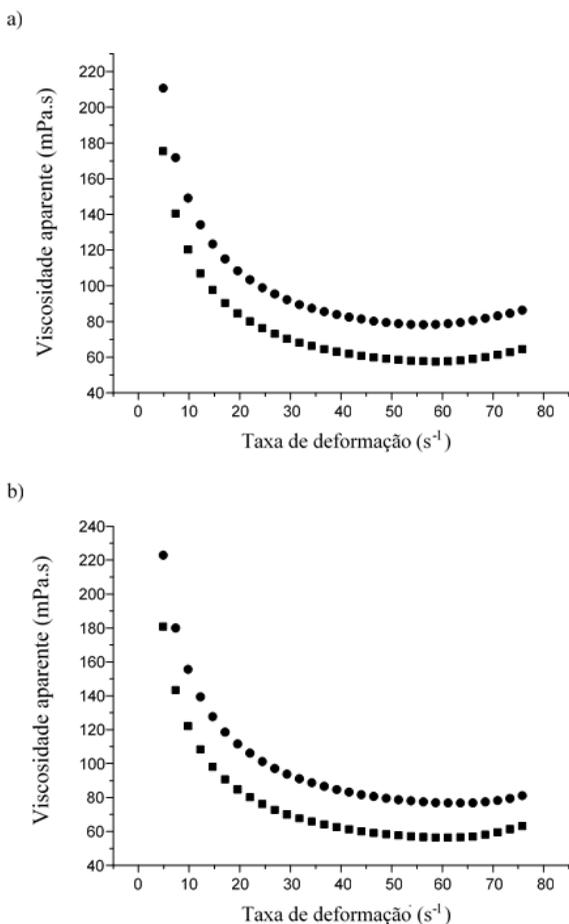
Calvo (2004) relatou que o parâmetro Chroma (C^*) representa o grau de saturação das cores visuais. Apesar dos resultados obtidos neste parâmetro de cor, foi possível observar que o valor de C^* aumentou ($P < 0,05$) apenas para a bebida 1, no dia 30 de armazenamento. Rozycki et al. (2010) afirmaram que o pigmento desenvolvido em sistemas concentrados, tais como o SC, dependem principalmente da concentração de sólidos. De acordo com estes autores, o baixo teor de sólidos totais pode ser responsável pela formação de produtos da oxidação que podem reagir com grupos amino formando produtos de coloração amarela. Este fato pode estar relacionado com o aumento dos valores de C^* observados para a bebida 1, nos períodos de armazenamento avaliados.

3.3 Medidas reológicas

A bebida 1 (sem adição de inulina) e a bebida 2 (adicionada de inulina) exibiram um comportamento de fluido não-Newtoniano (Figura 2). Desta forma, foi possível verificar que a adição de inulina não afetou o comportamento das características reológicas da bebida 2. Para ambas bebidas, verificou-se uma diminuição na viscosidade aparente com o aumento da taxa de deformação, indicando que os fluidos apresentaram características *shear thinning*. Este comportamento também foi observado por Castro et al. (2008), Cunha et al. (2008), Debon, Prudêncio e Petrus (2010) e Silveira et al. (2015) para bebidas lácteas simbióticas, leites fermentados probióticos, leites fermentados microfiltrados prebióticos e bebidas lácteas probióticas produzidas com leite de cabra, respectivamente. Debon, Prudêncio e Petrus (2010) relataram que a redução da viscosidade aparente com o aumento da taxa de deformação nestes tipos de produtos pode estar relacionada a diversos fatores. Silveira et al. (2015) citaram que mudanças na viscosidade são frequentemente associadas com mudanças na estrutura das bebidas lácteas. Como reportado por estes autores, a mudança de comportamento de fluxo sugere a formação de uma estrutura fraca que pode ser causada por uma formação incipiente de agregados de inulina. Portanto, estes agregados podem conter cristais de inulina com quantidades significativas de fase fluida aprisionada, levando a um aumento do volume da fase dispersa. Os agregados de inulina podem ser

relativamente fortes a baixas taxas de deformação, porém, podem ser facilmente quebrados pelo cisalhamento (SILVEIRA et al., 2015).

Figura 2: Viscosidade aparente *versus* taxa de deformação nas temperaturas de (a) $4,0 \pm 0,1$ °C e (b) $6,0 \pm 0,1$ °C para a bebida láctea fermentada sem adição de inulina (bebida 1) (■) e para a bebida láctea fermentada adicionada de 6 g 100 mL^{-1} de inulina (bebida 2) (●) no dia 1 de armazenamento.



Os parâmetros reológicos da bebida 1 e da bebida 2 descritos pelos modelos Lei da Potência e Casson, no dia 1 e no dia 30 de armazenamento, a $4,0 \pm 0,1$ °C e $6,0 \pm 0,1$ °C, estão apresentados na

Tabela 4. Os coeficientes de determinação (R^2) dos modelos variaram de 0,980 a 0,999 mostrando adequada adaptação das curvas de fluxo. O grau de comportamento *shear thinning* pode ser avaliado utilizando os dados do índice de comportamento de fluxo (n). Os índices de comportamento de fluxo da bebida 1 e da bebida 2 apresentaram características *shear thinning* ($n < 1$), variando de 0,540 a 0,643, confirmando o comportamento não-Newtoniano. Estes resultados estão de acordo com os estudos conduzidos pelo nosso grupo de pesquisa, que observaram que o uso de soro e/ou prebióticos resulta em produtos lácteos com estas características. O modelo Lei da Potência foi empregado para encontrar o índice de comportamento de fluxo (n) bem como o índice de consistência (K) para ambas bebidas. Com o aumento do período de armazenamento e da temperatura, o índice de consistência (K) das bebidas 1 e 2 aumentou ($P < 0,05$). No entanto, independentemente do período de armazenamento e da temperatura, o índice de consistência foi maior ($P < 0,05$) para a bebida adicionada de inulina, um polissacarídeo. Ladjevardi, Gharibzahedi e Mousavi (2015) reportaram que os polissacarídeos aumentam a consistência dos produtos pois são capazes de formar géis fortes.

Tabela 4: Parâmetros reológicos obtidos utilizando os modelos Lei da Potência ($\sigma = K(\dot{\gamma})^n$), Casson ($\sigma^{0.5} = \sigma_0^{0.5} + (\eta_c \dot{\gamma})^{0.5}$), viscosidade aparente e índice tixotrópico para a bebida láctea fermentada sem adição de inulina (bebida 1) e para a bebida láctea fermentada adicionada de 6 g 100 mL⁻¹ de inulina (bebida 2), no dia 1 e no dia 30 de armazenamento a $4,0 \pm 0,1$ °C e $6,0 \pm 0,1$ °C.

Amostras	T (°C)	Dias	Modelo Lei da Potência			Modelo Casson			Viscosidad e Aparente η (mPa.s)	Área de histerese
			K (Pa.s ⁿ)	n	R ²	σ_0 (Pa)	η_c (Pa s)	R ²		
Bebida 1	4	1	0,292 ^{bb*}	0,593 ^{aB*}	0,980	0,266 ^{ba*}	0,030 ^{ab*}	0,990	58,51 ^{ab*}	175,64 ^{ab*}
		30	0,371 ^{ab*}	0,540 ^{bb*}	0,990	0,404 ^{ab*}	0,026 ^{bb*}	0,998	60,67 ^{ab+}	164,97 ^{aa+}
	6	1	0,325 ^{bb+}	0,570 ^{ab+}	0,980	0,298 ^{bb+}	0,028 ^{ab+}	0,990	57,70 ^{ab*}	173,70 ^{ab*}
		30	0,389 ^{ab+}	0,523 ^{bb+}	0,988	0,417 ^{ab+}	0,024 ^{bb+}	0,998	59,00 ^{ab+}	149,92 ^{bb+}
Bebida 2	4	1	0,323 ^{ba*}	0,643 ^{aa*}	0,982	0,253 ^{bb*}	0,046 ^{aa*}	0,990	78,78 ^{ba*}	206,56 ^{aa*}
		30	0,449 ^{aa*}	0,585 ^{ba*}	0,992	0,445 ^{aa*}	0,041 ^{ba*}	0,999	87,00 ^{aa*}	196,56 ^{aa+}
	6	1	0,372 ^{ba+}	0,608 ^{aa+}	0,987	0,336 ^{ba+}	0,041 ^{aa+}	0,996	78,78 ^{ba*}	195,31 ^{aa*}
		30	0,466 ^{aa+}	0,568 ^{ba+}	0,992	0,477 ^{aa+}	0,038 ^{ba+}	0,999	84,67 ^{aa+}	181,66 ^{aa+}

Resultados expressos como média \pm desvio padrão, entre três lotes realizados em triplicata para cada tipo de bebida láctea fermentada, com três repetições para cada parâmetro reológico.

^{a,b} Para cada coluna, diferentes letras minúsculas sobrescritas indicam diferenças significativas ($P < 0,05$) entre os diferentes tempos de armazenamento para cada tipo de bebida láctea fermentada estudada, a mesma temperatura. ^{A,B} Para cada coluna, diferentes letras maiúsculas sobrescritas indicam diferenças significativas ($P < 0,05$) entre os diferentes tipos de bebida láctea fermentada para o mesmo período de armazenamento, a mesma temperatura. Diferentes símbolos indicam diferença significativa ($P < 0,05$) entre as diferentes temperaturas para o mesmo tipo de bebida láctea fermentada e período de armazenamento.

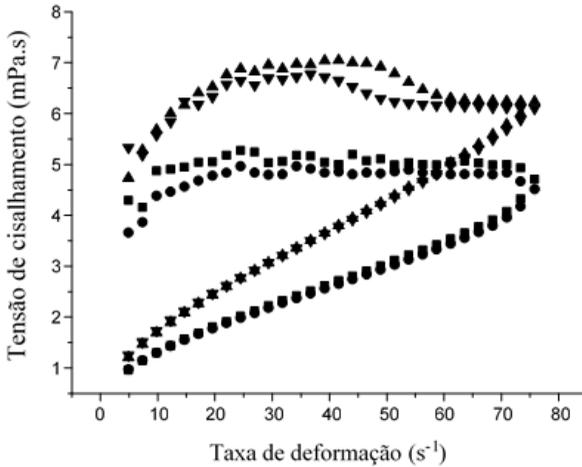
K, índice de consistência; n, índice de comportamento de fluxo; R², coeficiente de determinação; σ_0 , limite de escoamento; η_c , viscosidade de Casson; η , viscosidade aparente a 50 s⁻¹.

O modelo Casson foi empregado para calcular o limite de escoamento (σ_0) e a viscosidade de Casson (η_c) (Tabela 4). Em geral, ambas bebidas (1 e 2) apresentaram um aumento ($P < 0,05$) no limite de escoamento no dia 30 de armazenamento, bem como, quando a temperatura foi aumentada de 4 °C para 6 °C. Van Oosten-Manski et al. (2009) e Ramírez-Sucre e Vélez-Ruiz (2013) concluíram que o limite de escoamento de iogurte batido aumenta devido a concentração dos sólidos totais, e tal conclusão é consistente com os resultados obtidos para a bebida 1 e para a bebida 2. Os valores da viscosidade de Casson foram maiores ($P < 0,05$) para a bebida com adição de inulina (bebida 2), assim como observado para viscosidade aparente. O resultado da bebida 2 está de acordo com o obtido em um estudo conduzido por Silveira et al. (2015), que observaram que a viscosidade aparente aumentou em uma bebida láctea suplementada com inulina de cadeia longa (6 g 100 g⁻¹). De acordo com estes autores, as variações no comportamento de fluxo do leite fermentado adicionado de inulina podem ser explicadas por vários fatores, tais como a capacidade da inulina de reter água devido à formação de pequenos agregados de microcristais; a interação da inulina com proteínas do leite, que pode conduzir a um aumento da massa molar e consequentemente aumentar a viscosidade; e também por um maior teor de sólidos totais no produto. Rinaldoni, Campderrós e Padilla (2012) relataram que a inulina atua como um agente espessante que forma complexos através de pontes de hidrogênio com as proteínas do leite, contribuindo para um menor índice de sinerese, como notado para a bebida 2 (Tabela 3). O mesmo comportamento foi observado por Silveira et al. (2015), que reportaram que altos teores de sólidos totais diminuem a intensidade das forças atrativas entre micelas de caseína, aumentando a retenção de água. Interessantemente, no dia 30 de armazenamento a $6,0 \pm 0,1$ °C, a viscosidade aparente da bebida 2 diminuiu ($P < 0,05$). De acordo com Gomes et al. (2013), este comportamento pode ocorrer em bebidas lácteas que apresentam diminuição do pH e pós-acidificação (Tabela 3). É importante ressaltar que a solução proteica do soro é caracterizada pela quebra das ligações dissulfeto e Van der Waals e pelas interações iônicas e hidrofóbicas entre as partículas de proteínas. Estas características estão relacionadas a esta diminuição da viscosidade. Portanto, as consequências da pós-acidificação nas propriedades reológicas na bebida 2 são confirmadas pela redução da viscosidade aparente. No entanto, para a bebida 1 (sem inulina) não foram observadas diferenças significativas ($P > 0,05$) para a viscosidade aparente entre os diferentes tempos de armazenamento e temperaturas empregadas.

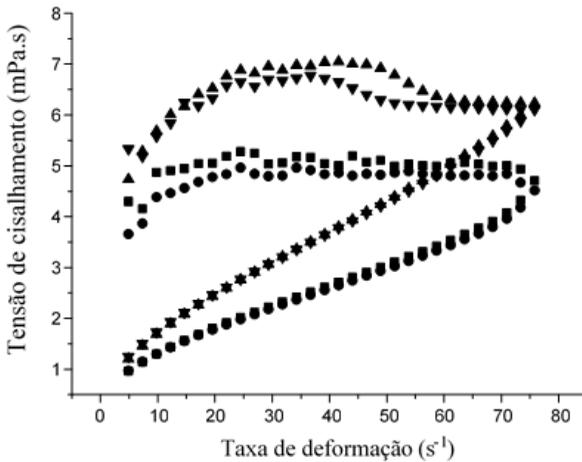
Toneli, Mürr e Park (2005) reportaram que as alterações no comportamento reológico de um produto podem ser explicadas pela formação de uma curva de histerese. Oliveira et al. (2002) afirmaram que a tixotropia, um fenômeno comumente detectado em partículas aglomeradas frágeis, tais como as de leites fermentados, ocorre quando estas são submetidas a uma força de cisalhamento. Neste caso, a estrutura tridimensional inicialmente formada no processo de fermentação, é perdida e pode ser praticamente recuperada depois de um período de descanso. É possível observar nos reogramas apresentados na Figura 3, que ambas bebidas apresentaram histerese. A bebida 2 (com adição de inulina) apresentou área de histerese maior ($P < 0,05$) (Tabela 4), indicando uma mudança na estrutura do sistema, causada pela quebra estrutural na dispersão sob cisalhamento. De acordo com os resultados obtidos em um estudo conduzido por Hernández (1996), verificou-se que a bebida 2, isto é, com maiores valores de viscosidade aparente, apresentaram área de histerese maior que a bebida 1, a qual apresentou menores valores. O aumento da tixotropia observado na bebida 2, é uma consequência da maior viscosidade e está de acordo com o que foi observado por Tárrega e Costell (2006) em sobremesas lácteas produzidas com $6 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ de inulina. Este aumento na tixotropia pode também ser atribuído à maior quantidade de sólidos totais na bebida 2, como mostrado na Tabela 3. Levando em consideração os tempos de armazenagem e as temperaturas avaliadas para cada uma das bebidas, nenhuma diferença significativa ($P > 0,05$) foi observada nos valores de histerese.

Figura 3: Curvas de fluxo, tensão de cisalhamento stress *versus* taxa de deformação, para a bebida láctea fermentada sem adição de inulina (bebida 1) nas temperaturas de $4,0 \pm 0,1$ °C (■) e $6,0 \pm 0,1$ °C (●) e para a bebida láctea fermentada adicionada de $6 \text{ g } 100 \text{ mL}^{-1}$ de inulina (bebida 2) nas temperaturas de $4,0 \pm 0,1$ °C (▲) e $6,0 \pm 0,1$ °C (▼) (a) no dia 1 e (b) no dia 30 de armazenamento.

a)



b)



3.4 Análise microbiológica

As contagens das culturas probióticas (*Lactobacillus acidophilus* LA-5 e *Bifidobacterium* BB-12) e do *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* permaneceram acima de 6 log UFC g⁻¹, no dia 1 e no dia 30 de armazenamento (Tabela 5). Nas contagens das culturas probióticas, foi possível verificar que ambas bebidas (1 e 2) podem ser consideradas como produtos probióticos. De acordo com Madureira et al. (2011) para garantir os benefícios à saúde que podem ser fornecidos por bebidas contendo probióticos, o padrão recomendado tem sido aquele de uma contagem mínima de células probióticas viáveis, variando de 6 a 7 log UFC g⁻¹ até a data de validade. Portanto, a dose mínima terapêutica recomendada é em torno de 8 a 9 log UFC de células viáveis por 100 g de produto, a fim de exercer os efeitos desejáveis, uma vez que o produto seja consumido regularmente (NG; YEUNG; TONG, 2011).

Tabela 5: Propriedades microbiológicas da bebida láctea fermentada sem adição de inulina (bebida 1) e da bebida láctea fermentada adicionada de 6 g 100 mL⁻¹ de inulina (bebida 2), no dia 1 e no dia 30 de armazenamento a 4,0 ± 1,0°C.

	Dias	<i>Lactobacillus acidophilus</i> LA-5 (log UFC g ⁻¹)	<i>Bifidobacterium</i> BB-12 (log UFC g ⁻¹)	<i>Streptococcus salivarius</i> subsp. <i>thermophilus</i> (log UFC g ⁻¹)
Bebida 1	1	9,22 ± 0,04 ^{aA}	9,20 ± 0,02 ^{aA}	9,27 ± 0,01 ^{aA}
	30	9,09 ± 0,08 ^{bB}	9,14 ± 0,01 ^{bB}	9,14 ± 0,02 ^{bB}
Bebida 2	1	9,19 ± 0,01 ^{bA}	9,23 ± 0,01 ^{Ba}	9,22 ± 0,06 ^{aA}
	30	9,27 ± 0,04 ^{aA}	9,32 ± 0,01 ^{Aa}	9,24 ± 0,01 ^{aA}

log UFC g⁻¹: log da unidade formadora de colônia por grama de bebida.

Resultados expressos como média ± desvio padrão, entre três lotes realizados em triplicata para cada tipo de bebida láctea fermentada, com três repetições para cada análise microbiológica.

^{a,b} Para cada coluna, diferentes letras minúsculas sobrescritas indicam diferenças significativas (P < 0,05) entre os diferentes tempos de armazenamento para cada tipo de bebida láctea fermentada estudada. ^{A,B} Para cada coluna, diferentes letras maiúsculas sobrescritas indicam diferenças significativas (P < 0,05) entre os diferentes tipos de bebida láctea fermentada para o mesmo período de armazenamento.

Em relação a contagem de *S. thermophilus*, uma bactéria ácido láctica, os resultados obtidos estão de acordo com o estabelecido pela regulamentação brasileira para uma bebida láctea fermentada. De acordo com Brasil (2005) a contagem de células viáveis desta bactéria ácido láctica deve ser de pelo menos $6 \log \text{ UFC g}^{-1}$ ao longo de todo período de validade da bebida. Na bebida 2, o teor de inulina está de acordo com o recomendado por Rao (2001), que indicou um mínimo de 5 g de fibras solúveis fermentáveis por dia para conferir efeito prebiótico. Allgeyer, Miller e Lee (2010) relataram que a adição de 5 g de inulina não promoveu nenhum efeito sobre a viabilidade do *Lactobacillus acidophilus* LA - 5 e *Bifidobacterium* BB - 12 em iogurte durante 30 dias de armazenamento. Além disso, a bebida 2 pode também ser definida como um produto simbiótico, pois contém uma mistura de probiótico e prebiótico. Os probióticos podem ajudar na sobrevivência de bactérias probióticas durante o armazenamento de produtos lácteos, em particular aumentando ou, pelo menos, mantendo a viabilidade destas bactérias. Neste estudo, os resultados mostraram que a inulina, na concentração avaliada, apresentou influência ($P < 0,05$) sobre o crescimento de *L. acidophilus* LA - 5 e *Bifidobacterium* BB - 12, como apresentado na Tabela 5. O mesmo comportamento foi observado por Cunha et al. (2009), Fritzen-Freire et al. (2010) e Pinto et al. (2012) para bebida láctea fermentada, queijo Minas Frescal e frozen iogurte, respectivamente. Donkor et al. (2007) também afirmaram que prebióticos podem exercer um efeito protetor sobre as bactérias probióticas por melhorar a sua sobrevivência e atividade durante o período de armazenamento de produtos lácteos. Pode-se também observar que as três bactérias avaliadas (*Lactobacillus acidophilus* LA - 5, *Bifidobacterium* BB - 12 e *S. thermophilus*) apresentaram a capacidade de tolerar o pH e a acidez de ambas as bebidas (1 e 2), uma vez que apresentaram alta viabilidade no período de armazenamento avaliado a 4 ± 1 °C. O efeito positivo sobre a viabilidade das bactérias probióticas durante o armazenamento refrigerado das bebidas lácteas com soro de leite, foi citado por Shori et al. (2016). Segundo estes autores este comportamento ocorre devido aos aminoácidos sulfurados liberados durante o tratamento térmico do soro que podem diminuir o potencial redox e assim causar um efeito positivo na sobrevivência dos probióticos.

Os resultados obtidos neste estudo mostraram que o uso do soro crioconcentrado, das culturas probióticas e do prebiótico inulina na elaboração das bebidas lácteas fermentadas pode ser extremamente atrativo para indústria da biotecnologia alimentar. Além disso, este produto lácteo funcional não só é capaz de oferecer os benefícios a saúde requeridos aos seus consumidores, mas é também uma alternativa à utilização de soro de leite, o qual é um poluente ambiental.

4. CONCLUSÃO

O processo de crioconcentração revelou-se uma possível alternativa para a concentração do soro de leite. O maior resultado para a

eficiência de processo foi notado no primeiro estágio de crioconcentração. No entanto, uma leve redução seguida por uma drástica redução foram observadas no segundo e no terceiro estágio, respectivamente. A partir destes resultados, o soro concentrado no segundo estágio de crioconcentração foi utilizado na elaboração das bebidas lácteas fermentadas. As bebidas funcionais 1 e 2 podem ser classificadas como produtos probióticos e simbióticos, respectivamente. A adição de inulina e o tempo de armazenamento aumentaram o teor de sólidos totais, resultando também no aumento de carboidratos totais e na diminuição do índice de sinerese. A adição de inulina não afetou os valores de pH, enquanto que um aumento no valor de acidez da bebida 2 foi observado no dia 30 de armazenamento. No entanto, a adição de inulina, bem como o período de armazenamento, não influenciaram os teores de lipídeos, proteína e cinzas. No final do período de armazenamento, uma menor tendência a coloração verde foi notada para a bebida com adição de inulina.

Os modelos Lei da Potência e Casson foram aplicados com sucesso para descrever o comportamento do fluxo de ambas as bebidas lácteas fermentadas, as quais apresentaram um comportamento de fluido não-Newtoniano e características de um fluido *shear thinning* em ambas temperaturas (4 °C e 6 °C) e durante os tempos de armazenamento avaliados. Além disso, o tempo de armazenamento e a adição de inulina contribuíram para um aumento da viscosidade aparente, enquanto que a temperatura não influenciou. Um comportamento tixotrópico foi verificado em ambas as bebidas, sendo que a adição de inulina aumentou a área de histerese.

REFERENCIAS

AIDER, M.; HALLEUX, D. Cryoconcentration technology in the bio-food industry: Principles and applications. **LWT - Food Science and Technology**, v. 42, p. 679-685, 2009.

AIDER, M.; HALLEUX, D. Production of concentrated cherry and apricot juices by cryoconcentration technology. **LWT - Food Science and Technology**, v. 41, p. 1768-1775, 2008.

AIDER, M.; HALLEUX, D.; AKBACHE, A. Whey cryoconcentration and impact on its composition. **Journal of Food Engineering**, v. 82, p. 92-102, 2007.

AIDER, M.; HALLEUX, D.; MELNIKOVA, I. Skim acidic milk whey cryoconcentration and assessment of its functional properties: Impact of processing conditions. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 10, p. 334-341, 2009.

AIDER, M.; OUNIS, W. B. Skim milk cryoconcentration as affected by the thawing mode: gravitational vs. microwave-assisted. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 47, p. 195-202, 2012.

ALLGEYER, L. C.; MILLER, M. J.; LEE, S.-Y. Sensory and microbiological quality of yogurt drinks with prebiotics and probiotics. **Journal of Dairy Science**, v. 93, p. 4471-4479, 2010.

ALMEIDA, K. E.; BONASSI, I. A.; ROÇA, R. O. Características físicas e químicas de bebidas lácteas fermentadas e preparadas com soro de queijo minas frescal. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, p. 187-192, 2001.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC. **Official methods of analysis of the association analytical chemists**. 18th. ed. Maryland, USA, 2005.

BOAVENTURA, B. C. B. et al. Enhancement of bioactive compounds content and antioxidant activity of aqueous extract of mate (*Ilex paraguariensis* A. St. Hil.) through freeze concentration technology. **Food Research International**, v. 53, p. 686-692, 2013.

BOT, A. et al. Influence of crystallisation conditions on the large deformation rheology of inulin gels. **Food Hydrocolloids**, v. 18, p. 547-556, 2004.

BOURNE, M. C. **Food texture and viscosity: concept and measurement**. 2. ed. San Diego: Academic Press, 2002. 427 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 16, de 23 de agosto de 2005. Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Bebida Láctea. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 24 agosto 2005, sec. 1, p. 7. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br>. Acesso em: 25 de novembro de 2015.

BURDO, O. G.; KOVALENKO, E. A.; KHARENKO, D. A. Development of freeze concentration device. **Communication of the Odessa State Academy of Food Technologies**, Odessa, Ukraine, 2007.

CALVO, C. Optical properties. In: L.M.L. Nollet (Ed.), **Handbook of food analysis. Physical characterization and nutrient analysis**, v. 1 Marcel Dekker, Inc., New York, 2004. 1-9 p.

CASAROTTI, S. N. et al. Influence of the combination of probiotic cultures during fermentation and storage of fermented milk. **Food Research International**, v. 59, p. 67-75, 2014.

CASTRO, F. P. et al. Influence of different content of cheese whey and oligofructose on the properties of fermented lactic beverages: Study using response surface methodology. **LWT - Food Science and Technology**, v. 42, p. 993-997, 2009.

CASTRO, F. P. et al. Effect of oligofructose incorporation on the properties of fermented probiotic lactic beverages. **International Journal of Dairy Technology**, v. 62, p. 68-74, 2008.

CHABAROV, A.; AIDER, M. Mathematical modeling and experimental validation of the mass transfer during unidirectional progressive cryoconcentration of skim milk. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 21, p. 151-159, 2014.

CHAITO, C.; JUDPRASONG, K.; PUWASTIEN, P. Inulin content of fortified food products in Thailand. **Food Chemistry**, v. 193, p. 102-105, 2016.

CRISPÍN-ISIDRO, G. et al. Effect of inulin and agave fructans addition on the rheological, microstructural and sensory properties of reduced-fat stirred yogurt. **LWT – Food Science and Technology**, v. 62, p. 1-7, 2014.

CUNHA, T. M. et al. The influence of whey and probiotic bacteria on the properties of fermented lactic beverages. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 12, p. 23-33, 2009.

CUNHA, T.M. et al. Avaliação físico-química, microbiológica e reológica de bebida láctea e leite fermentado adicionados de probióticos. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 29, p. 103-116, 2008.

DEBON, J.; PRUDÊNCIO, E. S.; PETRUS, J. C. C. Rheological and physico-chemical characterization of prebiotic microfiltered fermented milk. **Journal of Food Engineering**, v. 99, p. 128-135, 2010.

DEBON, J. et al. Storage stability of prebiotic fermented milk obtained from permeate resulting of the microfiltration process. **LWT - Food Science and Technology**, v. 47, p. 96-102, 2012.

DELLO STAFFOLO, M. et al. Influence of dietary fiber addition on sensory and rheological properties of yogurt. **International Dairy Journal**, v. 14, p. 263-268, 2004.

DONKOR, O. N. et al. Survival and activity of selected probiotic organisms in set-type yoghurt during cold storage. **International Dairy Journal**, v. 17, p. 657-665, 2007.

FAO/WHO. **Probiotics in Food Health and Nutritional Properties and Guidelines for Evaluation**. Report of a Joint FAO/WHO, Rome, Italy, 2006. Disponível em: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/009/a0512e/a0512e00.pdf>. Acesso em: 25 de novembro de 2015.

FRITZEN-FREIRE, C. B. et al. The influence of Bifidobacterium Bb-12 and lactic acid incorporation on the properties of Minas Frescal cheese. **Journal of Food Engineering**, v. 96, p. 621-627, 2010.

GALLARDO-ESCAMILLA, F. J.; KELLY, A. L.; ELAHUNTY, C. M. Mouthfeel and flavour of fermented whey with added hydrocolloids. **International Dairy Journal**, v. 17, p. 308-315, 2007.

GOMES, J. J. L. et al. Physicochemical and sensory properties of fermented dairy beverages made with goat's milk, cow's milk and a mixture of the two milks. **LWT - Food Science and Technology**, v. 54, p. 18-24, 2013.

GONZÁLEZ-TOMÁS, L.; BAYARRI, S.; COSTELL, E. Inulin-enriched dairy desserts: Physicochemical and sensory aspects. **Journal of Dairy Science**, v. 92, p. 4188-4199, 2009.

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, p. 107-115, 2009.

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, p. 180-184, 2005.

HERNÁNDEZ, M. J. **Caracterización reológica de hidrogeles de MCCNaCMC + almidón. Tixotropía y sinergismo**. Ph.D. Thesis. Universitat de València, València, Spain. 1996.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ - IAL. **Normas Analíticas Do Instituto Adolfo Lutz: Métodos físico-químicos para análise de alimentos** (4 ed.), São Paulo, Brasil, 2008.

INTERNATIONAL DAIRY FEDERATION -IDF, **Yogurt: Enumeration of characteristic microorganisms**. IDF Standard 117B. Brussels, Belgium, 1997.

KAILASAPATHY, K. Survival of free and encapsulated probiotic bacteria and their effect on the sensory properties of yoghurt. **LWT-Food Science and Technology**, v. 39, p. 1221-1227, 2006.

KAILASAPATHY, K., SULTANA, K. Survival and β -galactosidase activity of encapsulated and free *Lactobacillus acidophilus* and *Bifidobacterium lactis* in ice-cream. **Australian Journal of Dairy Technology**, v. 58, p. 223-227, 2003.

KARIMI, R., et al. Application of inulin in cheese as prebiotic, fat replacer and texturizer: A review. **Carbohydrate Polymers**, v. 119, p. 85-100, 2015.

LADJEVARDI, Z. S.; GHARIBZAHEDI, S. M. T.; MOUSAVI, M. Development of a stable low-fat yogurt gel using functionality of psyllium (*Plantago ovata Forsk*) husk gum. **Carbohydrate Polymers**, v. 125, p. 272-280, 2015.

MADUREIRA, A. R. Rheological, textural and microstructural features of probiotic whey cheeses. **LWT - Food Science and Technology**, v. 44, p. 75-81, 2011.

MASOUD, W.; JAKOBSEN, M. Surface ripened cheeses: the effects of *Debaryomyces hansenii*, NaCl and pH on the intensity of pigmentation produced by *Brevibacterium linens* and *Corynebacterium flavescens*. **International Dairy Journal**, v. 13, p. 231-237, 2003.

MEYER, D. et al. Inulin as texture modifier in dairy products. **Food Hydrocolloids**, v. 25, p. 1881-1890, 2011.

MIYAWAKI, O. et al. Progressive freeze-concentration of apple juice and its application to produce a new type apple wine. **Journal of Food Engineering**, v. 171, p. 153-158, 2016.

MOLLEA, C.; MARMO, L.; BOSCO, F. **Valorisation of cheese whey, a by-product from the dairy industry**. 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5772/53159> Acesso em: 20 dezembro 2015.

MODLER, H.W.; KALAB, M. Microstructure of yogurt stabilized with milk proteins. **Journal Dairy Science**, v. 66, p. 430-437, 1983.

NG, E. W.; YEUNG, M.; TONG, P. S. Effects of yogurt starter cultures on the survival of *Lactobacillus acidophilus*. **International Journal of Food Microbiology**, v. 145, p. 169-175, 2011.

OKAWA S.; ITO T.; SAITO A. Effect of crystal orientation on freeze concentration of solutions. **International Journal of Refrigeration**, v. 32, p. 246-252, 2009.

OKPALA, C.; PIGGOTT, J.; SCHASCHKE, C. Influence of high-pressure processing (HPP) on physico-chemical properties of fresh cheese. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 11, p. 61-67, 2010.

OLIVEIRA, M. N. Manufacture of fermented lactic beverages containing probiotic cultures. **Journal Food Science**, v. 67, p. 2336-2341, 2002.

PASEEPHOL, T.; SHERKAT, F. Probiotic stability of yoghurts containing Jerusalem artichoke inulins during refrigerated storage. **Journal Functional Foods**, v. 1, p. 311-318, 2009.

PETZOLD, G. et al. Block freeze concentration assisted by centrifugation applied to blueberry and pineapple juices. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 30, p. 192-197, 2015.

PENNA, A. L. B.; GURRAM, S.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. Effect of high hydrostatic pressure processing on rheological and textural properties of probiotic low-fat yogurt fermented by different starter cultures. **Journal of Food Process Engineering**, v. 29, p. 447-461, 2006.

PINTO, S.S. et al. Effects of the addition of microencapsulated *Bifidobacterium* BB-12 on the properties of frozen yogurt. **Journal of Food Engineering**, v. 111, p. 563-569, 2012.

PRUDÊNCIO, E. S. et al. Effect of whey nanofiltration process combined with diafiltration on the rheological and physicochemical properties of ricotta cheese. **Food Research International**, v. 56, p. 92-99, 2014.

RAMÍREZ-SUCRE, M. O.; VÉLEZ-RUIZ, J. F. Physicochemical, rheological and stability characterization of a caramel flavored yogurt. **LWT - Food Science and Technology**, v. 51, p. 233-241, 2013.

RAO, V. A. The prebiotic properties of oligofructose at low intake levels. **Nutrition Research**, v. 21, p. 843-848, 2001.

RESA, P. et al. Monitoring of lactic acid fermentation in culture broth using ultrasonic velocity. **Journal of Food Engineering**, v. 78, p. 1083-1091, 2007.

RINALDONI, A. N.; CAMPDERRÓS, M. E.; PADILLA, A. P. Physicochemical and sensory properties of yogurt from ultrafiltered soy milk concentrate added with inulin. **LWT - Food Science and Technology**, v. 45, p. 142-147, 2012.

ROBERFROID, M. et al. Prebiotic effects: Metabolic and health benefits. **British Journal of Nutritional**, v. 104, p. S1-S63, 2010.

ROZYCKI, S.D. et al. Advances in the study of the kinetics of color and fluorescence development in concentrated milk systems. **Journal of Food Engineering**, v. 101, p. 59-66, 2010.

SAINT-EVE, A. et al. Quality changes in yogurt during storage in different packaging materials. **Food Chemistry**, v. 110, p. 285-293, 2008.

SAMSURI, S.; AMRAN, N.A.; JUSOH, M. Spiral finned crystallizer for progressive freeze concentration process. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 104, p. 280-286, 2015.

SÁNCHEZ, J. et al. Review: Freeze Concentration Technology Applied to Dairy Products. **Food Science and Technology International**, v. 17, n. 1, p. 5-9, 2011.

SHORI, A.B. Influence of food matrix on the viability of probiotic bacteria: A review based on dairy and non-dairy beverages. **Food Bioscience**, v. 13, p. 1-8, 2016.

SILVEIRA, E.O. et al. The effects of inulin combined with oligofructose and goat cheese whey on the physicochemical properties and sensory acceptance of a probiotic chocolate goat dairy beverage. **LWT - Food Science and Technology**, v. 62, p. 445-451, 2015.

SOUZA, C.H.B.; SAAD, S.M.I. Viability of *Lactobacillus acidophilus* La-5 added solely or in co-culture with a yoghurt starter culture and implications on physico-chemical and related properties of Minas fresh cheese during storage. **LWT - Food Science and Technology**, v. 42, p. 633-640, 2009.

TÁRREGA, A.; COSTELL, E. Effect of composition on the rheological behaviour and sensory properties of semisolid dairy dessert. **Food Hydrocolloids**, v. 20, p. 914-922, 2006.

TONELI, J.T.C.L.; MÜRR, F.E.X.; PARK, K.L. Revisão: Estudo da reologia de polissacarídeos utilizados na indústria de alimentos. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 7, p. 181-204, 2005.

TRIPATHI, M.K.; GIRI, S.K. Probiotic functional foods: Survival of probiotics during processing and storage. **Journal of functional foods**, v. 9, p. 225-241, 2014.

VAN OOSTEN-MANSKI, J. et al. Rheology and sensory properties of stirred yoghurts. In 5th International Symposium on Food Rheology and Structure, Zurich. **Proceedings of the international symposium on food rheology and structure**. p. 388-391, 2009.

VARGAS, M. et al. Physicochemical and sensory characteristics of yoghurt produced from mixtures of cows' and goats' milk. **International Dairy Journal**, v. 18, p. 1146-1152, 2008.

VINDEROLA, C.G.; REINHEIMER, J.A. Enumeration of *Lactobacillus casei* in the presence of *L. acidophilus*, *Bifidobacteria* and lactic starter bacteria in fermented dairy products. **International Dairy Journal**, v. 10, p. 271-275, 2000.

WANG, HE-YA; QIAN, H.; YAO, WEI-RONG. Melanoidins produced by the Maillard reaction: Structure and biological activity. **Food Chemistry**, v. 128, p. 573-584, 2011.

YADAV, J.S.S. et al. Cheese whey: A potential resource to transform into bioprotein, functional/nutritional proteins and bioactive peptides. **Biotechnology Advances**, v. 33, p. 756-774, 2015.

Anexos

Anexo A – Artigo “**Potential of concentrated whey obtained by freeze concentration process as an ingredient for functional fermented lactic beverage**” submetido à “**Journal of Food Engineering**”

Ms. Ref. No.: JFOODENG-D-16-00237

Title: Potential of concentrated whey obtained by freeze concentration process as an ingredient for functional fermented lactic beverage
Journal of Food Engineering

Dear Elane,

Your submission entitled "Potential of concentrated whey obtained by freeze concentration process as an ingredient for functional fermented lactic beverage" has been assigned the following manuscript number: JFOODENG-D-16-00237.

You may check on the progress of your paper by logging on to the Elsevier Editorial System as an author. The URL is <http://ees.elsevier.com/jfoodeng/>.

Your username is: elane@cca.ufsc.br

If you need to retrieve password details, please go to:

http://ees.elsevier.com/jfoodeng/automail_query.asp

Thank you for submitting your work to this journal.

Kind regards,

Administrative Support Agent

Administrative Support Agent [17-Jan-11]

Journal of Food Engineering

For further assistance, please visit our customer support site at

<http://help.elsevier.com/app/answers/list/p/7923>. Here you can search for solutions on a range of topics, find answers to frequently asked questions and learn more about EES via interactive tutorials. You will also find our 24/7 support contact details should you need any further assistance from one of our customer support representatives.

Anexo B – Trabalho apresentado em evento



XIII ERCTA

XIII ENCONTRO REGIONAL SUL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

RODADA DE NEGÓCIOS DA INDÚSTRIA AGROALIMENTAR 2015

ALIMENTOS INOVADORES: Desafios e Oportunidades

14 a 16 de outubro de 2015 | Curitiba - PR

ISBN: 978-85-50299-06-5

PD51

USO DO CONCENTRADO DO SORO DE LEITE OBTIDO A PARTIR DA CRIOCONCENTRAÇÃO NA ELABORAÇÃO DE BEBIDAS LÁCTEAS FERMENTADAS FUNCIONAIS

LARA FELISBINO ALVES (UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA); MARIA HELENA MACHADO CANELLA (UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA); LUIZA CIRRA PEREIRA (UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA); BIANCA D'ARCK DE MELO CAVALCANTE (UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA); ISABELLA DE BONA MUÑOZ (UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA); RENATA DIAS DE MELLO CASTANHO AMBONI (UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA); ELANE SCHWINDEN PRUDÊNCIO (UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA);

lara_aru@hotmail.com

Área: PD - PROCESSO E DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

Para um melhor aproveitamento do soro de leite, produto de alto valor biológico e com problemas de descarte, recomenda-se o uso de tecnologias como a críoconcentração. Esta tecnologia se baseia na concentração de um alimento líquido a baixas temperaturas, sendo assim possível preservar grande parte de suas características nutritivas. O objetivo deste trabalho foi elaborar duas bebidas lácteas fermentadas com propriedades funcionais empregando 70 % de leite ($8,80 \pm 0,02$ g de sólidos totais por 100g de leite) e 30 % do concentrado proveniente da segunda etapa da críoconcentração do soro de leite ($18,31 \pm 0,03$ g de sólidos totais por 100 g de concentrado). Nas bebidas 1 e 2 foi adicionada a cultura láctea ABT-4® (Chr. Hansen, Hønsholm, Dinamarca, contendo *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus*, *Lactobacillus acidophilus* LA-5 e *Bifidobacterium* BB-12), enquanto na bebida 2 foi também incorporada 6 g/100 g de inulina (Orafti® HPX Orafti, Tienen, Bélgica) com grau de polimerização (DP) ≥ 23 por 100 g de bebida. As bebidas 1 e 2 foram avaliadas quanto ao teor de sólidos totais e quanto a contagem de células viáveis probióticas (log de Unidade



SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS – Regional Paraná
CNPJ: 46.113.742/0008-09 - INSC. ESTADUAL: Isento
Setor de Tecnologia - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos - UFPR
Rua Francisco H. dos Santos, 210 - Cx. Postal 19011 - CEP: 81531-980 - Curitiba (PR) - BRASIL
Telefone: (41) 3341-9074 - E-mail: secretaria@sbcta-pr.org.br
<http://www.sbcta-pr.org.br>

Formadora de Colônia - UFC por g de bebida). Devido a adição de inulina a bebida 2 apresentou maior ($P < 0,05$) teor de sólidos totais ($20,78 \pm 0,04$ g/100g de bebida) do que a bebida 1 ($18,80 \pm 0,00$ g/100g de bebida). As contagens de células viáveis probióticas das bebidas não diferiram ($P > 0,05$). Na bebida 1 as contagens foram iguais a $9,21$ log UFC de LA-5 e $9,20$ log UFC de BB-12 por g de bebida, enquanto na bebida 2 os valores foram iguais a $9,19$ log UFC de LA-5 e a $9,20$ log UFC de BB-12 por g de bebida. Desta forma, pôde-se concluir que as bebidas elaboradas apresentam propriedades funcionais, sendo a bebida 1 classificada como probiótica e a bebida 2 como simbiótica.

Palavras-chave: Crioconcentração, soro de leite, bebida láctea simbiótica



XIII ENCONTRO REGIONAL SUL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS



Alimentos Inovadores: desafios e oportunidades

XIII ERSCTA

CERTIFICADO

Certificamos que o trabalho

Realização



Organização



Apoio
Institucional



(PD51) USO DO CONCENTRADO DO SORO DE LEITE OBTIDO A PARTIR DA CRIOCONCENTRAÇÃO NA ELABORAÇÃO DE BEBIDAS LÁCTEAS FERMENTADAS FUNCIONAIS
LARA FELISBINO ALVES (UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA), MARIA HELENA MACHADO CANELLA (UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA), LUIZA CIRRA PEREIRA (UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA), BIANCA D'ARCK DE MELO CAVALCANTE (UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA), ISABELLA DE BONA MUÑOZ (UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA), RENATA DIAS DE MELLO CASTANHO AMBONI (UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA), ELANE SCHWINDEN PRUDÊNCIO (UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA)

foi apresentado no XIII Encontro Regional Sul de Ciência e
Tecnologia de Alimentos, de 14 a 16 de outubro de 2015, na UFPR
campus Centro Politécnico, em Curitiba (PR).

Curitiba, 16 de outubro de 2015

Prof. Dr. Ruperício Alves Camargo
Presidente do XIII ERSCTA

Prof. Dra. Renata Ermlind Freitas de Macedo
Coordenadora da Comissão Científica do XIII ERSCTA



ANAIS | 2015



XIII ERSCTA

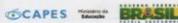
XIII ENCONTRO REGIONAL SUL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

Alimentos Inovadores: desafios e oportunidades

RODADA DE NEGÓCIOS DA INDÚSTRIA AGROALIMENTAR 2015

14 a 16 de outubro de 2015 - UFPR - *campus* CENTRO POLITÉCNICO
Curitiba - PR - BRASIL

Apoio Institucional



Promoção / Organização



XIII ERSCTA

XIII ENCONTRO REGIONAL SUL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

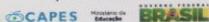
Alimentos Inovadores: desafios e oportunidades

14 a 16 de outubro de 2015 UFPR - *campus* Centro Politécnico
Curitiba PR - BRASIL

Promoção / Organização



Apoio Institucional



ISBN: 978-85-60299-06-5

Produzido e duplicado por Tac Art editora Ltda - Tel.: (41) 3356-2666