

## INFLUÊNCIA DO TEOR DE SÓLIDOS LÁCTEOS NA MICROESTRUTURA DE LEITES FERMENTADOS

### Influence of milk solids content on the microstructure of fermented milks

*Elisângela Ramieres Gomes<sup>1</sup>, Mariana Braga de Oliveira<sup>2</sup>, Paulo Henrique Fonseca da Silva<sup>2</sup>, Ítalo Tuler Perrone<sup>3\*</sup>, Luiz Fernando Cappa de Oliveira<sup>4</sup>, Rodrigo Stephani<sup>4</sup>*

### RESUMO

Leites fermentados são produtos lácteos, obtidos por coagulação, mediante a diminuição do pH do leite fluido ou reconstituído, adicionado ou não de outros produtos lácteos, por fermentação láctica mediante ação de cultivos de microrganismos específicos. O tipo de processamento e a composição dos ingredientes utilizados, promovem mudanças nas propriedades sensoriais, reológicas e nutricionais dos leites fermentados. Portanto, o objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito da adição de quatro concentrações de sólidos totais (9,0%; 12,2%; 15,0% e 18,0% m/m) em leites fermentados, empregando as técnicas de distribuição do tamanho de partículas durante a fermentação e microscopia eletrônica de varredura no produto final. A distribuição do tamanho de partículas mostrou que os leites fermentados com maiores teores de sólidos totais (12,2%; 15,0% e 18,0% m/m) apresentaram maiores valores de  $d_{90}$ , ou seja, valores nos quais 90% das partículas estão abaixo deles, quando comparado ao tratamento com 9,0% (m/m) de sólidos. A microscopia eletrônica de varredura mostrou um resultado semelhante, em que o leite fermentado com 9,0% (m/m) de sólidos totais apresentou uma estrutura com poros mais abertos, enquanto os leites fermentados com 12,2%, 15,0% e 18,0% (m/m) de sólidos totais apresentaram uma rede proteica com partes mais compactas. Portanto, leites fermentados com maiores teores de sólidos totais apresentaram um maior tamanho de partículas e uma microestrutura mais compacta. Dessa forma, os métodos de distribuição do tamanho de partículas e microscopia podem ser usados para fornecer informações sobre as características dos produtos de acordo com a demanda dos consumidores.

**Palavras-chave:** difração laser; fermentação; leite; MEV; tamanho de partículas.

### ABSTRACT

Fermented milks are dairy products, obtained by coagulation by lowering the pH of fluid or reconstituted milk added or not by other dairy products, by lactic fermentation due to the action of specific microorganism cultures. The type of processing and the composition of the ingredients used, promote changes in the sensory, rheological, and nutritional properties of fermented milks. Therefore, the objective of this work was to evaluate the effect of adding four

---

1 Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Viçosa, MG, Brasil.

2 Universidade Federal de Juiz de Fora, Departamento de Nutrição, Juiz de Fora, MG, Brasil.

3 Universidade Federal de Juiz de Fora, Departamento de Ciências Farmacêuticas, Rua José Lourenço Kelmer, s/n, São Pedro, 36036-900, Juiz de Fora, MG, Brasil. E-mail: italotulerperrone@gmail.com

4 Universidade Federal de Juiz de Fora, Departamento de Química, Juiz de Fora, MG, Brasil.

\*Autor para correspondência

**Recebido / Received:** 30/11/2020

**Aprovado / Approved:** 18/05/2021

concentrations of total solids (9.0%, 12.2%, 15.0%, and 18.0% m/m) in fermented milks, using the particle size distribution techniques during fermentation and scanning electron microscopy in the final product. The particle size distribution showed that fermented milks with higher levels of total solids (12.2%, 15.0%, and 18.0% m/m) showed higher values of  $d_{90}$ , that is, values in which 90% of the particles are below them when compared to the treatment with 9.0% (m/m) of solids. Scanning electron microscopy showed a similar result, in which fermented milk with 9.0% (m/m) of total solids presented a structure with more open pores, while fermented milk with 12.2%, 15.0%, and 18.0% (m/m) of total solids presented a protein network with more compact parts. Therefore, fermented milks with higher levels of total solids showed a larger particle size and a more compact microstructure. In this way, particle size distribution methods and microscopy can be used to provide information about product characteristics according to consumer demand.

**Keywords:** laser diffraction; fermentation; milk; SEM; microstructure; particle size.

## INTRODUÇÃO

Leites fermentados são produtos obtidos pela coagulação e diminuição do pH do leite líquido ou reconstituído, por meio da fermentação láctica mediante ação de microrganismos específicos. Estes microrganismos devem estar viáveis, ativos e abundantes no produto final e durante seu prazo de validade. Os leites fermentados podem ser adicionados ou não de outras substâncias alimentícias, ou de outros produtos lácteos, cuja fermentação se realiza com um ou vários dos seguintes cultivos: *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus casei*, *Bifidobacterium sp.*, *Streptococcus salivarius* subsp. *Thermophilus* e/outras bactérias ácido-lácticas que, por sua atividade, contribuem para a determinação das características do produto final (BRASIL, 2007).

Propriedades reológicas, tais como uma textura mais firme, podem ser obtidas aumentando-se o teor de sólidos da bebida láctea (ORDÓÑEZ, 2005). O aumento do teor de sólidos totais pode ser alcançado adicionando-se leite em pó desnatado, concentrado proteico de soro e soro de leite, além de outros ingredientes (MANTOVANI *et al.*, 2012). A adição de sólidos altera a composição do leite fermentado, como por exemplo o teor de proteína e gordura, que influenciam na formação do gel, uma das etapas fundamentais na fabricação de iogurte. Além disso, as propriedades reológicas do gel são afetadas pela composição do leite, temperatura e tempo de tratamento térmico, tipo e quantidade de cultura utilizada, temperatura de fermentação, quebra ou não

do gel e das condições de armazenamento (MARAFON, 2010). Assim, vários trabalhos mostraram o efeito de diferentes concentrações e fontes de sólidos nas propriedades físico-química, de textura, nas características sensoriais, de sinérese e reológicas de iogurtes e leites fermentados (LIMA *et al.*, 2006; MANTOVANI *et al.*, 2012; OZEN; KILIC, 2009).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da adição de quatro concentrações de sólidos totais (9,0%; 12,2%; 15,0% e 18,0% m/m) em leite fermentado, empregando as técnicas de distribuição do tamanho de partículas durante a fermentação e microscopia eletrônica de varredura.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Preparo das misturas bases

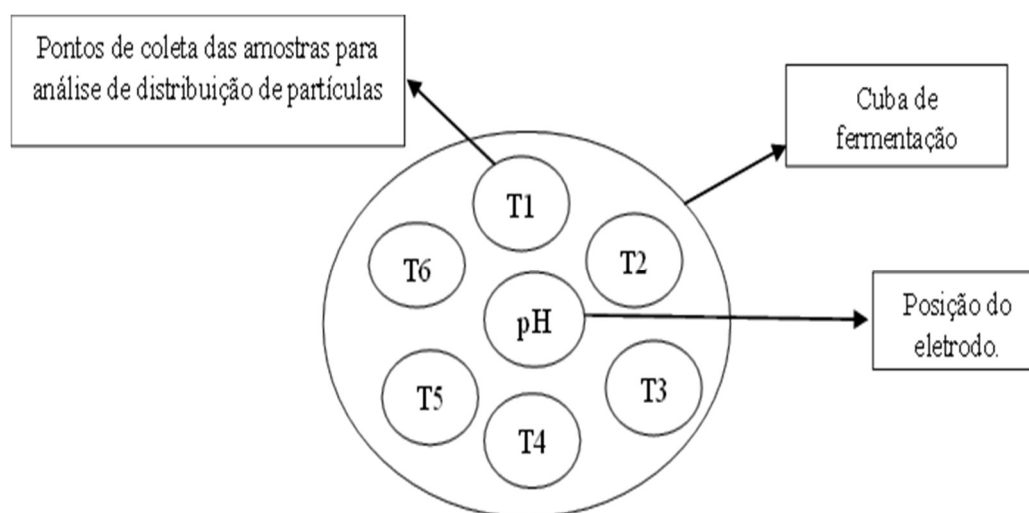
Os leites fermentados foram produzidos com leite integral pasteurizado de dois lotes diferentes (Benfica), obtido no comércio da cidade de Juiz de Fora, Minas Gerais. A partir desse leite foram adicionados água ou leite em pó desnatado (Molico, Nestlé®) para padronização do teor dos sólidos totais. As concentrações de sólidos totais padronizados foram: 9,0% (m/m); 12,2% m/m; 15,0% (m/m) e 18,0% (m/m). As misturas bases foram submetidas a tratamento térmico com a temperatura de  $90 \pm 2$  °C por 2 minutos. Em seguida, as misturas foram resfriadas a  $40 \pm 1$  °C e então inoculada a cultura láctea (*Thermophilic Yogurt Culture YoFlex*®), preparada previamente de acordo com as recomendações do fabricante.

Após a inoculação da cultura, a cada hora foram realizadas medições do pH utilizando-se potenciômetro (GEHAKAPG1400) e as amostras do leite e do gel em formação foram retiradas para análises de distribuição do tamanho de partículas em solução por difração a laser (Beckman Coulter, Miami, FL, EUA). As leituras do tamanho de partículas dos 4 tratamentos foram feitas em duplicata. As posições do eletrodo e dos pontos em que foram retiradas as amostras são apresentadas na Figura 1. Os diferentes pontos de coleta das amostras são chamados de T1, T2, T3, T4 e T5. Essa me-

todologia foi determinada para que não se coletasse amostra de um mesmo ponto, onde possivelmente já houvesse ocorrido uma modificação na estrutura do gel que estava sendo formado. O tempo para alcançar o pH de 4,60, nos tratamentos foi de aproximadamente 6 horas.

Após alcançar o pH de 4,60 os leites fermentados foram colocados em geladeira para o resfriamento até uma temperatura de  $8 \pm 2$  °C. Após 24 horas foi realizada a quebra dos géis manualmente, com auxílio de haste de plástico. Todos os experimentos foram realizados em duplicata.

**Figura 1.** Esquema utilizado para retirar as amostras para análise da distribuição do tamanho de partículas e medição do pH



### Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

As amostras dos leites fermentados foram colocadas em uma fita de carbono, fixadas em *stubs* e liofilizadas. Em seguida foram obtidas as imagens por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) (Hitachi TM 3000, Hitachi Ltd., Tokyo, Japan). As análises foram realizadas após um dia de fermentação. O fluxograma da produção dos leites fermentados e das análises realizadas está apresentado na Figura 2.

### Análises estatísticas

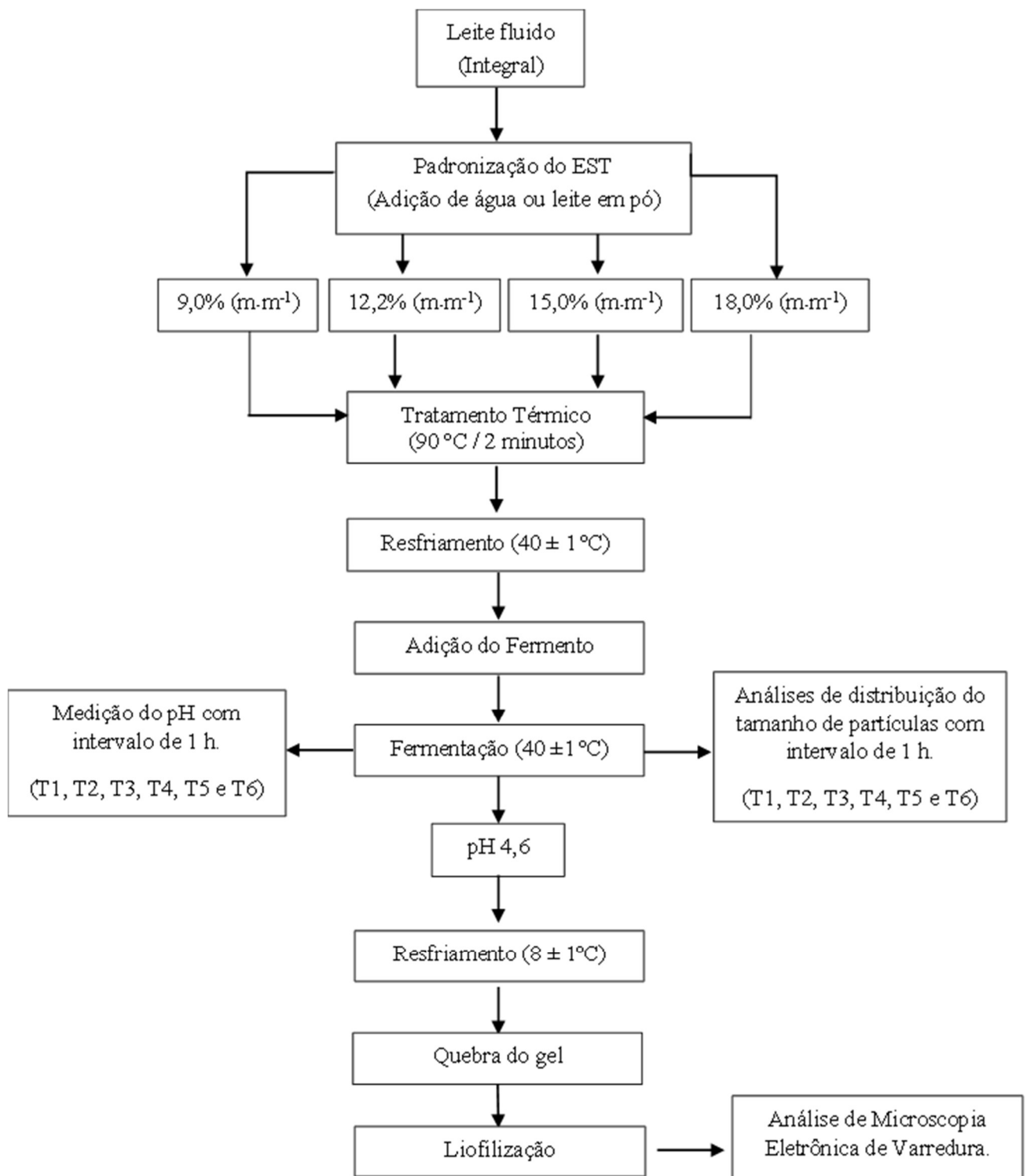
O experimento seguiu um Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) (4 tratamentos, 2 análises e 2 repetições). Os dados obtidos em todo

experimento foram analisados no software SPSS 23.0 (SPSS, versão 23, IBM Corp., Armonk, NY, USA). As diferenças significativas entre as médias dos resultados das réplicas de cada parâmetro analítico foram avaliadas utilizando análise de variância (ANOVA) e em seguida pelo teste post-hoc de Tukey HSD com um nível de confiança de 95%.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

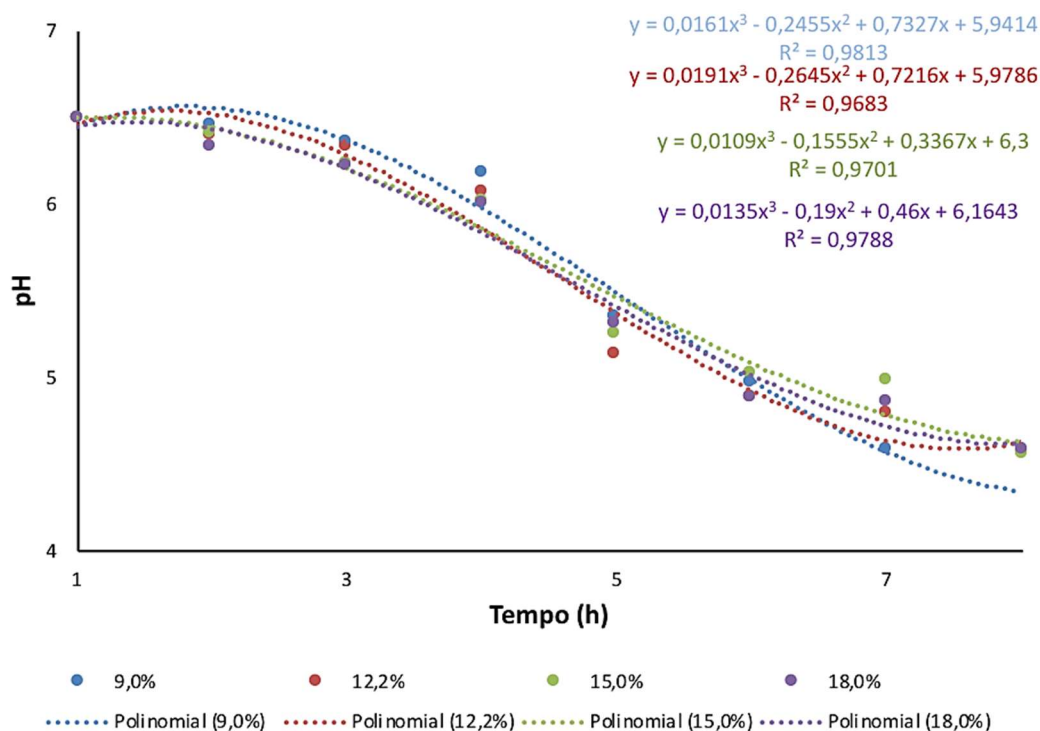
### Curva de acidificação

As curvas de fermentação dos leites fermentados produzidos com diferentes concentrações de sólidos totais (9,0%; 12,2%; 15,0% e 18,0% m/m) são apresentadas na Figura 3.

**Figura 2.** Fluxograma da fabricação dos leites fermentados e das análises realizadas

Os teores de sólidos avaliados promoveram pouca variação na curva de fermentação dos leites fermentados, o que indica que as concentrações de sólidos totais avaliadas nesse trabalho não interfe-

riram na produção do ácido láctico pelas bactérias. As equações empíricas apresentaram ajuste experimental similares com os valores previsto de  $R^2$  variando de 0,97 a 0,98 (Figura 3).

**Figura 3.** Curva de fermentação dos leites fermentados com diferentes teores de sólidos totais

### Distribuição do tamanho de partículas

Os resultados para análises de distribuição do tamanho de partículas em solução, durante o tempo de fermentação, são apresentados na Tabela 1. O valor de  $d_{90}$  indica que 90% das partículas têm tamanho igual ou menor que o valor de referência, como por exemplo, o leite fermentado com 9,0% (m/m) de sólidos, no tempo 0, apresentou um  $d_{90}$  de 5,30  $\mu\text{m}$ , o que representada que 90% das partículas têm tamanho igual ou menor que 5,30  $\mu\text{m}$ . Desta forma, podemos notar que nos tempos de 0 até 2 horas de fermentação, houve pouca variação na distribuição do tamanho de partículas entre os tratamentos com diferentes teores de sólidos. Após 3 horas, o leite fermentado com 9,0% (m/m) de sólidos totais apresentou um menor  $d_{90}$  quando comparado aos demais tratamentos ( $p < 0,05$ ). No tempo de 4 horas, o tratamento com 15% (m/m) de sólidos apresentou um maior valor de  $d_{90}$  que os tratamentos com 9% e 12% (m/m) de sólidos, entretanto, essas diferenças não foram significativas, o que indica que ocorreu apenas uma variação dos dados. Por outro lado, pode-se observar que nos tempos de 4 h para 5 h o  $d_{90}$  diminuiu para todos os tratamentos, essa variação pode ter ocorrido devido a uma maior queda de

pH nesses tempos, o que irá impactar na distribuição do tamanho de partículas. Além disso, nesses mesmos tempos, o leite fermentado com 18,0% (m/m) de sólidos totais apresentou um maior  $d_{90}$  ( $p < 0,05$ ).

O tempo de fermentação do leite fermentado com menor teor de sólidos totais (9,0% m/m) foi de 5 horas, enquanto para os outros tratamentos o tempo foi de 6 horas. No tempo final da fermentação (6 h) não houve diferença significativa do  $d_{90}$  dos leites fermentados com 12,2%; 15,0% e 18,0% (m/m) de sólidos totais.

Alguns estudos avaliaram a distribuição do tamanho de partículas em bebidas lácteas fermentadas, nos quais são empregados diferentes técnicas e modelos matemáticos de acordo com os parâmetros avaliados. Como por exemplo, em um estudo realizado por Hahn *et al.* (2012) empregando célula de fluxo e difração a laser, em que avaliaram o tamanho de partículas de leite fermentado adicionado de fibras e encontraram partículas esféricas de até 70  $\mu\text{m}$ , ou seja, um tamanho maior do que o encontrado no presente estudo que foi de 60,1  $\mu\text{m}$ , para o leite fermentado com 18% de sólidos. Enquanto, quando avaliado o tamanho de partículas de géis de iogurte submetidos a sonicação e com diferentes teores de sólidos

dos, foi observado que o aumento do teor de sólidos promoveu um aumento no tamanho das partículas do microgel, assim como um aumento geral nos parâmetros reológicos (NÖBEL *et al.*, 2016a). Já em outro estudo, em que foi avaliado a formação de partículas de microgel no iogurte, influenciada pela sonicação durante a fermentação, foram encontrados valores de  $d_{90,3}$ , que são partículas do 90º percentil de 54,5  $\mu\text{m}$  no pH de 4,6-4,7 (NÖBEL *et al.*, 2016b). Outro estudo avaliou a distribuição do tamanho de partículas em leite fermentado desnatado, adicionado de concentrado de proteína do soro, goma alfarroba ou alginato de propilenoglicol e os valores de  $D_{4,3}$ , que é o diâmetro médio ponderado por volume, variaram de 0,73 a 1,42  $\mu\text{m}$  (OZEN; KILIC, 2009).

Portanto, os resultados de distribuição do tamanho de partículas encontrados no presente estudo estão dentro da faixa dos relatados em outras pesquisas, entretanto, nesses estudos não foram realizadas análises da distribuição do tamanho de partículas durante a fermentação. Além disso, é importante constatar que as medidas de distribuição de tamanho de partículas estão relacionadas com as propriedades de textura e sensorial de produtos lácteos, corroborando com Weidendorfer; Hinrichs, 2010. Hossain *et al.* (2020), observaram que o tamanho de partículas impactou na firmeza e cremosidade de iogurte reduzido em gordura e adicionado de proteínas soro microparticuladas, sendo que quanto menor o tamanho de partículas, maior a firmeza e cremosidade do iogurte.

**Tabela 1.** Distribuição do tamanho de partículas dos leites fermentados durante a fermentação\*

Distribuição do Tamanho de Partículas	Tempo (h)	Concentração de sólidos totais (% m/m)			
		9,0%	12,2%	15,0%	18,0%
$d_{90}$ ( $\mu\text{m}$ )	0	5,30 $\pm$ 0,20 <sup>a</sup>	5,00 $\pm$ 0,01 <sup>b</sup>	5,30 $\pm$ 0,10 <sup>a</sup>	5,80 $\pm$ 0,01 <sup>c</sup>
	1	5,40 $\pm$ 0,30 <sup>a</sup>	4,80 $\pm$ 0,05 <sup>b</sup>	4,70 $\pm$ 0,40 <sup>b</sup>	5,02 $\pm$ 0,20 <sup>c</sup>
	2	5,10 $\pm$ 0,30 <sup>a</sup>	4,80 $\pm$ 0,40 <sup>b</sup>	4,90 $\pm$ 0,01 <sup>c</sup>	5,20 $\pm$ 0,01 <sup>a</sup>
	3	7,50 $\pm$ 0,30 <sup>a</sup>	26,60 $\pm$ 1,90 <sup>b</sup>	23,10 $\pm$ 1,60 <sup>b</sup>	27,75 $\pm$ 1,30 <sup>b</sup>
	4	48,00 $\pm$ 3,70 <sup>a</sup>	48,20 $\pm$ 3,40 <sup>a</sup>	52,20 $\pm$ 3,90 <sup>a</sup>	87,20 $\pm$ 3,30 <sup>b</sup>
	5	46,90 $\pm$ 2,90 <sup>a</sup>	54,50 $\pm$ 2,65 <sup>a</sup>	46,50 $\pm$ 2,90 <sup>a</sup>	80,80 $\pm$ 4,60 <sup>b</sup>
	6	n.a.*	58,10 $\pm$ 4,00 <sup>a</sup>	46,50 $\pm$ 2,70 <sup>a</sup>	60,10 $\pm$ 7,20 <sup>a</sup>

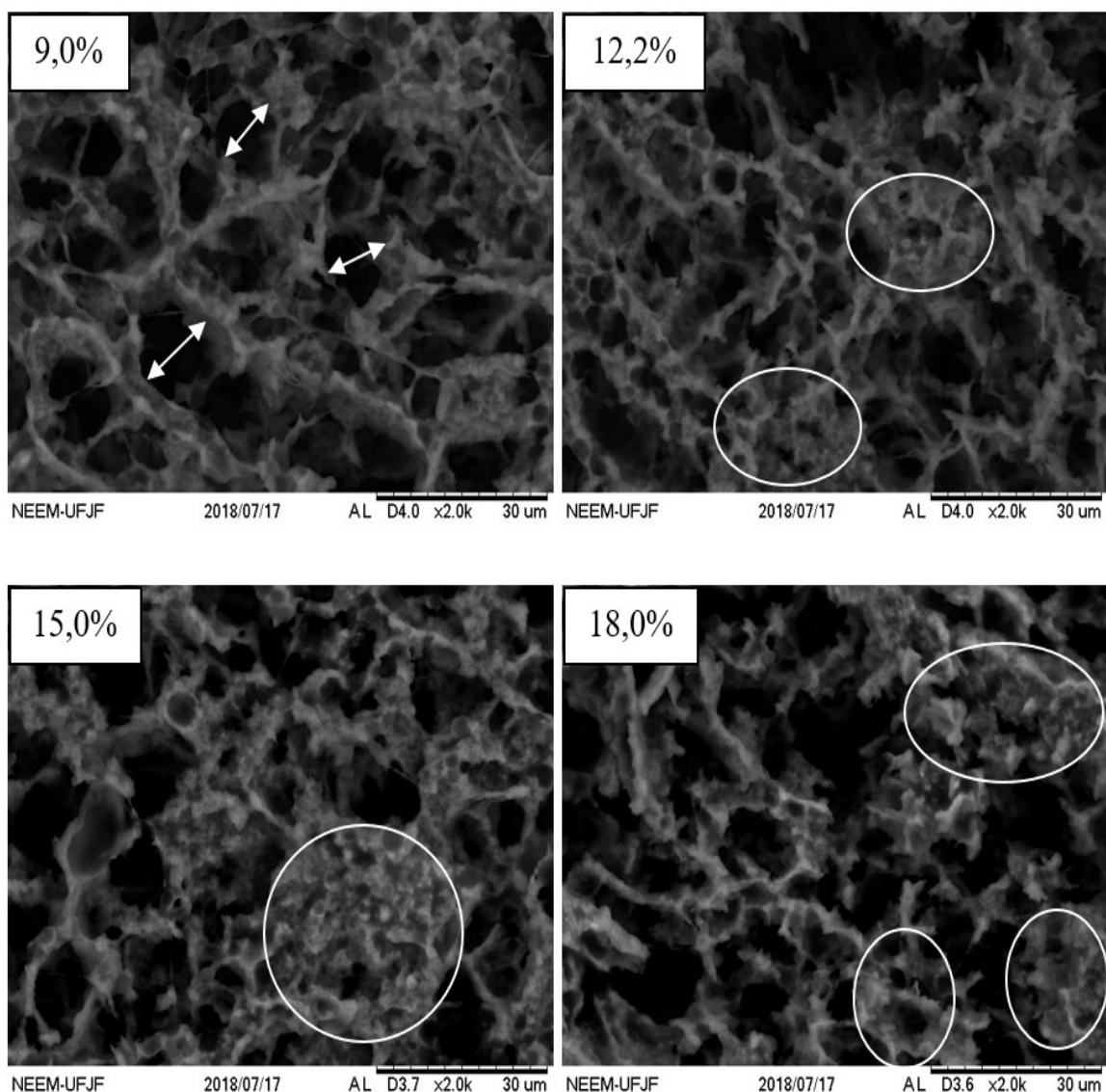
\*Médias seguidas da mesma letra nas linhas não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. \* Análise não foi realizada.

### Microscopia Eletrônica de Varredura

Na Figura 4 são apresentadas as micrografias dos leites fermentados. Notou-se diferenças entre os tamanhos dos poros e a organização das estruturas dos diferentes tratamentos (9,0%; 12,2%; 15,0% e 18,0% m/m). O leite fermentado com 9% (m/m) de sólidos totais apresentou uma estrutura porosa mais aberta, conforme indicado pelas setas brancas na Figura 4, enquanto os leites fermentados com 12,2%, 15,0% e 18% (m/m) de sólidos totais apresentaram uma estrutura com alguns pontos mais compactos, representados com círculos na Figura 4.

Esses resultados são coerentes aos encontrados na análise de distribuição de partículas, já que nessas mesmas concentrações não houve diferenças significativas no tempo final da fermentação. Poros maiores podem indicar interações fracas entre as micelas de caseína, como sugerido por Marafon (2010) em seu estudo com iogurtes probióticos enriquecidos com proteínas lácteas (proteína concentrada de soro de leite, caseinato de sódio e leite em pó desnatado). Portanto, os resultados indicam que o leite fermentado com 9% (m/m) de sólidos totais apresenta uma estrutura do gel mais fraca.

**Figura 4.** Microestrutura dos leites fermentados obtidos por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Aumento de 2000x. Setas brancas indicam os poros com estrutura mais aberta, enquanto os círculos brancos indicam as partes da imagem mais compacta



Nguyen *et al.* (2018) reportaram em seu estudo que o tamanho de partícula do gel está relacionado com a microestrutura, uma vez que iogurtes com menor tamanho de partículas apresentaram uma microestrutura mais porosa, devido a composição dos leites utilizados na produção dos iogurtes oriundos de ovelha, cabra e vaca. Resultado similar ao observado no presente estudo, em que o leite fermentado com menor teor de sólidos totais apresentou uma estrutura mais aberta. Outro estudo mostrou que iogurte desnatado adicionado de pectina com baixo teor de metoxil, modificou a microestrutura do io-

gurte, pois a adição da pectina aumentou o conteúdo de sólidos solúveis e promoveu a reticulação com caseína, preenchendo as cavidades da rede proteica (KHUBBER *et al.*, 2021).

A microestrutura do iogurte também pode ser alterada devido a adição de probióticos e paraprobióticos (que são células mortas de probiótico) apesar de não alteram os sólidos lácteos do iogurte. Parvarei *et al.* (2021) demonstraram que os iogurtes sem adição probióticos e paraprobióticos possuem uma estrutura mais aberta e esponjosa, já os iogurtes com adição de probióticos antes da fermentação mostraram uma estrutura

compacta e sem espaços vazios, enquanto os tratamentos contendo paraprobiótico foram observados pequenos poros vazios. Além disso, os iogurtes com paraprobióticos adicionados após a fermentação apresentaram uma estrutura aberta devido a produção de exopolissacarídeos (PARVAREI *et al.*, 2021).

A adição de isolado proteico de soro ou concentrado de proteína do soro de leite com diferentes temperaturas de quebra do gel influenciaram na microestrutura do iogurte, sendo que quando a quebra do gel foi realizada à 42 °C, as imagens mostraram uma microestrutura mais heterogênea e com maior sinérese, enquanto as redes dos géis quebradas à 20 °C, apresentaram estrutura mais homogêneas e menor sinérese (GILBERT *et al.*, 2020).

Iogurtes produzidos com proteína de soro de leite polimerizada líquida, proteína de soro de leite polimerizada sólida e concentrado de proteína do soro de leite tratado termicamente, exibiram uma rede de proteína com aglomerados maiores e mais densos quando comparado ao controle sem adição de proteína do soro (FANG; GUO, 2019). Dessa forma, podemos notar que mudanças na formulação ou no processamento de iogurte ou leites fermentados, como a variação do teor de sólidos, modifica a microestrutura da rede proteica.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados desse trabalho mostraram que por meio da técnica de distribuição do tamanho de partículas em solução, o leite fermentado com maior concentração de sólidos totais (18,0% m/m) apresentou um maior d<sub>90</sub> após 4 e 5 horas de fermentação e no final da fermentação não houve diferença na distribuição do tamanho de partículas para os tratamentos com 12,2%, 15,0% e 18,0% m/m de sólidos totais. Além disso, foi possível observar que as diferentes concentrações de sólidos totais influenciaram em modificações na microestrutura do leite fermentado, sendo que o leite fermentado com menor teor de sólidos totais apresentou uma estrutura da rede proteica mais aberta e os leites fermentados com maiores teores de sólidos totais (12,2%, 15,0% e 18,0% de sólidos totais m/m) exibiram uma es-

trutura com partes mais compactas, resultado similar ao encontrado na análise de distribuição de partículas. Portanto, as maiores alterações na distribuição do tamanho de partículas e na microscopia eletrônica de varredura foram observadas nos tratamentos com menor (9,0% m/m) e maiores (12,2%, 15,0%, 18,0% m/m) teores de sólidos totais.

## REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 46, de 23 de outubro de 2007. Regulamento técnico de produção, identidade e qualidade de leites fermentados. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n. 205, p. 4, 24 out. 2007.

FANG, T.; GUO, M. Physicochemical, texture properties, and microstructure of yogurt using polymerized whey protein directly prepared from cheese whey as a thickening agent. **Journal of Dairy Science**, v. 102, n. 9, p. 7884-7894, 2019. DOI: 10.3168/jds.2018-16188

GILBERT, A. *et al.* Studying stirred yogurt microstructure using optical microscopy: how smoothing temperature and storage time affect microgel size related to syneresis. **Journal of Dairy Science**, v. 103, p. 2139-2152, 2020. DOI: 10.3168/jds.2019-16787

HAHN, C. *et al.* Simultaneous particle size and shape analysis in fermented milk products as influenced by composition and processing. **Milchwissenschaft**, v. 67, n. 1, p. 6-9, 2012.

HOSSAIN, M. K. *et al.* The impact of extruded microparticulated whey proteins in reduced-fat, plain-type stirred yogurt: characterization of physicochemical and sensory properties. **LWT Food Science and Technology**, v. 134, p. 1-8, 2020. DOI: 10.1016/j.lwt.2020.109976

KHUBBER, S. *et al.* Low-methoxyl pectin stabilizes low-fat set yoghurt and improves their physicochemical properties, rheology, microstructure and sensory liking. **Food Hydrocolloids**, v. 111, 2021. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2020.106240



- LIMA, S. C. G.; GIGANTE, M. L.; ALMEIDA, T. C. A. Efeito da adição de diferentes tipos e concentrações de sólidos nas características sensoriais de iogurte tipo firme. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 8, n. 1, p. 75-84, 2006.
- MANTOVANI, D. *et al.* Elaboration of yoghurt with different concentrations of total solids, analysis, chemical-physical and texture of profile. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 6, n. 1, p. 680-687, 2012. DOI: 10.3895/S1981-36862012000100007
- MARAFON, A. P. **Otimização das propriedades reológicas e sensoriais de iogurtes probióticos enriquecidos com proteínas lácteas**. 2010. 82 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Bioquímico-Farmacêutica) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.
- NGUYEN, H. T. H.; AFSAR, S.; DAY, L. Differences in the microstructure and rheological properties of low-fat yoghurts from goat, sheep and cow milk. **Food Research International**, v. 108, p. 423-429, 2018. DOI: 10.1016/j.foodres.2018.03.040
- NÖBEL, S. *et al.* Sonication induced particle formation in yogurt: influence of the dry matter content on the physical properties. **Journal of Food Engineering**, v. 191, p. 77-87, 2016a. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2016.07.007
- NÖBEL, S. *et al.* Microgel particle formation in yogurt as influenced by sonication during fermentation. **Journal of Food Engineering**, v. 180, p. 29-38, 2016b. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2016.01.033
- ORDÓÑEZ, J. A. **Tecnologia de Alimentos: Alimentos de Origem Animal**. Porto Alegre: Artmed, 2005. 279 p.
- OZEN, A. E.; KILIC, M. Improvement of physical properties of nonfat fermented milk drink by using whey protein concentrate. **Journal of Texture Studies**, v. 40, n. 3, p. 288-299, 2009. DOI: 10.1111/j.1745-4603.2009.00182.x
- PARVAREI, M. M *et al.* Comparative effect of probiotic and paraprobiotic addition on physicochemical, chemometric and microstructural properties of yogurt. **LWT Food Science and Technology**, v. 144, n. 111-177, 2021. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.111177
- WEIDENDORFER, K.; HINRICHS, J. Measurement in microgel particle suspensions: principles and data analysis. **Chemie Ingenieur Technik**, v. 82, n. 10, p. 1685-1691, 2010. DOI: 10.1002/cite.201000014