

UFRRJ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

TESE

SECAGEM DE IOGURTE POR ATOMIZAÇÃO OU
LIOFILIZAÇÃO: EFEITOS SOBRE A VIABILIDADE
MICROBIANA E CARACTERÍSTICAS FÍSICAS,
QUÍMICAS E SENSORIAIS

Geânderson dos Santos

2017



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DE ALIMENTOS

**SECAGEM DE IOGURTE POR ATOMIZAÇÃO OU
LIOFILIZAÇÃO: EFEITOS SOBRE A VIABILIDADE
MICROBIANA E CARACTERÍSTICAS FÍSICAS,
QUÍMICAS E SENSORIAIS**

GEÂNDERSON DOS SANTOS

Sob a Orientação do Professor Doutor
Amauri Rosenthal

e Coorientação da Professora Doutora
Regina Isabel Nogueira

Tese submetida como requisito parcial
para obtenção do grau de **Doutor em
Ciências**, no Programa de Pós-
Graduação em Ciência e Tecnologia de
Alimentos, Área de Concentração em
Tecnologia de Alimentos.

Seropédica - RJ
Agosto de 2017

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S139 Santos, Geânderson, 1986-
SECAGEM DE IOGURTE POR ATOMIZAÇÃO OU LIOFILIZAÇÃO:
EFEITOS SOBRE A VIABILIDADE MICROBIANA E
Saint CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS E SENSORIAIS /
Gs Geânderson Santos. - 2017.
143 f.: il.

Orientador: Amauri Rosenthal.
Coorientador: Regina Nogueira.
Tese (Doutorado). -- Universidade Federal Rural do
Rio de Janeiro, PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 2017.

1. Bactérias Lácticas. 2. Desidratação. 3.
Armazenamento. 4. Aditivos. 5. Aceitação. I.
Rosenthal, Amauri, 1960-, orient. II. Nogueira,
Regina, 1958-, coorient. III Universidade Federal
Rural do Rio de Janeiro. PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS. IV. Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE TECNOLOGIA PROGRAMA DE PÓS-
GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS**

GEÂNDERSON DOS SANTOS

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Área de Concentração em Tecnologia de Alimentos.

TESE APROVADA EM: 24 / 08 / 2017



Amauri Rosenthal (Ph.D.) – EMBRAPA
(orientador)



Daniela de Grandi Castro Freitas (D.Sc.) – EMBRAPA



Eduardo Henrique Miranda Walter (D.Sc.) – EMBRAPA



Elisa Helena Rocha Ferreira (D.Sc.) - UFRRJ



Renata Valeriano Tonon (D.Sc.) – EMBRAPA

DEDICATÓRIA

Dedico esta tese a todos os professores que tive durante toda minha vida, minha família, especialmente a minha mãe e minha irmã, por todo o amor, companheirismo, confiança, amizade, força e tempo que sempre me dedicaram.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar sempre ao meu lado, guardando e iluminando meu caminho, mesmo quando o ignoro.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, pela oportunidade concedida para realizar o curso.

À Embrapa Agroindústria de Alimentos, pelas instalações cedidas para a execução do presente estudo.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe, por me conceder essa oportunidade de crescimento profissional e pessoal inigualável.

Aos professores Dr. Amauri Rosenthal e Dra. Regina Isabel Nogueira que contribuíram de forma incomensurável para realização deste sonho, pelos conhecimentos transmitidos e pelo incentivo nos momentos mais difíceis da realização deste trabalho.

Aos meus amigos Agnelli (Urso), Sergio (Filé) e o Luís Fernando (Chorão) pela ajuda na execução das etapas do projeto, conversas descontraídas e futebol na - EMBRAPA – CTAA.

Aos Professores do Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, por incentivar e acreditar desde o início.

A meus parceiros técnicos do DTA da UFFRJ, Edilene, Dina, Ivan, Robertinho e o grande Juarez.

A todos meus amigos que sempre me deram apoio em especial, Elder, Diego, Danilo, Alan, Ramiro, André e Ronielson.

Aos meus amigos sofredores de pós-graduação, Maria Isabel, Leilson, Fabiola, Yure, Rodrigo, Fernandas, Davy, Roseane, em especial Fernando Morais.

Meus irmãos de batalhas laborais, Werner, Roseane, Tiago, Alciene, Valdeci, Juliano, Cristiane, Anita (adoro) e Jeanne (também adoro).

Paloma Rodrigues, sem dúvida, você é o que fez esse doutorado valer apenas, sem palavras para descrever sua importância nesse trabalho e na minha vida, seremos uma família (TE AMO).

Enfim, a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a finalização deste projeto.

RESUMO GERAL

SANTOS, Geânderson dos. **Secagem de iogurte por atomização ou liofilização: efeitos sobre viabilidade microbiana e características físicas, químicas e sensoriais**, 2017, p 115. Tese de Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Instituto de Tecnologia, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2017.

O iogurte é o leite fermentado mais consumido no mundo, reconhecido pelo seu valor nutricional e efeito benéfico à saúde, entretanto, sua vida útil é relativamente curta se comparado a outros derivados lácteos. Nesse contexto, a desidratação é uma tecnologia de conservação, redução de custos com armazenamento e transporte, bem como diversificação de produtos. O presente trabalho teve por objetivo estudar o processo de desidratação, estabilidade e características do iogurte em pó por liofilização ou atomização, de acordo com os requisitos legais do leite fermentado. Foram elaboradas formulações com lecitina (0,2; 0,4 e 0,6 %), goma arábica (0,2; 0,4 e 0,6 %) e maltodextrina (5, 10 e 15 %) e controle, de iogurte liofilizados e atomizados. Os ensaios foram realizados segundo delineamento composto central rotacional (DCCR) 2ⁿ, sendo n = 3 o número de variáveis independentes e três pontos centrais. Análises de solubilidade, colorimetria (luminosidade) e microbiológicas de contagens de *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* e *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* foram realizadas como variáveis respostas. Posteriormente, foram caracterizadas duas amostras liofilizadas, L1 (sem aditivos) e L2 com aditivos (15 % de maltodextrina e 0,6 % de Goma arábica) e duas amostras atomizadas, A1 (sem aditivos) e A2 com aditivos (15 % de maltodextrina e 0,6 % de Goma arábica), sendo realizadas análises físicas (molhabilidade, solubilidade, tamanho de partícula, colorimetria, reológicas, isothermas de sorção e atividade de água), químicas de composição centesimal, perfil de ácidos graxos, teor de acetaldeído, perfil eletroforético das proteínas e microbiológicas de contagem de bactérias lácticas, após o processamento e durante o armazenamento em temperaturas de refrigeração e ambiente. Também foram realizadas análises sensoriais de aceitação utilizando-se escala hedônica de 9 pontos e caracterização das amostras de iogurte reidratadas por meio da metodologia de questões Check All That Apply (CATA). Os aditivos influenciaram positivamente a preservação das células de *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* durante o processo de desidratação, porém a maltodextrina e a lecitina colaboraram com a diminuição da contagem de células de *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus*. Os parâmetros de sorção das amostras de iogurte em pó foram mais bem ajustados ao modelo de Guggenheim, Anderson e de Boer (GAB) e as características reológicas das amostras reidratadas de iogurte em pó se ajustaram aos modelos de Ostwald-de-Waele e Herschel-Bulkley. As amostras processadas apresentaram menor aceitação do que as amostras natural e comercial. No entanto, as amostras liofilizadas apresentaram boa aceitação, sendo caracterizadas como homogêneas, sabor doce e característico de iogurte. As amostras atomizadas apresentaram baixa aceitação, sendo caracterizadas como amareladas, sabor amanteigado, gordurosas e homogêneas. Tanto as amostras atomizadas quanto as liofilizadas resultaram em conformidade com os padrões exigidos pela legislação brasileira, tendo o processo de liofilização se mostrado mais eficiente, tanto na preservação das bactérias lácticas, quanto na retenção de acetaldeído, principal composto aromático do iogurte. A atomização e a liofilização conservaram a viabilidade das bactérias lácticas acima do recomendado pela legislação brasileira, por mais de 150 dias quando armazenado a 6 °C. No armazenamento a 30 °C, a viabilidade foi de aproximadamente 45 dias para amostras atomizadas e até 120 dias para amostras liofilizadas. Todas as amostras apresentaram viabilidade de bactérias lácticas por tempos de

armazenamento superiores ao do iogurte tradicional, o que confirma ambos os métodos de secagem como alternativas para conservação do iogurte.

Palavras – Chave: Bactérias Lácticas, Desidratação, Armazenamento, Aditivos, Aceitação.

ABSTRACT

SANTOS, Geânderson dos. **Processing of yogurt powder by spray drying or freeze drying: effects on microbial viability and on physical, chemical and sensory characteristics.** 2017, p. 160. Doctoral Thesis in Food Science and Technology. Institute of Technology, Department of Food Technology, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro, Brazil, 2017.

Yogurt is the most consumed fermented milk in the world, recognized for its nutritional value and beneficial effect to health. However, its shelf life is relatively short compared to other dairy products. In this context, dehydration arises as an alternative for conservation, reduction of costs with storage and transportation, as well as diversification of the product niche. Therefore, the present work aims to develop yogurt powder by freeze drying or spray drying, within the parameters pre-established by Brazilian legislation for fermented milk. Formulations were prepared with lecithin (0.2, 0.4 and 0.6%), gum arabic (0.2, 0.4 and 0.6 %) and maltodextrin (5, 10 and 15 %). We performed the tests according to a central composite rotatable design (CCRD) 2^n , with $n = 3$ as the number of independent variables and 3 central points. We also performed analyses of solubility, colorimetry (luminosity) and microbiological analyses of *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* and *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* counts as response variables. Afterwards, 2 freeze dried samples, L1 (without additives) and L2 (with additives 15 % of maltodextrin and 0.6 % of gum arabic) and 2 spray dried ones, A1 (without additives) and A2 (with additives 15 % of maltodextrin and 0.6 % of gum arabic), were characterized by some analyses, such as: physical (wettability, solubility, sorption isotherms, rheological and colorimetry and A_w) centesimal composition, fatty acid profile, acetaldehyde content, electrophoretic profile of proteins and microbiological counting of lactic acid bacteria, after processing and during storage in cooling and ambient temperatures. In addition, sensory analysis on the acceptance and characterization of rehydrated yogurt samples using a 9-point hedonic scale and the Check All That Apply (CATA) methodology were also performed. The additives positively influenced the preservation of *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* cells during the dehydration process, while maltodextrin and lecithin collaborated to decrease *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* cells. The sorption parameters of the yogurt powder samples were better adjusted to the Guggenheim, Anderson and BOER (GAB) model. The rheological data of the rehydrated samples were adjusted to the Ostwald-de-Waele and Herschel-Bulkley models. The samples processed showed less acceptance than the natural and commercial samples. However, the freeze dried samples presented good acceptance. They were characterized as creamy, homogeneous and with characteristic yogurt flavor. The spray dried samples showed low acceptance. They were characterized as yellowish, buttery, fatty, creamy and homogeneous. Both the freeze dried and spray dried samples were in compliance with the standards required by Brazilian legislation, but the freeze drying process was shown to be more efficient, both in the preservation of lactic acid bacteria and in the retention of acetaldehyde, the main aromatic compound of yogurt. Spray drying and freeze drying preserved the viability of lactic acid bacteria above that recommended by the Brazilian legislation for more than 150 days when stored at 6 °C. When stored at 30 °C, the bacterial viability was 45 days for spray dried samples and 75 days for freeze dried ones. All samples showed viability of lactic acid bacteria for storage times much longer than the traditional yogurt, which confirms that both drying methods are efficient for yogurt preservation.

Keywords: Lactic acid Bacteria, Dehydration, Storage, Additives, Acceptance.

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1. Taxa de sobrevivência das bactérias lácticas decorrente do processo de secagem de iogurte.....	26
---	----

CAPÍTULO II

Tabela 1. Matriz de ensaios para o delineamento composto central rotacional com os níveis das variáveis independentes nas unidades codificadas e originais.....	49
Tabela 2. Sais e as respectivas umidades relativas das soluções saturadas.....	50
Tabela 3. Modelos para ajustes de isotermas de sorção de umidade.....	51
Tabela 4. Matriz de ensaios para o delineamento composto central rotacional das amostras atomizadas com as variáveis respostas.....	52
Tabela 5. Matriz de ensaios para o delineamento composto central rotacional das amostras liofilizadas com as variáveis respostas.....	53
Tabela 6. Valores dos parâmetros dos modelos de isotermas do iogurte desidratado.....	67

CAPÍTULO III

Tabela 1. Propriedades físicas do iogurte em pó liofilizado ou atomizado.....	80
Tabela 2. Os valores medidos dos valores de L^* , a^* , b^* e ΔE calculados de iogurte em pó liofilizado ou atomizado.....	81
Tabela 3. Caracterização físico-química das amostras de iogurte em pó liofilizado ou atomizado.....	82
Tabela 4. Composição individual de ácidos graxos das frações de gordura láctea extraídas do iogurte em pó.....	83
Tabela 5. Quantidade de acetaldeído presentes nas amostras de iogurte desidratado.....	85
Tabela 6. Quantidade de bactérias lácticas do iogurte em pó liofilizado ou atomizado.....	87

CAPÍTULO IV

Tabela 1. Modelos para ajustes reológicos.....	104
Tabela 2. Parâmetros reológicos do iogurte em pó liofilizado ou reidratado.....	108
Tabela 3. Características do iogurte em pó liofilizado ou atomizado durante o armazenamento.....	110

CAPÍTULO V

Tabela 1. Caracterização físico-química das amostras de iogurte em pó reidratado e natural.....	124
Tabela 2. Perfis sócio-demográficos e atitudinal dos consumidores (n = 86) que participaram do estudo de aceitação de iogurte.....	126
Tabela 3. Aceitação global das amostras de iogurte liofilizado ou atomizado, com ou sem aditivos, em relação aos controles comercial ou natural.....	128

Tabela 4. Frequência (%) que cada um dos termos do questionário CATA foi marcado para descrição sensorial do iogurte reidratado liofilizado ou atomizado, com ou sem aditivos, em relação aos controles comercial ou natural.....	129
Tabela 5. Aceitação do iogurte reidratado liofilizado ou atomizado, com ou sem aditivos, em relação aos controles comercial ou natural pelos consumidores dos grupos G1 e G2.....	132

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO II

- Figura 1.** Gráfico de Pareto retratando a influência do teor de maltodextrina (%), lecitina (%) e goma arábica (%) sobre a luminosidade (L) do iogurte decorrente do processo de atomização.....54
- Figura 2.** Efeito do teor de maltodextrina (%) e lecitina (%) sobre a luminosidade do iogurte decorrente do processo de atomização.....55
- Figura 3.** Gráfico de Pareto retratando a influência do teor de maltodextrina (%), lecitina (%) e goma arábica (%) sobre a luminosidade do iogurte durante o processo de liofilização.....56
- Figura 4.** Efeito do teor de maltodextrina (%) e lecitina (%) sobre a luminosidade do iogurte durante o processo de liofilização.....56
- Figura 5.** Gráfico de Pareto retratando a influência do teor de maltodextrina (%), lecitina (%) e goma arábica (%) sobre a solubilidade do iogurte durante o processo de atomização.....57
- Figura 6.** Efeito do teor de maltodextrina (%) e goma arábica (%) sobre a solubilidade do iogurte durante o processo de atomização.....58
- Figura 7.** Gráfico de Pareto retratando a influência de maltodextrina (%), lecitina (%) e goma arábica (%) sobre a solubilidade do iogurte durante o processo de liofilização.....59
- Figura 8.** Efeito do teor de maltodextrina (%) e goma arábica (%) sobre a solubilidade do iogurte durante o processo de liofilização.....59
- Figura 9.** Gráfico de Pareto retratando a influência do teor de maltodextrina (%), lecitina (%) e goma arábica (%) sobre a redução de *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* no iogurte após o processo de atomização.....60
- Figura 10.** Efeito do teor de maltodextrina (%) e goma arábica (%) sobre a redução de *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* no iogurte após o processo de atomização.....61
- Figura 11.** Gráfico de Pareto retratando a influência do teor de maltodextrina (%), lecitina (%) e goma arábica (%) sobre a redução de *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* no iogurte após o processo de liofilização.....62
- Figura 12.** Efeito do teor de maltodextrina (%) e goma arábica (%) sobre a redução de *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* no iogurte após o processo de liofilização.....62
- Figura 13.** Influência do teor de maltodextrina (%), lecitina (%) e goma arábica (%) sobre a redução de *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* no iogurte durante o processo de atomização.....63
- Figura 14.** Efeito do teor de maltodextrina (%) e lecitina (%) sobre a redução de *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* no iogurte após o processo de atomização.....64
- Figura 15.** Gráfico de Pareto retratando a influência do teor de maltodextrina (%), lecitina (%) e goma arábica (%) sobre a redução de *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* no iogurte durante o processo de liofilização.....65
- Figura 16.** Efeito do teor de maltodextrina (%) e goma arábica (%) sobre a redução de *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* no iogurte durante ao processo de liofilização.....65
- Figura 17.** Gráfico das isotermas do iogurte desidratado por liofilização ou atomização.....66

CAPÍTULO III

- Figura 1.** Distribuição do tamanho de partículas de pós de iogurte produzidos por liofilização ou atomização.....79

Figura 2. Composição de ácidos graxos do iogurte em pó liofilizado ou atomizado.....	84
Figura 3. Perfil proteico por eletroforese em SDS-PAGE dos iogurtes desidratados por atomização e liofilização.....	86

CAPÍTULO IV

Figura 1. Curvas de fluxo do iogurte atomizado ou liofilizado.....	105
Figura 2. Curvas de viscosidade do iogurte atomizado ou liofilizado.....	107
Figura 3. Número de <i>Lactobacillus delbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i> durante vida útil de amostras de iogurte atomizadas.....	111
Figura 4. Número de <i>Lactobacillus delbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i> durante vida útil das amostras de iogurte liofilizadas.....	112
Figura 5. Número de <i>Streptococcus salivarius</i> subsp. <i>thermophilus</i> durante vida útil das amostras de iogurte atomizadas.....	113
Figura 6. Número de <i>Streptococcus salivarius</i> subsp. <i>thermophilus</i> durante vida útil das amostras de iogurte liofilizadas.....	114

CAPÍTULO V

Figura 1. Dendograma dos consumidores (n = 86) para a aceitabilidade das amostras do iogurte reidratado liofilizado ou atomizado, com ou sem aditivos.....	127
Figura 2. Termos sensoriais usados para descrever as amostras nas duas primeiras dimensões da análise de correspondência das variáveis descritivas no CATA e representação das amostras de iogurte reidratado liofilizado ou atomizado, com ou sem aditivos, em relação aos controles comercial ou natural.....	130
Figura 3. Faixa de aceitação do iogurte reidratado liofilizado ou atomizado, com ou sem aditivos, em relação aos controles comercial ou natural.....	131

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	17
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:	19
CAPÍTULO I.....	20
OBTENÇÃO DE IOGURTE EM PÓ POR ATOMIZAÇÃO OU LIOFILIZAÇÃO: REVISÃO	20
1 INTRODUÇÃO.....	23
2 SECAGEM DE IOGURTE	23
2.1 Sobrevivencia de Bactérias Lácticas Durante o Processo de Desidratação.....	24
2.2 Por Liofilização.....	25
2.3 Por Atomização.....	27
2.4 Vida Útil e Estabilidade de Iogurtes Desidratados	31
3 REIDRATAÇÃO	32
4 CONCLUSÃO.....	33
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:	34
CAPÍTULO II.....	42
INFLUÊNCIA DE ADITIVOS SOBRE AS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E MICROBIOLÓGICAS DO IOGURTE EM PÓ POR ATOMIZAÇÃO E LIOFILIZAÇÃO..	42
1 INTRODUÇÃO.....	45
2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	46
2.1 Processamento do Iogurte Tradicional.....	46
2.2 Processamento do Iogurte Liofilizado	47
2.3 Processamento do Iogurte Atomizado	47
2.4 Delineamento Experimental	47
2.5 Caracterização Física	48
2.5.1 Colorimetria.....	48
2.5.2 Solubilidade	48
2.6 Caracterização Físico - química.....	48
2.7 Caracterização Microbiológica	49
2.8 Elaboração das Isotermas de sorção	49
2.9 Análise Estatística.....	50
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	50

3.1. Planejamento Experimental	50
3.1.1 Influência de aditivos sobre a luminosidade cor (L).....	52
3.1.2 Influência de aditivos sobre a solubilidade	56
3.1.3 Influência de aditivos sobre a preservação de <i>Lactobacillus delbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i> durante os processos de secagem.	59
3.1.4 Influência de aditivos sobre a preservação de <i>Streptococcus salivarius</i> subsp. <i>thermophilus</i> durante os processos de secagem.	62
3.2 Isotermas	65
3.2.1 Modelos matemáticos.....	66
4 CONCLUSÃO.....	67
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:	68
CAPÍTULO III	71
CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, FÍSICO-QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA DO IOGURTE EM PÓ OBTIDO POR ATOMIZAÇÃO OU LIOFILIZAÇÃO.....	71
1 INTRODUÇÃO.....	74
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	74
2.1 Material.....	75
2.2 Processamento do Iogurte Liofilizado	75
2.3 Processamento do Iogurte Atomizado	75
2.4 Colorimetria	75
2.5 Tamanho de Partículas.....	75
2.6 Molhabilidade	75
2.7 Solubilidade	76
2.8 Composição centesimal	76
2.9 Lactose	76
2.10 Perfil de Ácidos Graxos.....	76
2.11 Microextração em Fase Sólida Quantitativa do Analito Acetaldeído.....	76
2.12 Eletroforese de Proteínas em Sds-page.....	76
2.13 Análises Microbiológicas.....	77
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	77
3.1 Características Físicas.....	77
3.2 Caracterização Físico-química.....	80
3.3 Ácidos Graxos no Iogurte em Pó Liofilizado ou Atomizado	82
3.4 Acetataldeído	83

3.5 Eletroforese de Proteínas em SDS-PAGE	84
3.6 Caracterização Microbiológica	85
4 CONCLUSÕES:	87
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:	88
CAPÍTULO IV	98
CARACTERIZAÇÃO REOLÓGICA DO IOGURTE REIDRATADO E SOBREVIVÊNCIA DE BACTÉRIAS LÁCTICAS AO LONGO DO ARMAZENAMENTO DO IOGURTE EM PÓ	98
1 INTRODUÇÃO	101
2 MATERIAL E MÉTODOS	102
2.1 Material	102
2.2 Processamento do Iogurte Liofilizado	102
2.3 Processamento do Iogurte Atomizado	102
2.4 Preparação do Iogurte Reidratado	103
2.5 Análise Reológica	103
2.6 Vida Útil	103
2.7 Análise Estatística	103
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	104
3.1 Reologia	104
3.1.1 Modelos Matemáticos	106
3.2 Vida Útil	107
4 CONCLUSÕES:	113
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:	114
CAPÍTULO V	117
CARACTERÍSTICAS SENSORIAIS DO IOGURTE REIDRATADO OBTIDO POR ATOMIZAÇÃO OU LIOFILIZAÇÃO	117
1 INTRODUÇÃO	120
2 MATERIAIS E MÉTODOS	121
2.1 Material	121
2.2 Preparação do Iogurte Reidratado	121
2.3 Análises Físico-químicas	121
2.4 Análise Sensorial	121
2.4.1 Levantamento de atributos	121
2.4.2 Avaliação da aceitação e Questionário CATA	122

2.5 Análise Estatística.....	122
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	122
3.1 Composição Físico-química	122
3.2 Análise Sensorial	123
3.2.1 Perfil dos Consumidores	124
3.2.2 Teste de aceitação e Caracterização (CATA)	126
4 CONCLUSÃO.....	131
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:	132
CONCLUSÕES FINAIS:	143

INTRODUÇÃO GERAL

O iogurte é o leite fermentado mais popular do mundo, reconhecido por seu valor nutricional e por efeitos benéficos à saúde em seu consumo frequente. Devido ao sucesso mercadológico o produto é comumente utilizado como veículo de promotores de saúde e inovações tecnológicas, bem como pela incorporação de probióticos, prebióticos, ômega 3, antioxidantes. No entanto, sua vida útil ainda é limitada a poucos dias sob refrigeração (TRIBOLI e GUT, 2016; NGUYEN et al., 2017). Nesse contexto a desidratação surge como uma alternativa para conservação do produto sem a necessidade de refrigeração e prolongamento da vida útil, assim como de ampliação do nicho de produtos lácteos (ERGÜN et al., 2013; KOÇ et al., 2014).

O iogurte em pó possibilitaria a economia de energia durante o armazenamento e transporte do iogurte, além de poder ser incorporado como ingrediente ou suplemento de sucos, biscoitos, sorvetes, doces, bebidas lácteas. O produto pode também, substituir o leite em pó em receitas, agregando assim valor nutricional e funcional a esses produtos (BASTIOĞLU e ERTEKIN, 2016).

Dentre os métodos de secagem, destacam-se para a desidratação de produtos lácteos a atomização e a liofilização. A atomização é realizada por aspersão de um líquido contra uma corrente de ar quente, que possibilita uma secagem quase instantânea e preservação de algumas características do produto a baixo custo relativo (WU et al., 2014). A liofilização ocorre a frio, pela sublimação da água do alimento, preservando suas características sensoriais e nutricionais sendo, no entanto, lenta e dispendiosa (BARBOSA et al., 2015). Diante disso o presente trabalho teve por objetivo estudar o processo de desidratação do iogurte por liofilização ou atomização para obtenção do produto em pó, dentro dos parâmetros pré-estabelecidos pela legislação brasileira para leites fermentados. Para tanto, esta tese foi estruturada em capítulos da seguinte forma:

Capítulo I – “Revisão de literatura”, que compreende os principais métodos de secagem de iogurte, sobrevivência de bactérias lácticas durante os processos e reidratação.

Capítulo II – “Avaliação da influência de aditivos sobre as características físicas e microbiológicas do iogurte desidratado e isotermas de sorção do produto”. Neste capítulo apresenta-se um estudo sobre a incorporação de estabilizantes (goma arábica), emulsificante (lecitina) e agente proteção (maltodextrina), dentro dos padrões permitidos pela legislação brasileira, sobre as características do iogurte em pó, além de avaliar as isotermas de sorção do produto.

Capítulo III – “Caracterização física, físico-química e microbiológica do iogurte em pó obtido por atomização ou liofilização.”. Neste capítulo realizou-se a caracterização de formulações de iogurte em pó, liofilizado ou atomizado, fazendo um comparativo entre as mesmas, sendo realizadas análises físicas de molhabilidade, solubilidade, atividade de água (A_w), tamanho de partículas, microscopia, colorimetria (luminosidade); análises químicas de composição centesimal (umidade, lipídios, proteínas, cinzas e lactose), perfil de ácidos graxos, teor de acetaldeído, perfil eletroforético das proteínas e análises microbiológicas de bactérias lácticas.

Capítulo IV – “Caracterização reológica do iogurte reidratado e sobrevivência de bactérias lácticas ao longo do armazenamento do iogurte em pó”. Neste capítulo realizou-

se a caracterização reológica do iogurte em pó liofilizado ou atomizado após a reidratação, tendo sido também realizadas análises físico-químicas e microbiológicas dos produtos armazenados a 6°C e 30°C, a cada 15 dias. O tempo de armazenamento foi limitado pela sobrevivência das bactérias lácticas.

Capítulo V – “Características sensoriais do iogurte reidratado obtido por atomização ou liofilização”. Neste capítulo analisou-se a composição centesimal (umidade, lipídios, proteínas, cinzas e lactose) das amostras de iogurte reidratadas liofilizadas ou atomizadas, bem como, análise sensorial de aceitação e caracterização das amostras por meio do Check All That Apply (CATA).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- BARBOSA, J. et al. Comparison of spray drying, freeze drying and convective hot air drying for the production of a probiotic orange powder. **Journal of Functional Foods**, v. 17, p. 340-351, 2015.
- BASTIÖĞLU, A. Z.; DIRIM, S. N.; ERTEKIN, F. K. Moisture Sorption Isotherms of Yogurt Powder Containing Candied Chestnut Puree. **Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology**, v. 4, n. 8, p. 676-683, 2016.
- ERGÜN, K. et al. Freeze drying of yoghurt with candied chestnut puree: survival of lactic acid bacteria and determination of physical properties. **Italian Journal of Food Science**, v. 25, n. 4, p. 470, 2013.
- KOÇ, B. et al. Physical properties of yoghurt powder produced by spray drying. **Journal of food science and technology**, v. 51, n. 7, p. 1377-1383, 2014.
- NGUYEN, P. T. et al. Effect of different hydrocolloids on texture, rheology, tribology and sensory perception of texture and mouthfeel of low-fat pot-set yoghurt. **Food Hydrocolloids**, 2017.
- TRIBOLI, E. P. D. R.; GUT, J. A. W. Study of Spray-dried Yoghurt Production in a Pilot-scale Equipment Using Drying Agents to Reduce Wall Deposition. **International Journal of Food Engineering**, v. 12, n. 8, p. 793-803, 2016.
- WU, W. D. et al. Towards spray drying of high solids dairy liquid: Effects of feed solid content on particle structure and functionality. **Journal of Food Engineering**, v. 123, p. 130-135, 2014.

CAPÍTULO I

OBTENÇÃO DE IOGURTE EM PÓ POR ATOMIZAÇÃO OU LIOFILIZAÇÃO: REVISÃO

OBTENÇÃO DE IOGURTE EM PÓ POR ATOMIZAÇÃO OU LIOFILIZAÇÃO: REVISÃO

RESUMO

O iogurte é um dos derivados lácteos mais consumidos no mundo, no entanto, o produto desidratado ainda é pouco comercializado e consumido. O processo de desidratação tem por principal objetivo prolongar a vida útil do iogurte sem a necessidade de refrigeração. O iogurte em pó pode ser utilizado como ingrediente de sucos, biscoitos, sorvetes, doces e bebidas lácteas. O processo de secagem por atomização ou liofilização são os métodos mais utilizados para desidratação de lácteos. A definição do processo e suas condições estão diretamente ligadas aos custos de produção e a valorização do produto final. Devido ao estresse osmótico e térmico, frequentemente durante a desidratação, faz-se necessária a incorporação de substâncias como carreadores, termoprotetores, crioprotetores e estabilizantes, que melhoram o rendimento do processo, a preservação de nutrientes e até mesmo uma posterior reidratação do produto. Portanto, esta revisão tem como objetivo, apresentar as tecnologias disponíveis para a obtenção de iogurte em pó, descrevendo processos, auxiliares de secagem, taxas e condições de sobrevivência das bactérias lácticas, assim como a reidratação do produto.

Palavras-chave: Bactérias lácticas, Desidratação, Estabilidade e Reidratação.

YOGHURT POWDER PROCESSING BY SPRAY DRYING OR FREEZE DRYING: A REVIEW

ABSTRACT

Yoghurt is the most consumed fermented milk derivative worldwide. However, dehydrated yoghurt is still little consumed and marketed. As a nutritious food, yoghurt powder can be used as an ingredient or supplement in juices, cookies, ice cream, and milk beverages. Spray drying or freeze drying are the most widely used methods for dehydration of dairy products, and the process conditions are directly associated to production costs and the value of the final product. Due to the osmotic and thermal stresses during dehydration, several agents including carriers, thermal protectants, cryoprotectants, and stabilizers are used to improve the process yield, preserve nutrients and facilitate rehydration of the product. In view of this, this review discusses the available technologies to obtain yoghurt powder, including processes, drying agents, drying rates, rehydration conditions, and survival of lactic acid bacteria.

Keywords: Lactic Acid Bacteria, Dehydration, Stability and Rehydration.

1 INTRODUÇÃO

O leite fermentado mais popular no mundo é o iogurte, seu consumo tem crescimento progressivo, devido à preocupação em ingerir alimentos cada vez mais saudáveis. Também decorrente do ritmo de vida contemporâneo que os alimentos sejam prontos ou cuja preparação é rápida ou instantânea, e que possuam um período de conservação mais longo (KRASAEKOOPT e BHATIA, 2012; ERGÜN et al., 2013; FARAH e MELO, 2016; GYAWALI e IBRAHIM, 2016).

Embora o iogurte seja uma alternativa de conservação do leite, sua vida útil ainda é relativamente curta se comparado a outros derivados lácteos, como alguns tipos de queijo. Sua riqueza nutricional também torna o produto propício para o desenvolvimento de alguns micro-organismos deteriorantes. Nesse contexto, a desidratação surge como um processo para a conservação do iogurte, sendo a liofilização (*freeze drying*) e a secagem por atomização (*spray drying*), os métodos mais recomendados, devido principalmente à conservação das características sensoriais e nutritivas do produto (KOÇ et al., 2014; SAKIN-YILMAZER et al., 2014).

A liofilização consiste na remoção da água de um produto congelado a uma temperatura, geralmente, abaixo de $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ por sublimação, sob pressão negativa (vácuo). O resultado final é um produto com uma estrutura porosa, livre de umidade e capaz de ser reconstituído pela simples adição de água. Esta forma de desidratação mantém as características sensoriais, biológicas e nutricionais do produto seco próximas as do produto fresco. No entanto, a liofilização tem como principal inconveniente os altos custos em instalações e operação, o que encarece a produção. Assim, o processo de atomização surge como uma alternativa com menores custos (MARQUES, 2008; VELARDI e BARRESI, 2008; FU e CHEN, 2011).

A secagem por atomização é a transformação de produtos líquidos em pós, através de um sistema centrífugo ou de alta pressão. As gotículas atomizadas entram imediatamente em contato com um fluxo de ar quente ocorrendo à imediata evaporação da água, permitindo que o produto a ser seco não sofra efeitos térmicos que comprometam significativamente as características sensoriais e biológicas (MEZHERICHER e BORDE, 2010).

O iogurte em pó poderá ser utilizado como ingrediente ou suplemento de sucos, biscoitos, sorvetes, doces, bebidas lácteas; poderá também substituir o leite em pó em receitas, agregando assim valor nutricional e funcional a esses produtos (KIM e BHOWMIK, 1990; KUMAR e MISHRA, 2004; TAMIME e ROBINSON, 2007; BASTIOĞLU e ERTEKIN, 2016).

Diante da importância das possíveis inovações no desenvolvimento e aplicabilidade de novos produtos, o presente trabalho teve por objetivo revisar a bibliografia das principais tecnologias de secagem aplicadas para a elaboração de iogurte em pó.

2 SECAGEM DE IOGURTE

A secagem é o processo mais simples de conservação de alimentos e ocorre pela remoção da água do material. Originalmente ocorria de forma natural, onde o material perdia sua umidade depois de exposto por um longo período à ação do calor produzido pelo sol. Com o avanço tecnológico, surgiram os primeiros equipamentos que permitiram a secagem em condições controladas de temperatura e velocidade do ar. Neste processo, as condições do ar de secagem não dependem das condições climáticas, favorecendo a obtenção de um produto de qualidade superior em menos tempo. A atividade de água diminui quando esta é

parcialmente removida e o resultado é a diminuição de reações enzimáticas e do desenvolvimento de micro-organismos (FELLOWS et al., 2006), bem como comprometimento da viabilidade celular dos micro-organismos já presentes nos mesmos (MORGAN et al., 2006; SANTIVARANGKNA e FOERST, 2008).

Na produção de lácteos, a secagem está usualmente associada à obtenção de micro-organismos fermentadores ou funcionais viáveis. No processo pode-se empregar diversos métodos, tais como: leite fluidizado, a vácuo, convectiva, leite de jorro, micro-ondas. Entretanto, a liofilização e a atomização destacam-se como os métodos mais eficientes, resultando em produtos secos de qualidade (KIM e BHOWMIK, 1990; KIM et al., 1997; CARDONA et al., 2002; CORCORAN et al., 2004; SILVA et al., 2005; HAYALOGLU et al., 2007; OLIVEIRA et al., 2007; TYMCZYSZYN et al., 2008; DIMITRELLOU et al., 2009; STRASSER et al., 2009).

Kumar e Mishra. (2004) sugerem a associação do processo de concentração do iogurte antes da secagem, visando aumentar a acumulação de sólidos solúveis na etapa de alimentação do secador, reduzindo custos e tempo de processamento. Este acúmulo pode ser feito por evaporação convencional ou a vácuo, separação mecânica, centrifugação ou ultrafiltração. Porém, esta etapa pode provocar perdas de proteínas, lipídios, lactose, vitaminas e sais minerais, além da diminuição significativa de compostos aromáticos (acetaldéido, acetoína e diacetil), (KIM et al., 1997).

Sharma e Mital (1992) comprovaram que um aumento na concentração de sólidos do iogurte de, 14,7 para 18,8 %, pode reduzir o tempo de secagem em até 25,8 %. Entretanto, um aumento excessivo na concentração dos mesmos pode conferir um gosto de giz e sabores indesejáveis ao produto.

2.1 Sobrevivência de Bactérias Lácticas Durante o Processo de Desidratação

As bactérias lácticas, *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* e *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* são imprescindíveis na produção e qualidade do iogurte. A pré-digestão que ocorre durante a fermentação aumenta a biodisponibilidade de proteínas, cálcio e certas vitaminas presentes no leite, além da redução nos teores de lactose. A importância das bactérias lácticas do iogurte também é decorrente da produção de bacteriocinas que acometem contaminantes do produto e também bactérias indesejáveis no trato gastrointestinal (TAMIME e ROBINSON, 2007; HUERTAS, 2013). Desta forma é essencial que as bactérias lácticas estejam presentes durante toda a vida útil do produto em quantidades mínimas de 10^7 ufc/g (BRASIL, 2007).

Estudando a sobrevivência das bactérias lácticas e probióticas durante o processamento de leite de soja fermentado em pó, por liofilização ou atomização, Wang, Yu e Chou (2004) concluíram que o processo de liofilização mantém uma quantidade de células bacterianas viáveis maior que a atomização. Imediatamente após o processo de liofilização, a sobrevivência das bactérias lácticas no leite fermentado variou de 74,1 % a 75,1 %, com redução de apenas 0,12-0,13 log ufc / g na população microbiana. Todavia, após a atomização, a sobrevivência foi significativamente inferior, com percentual de apenas 5,0-16,2 %, o que correspondeu a uma redução de 1,0 - 2,0 log ufc/ g. A seguir, na Tabela 1, estão presentes as taxas de sobrevivência das bactérias lácticas obtidas em alguns trabalhos de secagem de iogurte.

Tabela 1. Taxa de sobrevivência das bactérias lácticas decorrente do processo de secagem de iogurte.

Método de secagem	Micro-organismos	População microbiana residual	Autores
Atomização	<i>L. bulgaricus</i> e <i>S. thermophilus</i>	4,0 x 10 ⁵ ufc/g e 1,2 x 10 ⁸ ufc/g	Kearney et al (2009)
Atomização	<i>L. bulgaricus</i> e <i>S. thermophilus</i>	5,7 x 10 ⁵ ufc/g e 6,0 x 10 ⁷ ufc/g	Wirjantouro et al (2009)
Atomização	<i>L. bulgaricus</i> e <i>S. thermophilus</i>	7,6 x 10 ⁷ ufc/g e 1,2 x 10 ⁸ ufc/g	Bielecka, M e Majkowska, A (2000)
Atomização	<i>L. bulgaricus</i> e <i>S. thermophilus</i>	Redução de 10 ² ufc/g	Koc et al. (2010)
Atomização	<i>L. bulgaricus</i> e <i>S. thermophilus</i>	2,4 x 10 ⁶ ufc/g e 4,3 x 10 ⁴ ufc/g	Rascón-Díaz et al. (2012)
Liofilização	<i>L. bulgaricus</i> e <i>S. thermophilus</i>	4,39 x 10 ⁶ ufc/g e 1,84 x 10 ⁷ ufc/g	Ferro et al (2005)
Liofilização	<i>L. bulgaricus</i> e <i>S. thermophilus</i>	3 x 10 ⁵ ufc/g e 7,6 x 10 ⁸ ufc/g	Ribka et al (1997)
Liofilização	<i>L. bulgaricus</i> e <i>S. thermophilus</i>	2,1 x 10 ⁷ ufc/g e 1,3 x 10 ⁷ ufc/g	Bozoglu et al (1987)
Liofilização	<i>L. bulgaricus</i> e <i>S. thermophilus</i>	2,5 x 10 ⁶ ufc/g e 1,9 x 10 ⁸ ufc/g	Venir et al (2007)
Liofilização	<i>L. bulgaricus</i> e <i>S. thermophilus</i>	1,75 x 10 ⁸ ufc/g e 1,28 x 10 ⁸ ufc/g	Kumar e Mishra (2004)

2.2 Por Liofilização

O processo de liofilização consiste em inicialmente congelar-se o produto, de preferência rapidamente, para que suas características nutricionais e sensoriais sejam preservadas. Na etapa subsequente, o material congelado é submetido à baixa pressão (vácuo) ocorrendo, assim, a sublimação da água congelada. A estrutura porosa do material seco formado facilita a rápida reidratação e a retenção de componentes aromáticos. O produto liofilizado pode ser consumido seco, reidratado ou ser utilizado como ingrediente na formulação de outros produtos (RATTI, 2001; BOSS, MACIEL FILHO e DE TOLEDO, 2004; MATA et al., 2005).

As principais etapas da liofilização são o congelamento, a secagem primária e secundária. Todas são fundamentais para obtenção de um produto liofilizado de qualidade. A secagem primária é o período em que a secagem ocorre à taxa constante, e a maior parte da água é eliminada nessa fase do processo. Já durante a secagem secundária, ocorre elevação da

temperatura e a taxa de secagem é decrescente. Nessa fase, se faz necessário um grande intervalo de tempo para eliminação de um pequeno percentual de água (BOSS e De TOLEDO, 2004; MARQUES, 2008; VELARDI e BARRESI, 2008).

Sharma e Arora (1995) afirmaram que fatores como a dimensão do produto a ser seco e pressão da câmara de secagem influenciam a taxa de produção do iogurte em pó. Os autores observaram que a melhor taxa de secagem ocorreu na amostra com 6,2mm de espessura, submetida à pressão de 0,1mm Hg, eles também afirmaram que aumento adicional nos sólidos do leite para 20,4% resultou em uma redução de 5,7% maior no tempo de secagem.

Venir et al. (2007) avaliaram a liofilização de iogurte desnatado e iogurte integral, adicionados de sacarose (10 %) e mirtilo (10 %). No processo de liofilização do iogurte integral, os autores verificaram uma redução nos *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* e *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* de 1,7 log ufc/g e 1,5 log ufc/g na fase de congelamento e de 2,5 log ufc/g e 1,9 log ufc/g durante a secagem, respectivamente. As amostras com sacarose e mirtilo preservaram a viabilidade das células bacterianas durante o processo, devido a um possível efeito crioprotetor dos açúcares.

Sakin-Yilmazer, et al. (2014) submetem à liofilização iogurte com castanhas, adicionando 5, 10 e 20 % em peso. Os autores concluíram que, independente da presença ou não das castanhas, o iogurte pode ser satisfatoriamente liofilizado. No entanto, as amostras sem castanha e com percentual de 5 % das mesmas não obtiveram características reológicas apreciáveis após reconstituição, até o percentual inicial de umidade. Somente as amostras formuladas com 10 e 20 % de castanhas mantiveram boas características.

Durante o processo de liofilização de iogurte probiótico, Rybka e Kailasapathy (1997) constataram uma redução de $1,2 \times 10^8$ ufc/g para 3×10^5 ufc/g de *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* e de $1,6 \times 10^9$ ufc/g para $7,6 \times 10^8$ ufc/g de *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus*, comprovando maior sensibilidade das bactérias do gênero lactobacilos. Bozoğlu, Özilgen e Bakir (1987), estudando a cinética de sobrevivência de bactérias lácticas durante a liofilização, secaram o iogurte com valores iniciais de *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* em torno de $1,61 \times 10^8$ ufc/g. Observaram que estes valores, após o processo, foram reduzidos para $9,21 \times 10^4$ ufc/g. Já *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* inicialmente presente na quantidade de $1,98 \times 10^9$ ufc/g, sofre redução resultante do processo para $1,30 \times 10^7$ ufc/g.

Danos em sistemas biológicos durante a liofilização podem ser atribuídos a duas causas principais: no estágio de congelamento ocorrem mudanças no estado físico dos lipídios da membrana e alterações na estrutura das proteínas (LESLIE et al., 1995). A etapa de congelamento é de suma importância dentro do processo de liofilização, tanto para eficiência do processo de secagem como para sobrevivência dos micro-organismos presentes nos bioprodutos. Grandes cristais de gelo aumentam a taxa de secagem, mas podem causar lesões nas células microbianas (SAARELA et al., 2005).

Durante o congelamento, as bactérias lácticas são expostas a condições estressantes, como a redução da quantidade de água livre no meio, aumentando, assim, a concentração de soluto e a pressão osmótica, que são extremamente desfavoráveis aos seus crescimentos e viabilidade (PANOFF e GUÉGUEN, 2000; HUTKINS, 2008). Vários autores, como Zavaglia, Disalvo e De Antoni (2000); Fonseca, Béal e Corrieu (2001); Beal, Fonseca e Corrieu (2001), constataram uma diminuição no número de bactérias lácticas decorrentes do congelamento.

A resistência bacteriana ao congelamento depende do gênero ou espécie em questão. Dentre as duas espécies que compõem o cultivo iniciador do iogurte, *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* geralmente sobrevivem melhor do que *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, devido a diferenças no tamanho da célula e estrutura celular (FONSECA e

CORRIEU, 2001). A composição do meio de congelamento também pode afetar decisivamente a sobrevivência das bactérias lácticas (HUBÁLEK, 2003).

Wang e Béal (2005) observaram maior crioresistência para *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* em -20 °C, quando as células foram cultivadas a temperaturas de 30-37 °C em substituição a 42 °C. De Urza e De Antoni (1997) relataram que a pré - incubação de *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* a 30 °C durante 60 minutos, tornaram as células mais resistentes ao congelamento a -20 °C após 10 e 45 dias de armazenamento. Os autores explicaram esta crioadaptação por duas respostas fisiológicas combinadas: alterações na composição de ácidos graxos da membrana e por um aumento na síntese de proteínas.

A adaptação bacteriana ao congelamento também pode ser melhorada ao expor as bactérias a um moderado estresse ácido, a fim de aumentar a sua criotolerância por adaptação heteróloga, expondo-as a pH ácido antes do processo de congelamento. Palmfeldt e Hahn-Hägerdal (2000) e Wang, Corrieu e Béal (2005) avaliaram o efeito do pH sobre a viabilidade de células criodessecadas de *Lactobacillus Reuteri* ATCC 55730 e *Lactobacillus Acidophilus* RD758, concluindo que as células cultivadas a pH 5 foram mais resistentes à liofilização, em comparação com pH 6. A taxa de sobrevivência do *Lactobacillus Reuteri* foi 30 % maior quando em pH 5. Bactérias exposta a pH baixo reagem por uma série de mecanismos que conferem resistência a ácidos, como resultado de um padrão alterado da expressão do gene e da síntese de proteínas (GIRGIS et al., 2003; BEALES, 2004).

Algumas substâncias crioprotetoras podem ser adicionadas, isoladamente ou misturadas, ao produto antes do congelamento visando atenuar os efeitos sobre as bactérias lácticas na liofilização. As principais substâncias estudadas são álcoois como glicerol (FONSECA et al., 2003), sorbitol (CARVALHO et al., 2002; SANTIVARANGKNA e FOERST, 2006), manitol (EFIUVWEVWERE et al., 1999), açúcares como glicose (HUBALEK, 2003), maltodextrina (FONSECA et al., 2003), lactose (PANOFF e GUÉGUEN, 2000; HIGL et al., 2007), sacarose (CARVALHO et al., 2004b; VENIR et al., 2007), trealose (DE ANTONI et al., 1989; CONRAD et al., 2000), manose (CARVALHO et al., 2004a), mel, maltose, que podem colaborar com o equilíbrio osmótico da célula durante o processo de secagem, substituindo as moléculas de água, também tem efeito lioprotetor ácidos orgânicos, aminoácidos e seus sais (SMITTLE e SPECK, 1972; KILARA e DAS, 1976) e compostos proteicos como leite desnatado (FOSCHINO e GALLI, 1996) e proteína de soja (HUBALEK, 2003).

2.3 Por Atomização

A tecnologia de secagem por atomização (*spray drying*) é geralmente usada na indústria de alimentos para garantir uma maior estabilidade do produto, além da obtenção de propriedades específicas, como solubilidade instantânea (ROUSTAPOUR et al., 2009; PARAMITA et al., 2010). É também o principal processo tecnológico de secagem aplicado ao leite e produtos lácteos, devido a alta taxa de produção e por consequência custo operacional mais competitivo quando comparado à liofilização (WIRJANTORO e PHIANMONGKHOL, 2009; KOÇ et al., 2014). O iogurte em pó por atomização possui em média 36,09% de proteína, 44,78% de lactose, 5,08% de umidade e pH de 5,39 (BIELECKA e MAJKOWSKA, 2000).

A qualidade elevada de produtos obtidos por atomização é possível porque o aquecimento e a transferência de massa durante a secagem ocorrem com filmes de ar e vapor ao redor das gotículas. Decorre então a proteção à partícula, mantendo sua temperatura de saturação, porém sem se aproximar da temperatura do ar de secagem. Desta forma, mesmo os produtos termosensíveis podem ser desidratados no *spray dryer*. A inativação térmica é limitada durante o período de taxa constante, no entanto, durante o período de baixa taxa de

evaporação, a superfície de partícula torna-se seca e a temperatura aumenta nos produtos podendo ocasionar danos nas células (MASTERS e HANDBOOK, 1990; DA SILVA LANNES e MEDEIROS, 2003; BOZA, BARBIN e SCAMPARINI, 2004; SANTIVARANGKNA, KULOZIK e FOERST, 2008).

Muitos fatores (temperatura de entrada e saída, carga de alimentação, pressão do bico evaporador, concentração do material, velocidade do ar de secagem) estão envolvidos na viabilidade das culturas durante a secagem por atomização. A inativação dos microorganismos é causada pela redução de umidade e exposição à alta temperatura, provocando danos no DNA, RNA, proteínas, lipídios, membranas e ribossomos (BOZA, BARBIN e SCAMPARINI, 2004; CHEN e PATEL, 2007; SANTIVARANGKNA, KULOZIK e FOERST, 2008). A desidratação afeta principalmente a membrana do citoplasma mudando sua fluidez, podendo causar extravasamento de substâncias essenciais à vida da célula (FU e CHEN, 2011).

Wang, Yu e Chou (2004) afirmaram que a viabilidade das bactérias lácticas diminui com o aumento da temperatura de saída do atomizador. Fang et al. (2011), estudando o efeito de quatro níveis de temperatura pulverização (77 °C, 107 °C, 155 °C e 178 °C), constataram que referente à funcionalidade das proteínas do leite, as temperaturas mais elevadas comprometem a funcionalidade e a solubilidade, sendo as caseínas em mais suscetíveis que as proteínas do soro.

Sakin-Yilmazer, et al. (2014) relataram que, quanto maior a temperatura de saída do ar, menor a consistência do produto reidratado. Isso ocorre devido à desnaturação proteica, que causa redução da capacidade de retenção de água e enfraquecimento nas propriedades reológicas. Os autores concluíram que as temperaturas de entrada e saída ideais para preservação da microbiota do iogurte após o processo de atomização foram de 170 °C e 61 °C, respectivamente, juntamente a temperatura de alimentação de 17 °C.

Rascón-Díaz et al. (2012) estudaram o efeito de hidrocoloides na atomização de iogurte, amostras com 0,15 % de goma carragenapreservaram as taxas de acetaldeído em 92,6 %. Antes da atomização, as contagens de *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* e *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* eram de $1,01 \times 10^6$ ufc/g e $2,51 \times 10^8$ ufc/g, respectivamente. Após o processo, as concentrações passaram a $2,7 \times 10^6$ ufc/g e $4,3 \times 10^4$ ufc/g, ainda superiores aos das amostras sem hidorcoloides, indicando o efeito protetor das gomas. Contudo, não houve uma melhora significativa no gel formado pelo reidratado.

A diminuição da pressão no bico do evaporador também contribui para sobrevivência das bactérias lácticas durante a atomização. Riveros, Ferrer e Borquez (2009) relataram um aumento na viabilidade de *Lactobacillus acidophilus*, com diminuição da pressão de pulverização de 100 para 50 kPa. A contagem das células após secagem foi de 8,62 e 9,48 log ufc/g, com pressão do bocal de 100 e 50 kPa, respectivamente. Lievense e Van't Riet (1994) relataram um aumento de 0,8 e 1,5 % na sobrevivência de *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, quando a pressão de pulverização foi diminuída de 200 para 100 kPa.

Da mesma forma que na liofilização, a exposição das bactérias lácticas a um gradiente de temperatura antes do processo de atomização colabora com uma pré-adaptação e melhoria da tolerância ao stress durante a atomização (DESMOND et al., 2004). Desmond et al. (2001) verificaram que a pré-adaptação resultou em aumentos na taxa de sobrevivência em 18 vezes.

Algumas pesquisas têm sido desenvolvidas para manutenção das bactérias lácticas em níveis aceitáveis durante o processo de secagem por atomização de derivados lácteos, principalmente o iogurte.

Kearney et al. (2009) avaliaram a viabilidade do *Lactobacillus paracasei* NFBC 338 em iogurte submetido à secagem por *spray drying*, com temperatura de entrada do ar de 170 ± 2 °C e temperatura de saída variando de 80 – 85 °C. Os resultados mostraram que após a secagem do iogurte probiótico, as quantidades de colônias foram $3,4 \times 10^8$, $1,2 \times 10^8$, $4,0 \times$

10^5 ufc/g para bactérias probióticas, *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* e *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, respectivamente. Após o armazenamento de 42 dias a 4 e 15 °C, *Lactobacillus paracasei* NFBC 338 e *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus*, mantiveram contagens acima de 10^7 ufc/g.

Wirjantoro e Phianmongkhol (2009) estudaram a sobrevivência de duas culturas probióticas de *Lactobacillus acidophilus* e *Bifidobacterium bifidum* em iogurte em pó obtido pela secagem por atomização. Os autores utilizaram em seus experimentos temperatura de entrada do ar de 180 ± 2 °C e temperatura de saída de 80 ± 2 °C. Após o processo de secagem, as taxas de sobrevivência foram de 47,43 % e 47,75 % para *Lactobacillus acidophilus* e *Bifidobacterium bifidum*, respectivamente. Após quatro semanas de armazenamento, o *Lactobacillus acidophilus* manteve 70 % de sua taxa de sobrevivência, o que não ocorreu com o *Bifidobacterium bifidum*. Os autores concluíram que o iogurte em pó pode ser um meio alternativo para o suprimento de micro-organismos probióticos.

Koc et al. (2010), com o objetivo de avaliar as melhores condições de secagem de iogurte por *spray drying*, variaram a temperatura de entrada do ar de secagem (150 a 180 °C), observando que os melhores pós em termos de viabilidade celular e menores mudanças físico-químicas ao longo do armazenamento, foram obtidos com a temperatura do ar de entrada de 171°C, temperatura do ar de saída de 60,5 °C e temperatura na alimentação de 15 °C. Os autores, verificaram que temperatura do ar de saída (que foi controlada pela regulação do fluxo de alimentação) apresentou efeito linear e quadrático significativos ($p < 0,001$) na diferença de cor do produto. Nenhum efeito significativo foi observado a partir da temperatura do ar de entrada e temperatura de alimentação do iogurte. Neste trabalho, o fluxo de alimentação também mostrou uma importante contribuição para a diferença de cores.

Bielecka e Majkowska (2000), a fim de avaliar as melhores condições de secagem de iogurte no atomizador, variaram a temperatura de saída do ar de secagem (60 - 80 °C) e observaram que a temperatura afetou a viabilidade das bactérias. A maior taxa de sobrevivência foi obtida com desidratados sob temperaturas de saída do ar de secagem entre 60 e 65 °C. No entanto, essa faixa de temperatura proporciona a alta umidade (10,2 %) nos pós, o que compromete a textura do produto final. Nos pós obtidos sob maior temperatura de saída do ar de secagem (80 °C), as contagens de bactérias diminuíram significativamente e apresentaram valores menores de umidade (4,4 %). Desse modo, a faixa de temperatura ideal foi de 70-75 °C, nas quais as culturas lácticas sobreviveram a níveis satisfatórios (*Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* de 13,7 a 15,8 %; *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* de 51,6 a 54,7 %) em uma umidade final de 5,1 a 6,3 %.

Segundo Kitamura et al. (2009), durante a secagem de alimentos líquidos, os ingredientes funcionais sensíveis ao calor, tais como vitaminas, enzimas e bactérias são usualmente degradados ou perdidos devido ao contato com o ar quente, entre 120 e 180 °C. De acordo com Chávez e Ledebor (2007), uma série de condições deve ser cumprida para proteger as culturas probióticas durante a secagem por *spray drying*, alcançando um bom número de células viáveis após o processo. Tais condições incluem:

- Tipo de tensão e tolerância do micro-organismo ao estresse;
- Agente protetor empregado: normalmente proteínas e/ou carboidratos de alto peso molecular;
- Temperatura de secagem: alta temperatura reduz a sobrevivência dos micro-organismos;
- Tempo (de exposição ao calor): como para qualquer tratamento térmico, a mortalidade é proporcional ao tempo de exposição portanto, o tempo de aquecimento deve ser o mais curto possível;
- Estresse osmótico, oxidante e mecânico: devem ser minimizados, e aditivos como antioxidantes podem ser incluídos;

- Transição vítrea: o pó deve permanecer no seu estado vítreo para impedir processos prejudiciais ao micro-organismo;
- Atividade de água (A_w);
- Condições de estocagem do produto.

Visando atenuar o efeito da exposição às temperaturas altas sobre as bactérias lácticas no processo de secagem, alguns autores sugerem a utilização de métodos combinados de secagem, como atomização - evaporação a vácuo ou atomização - leiteo fluidizado. O produto primeiramente é exposto à atomização, onde ocorre eliminação da maior parte da água e a formação das partículas pequenas. Logo após, a secagem é concluída por leiteo fluidizado em temperatura amena, provocando a aglomeração das partículas, o que facilita a reidratação do produto final e garante maior qualidade (KUMAR e MISHRA, 2004).

Os agentes de proteção podem ser adicionados durante o crescimento do micro-organismo, antes do congelamento ou secagem. Esses agentes dependem geralmente do tipo de micro-organismo, porém existem alguns protetores que parecem funcionar bem com muitas espécies (HUBALEK, 2003).

Alguns destes materiais são carboidratos (maltodextrina, dextranas, amidos, celuloses, sacarose, trealose, maltose), hidrocolóides gomas (xantana, guar e árabica) e proteínas (glúten, caseínas, gelatinas, albuminas), álcoois polihídricos (sorbitol, manitol), associados a agentes anti-umectantes (fosfatos, silicatos, dióxido de silício e sais de cálcio) utilizados para absorção de umidade dos produtos. Estes compostos auxiliam no processo de secagem, aumentando a taxa de secagem ou preservando as características sensoriais e microbiológicas dos alimentos (SANTIVARANGKNA, KULOZIK e FOERST, 2008; JAYA e DAS, 2009; SUNNY-ROBERTS e KNORR, 2009; BARBOSA, 2010; JULIANO e BARBOSA-CÁNOVAS, 2010; MESTRY, MUJUMDAR e THORAT, 2011).

Além disso, podem reagir com as estruturas celulares e estabilizar as células microbianas durante a secagem e reidratação, atuando também como um escudo físico e, por conseguinte, aliviando efeitos do calor e tensões osmóticas (FU e CHEN, 2011).

A suplementação de diferentes açúcares fermentáveis no meio de crescimento, pode levar à formação de diferentes metabólitos, como por exemplo: manitol e exopolissacarídeos, que melhoram a viabilidade durante a secagem. Por outro lado, a presença de açúcares não fermentáveis exerce uma tensão hiperosmótica nas células, que induz ao acúmulo de solutos. Esse fenômeno contribui para que as células resistam ao estresse osmótico durante a secagem (FARAJI e LINDSAY, 2005; SANTIVARANGKNA, HIGL e FOERST, 2008).

De acordo com Chávez e Ledebor (2007), açúcares, especialmente dissacarídeos, podem substituir as moléculas de água e preservar estruturas de membrana durante o estresse osmótico provocado pela desidratação. Seu acúmulo no interior da célula equilibra a diferença osmótica entre o interior e exterior da membrana, retardando também a desnaturação de proteínas. Uma combinação de diferentes protetores pode ser utilizada para melhorar a sobrevivência de bactérias na atomização (DESMOND et al., 2001).

Os auxiliares de secagem também contribuem para retenção de compostos aromáticos durante o processo e armazenamento do produto. Tem sido relatado que a maior parte dos compostos de aroma e as características reológicas são perdidas durante atomização. Sabe-se que complexas mudanças morfológicas (tamanho, forma e aparência) podem ocorrer durante o processo e que a retenção e proteção de compostos voláteis estão relacionadas com a porosidade e integridade das partículas (PEREZ SILVA, SALGADO CERVANTES e GARCIA GALINDO, 1997).

A adição de hidrocolóides (gomas carragenina, xantana, gelana) melhorou a retenção de voláteis, bem como solubilidade e dispersibilidade do iogurte seco por pulverização durante a reidratação (RAMIREZ-FIGUEROA et al., 2002). A retenção de acetaldeído

durante a secagem de iogurte é afetada também pelo teor de sólidos na etapa de alimentação, a velocidade do ar e temperatura de saída (PEREZ SILVA, SALGADO CERVANTES e GARCIA GALINDO, 1997).

Kumar e Mishra (2005) afirmaram que a adição de estabilizantes como pectina, gelatina e alginato de sódio reduziram o tempo de secagem em até 15 % e aumentaram a dispersibilidade do pó. Além de proporcionarem o aumento das taxas de sobrevivência dos micro-organismos durante a secagem, ocorreu também maior retenção do acetaldeído. Porém, as amostras com estabilizantes sofreram degradação da cor.

Lian, Hsiao e Chou (2002), estudando a taxa de sobrevivência de culturas de Bifidobactéria por atomização, comprovaram que o uso de 10 % (w/w) de gelatina, goma arábica ou amido solúvel conduziu à maior sobrevivência das culturas. Ananta, Volkert e Knorr (2005) utilizaram leite desnatado reconstituído (LDR) concentrado a 20 % (w/w) para secagem por pulverização de *Lactobacillus rhamnosus* GG, comprovando que o LDR leva a taxa de sobrevivência microbiana à 60 %, numa temperatura de saída do ar de 80 °C.

A viabilidade de espécies distintas de um determinado gênero, ou mesmo cepas distintas de uma dada espécie, difere sob condições de secagem e armazenamento (SIMPSON et al., 2005). Corcoran et al. (2004) compararam a tolerância térmica de três cepas de lactobacilos probióticos em leite desnatado reconstituído (LDR, 20 % w/v), com variações de temperatura entre 55 e 61 °C. *Lactobacillus Rhamnosus* E800 resultou no mais resistente ao calor, seguido por *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* UCC 500 e *Lactobacillus rhamnosus* GG, que menos resistiu. Portanto, uma característica individual é a sensibilidade à desidratação, que difere entre culturas iniciadoras de ácido láctico (SANTIVARANGKNA, KULOZIK e FOERST, 2008).

2.4 Vida Útil e Estabilidade de Iogurtes Desidratados

Durante o armazenamento do iogurte em pó, o teor de oxigênio, temperatura, pH, atividade de água e concentração elevada de soluto podem afetar a viabilidade dos micro-organismos (CARVALHO et al., 2004b). Diferentes estudos demonstraram que a temperatura é um parâmetro importante para a sobrevivência microbiana neste processo. Como esperado, a estabilidade das amostras secas por atomização diminui durante o armazenamento, e baixas temperaturas de armazenamento podem contribuir para taxas de sobrevivência mais elevadas (DESMOND et al., 2001; SILVA et al., 2002; BOZA, BARBIN e SCAMPARINI, 2004; CORCORAN et al., 2004).

Rybka e Kailasapathy (1995), estudando o efeito da liofilização sobre o iogurte probiótico, chegaram a conclusão que os micro-organismos probióticos no iogurte liofilizado são viáveis em até 2 meses de armazenamento à temperatura ambiente. (CAPELA, HAY e SHAH, 2006) observaram que, durante o armazenamento a temperatura de 37 °C, os micro-organismos existentes em iogurte liofilizado sobreviveram até um mês em quantidade satisfatória. Entretanto, quando foram armazenados a temperatura de 4 °C, as células permaneceram viáveis após seis meses.

A embalagem adequada para o armazenamento das culturas também é outro fator importante no pós-secagem. Embalagens flexíveis a vácuo ou com substituição do ar por nitrogênio são adequadas para armazenar probióticos anaeróbios, tais como bifidobactéria (CHÁVEZ e LEDEBOER, 2007).

Kumar e Mishra (2004) estudaram amostras de iogurte seladas a vácuo e armazenadas a temperatura de 38 °C com umidade relativa de 90 %. A vida útil foi calculada em 45 e 54 dias para embalagens de Polipropileno de alta densidade (PAD) e Polietileno Laminado (PL), respectivamente. Um dos parâmetros utilizados para o cálculo da vida útil foi a umidade, sendo que os autores concluíram que o percentual de umidade entre 6,8 e 7,2 % era

determinante para a qualidade do produto, pois acima desses valores o pó apresentava aglomerações. É comum, quando as condições de armazenamento são inadequadas, o escurecimento do produto e o desenvolvimento de sabor desagradável como resultado da geração de compostos insolúveis, a partir da reação de Maillard (VAN DEN BERG, 1988).

Wang, Yu e Chou (2004) analisaram o armazenamento de iogurte em pó de soja em recipientes de vidro, politereftalato de etileno (PET) e bolsa laminada a temperatura de 4 °C. Os resultados demonstraram que a embalagem laminada foi a que melhor conservou o produto após quatro meses de armazenamento, apresentando 57,7 % e 29,5 % de sobrevivência das bactérias nas amostras liofilizadas e atomizadas, respectivamente.

O conteúdo de água é outro parâmetro importante para a estabilidade do iogurte seco, o teor pode ser afetado pelo envase, pela qualidade das embalagens, composição do fluido em que as bactérias são secas, atmosfera do armazenamento e espécie de bactérias (WANG, YU e CHOU, 2004; SANTIVARANGKNA, KULOZIK e FOERST, 2008). Alimentos desidratados devem possuir atividade de água e teor de umidade de ~0,3 e ~5 %, respectivamente. Esses percentuais devem se manter constantes, a fim de alcançar armazenamento a longo prazo (CHÁVEZ e LEDEBOER, 2007).

3 REIDRATAÇÃO

O produto láctico em pó para ser reconstituído com qualidade deve apresentar quatro propriedades: molhabilidade, imersibilidade, dispersibilidade e solubilidade. A molhabilidade das partículas é essencial para o controle da taxa de reidratação e, a fim de melhorá-la, várias pesquisas têm sido feitas. Constatou-se que a secagem rápida propicia o aumento dos poros e a redução do ângulo de contato entre a superfície do pó e o meio reidratante, facilitando o processo de reidratação. A aglomeração das partículas e adição de emulsificantes também contribuem para a eficiência do processo, principalmente quando o pó é rico em lipídios e o meio reidratante é hidrofílico (FREUDIG, HOGKAMP e SCHUBERT, 1999; KIM, CHEN e PEARCE, 2002).

A reidratação também é um ponto fundamental para garantir a recuperação de culturas ácido lácticas, presentes nos produtos fermentados em pó. Fatores como a solução utilizada para reidratação, o tempo, a temperatura e taxa de reidratação são decisivos no aumento das taxas de sobrevivência das culturas microbianas (MASTERS e HANDBOOK, 1990; DA SILVA LANNES e MEDEIROS, 2003).

Vários meios podem ser utilizados para reidratação, tais como leite desnatado, solução de sacarose, tampão fosfato, glutamato de sódio e água (COSTA et al., 2000). Abadias et al. (2001) sugerem que o mesmo meio presente, utilizado antes da secagem, deve ser também utilizado para reidratação, amenizando o choque osmótico e aumentando a revitalização da célula.

A temperatura do meio de reidratação também pode afetar a recuperação de células após a secagem. Observou-se que um aumento de temperatura entre 4 e 50 °C incrementou linearmente a viabilidade de *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* (CASTRO e KIRBY, 1995). Este fato é semelhante ao encontrado por Wang, Yu e Chou (2004) com *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* e *Bifidobacterium longum*, em secagem por atomização.

Outro fator importante é a velocidade da taxa de reidratação. Estudos mostraram que a reidratação rápida (dois minutos) ou lenta (trinta minutos) pode influenciar na viabilidade de *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*. A reidratação lenta (imersão) levou à maior viabilidade das células, possivelmente porque o método de imersão limita a intensidade de choque osmótico (CASTRO e KIRBY, 1995).

Estudos de Rybka e Kailasapathy (1997) e Venir et al. (2007) demonstraram uma perda de consistência global no iogurte liofilizado reconstituído, indicando um irreversível enfraquecimento na estrutura da rede de gel. Os autores afirmam que uma possível causa para o enfraquecimento estrutural do produto reconstituído poderia derivar da energia mecânica necessária para incorporar água, durante a reidratação.

Venir et al. (2007) compensaram a resistência mecânica com a redução no teor de água adicionado no processo de reidratação. As amostras utilizadas nos testes tinham 100 %, 70 % e 60 % do teor inicial de água, o que corresponde a concentrações de sólidos de 11 %, 15 % e 17 %, respectivamente. Os resultados demonstraram que a reidratação efetuada com 70 % da água inicial do produto apresentou as melhores características reológicas, porém, considerando uma possível comercialização do produto, fica condicionado à aceitação do consumidor o teor de água utilizado no processo.

Segundo Sakin-Yilmazer, et al. (2014), o uso e consumo de iogurte seco após reconstituição exige um comportamento reológico comparável aos iogurtes frescos, uma vez que as propriedades reológicas e estruturais de iogurte são muito relacionadas com os critérios sensoriais de qualidade como maciez, consistência na boca e na colher, que afetam diretamente a aceitação do consumidor. Os autores reidrataram o iogurte em pó para que tivessem diferentes concentrações de sólidos no produto final, e chegaram à conclusão que a concentração de 25 % era a que apresentava as características reológicas mais próximas às do produto tradicional, com 14 % de sólidos.

Rathi et al. (1990) em seus estudos sobre liofilização de iogurte, observaram que o produto reconstituído numa proporção de 5 g de pó para 20 ml de água a 40 °C, possuía as seguintes características: umidade 79,44 %; sólidos totais 20,86 %; pH 4,37; acidez 0,92 %. Avaliando a aceitação de parâmetros sensoriais como aparência, *flavor*, gosto, textura e aceitação geral do produto reidratado, os autores obtiveram os respectivos resultados de 6,67, 6,82, 6,77, 6,74 e 6,45 numa escala hedônica de 1 a 9. Pan, Xu e Gao (1994) afirmaram que iogurte em pó, após reconstituição em água com temperaturas entre 10-40 °C, numa proporção de 1:5 de pó / água, tem paladar, sabor e composição nutricional semelhantes aos do iogurte fresco.

4 CONCLUSÃO

As pesquisas anteriormente realizadas sobre o processo de secagem de iogurte, em sua maioria, tiveram como foco a preservação das bactérias lácticas, sendo *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* mais suscetível ao estresse osmótico provocado pela desidratação que *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus*. A liofilização é um processo que preserva mais as características microbiológicas e sensoriais do iogurte que a atomização, embora existam estudos com resultados satisfatórios aplicando o método de atomização. Alguns aspectos como a cinética de secagem do iogurte, reidratação e mudanças durante o armazenamento (temperatura, condições atmosféricas, perdas sensoriais e viabilidade das bactérias) precisam ser mais discutidas para obtenção das condições mais adequadas de produção e comercialização do iogurte em pó.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- ABADIAS, M. et al. Viability, efficacy, and storage stability of freeze-dried biocontrol agent *Candida sake* using different protective and rehydration media. **Journal of Food Protection**, v. 64, n. 6, p. 856-861, 2001.
- ANANTA, E.; VOLKERT, M.; KNORR, D. Cellular injuries and storage stability of spray-dried *Lactobacillus rhamnosus* GG. **International Dairy Journal**, v. 15, n. 4, p. 399-409, 2005.
- AOAC. **Official methods of analysis of AOAC International**. Gaithersburg: AOAC International 2010.
- ASSOCIATION, I. D. F. et al. **Dairy facts**. International Dairy Foods Association, 2003.
- BARBOSA, J. et al. Comparison of spray drying, freeze drying and convective hot air drying for the production of a probiotic orange powder. **Journal of Functional Foods**, v. 17, p. 340-351, 2015.
- BARBOSA, S. J. **Qualidade de suco em pó de mistura de frutas obtido por spray drying**. 2010. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido, Universidade Estadual de Montes Claros-Unimontes
- BASTIÖĞLU, A. Z.; DIRIM, S. N.; ERTEKIN, F. K. Moisture Sorption Isotherms of Yogurt Powder Containing Candied Chestnut Puree. **Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology**, v. 4, n. 8, p. 676-683, 2016.
- BEAL, C.; FONSECA, F.; CORRIEU, G. Resistance to freezing and frozen storage of *Streptococcus thermophilus* is related to membrane fatty acid composition. **Journal of Dairy Science**, v. 84, n. 11, p. 2347-2356, 2001.
- BEALES, N. Adaptation of microorganisms to cold temperatures, weak acid preservatives, low pH, and osmotic stress: a review. **Comprehensive Reviews in Food science and Food safety**, v. 3, n. 1, p. 1-20, 2004.
- BIELECKA, M.; MAJKOWSKA, A. Effect of spray drying temperature of yoghurt on the survival of starter cultures, moisture content and sensoric properties of yoghurt powder. **Molecular Nutrition & Food Research**, v. 44, n. 4, p. 257-260, 2000.
- BIELECKA, M.; MAJKOWSKA, A. Effect of spray drying temperature of yoghurt on the survival of starter cultures, moisture content and sensoric properties of yoghurt powder. **Food/Nahrung**, v. 44, n. 4, p. 257-260, 2000.
- BOSS, E. A.; MACIEL FILHO, R.; DE TOLEDO, E. C. V. Freeze drying process: real time model and optimization. **Chemical engineering and processing: process intensification**, v. 43, n. 12, p. 1475-1485, 2004.
- BOZA, Y.; BARBIN, D.; SCAMPARINI, A. Effect of spray-drying on the quality of encapsulated cells of *Beijerinckia* sp. **Process Biochemistry**, v. 39, n. 10, p. 1275-1284, 2004.
- BOZOĞLU, T.; ÖZILGEN, M.; BAKIR, U. Survival kinetics of lactic acid starter cultures during and after freeze drying. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 9, n. 9, p. 531-537, 1987. ISSN 0141-0229.
- BRASIL. **REGULAMENTO TÉCNICO DE IDENTIDADE E QUALIDADE DE LEITE EM PÓ. AGRÁRIA.**, Brasília: PORTARIA Nº 146 DE 07 DE MARÇO. 1996.
- _____. **Instrução Normativa nº 46, de 23 de outubro de 2007. Adota o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Leites Fermentados**. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, P. E. A. Brasília: Diário Oficial da República Federativa do Brasil 2007a.
- CAPELA, P.; HAY, T.; SHAH, N. Effect of cryoprotectants, prebiotics and microencapsulation on survival of probiotic organisms in yoghurt and freeze-dried yoghurt. **Food Research International**, v. 39, n. 2, p. 203-211, 2006.

CARDONA, T. et al. Optimizing conditions for heat pump dehydration of lactic acid bacteria. **Drying technology**, v. 20, n. 8, p. 1611-1632, 2002.

CARVALHO, A. S. et al. Survival of freeze-dried *Lactobacillus plantarum* and *Lactobacillus rhamnosus* during storage in the presence of protectants. **Biotechnology letters**, v. 24, n. 19, p. 1587-1591, 2002.

CARVALHO, A. S. et al. Effects of Various Sugars Added to Growth and Drying Media upon Thermotolerance and Survival throughout Storage of Freeze-Dried *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus*. **Biotechnology Progress**, v. 20, n. 1, p. 248-254, 2004a.

_____. Relevant factors for the preparation of freeze-dried lactic acid bacteria. **International Dairy Journal**, v. 14, n. 10, p. 835-847, 2004b.

CARVALHO, M. J.; PEREZ-PALACIOS, T.; RUIZ-CARRASCAL, J. Physico-chemical and sensory characteristics of freeze-dried and air-dehydrated yogurt foam. **LWT-Food Science and Technology**, v. 80, p. 328-334, 2017.

CHÁVEZ, B.; LEDEBOER, A. Drying of probiotics: optimization of formulation and process to enhance storage survival. **Drying Technology**, v. 25, n. 7-8, p. 1193-1201, 2007.

CHEN, X. D.; PATEL, K. C. Micro-organism inactivation during drying of small droplets or thin-layer slabs—A critical review of existing kinetics models and an appraisal of the drying rate dependent model. **Journal of Food Engineering**, v. 82, n. 1, p. 1-10, 2007.

CONRAD, P. B. et al. Stabilization and Preservation of *Lactobacillus acidophilus* in Saccharide Matrices. **Cryobiology**, v. 41, n. 1, p. 17-24, 2000.

CORCORAN, B. et al. Comparative survival of probiotic *Lactobacilli* spray-dried in the presence of prebiotic substances. **Journal of Applied Microbiology**, v. 96, n. 5, p. 1024-1039, 2004.

COSTA, E. et al. Effect of protective agents, rehydration media and initial cell concentration on viability of *Pantoea agglomerans* strain CPA-2 subjected to freeze-drying. **Journal of Applied Microbiology**, v. 89, n. 5, p. 793-800, 2000.

DA SILVA LANNES, S. C.; MEDEIROS, M. L. Processamento de achocolatado de cupuaçu por spray-dryer. **Brazilian journal of pharmaceutical sciences**, v. 39, n. 1, 2003.

DE ANTONI, G. et al. Trehalose, a cryoprotectant for *Lactobacillus bulgaricus*. **Cryobiology**, v. 26, n. 2, p. 149-153, 1989.

DE URRAZA, P.; DE ANTONI, G. Induced Cryotolerance of *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* LBB by Preincubation at Suboptimal Temperatures with a Fermentable Sugar. **Cryobiology**, v. 35, n. 2, p. 159-164, 1997.

DESMOND, C. et al. Environmental adaptation of probiotic *Lactobacilli* towards improvement of performance during spray drying. **International Dairy Journal**, v. 11, n. 10, p. 801-808, 2001.

DIMITRELLOU, D. et al. Evaluation of thermally-dried *Kluyveromyces marxianus* as baker's yeast. **Food chemistry**, v. 115, n. 2, p. 691-696, 2009.

EFIUVWEVERE, B. et al. Mannitol-enhanced survival of *Lactococcus lactis* subjected to drying. **Applied microbiology and biotechnology**, v. 51, n. 1, p. 100-104, 1999.

ERGÜN, K. et al. Freeze drying of yoghurt with candied chestnut puree: survival of lactic acid bacteria and determination of physical properties. **Italian Journal of Food Science**, v. 25, n. 4, p. 470, 2013.

FANG, Y. et al. Functionality of milk protein concentrate: Effect of spray drying temperature. **Biochemical Engineering Journal**, v. 62, p. 101-105, 2011.

FARAH, J. S.; ARAUJO, C. B.; MELO, L. Analysis of yoghurts', whey-based beverages' and fermented milks' labels and differences on their sensory profiles and acceptance. **International Dairy Journal**, 2016.

- FARAJI, H.; LINDSAY, R. C. Characterization of the antioxidant activity of sugars and polyhydric alcohols in fish oil emulsions. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 52, n. 23, p. 7164-7171, 2004.
- _____. Antioxidant protection of bulk fish oils by dispersed sugars and polyhydric alcohols. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 53, n. 3, p. 736-744, 2005.
- FELLOWS, P. J. et al. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**. Artmed, 2006.
- FONSECA, C. R. et al. Physical properties of goat milk powder with soy lecithin added before spray drying. **International journal of food science & technology**, v. 46, n. 3, p. 608-611, 2011.
- FONSECA, F.; BÉAL, C.; CORRIEU, G. Operating conditions that affect the resistance of lactic acid bacteria to freezing and frozen storage. **Cryobiology**, v. 43, n. 3, p. 189-198, 2001.
- FONSECA, F. et al. Improvement of cryopreservation of *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* CFL1 with additives displaying different protective effects. **International dairy journal**, v. 13, n. 11, p. 917-926, 2003.
- FOSCHINO, R.; FIORI, E.; GALLI, A. Survival and residual activity of *Lactobacillus acidophilus* frozen cultures under different conditions. **Journal of dairy research**, v. 63, n. 02, p. 295-303, 1996.
- FOSTER, K. D.; BRONLUND, J. E.; PATERSON, A. T. The prediction of moisture sorption isotherms for dairy powders. **International Dairy Journal**, v. 15, n. 4, p. 411-418, 2005.
- FREUDIG, B.; HOGEKAMP, S.; SCHUBERT, H. Dispersion of powders in liquids in a stirred vessel. **Chemical Engineering and Processing: Process Intensification**, v. 38, n. 4, p. 525-532, 1999.
- FU, N.; CHEN, X. D. Towards a maximal cell survival in convective thermal drying processes. **Food Research International**, v. 44, n. 5, p. 1127-1149, 2011.
- GIRGIS, H. S. et al. Stress adaptations of lactic acid bacteria. **Microbial stress adaptation and food safety**, p. 159-211, 2003.
- GYAWALI, R.; IBRAHIM, S. A. Effects of hydrocolloids and processing conditions on acid whey production with reference to Greek yogurt. **Trends in Food Science & Technology**, v. 56, p. 61-76, 2016.
- HAYALOGU, A. et al. Mathematical modeling of drying characteristics of strained yoghurt in a convective type tray-dryer. **Journal of Food Engineering**, v. 78, n. 1, p. 109-117, 2007.
- HIGL, B. et al. Impact of water activity, temperature, and physical state on the storage stability of *Lactobacillus paracasei* ssp. *paracasei* freeze-dried in a lactose matrix. **Biotechnology Progress**, v. 23, n. 4, p. 794-800, 2007.
- HUBALEK, Z. Protectants used in the cryopreservation of microorganisms. **Cryobiology**, v. 46, n. 3, p. 205-229, 2003.
- HUBÁLEK, Z. Protectants used in the cryopreservation of microorganisms. **Cryobiology**, v. 46, n. 3, p. 205-229, 2003.
- HUERTAS, R. A. P. Yogur en la salud humana. **Revista lasallista de investigación**, v. 9, n. 2, 2013.
- HUTKINS, R. W. **Microbiology and technology of fermented foods**. John Wiley & Sons, 2008.
- IGLESIAS, H. **Handbook of food isotherms: Water sorption parameters for food and food components**. Elsevier, 2012.
- JAYA, S.; DAS, H. Glass transition and sticky point temperatures and stability/mobility diagram of fruit powders. **Food and Bioprocess Technology**, v. 2, n. 1, p. 89-95, 2009.
- JULIANO, P.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. Food powders flowability characterization: theory, methods, and applications. **Annual review of food science and technology**, v. 1, p. 211-239, 2010.

- KAYMAK-ERTEKIN, F.; GEDIK, A. Sorption isotherms and isosteric heat of sorption for grapes, apricots, apples and potatoes. **LWT-Food Science and Technology**, v. 37, n. 4, p. 429-438, 2004.
- KEARNEY, N. et al. Development of a spray dried probiotic yoghurt containing *Lactobacillus paracasei* NFBC 338. **International Dairy Journal**, v. 19, n. 11, p. 684-689, 2009.
- KILARA, A.; SHAHANI, K.; DAS, N. Effect of cryoprotective agents on freeze-drying and storage of lactic cultures. **Cult Dairy Prod J**, 1976.
- KIM, E. H. J.; CHEN, X. D.; PEARCE, D. Surface characterization of four industrial spray-dried dairy powders in relation to chemical composition, structure and wetting property. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 26, n. 3, p. 197-212, 10// 2002.
- KIM, S. S.; BHOWMIK, S. R. Survival of lactic acid bacteria during spray drying of plain yogurt. **Journal of Food Science**, v. 55, n. 4, p. 1008-1010, 1990.
- _____. Moisture sorption isotherms of concentrated yogurt and microwave vacuum dried yogurt powder. **Journal of Food Engineering**, v. 21, n. 2, p. 157-175, 1994.
- KIM, S. S. et al. Survival of Lactic acid Bacteria during Microwave Vacuum-drying of Plain Yoghurt. **LWT - Food Science and Technology**, v. 30, n. 6, p. 573-577, 1997.
- KITAMURA, Y. et al. Experimental vacuum spray drying of probiotic foods included with lactic acid bacteria. **Journal of food processing and preservation**, v. 33, n. 6, p. 714-726, 2009.
- KOÇ, B. et al. Physical properties of yoghurt powder produced by spray drying. **Journal of food science and technology**, v. 51, n. 7, p. 1377-1383, 2014.
- KOC, B. et al. Spray drying of yogurt: Optimization of process conditions for improving viability and other quality attributes. **Drying Technology**, v. 28, n. 4, p. 495-507, 2010.
- KOKSOY, A.; KILIC, M. Use of hydrocolloids in textural stabilization of a yoghurt drink, ayran. **Food hydrocolloids**, v. 18, n. 4, p. 593-600, 2004.
- KRASAEOKOPT, W.; BHATIA, S. Production of yogurt powder using foam-mat drying. **AU Journal of Technology**, v. 15, n. 3, 2012.
- KUMAR, P.; MISHRA, H. Storage stability of mango soy fortified yoghurt powder in two different packaging materials: HDPP and ALP. **Journal of Food Engineering**, v. 65, n. 4, p. 569-576, 2004.
- _____. Effect of stabilizer on drying characteristics and quality of mango soy fortified yoghurt. **European Food Research and Technology**, v. 220, n. 5-6, p. 483-488, 2005.
- KUMAR, P.; MISHRA, H. N. Yoghurt Powder—A Review of Process Technology, Storage and Utilization. **Food and Bioproducts Processing**, v. 82, n. 2, p. 133-142, 6// 2004.
- KUMAR, P.; MISHRA, H. N. Moisture sorption characteristics of mango–soy-fortified yogurt powder. **International journal of dairy technology**, v. 59, n. 1, p. 22-28, 2006.
- KUROZAWA, L. E.; EL-AOUAR, Â. A.; MURR, F. E. Obtenção de isoterma de dessecção de cogumelo in natura e desidratado osmoticamente. **Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas**, v. 25, n. 4, p. 828-834, 2005.
- LESLIE, S. B. et al. Trehalose and sucrose protect both membranes and proteins in intact bacteria during drying. **Applied and environmental microbiology**, v. 61, n. 10, p. 3592-3597, 1995.
- LIAN, W.-C.; HSIAO, H.-C.; CHOU, C.-C. Survival of bifidobacteria after spray-drying. **International journal of food microbiology**, v. 74, n. 1, p. 79-86, 2002. ISSN 0168-1605.
- LIEVENSE, L.; VAN'T RIET, K. Convective drying of bacteria. In: (Ed.). **Biotechnics/Wastewater**: Springer, 1994. p.71-89.
- MADAMBA, P.; DRISCOLL, R.; BUCKLE, K. Predicting the sorption behaviour of garlic slices. **Drying Technology**, v. 12, n. 3, p. 669-683, 1994.
- MARQUES, L. G. Liofilização de frutas tropicais. **São Carlos: UFSCar**, 2008.

MASTERS, K.; HANDBOOK, S.-D. Longman Scientific and Technical. **Spray Drying Handbook**, 1990.

MATA, M. et al. Obtenção de Graviola em pó pelo processo de Liofilização. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 7, n. 2, p. 165-172, 2005.

MESTRY, A.; MUJUMDAR, A.; THORAT, B. Optimization of spray drying of an innovative functional food: Fermented mixed juice of carrot and watermelon. **Drying Technology**, v. 29, n. 10, p. 1121-1131, 2011.

MEZHERICHER, M.; LEVY, A.; BORDE, I. Spray drying modelling based on advanced droplet drying kinetics. **Chemical Engineering and Processing: Process Intensification**, v. 49, n. 11, p. 1205-1213, 11// 2010.

MORGAN, C. A. et al. Preservation of micro-organisms by drying; A review. **Journal of Microbiological Methods**, v. 66, n. 2, p. 183-193, 8// 2006.

NGUYEN, P. T. et al. Effect of different hydrocolloids on texture, rheology, tribology and sensory perception of texture and mouthfeel of low-fat pot-set yoghurt. **Food Hydrocolloids**, 2017.

OLIVEIRA, A. et al. Microencapsulation of *B. lactis* (BI 01) and *L. acidophilus* (LAC 4) by complex coacervation followed by spouted-bed drying. **Drying Technology**, v. 25, n. 10, p. 1687-1693, 2007.

PALMFELDT, J.; HAHN-HÄGERDAL, B. Influence of culture pH on survival of *Lactobacillus reuteri* subjected to freeze-drying. **International journal of food microbiology**, v. 55, n. 1, p. 235-238, 2000.

PAN, T.; XU, G.; GAO, F. Manufacture of yoghurt powder. **Shipin-Kexue**, v. 3, p. 18-21, 1994.

PANOFF, J.-M.; THAMMAVONGS, B.; GUÉGUEN, M. Cryoprotectants lead to phenotypic adaptation to freeze-thaw stress in *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* CIP 101027T. **Cryobiology**, v. 40, n. 3, p. 264-269, 2000.

PARAMITA, V. et al. Effect of additives on the morphology of spray-dried powder. **Drying Technology**, v. 28, n. 3, p. 323-329, 2010.

PEIGHAMBARDOUST, S.; TAFTI, A. G.; HESARI, J. Application of spray drying for preservation of lactic acid starter cultures: a review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 22, n. 5, p. 215-224, 2011.

PEREZ SILVA, A.; SALGADO CERVANTES, M.; GARCIA GALINDO, H. Acetaldehyde retention during spray drying of yoghurt. **Milchwissenschaft**, v. 52, n. 2, p. 89-93, 1997.

RAMIREZ-FIGUEROA, E. et al. Addition of hydrocolloids to improve the functionality of spray dried yoghurt. **Milchwissenschaft**, v. 57, n. 2, p. 87-89, 2002.

RASCÓN-DÍAZ, M. P. et al. Spray drying yogurt incorporating hydrocolloids: structural analysis, acetaldehyde content, viable bacteria, and rheological properties. **Food and bioprocess technology**, v. 5, n. 2, p. 560-567, 2012.

RATHI, S. et al. Studies on the physico chemical properties of freeze dried dahi. **Indian Journal of Dairy Science**, v. 43, n. 2, p. 249-251, 1990.

RATTI, C. Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review. **Journal of food engineering**, v. 49, n. 4, p. 311-319, 2001.

RIVEROS, B.; FERRER, J.; BORQUEZ, R. Spray drying of a vaginal probiotic strain of *Lactobacillus acidophilus*. **Drying Technology**, v. 27, n. 1, p. 123-132, 2009.

ROSAS-FLORES, W.; RAMOS-RAMÍREZ, E. G.; SALAZAR-MONTOYA, J. A. Microencapsulation of *Lactobacillus helveticus* and *Lactobacillus delbrueckii* using alginate and gellan gum. **Carbohydrate polymers**, v. 98, n. 1, p. 1011-1017, 2013.

ROUSTAPOUR, O. R. et al. A proposed numerical-experimental method for drying kinetics in a spray dryer. **Journal of food engineering**, v. 90, n. 1, p. 20-26, 2009.

RYBKA, S.; KAILASAPATHY, K. The survival of culture bacteria in fresh and freeze-dried AB yoghurts. **Australian Journal of Dairy Technology**, v. 50, n. 2, p. 51-57, 1995.

- _____. Effect of freeze drying and storage on the microbiological and physical properties of AB-yoghurt. **Milchwissenschaft**, v. 52, n. 7, p. 390-394, 1997.
- SAAD, S. M. I.; CRUZ, A. G. D.; FARIA, J. D. A. F. Probióticos e prebióticos em alimentos: fundamentos e aplicações tecnológicas. In: (Ed.). **Probióticos e prebióticos em alimentos: fundamentos e aplicações tecnológicas**: Varela, 2011.
- SAARELA, M. et al. Influence of fermentation time, cryoprotectant and neutralization of cell concentrate on freeze-drying survival, storage stability, and acid and bile exposure of *Bifidobacterium animalis* ssp. *lactis* cells produced without milk-based ingredients. **Journal of applied microbiology**, v. 99, n. 6, p. 1330-1339, 2005.
- SAKIN-YILMAZER, M. et al. Yoghurt with candied chestnut: freeze drying, physical, and rheological behaviour. **Journal of food science and technology**, v. 51, n. 12, p. 3949-3955, 2014.
- SAKIN-YILMAZER, M. et al. Rheological behavior of reconstituted yoghurt powder—An optimization study. **Powder Technology**, v. 266, p. 433-439, 2014.
- SANTIVARANGKNA, C.; HIGL, B.; FOERST, P. Protection mechanisms of sugars during different stages of preparation process of dried lactic acid starter cultures. **Food Microbiology**, v. 25, n. 3, p. 429-441, 2008.
- SANTIVARANGKNA, C.; KULOZIK, U.; FOERST, P. Effect of carbohydrates on the survival of *Lactobacillus helveticus* during vacuum drying. **Letters in applied microbiology**, v. 42, n. 3, p. 271-276, 2006.
- _____. Inactivation mechanisms of lactic acid starter cultures preserved by drying processes. **Journal of Applied Microbiology**, v. 105, n. 1, p. 1-13, 2008.
- SANTOS, G. D. **ESTUDO DO PROCESSO DE OBTENÇÃO DE IOGURTE LIOFILIZADO “EM PÓ” E AVALIAÇÃO DE SUA QUALIDADE NUTRICIONAL E SENSORIAL**. 2012. Dissertação (Mestrado). Departamento de tecnologia em Alimentos, Universidade Federal de Sergipe, São cristóvão.
- SHARMA, N.; ARORA, C. Influence of product thickness, chamber pressure and heating conditions on production rate of freeze-dried yoghurt. **International journal of refrigeration**, v. 18, n. 5, p. 297-307, 1995.
- SHARMA, N.; ARORA, C.; MITAL, B. Influence of concentration of milk solids on freeze-drying rate of yoghurt and its quality. **Journal of food process engineering**, v. 15, n. 3, p. 187-198, 1992.
- SHARMA, R. et al. Standardization of lyophilization medium for *Streptococcus thermophilus* subjected to viability escalation on freeze drying. **Microbiology Research**, v. 5, n. 1, 2014.
- SILVA, F. D. A.; AZEVEDO, C. D. **A new version of the assistat-statistical assistance software**. **World Congress on computers in agriculture**, American Society of Agricultural Engineers Orlando. p.393-396, 2006.
- SILVA, J. et al. Effect of the pH of growth on the survival of *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* to stress conditions during spray-drying. **Journal of applied microbiology**, v. 98, n. 3, p. 775-782, 2005.
- SILVA, J. et al. Bacteriocin production by spray-dried lactic acid bacteria. **Letters in Applied Microbiology**, v. 34, n. 2, p. 77-81, 2002.
- SIMPSON, P. et al. Intrinsic tolerance of *Bifidobacterium* species to heat and oxygen and survival following spray drying and storage. **Journal of Applied Microbiology**, v. 99, n. 3, p. 493-501, 2005.
- SMITTLE, R.; GILLILAND, S.; SPECK, M. Death of *Lactobacillus bulgaricus* resulting from liquid nitrogen freezing. **Applied microbiology**, v. 24, n. 4, p. 551-554, 1972.
- SOHAIL, A. et al. The viability of *Lactobacillus rhamnosus* GG and *Lactobacillus*

acidophilus NCFM following double encapsulation in alginate and maltodextrin. **Food and Bioprocess Technology**, p. 1-7, 2013.

STENCL, J. Modelling the water sorption isotherms of yoghurt powder spray. **Mathematics and computers in simulation**, v. 65, n. 1, p. 157-164, 2004.

STRASSER, S. et al. Influence of lyophilization, fluidized bed drying, addition of protectants, and storage on the viability of lactic acid bacteria. **Journal of applied microbiology**, v. 107, n. 1, p. 167-177, 2009.

SUNNY-ROBERTS, E.; KNORR, D. The protective effect of monosodium glutamate on survival of *Lactobacillus rhamnosus* GG and *Lactobacillus rhamnosus* E-97800 (E800) strains during spray-drying and storage in trehalose-containing powders. **International Dairy Journal**, v. 19, n. 4, p. 209-214, 2009.

TAMIME, A.; ROBINSON, R. Traditional and recent developments in yoghurt production and related products. **Tamime and Robinson's yoghurt: science and technology**, n. Ed. 3, p. 348-467, 2007..

TAMIME, A. Y.; ROBINSON, R. K. **Tamime and Robinson's yoghurt: science and technology**. Elsevier, 2007.

TEIXEIRA, P.; CASTRO, H.; KIRBY, R. Spray drying as a method for preparing concentrated cultures of *Lactobacillus bulgaricus*. **Journal of Applied Bacteriology**, v. 78, n. 4, p. 456-462, 1995.

TONIAZZO, T. et al. β -carotene-loaded liposome dispersions stabilized with xanthan and guar gums: Physico-chemical stability and feasibility of application in yogurt. **LWT-Food Science and Technology**, v. 59, n. 2, p. 1265-1273, 2014.

TRIBOLI, E. P. D. R.; GUT, J. A. W. Study of Spray-dried Yoghurt Production in a Pilot-scale Equipment Using Drying Agents to Reduce Wall Deposition. **International Journal of Food Engineering**, v. 12, n. 8, p. 793-803, 2016.

TYMCZYSZYN, E. E. et al. Critical water activity for the preservation of *Lactobacillus bulgaricus* by vacuum drying. **International Journal of Food Microbiology**, v. 128, n. 2, p. 342-347, 2008.

VAN DEN BERG, J. **Dairy technology in the tropics and subtropics**. Pudoc, 1988.

VARGHESE K, S.; RAMACHANDRANNAIR, S. V.; MISHRA, H. N. Moisture sorption characteristics of curd (Indian yogurt) powder. **International Journal of Dairy Technology**, v. 62, n. 1, p. 85-92, 2009.

VELARDI, S. A.; BARRESI, A. A. Development of simplified models for the freeze-drying process and investigation of the optimal operating conditions. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 86, n. 1, p. 9-22, 2008.

VENIR, E. et al. Preparation of freeze-dried yoghurt as a space food. **Journal of food engineering**, v. 80, n. 2, p. 402-407, 2007.

VISSOTTO, F. Z. et al. Avaliação da influência dos processos de lecitinação e de aglomeração nas propriedades físicas de achocolatado em pó. **Ciênc. Tecnol. Aliment**, v. 26, n. 3, p. 666-671, 2006.

WALSTRA, P. G., T. J.; NOOMEN, A.; JELLEMA, A. B., M. A. J. S. . **CIENCIA DE LA LECHE Y TECNOLOGÍA DE LOS PRODUCTOS LACTEOS**. p.729. 2001

WANG, Y.-C.; YU, R.-C.; CHOU, C.-C. Viability of lactic acid bacteria and bifidobacteria in fermented soymilk after drying, subsequent rehydration and storage. **International Journal of Food Microbiology**, v. 93, n. 2, p. 209-217, 2004.

WANG, Y.; CORRIEU, G.; BÉAL, C. Fermentation pH and temperature influence the cryotolerance of *Lactobacillus acidophilus* RD758. **Journal of Dairy Science**, v. 88, n. 1, p. 21-29, 2005.

- WIRJANTORO, T. I.; PHIANMONGKHOL, A. The viability of lactic acid bacteria and *Bifidobacterium bifidum* in yoghurt powder during storage. **Journal of Natural Sciences**, v. 8, n. 1, p. 95-104, 2009.
- WU, W. D. et al. Towards spray drying of high solids dairy liquid: Effects of feed solid content on particle structure and functionality. **Journal of Food Engineering**, v. 123, p. 130-135, 2014.
- ZAVAGLIA, A. G.; DISALVO, E. A.; DE ANTONI, G. L. Fatty acid composition and freeze-thaw resistance in lactobacilli. **Journal of Dairy Research**, v. 67, n. 02, p. 241-247, 2000.

CAPÍTULO II

INFLUÊNCIA DE ADITIVOS SOBRE AS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E MICROBIOLÓGICAS DO IOGURTE EM PÓ POR ATOMIZAÇÃO E LIOFILIZAÇÃO

INFLUÊNCIA DE ADITIVOS SOBRE AS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E MICROBIOLÓGICAS DO IOGURTE EM PÓ OBTIDO POR ATOMIZAÇÃO E LIOFILIZAÇÃO

RESUMO

Nos últimos anos, os alimentos vêm atendendo demandas que vão além de saciar os consumidores, sendo promotores de bem estar e de uma vida saudável, havendo outras variáveis também determinantes como praticidade e economia na aquisição do produto. O iogurte é um dos principais derivados lácteos consumidos no mundo, incorporando essas novas exigências mercadológicas. Nesse sentido, a secagem do iogurte surge como uma alternativa para obtenção de um produto com maior vida útil, armazenamento mais econômico e que amplia o nicho de mercado. Logo, o presente estudo teve por objetivo avaliar a influência de aditivos nas isotermas de sorção e nas características físicas e microbiológicas do iogurte em pó obtido por liofilização ou atomização. Foram elaboradas formulações com lecitina (0,2; 0,4 e 0,6 %), goma arábica (0,2; 0,4 e 0,6 %) e maltodextrina (5, 10 e 15 %). Os ensaios foram realizados segundo delineamento composto central rotacional (DCCR) 2ⁿ, sendo n = 3 o número de variáveis independentes e 3 pontos centrais. Análises de solubilidade, colorimetria (L) e análises microbiológicas de contagens de *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* e *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* foram realizadas como variáveis respostas. Com base nos resultados experimentais, foram determinadas as isotermas de sorção de 2 amostras de iogurte liofilizadas, uma com aditivos (0,6 % de goma arábica e 15 % de maltodextrina) e uma sem aditivos, e 2 amostras atomizadas, uma com aditivos (0,6 % de goma arábica e 15 % de maltodextrina) e uma sem aditivos. A incorporação de maltodextrina colaborou para a preservação da luminosidade durante os processos de desidratação. Já para a solubilidade, a maltodextrina teve efeito positivo para o processo de atomização e negativo para o processo de liofilização. A lecitina na quantidade e condição utilizada não apresentou efeito sobre a solubilidade das amostras. Os aditivos influenciaram positivamente a preservação das células de *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* durante o processo de desidratação, a maltodextrina e a lecitina promoveram a diminuição de células de *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus*. As isotermas de sorção de pós de iogurte liofilizado e atomizados resultaram em curvas sigmoidais tipo II típicas, de acordo com a classificação BET. Os parâmetros de sorção das amostras de iogurte em pó foram mais bem ajustados ao modelo de GAB, sendo que as amostras liofilizadas apresentaram melhor ajuste aos modelos de sorção que as amostras atomizadas.

Palavras – Chave: Bactéria láctica, desidratação, maltodextrina, estabilizante e emulsificante.

INFLUENCE OF ADDITIVES ON PHYSICAL AND MICROBIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF DEHYDRATED YOGURT AND SORPTION ISOTHERMS OF PRODUCT

ABSTRACT

In recent years, food has been meeting demands that go beyond satisfying consumers, being promoters of well-being and a healthy life, and other variables are also determinative in the acquisition of the product such as practicality and economy. Yogurt is one of the major dairy products consumed in the world, incorporating these new marketing demands. In this sense, the yogurt drying appears as an alternative to obtain a product with longer shelf life, more economy in storage, and for enlarging the market niche. Therefore, the present study aims to evaluate the influence of additives on the sorption isotherms and the physical and microbiological characteristics of powdered yogurt obtained by freeze drying or spray drying. We prepared formulations with lecithin (0,2; 0,4 and 0,6 %), gum arabic (0,2; 0,4 and 0,6 %) and maltodextrin (5, 10 and 15 %). The tests were performed according to the central composite rotatable design (CCRD) 2ⁿ, with n = 3 as the number of independent variables and 3 central points. Analyses of solubility, colorimetry and microbiological analyses of *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* and *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* counts were performed as response variables. Based on the results from the results of the experimental design, we built sorption isotherms for 2 freeze dried yogurt samples, with additives (0,6 % of gum arabic and 15 % of maltodextrin) and without additives, and for 2 spray dried samples with additives (0,6 % of gum arabic and 15 % of maltodextrin) and without additives. The incorporation of maltodextrin contributed to the preservation of color during the dehydration processes. For the solubility, the maltodextrin had positive effect for the spray drying process and negative effect for the freeze drying process. Lecithin in the amount used had no effect on the solubility of the samples. The additives positively influenced the preservation of *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* cells during the dehydration process. Maltodextrin and lecithin collaborated to decrease the population of *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* cells. The sorption isotherms of freeze dried and spray dried yogurt powders resulted in typical type II sigmoid curves, according to the BET mathematical model. The sorption parameters of the yogurt powder samples were better adjusted to the GAB model, and the freeze dried samples showed better adjustment to the sorption models than the spray dried samples.

Keywords: Lactic Acid Bacteria, Dehydration, Maltodextrin, Stabilizer and Emulsifier

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o mercado alimentício vem transformando os alimentos em veículos de promoção de bem-estar e saúde. Essa nova concepção tem incentivado pesquisas de desenvolvimento de processos e ingredientes, possibilitando a criação de novos alimentos e novos nichos de mercado (TRIBOLI e GUT, 2016).

O iogurte tem incorporado ingredientes para atender as exigências mercadológicas e manter a competitividade, produtos probióticos, prebióticos, *lights*, *diets*, ricos em ômega 3, vitaminas e minerais são exemplos dessas mudanças, sendo que o processo e conservação também incorporaram novas tecnologias. A produção comercial de alimentos, com preparação rápida ou instantânea e um período maior de conservação é uma solicitação recorrente por parte dos consumidores (TAMIME e ROBINSON, 2007; SAAD, CRUZ e FARIA, 2011; ERGÜN et al., 2013).

Nesse contexto, as secagens por liofilização e atomização surgem como alternativas de conservação dos leites fermentados, preservando suas características nutricionais e terapêuticas por mais tempo (KOC et al., 2010; CARVALHO, PEREZ-PALACIOS e RUIZ-CARRASCAL, 2017). A legislação brasileira define o iogurte como produto adicionado ou não de outras substâncias alimentícias, obtido por coagulação e diminuição do pH do leite, ou leite reconstituído, adicionado ou não de outros produtos lácteos, por fermentação láctea mediante a ação protosimbiótica de *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* e *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus*. (BRASIL, 2007).

A liofilização consiste na redução da concentração de água de um produto através da sublimação, definida como a passagem da água do estado sólido para o gasoso. Esta forma de secagem mantém as características sensoriais, biológicas e nutricionais do produto seco próximas às do *in natura*. Outro fato importante é que o produto oriundo da liofilização é de fácil reidratação, readquirindo fácil e rapidamente boa parte da água perdida durante processo (MARQUES, 2008; VELARDI e BARRESI, 2008; FU e CHEN, 2011).

Já a atomização é a transformação de produtos líquidos em pós, através de um sistema centrífugo ou de alta pressão, onde as gotículas atomizadas entram imediatamente em contato com um fluxo de ar quente ocorrendo à imediata evaporação da água, permitindo que o produto a ser seco não sofra efeitos térmicos que comprometam significativamente as características sensoriais e biológicas (MEZHERICHER, LEVY e BORDE, 2010). O número de células viáveis em iogurte em pó é um bom índice para avaliando o grau de dano de calor exercido durante a secagem bem como para otimizar as condições de processamento. A fim de fornecer um benefício para a saúde, os produtos em pó devem atender critério de ter o número mínimo sugerido de mais de 10^7 ufc / g na data de validade. (BRASIL, 2007).

Durante o processo de secagem ocorrem mudanças estruturais no alimento que causam danos, devido a altas e baixas temperaturas aplicadas na atomização e liofilização, respectivamente. Algumas substâncias como a maltodextrina e a goma arábica podem ser adicionadas para atenuar esses danos, exercendo efeito crioprotetor ou aliviando as tensões osmóticas, que são prejudiciais a microbiota do iogurte (RASCÓN-DÍAZ et al., 2012).

A goma arábica é um aditivo bastante utilizado no processamento do iogurte, pois tem função importante na manutenção da textura e viscosidade do produto reidratado (KOKSOY e KILIC, 2004; FU e CHEN, 2011; RASCÓN-DÍAZ et al., 2012). O uso de hidrocolóides é recomendado para produção de iogurtes com diferentes graus de firmeza e com resistência melhorada à sinérese (TAMIME e ROBINSON, 2007). Já a maltodextrina é utilizada para evitar que o material se aglomere nas paredes dos atomizadores, podendo causar entupimentos e focos de contaminação (KOC et al., 2010), além disso, o material transportador atua como um crioprotetor que ajuda a preservar a atividade microbiana após a liofilização e durante

o armazenamento (MANOJLOVIĆ et al., 2010). A legislação brasileira permite 5g / kg de goma arábica e até 30 % de maltodextrina em iogurtes (BRASIL, 2007).

Outro problema decorrente da desidratação de derivados lácteos é a dificuldade de solubilização do pó devido ao alto teor de gordura. Fonseca et al. (2011) sugerem que a lecitina seja adicionada ao leite concentrado antes do processo de atomização, para facilitar a solubilidade do leite em pó atomizado. Isto porque a lecitina tem propriedades hidrófilas e lipofílicas, portanto, pode ser usada para cobrir a superfície da partícula de pó para melhorar sua dispersibilidade e sua aceitação para o consumo (VISSOTTO et al., 2006). A legislação brasileira permite 5g / kg de lecitina para leite em pó (BRASIL, 1996).

No processo de secagem, a água é o componente essencial para qualidade e estabilidade do produto desidratado. É possível estabelecer uma relação estreita entre o teor de água livre no alimento e sua conservação. O estudo da curva de sorção, que representa a relação do teor de umidade de equilíbrio de um material com a umidade relativa do ambiente a seu entorno em uma temperatura específica. A natureza da isoterma de sorção é única para cada alimento. Isotermas de sorção também pode ser usado para investigar características estruturais, como como área de superfície específica, volume, tamanho e distribuição de poros e cristalinidade de um produto alimentar (STENCL, 2004; BASTIOĞLU, DIRIM e ERTEKIN, 2016).

Os dados das isotermas de sorção também são utilizados na formulação de novos produtos, seleção de materiais de embalagem e condições de armazenamento, bem como nos processos de secagem (DEMARCHI et al., 2013). As formas das curvas de adsorção dependem da composição do produto em pó (ARSLAN e TOĞRUL, 2005). Além disso, as isotermas de sorção podem ser usadas para determinar o melhor teor de umidade do produto seco (BASTIOĞLU, DIRIM e ERTEKIN, 2016). Assim, o presente capítulo tem por objetivo avaliar a influência de aditivos (goma arábica, maltodextrina e lecitina) sobre as características físicas e microbiológicas do iogurte em pó obtido por liofilização ou atomização, além de avaliar as isotermas de sorção do produto.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido nos laboratórios e plantas pilotos da Embrapa Agroindústria de Alimentos e no laboratório de microbiologia do Departamento de Tecnologia de Alimentos (DTA) da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Para a formulação do iogurte tradicional e utilizou-se leite pasteurizado integral. O fermento utilizado foi o YF-L903, contendo culturas de *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* e *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus*, (Christian Hansen), maltodextrina MOR-REX® 1910 (DE 10), fornecida pela Corn Products (Mogi-Guaçu, Brasil) como agente carreador e goma arábica Instantgum BA®, fornecida pela Colloïdes Naturels Brasil (São Paulo, Brasil) como estabilizante, além de lecitina de soja (Grings).

2.1 Processamento do Iogurte Tradicional

O iogurte tradicional foi processado utilizando-se 2 l de leite integral pasteurizado. O leite foi aquecido até 42 °C para adição do inóculo e incubado em BOD (Demanda Bioquímica de Oxigênio) a temperatura de 42 °C, onde permaneceu por aproximadamente cinco horas até atingir valores de pH entre 4,5 e 4,6. Em seguida, o iogurte foi resfriado gradativamente até atingir a temperatura de 6 °C e estocado a refrigerador a 5 °C por 24 horas (KEARNEY et al., 2009). Os aditivos foram adicionados às amostras de iogurte antes dos

processos de liofilização e atomização, posteriormente homogeneizadas utilizando-se Turrax (Biovera) a 100 rpm/1min.

2.2 Processamento do Iogurte Liofilizado

O iogurte foi depositado em bandejas de aço inoxidável (150 mm / 250 mm) e dispostas no liofilizador (Boc Edwards) a temperatura de $-40 \pm 2^{\circ}\text{C}$ por 4 horas para completar o ciclo de congelamento. Após esta fase, a bomba de vácuo foi acionada a uma pressão mínima de 0,18 mbar por 24 horas ocorrendo à liofilização. No final do processo, o iogurte em pó foi armazenado em embalagens laminadas compostas por polipropileno e alumínio (PETmet), fechadas a vácuo em seladora de marca TEC MAQ, Modelo AP 500 (ERGÜN et al., 2013).

2.3 Processamento do Iogurte Atomizado

A secagem por atomização do iogurte foi realizada em um spray dryer da marca Lab Plant (SS-07), com bico de alimentação de 1 mm de diâmetro, pressão de 2.5 bar. A alimentação foi realizada por meio de uma bomba peristáltica, com vazão de $0,60 \text{ L.h}^{-1}$. As temperaturas de entrada e saída do ar foram 170 e 80 °C respectivamente, e a temperatura de alimentação de 15 °C (KEARNEY et al., 2009). Em seguida, foram armazenadas em embalagens laminadas compostas por polipropileno e alumínio (PETmet), fechadas a vácuo em seladora de marca TEC MAQ, Modelo AP 500.

2.4 Delineamento Experimental

Foram feitas formulações com lecitina (0,2 %; 0,4 % e 0,6 %), goma arábica (0,2 %; 0,4 % e 0,6 %) e maltodextrina (5 %, 10 % e 15 %). Os ensaios foram realizados segundo delineamento composto central rotacional (DCCR) 2^n , sendo $n = 3$, o número de variáveis independentes e três pontos centrais. A Tabela 1 mostra as variáveis independentes e os níveis de variação que foram usados nos 17 experimentos. Os níveis de variação codificados como -1 e 1, assim como os pontos centrais "0", foram selecionados baseado nos valores pré-estabelecidos pela legislação brasileira para estes aditivos em leite fermentado e leite em pó.

As variáveis de resposta foram às características de solubilidade, sobrevivência das bactérias lácticas e a luminosidade. Foi empregado DCCR tanto para o processo de liofilização, como para o processo de atomização.

Tabela 1. Matriz de ensaios para o delineamento composto central rotacional com os níveis das variáveis independentes nas unidades codificadas e originais.

Tratamentos	X ₁	X ₂	X ₃	Maltodextrina (%)	Goma arábica (%)	Lecitina (%)
1	-1	-1	-1	5,00	0,200	0,200
2	-1	-1	1	5,00	0,200	0,600
3	-1	1	-1	5,00	0,600	0,200
4	-1	1	1	5,00	0,600	0,600
5	1	-1	-1	15,00	0,200	0,200
6	1	-1	1	15,00	0,200	0,600
7	1	1	-1	15,00	0,600	0,200
8	1	1	1	15,00	0,600	0,600
9	-1,68	0	0	1,59	0,400	0,400
10	+1,68	0	0	18,41	0,400	0,400
11	0	-1,68	0	10,00	0,064	0,400
12	0	+1,68	0	10,00	0,736	0,400
13	0	0	-1,68	10,00	0,400	0,064
14	0	0	+1,68	10,00	0,400	0,736
15	0	0	0	10,00	0,400	0,400
16	0	0	0	10,00	0,400	0,400
17	0	0	0	10,00	0,400	0,400

2.5 Caracterização Física

2.5.1 Colorimetria

A cor das amostras de iogurte foi determinada por colorimetria tristímulo, em colorímetro (Konica minolta, Modelo CR-10) pelo sistema L*, a*, b*, ΔE.

2.5.2 Solubilidade

A solubilidade foi determinada pelo método gravimétrico, de acordo com (CANO-CHAUCA et al., 2005). O método consiste na adição de 1 g de amostra a um recipiente contendo 100 ml de água destilada, operando com agitação magnética a alta velocidade – nível 4 do agitador magnético (Fisatom, São Paulo, Brasil) – por 5 min., seguida por uma centrifugação a 3000 x g, também por 5 min. Posteriormente, uma alíquota de 25 ml do sobrenadante é retirada e levada à estufa a 105 °C, até peso constante.

2.6 Caracterização Físico - Química

Para caracterizar as amostras foram realizadas análises de atividade de água (a_w) determinada em higrômetro da marca Aqualab. A determinação da umidade foi realizada em estufa à vácuo (AOAC, 2010).

2.7 Caracterização Microbiológica

As análises de contagem de bactérias lácticas foram realizadas através de plaqueamento por profundidade sobrecamada, em triplicata. Na determinação de *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* as placas com o meio de cultura M17 suplementado com lactose foram devidamente semeadas e incubadas em estufa tipo BOD a 37 °C por 48 h, para *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* as placas com MRS acidificado foram incubadas a 37 °C por 72 h dentro de uma jarra de Gaspack na BOD sob condições microaerófilas.(ASSOCIATION et al., 2003).

2.8 Determinação das Isotermas de sorção

As isotermas foram construídas a partir de determinações gravimétricas colocando-se aproximadamente 1g das amostras de pó em ambientes de umidade relativa constantes por 2-3 semanas (KUMAR e MISHRA, 2006) à temperatura de 25°C. Os ambientes correspondentes aos diferentes níveis de umidade relativa foram obtidos colocando-se soluções de sais saturadas no fundo de dessecadores durante uma semana, para que fosse alcançada a estabilidade. A Tabela 2 mostra os sais utilizados para fornecer os ambientes de diferentes umidades relativas. A umidade de equilíbrio foi atingida quando não foram observadas variações de massa nas amostras. Nesse momento as amostras foram levadas para a determinação de umidade e esse valor representa a umidade de equilíbrio do material.

Tabela 2. Sais e as respectivas umidades relativas das soluções saturadas para construção das isotermas do iogurte em pó.

Sais	Umidade relativa (%)
LiCl	11,15
CH ₃ COOK	22,50
MgCl ₂	32,73
K ₂ CO ₃	43,80
Mg(NO ₃) ₂	52,86
KI	68,90
NaCl	75,32
KCl	84,32

Fonte: (WALSTRA e JELLEMA, 2001).

Os critérios utilizados para selecionar o modelo de sorção mais adequado foram o grau de ajuste aos dados experimentais e a simplicidade do modelo. Os dados de adsorção experimental de pós de iogurte a 25 °C foram ajustados a seis equações de sorção, mostradas na Tabela 3. Todas as equações foram escolhidas porque são mais amplamente utilizadas para ajustar dados de sorção experimental de diversos alimentos. Os parâmetros dos modelos de sorção foram estimados a partir dos resultados experimentais, utilizando-se análise de regressão não linear, objetivando a minimização da soma residual dos quadrados (RMSE, proveniente do termo em inglês *Root Mean Square Error*), definido como:

$$\% \text{ RMSE} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{|M_{exp} - M_{cal}|}{M_{exp}} \right)^2 \times 100.$$

Onde M_{exp} e M_{cal} são valores experimentais e preditos de umidade, respectivamente, e N é o número de dados experimentais. Um modelo é considerado aceitável se o valor de RMSE estiver abaixo de 10 % e os valores de R forem superiores a 0,9 (KAYMAK e GEDIK, 2004; BASTIOĞLU e ERTEKIN, 2016).

Tabela 3. Modelos para ajustes de isotermas de sorção de umidade.

Nome do modelo	Modelo
GAB (GUGGHENHEIM, ANDERSON e de BOER)	$X_{eq} = \frac{m_0 \cdot C \cdot K \cdot a_w}{(1 - K \cdot a_w) \cdot (1 - K \cdot a_w + C \cdot K \cdot a_w)}$
BET (BRUNAUER, EMMETT e TELLER)	$X_{eq} = \frac{C \cdot m_0 \cdot a_w \cdot (1 + a_w)}{(1 - a_w) \cdot ((1 - a_w)^2 + C \cdot a_w)}$
Chung & Pfof	$\ln a_w = -\frac{A}{R \cdot T} \cdot \exp[-B \cdot X_{eq}]$
Halsey	$a_w = \exp\left[\frac{-A}{X_{eq}^B}\right]$
Oswin	$X_{eq} = A \cdot \left(\frac{a_w}{1 - a_w}\right)^B$
Peleg	$X_{eq} = k_1 \cdot a_w^{n_1} + k_2 \cdot a_w^{n_2}$

X = conteúdo de água (g água/ g sólidos), a_w = atividade de água, m_0 = valor da monocamada, K e C = Constantes de calor de sorção na monocamada e multicamada, respectivamente; A, B, a, c, k_1 , k_2 , n_1 e n_2 = constantes do modelo; T = temperatura; R = constante universal dos gases (J/mole.K).

Fonte: (KUROZAWA, EL-AOUAR e MURR, 2005).

2.9 Análise Estatística

Os dados foram expressos como médias, com três repetições de cada experimento. Para o Delineamento Composto Central Rotacional e RMSE foi utilizado o software Statistic 6.0.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Planejamento Experimental

A luminosidade das amostras atomizadas variou de 91,64 a 94,70; o que mostra que elas tenderam ao branco, mesmo sendo expostas a temperaturas altas durante o processamento. Para solubilidade, as amostras variaram de 67,85 a 81,62 %. Estudando a influência das temperaturas de secagem sobre a solubilidade de iogurte em pó, Koç et al. (2014) obtiveram valores próximos aos do presente estudo, com solubilidade entre 67,85 e 83,77 %. A solubilidade é o último passo de dissolução de pó e é considerado o determinante-chave da qualidade geral da reconstituição, a taxa de formação de material insolúvel em produtos lácteos depende em grande parte da temperatura de secagem (KIM et al. 2002).

Em relação à redução das bactérias lácticas *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, os iogurtes apresentaram uma taxa sobrevivência de 0,01 a 0,48 % e para *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus*, apresentaram taxa de sobrevivência de 0,11 a 1,58 % . Koc et al. (2010), em seus estudos com atomização de iogurte, tiveram sob condição ótima (temperatura de entrada 170 °C e 61,5 °C de saída) a taxa de sobrevivência foi 2 % do número total de células viáveis. Bielecka e Majkowska (2000), aplicando temperaturas de saída de 75 a 80 °C para secagem do iogurte por atomização, obtiveram sobrevivência de 12,7 % de *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* e 8 % de *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*. A tabela 4 apresenta as respostas para as variáveis testadas durante o processo de atomização.

No processo de atomização as formulações com 15% de maltodextrina apresentaram os melhores valores para preservação da cor e aumento da solubilidade, essas formulações também preservaram mais as células viáveis de *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*,

No entanto, as formulações com 5% de maltodextrina preservaram melhor a células viáveis de *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus*.

Tabela 4. Matriz de ensaios para o Delineamento composto central rotacional das amostras atomizadas de iogurte com as variáveis respostas.

Tratamentos	Maltodextrina X ₁	Goma arábica X ₂	Lecitina X ₃	Luminosidade Y ₁	Solubilidade (%) Y ₂	<i>Lactobacillus</i> <i>bulgaricus</i> ¹ . (%) Y ₃	<i>Streptococcus</i> <i>thermophilus</i> ² . (%) Y ₄
1	5,00	0,200	0,200	93,55	71,23	0,005	0,167
2	5,00	0,200	0,600	91,80	69,81	0,008	0,959
3	5,00	0,600	0,200	92,79	68,25	0,006	0,319
4	5,00	0,600	0,600	91,64	68,66	0,006	1,579
5	15,00	0,200	0,200	94,46	79,86	0,482	0,480
6	15,00	0,200	0,600	92,57	81,62	0,270	0,417
7	15,00	0,600	0,200	93,94	80,79	0,355	0,414
8	15,00	0,600	0,600	93,35	77,84	0,194	0,378
9	1,59	0,400	0,400	93,69	67,85	0,019	0,601
10	18,41	0,400	0,400	94,70	83,77	0,130	0,246
11	10,00	0,064	0,400	93,04	74,92	0,116	0,220
12	10,00	0,736	0,400	92,19	74,79	0,044	0,194
13	10,00	0,400	0,064	94,25	76,97	0,120	0,714
14	10,00	0,400	0,736	92,46	75,11	0,119	0,114
15	10,00	0,400	0,400	92,39	74,64	0,042	0,283
16	10,00	0,400	0,400	92,01	75,44	0,91	0,234
17	10,00	0,400	0,400	92,21	74,22	0,031	0,123
18*	0	0	0	89,36	54,82	0,002	0,264

*Amostra sem nenhum aditivo.

¹ Taxas de sobrevivência de *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*.

² Taxas de sobrevivência de *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus*.

Na tabela 5 estão presentes as respostas para as variáveis testadas durante o processo de liofilização. As amostras apresentaram variação de luminosidade entre 93,57 e 96,12, o que demonstra que não houve escurecimento durante o processo. Estes valores são semelhantes aos apresentados por Carvalho e Carrascal (2017), correspondente a luminosidade de 93,3, em seus estudos com espumas de iogurte desidratadas por liofilização. A solubilidade das amostras variaram de 59,85 a 77,52 %, os valores médios são menores do que no processo de atomização, pois o formato e a densidade aparente mais baixa das partículas liofilizadas têm influência direta na solubilidade do pó (KOÇ et al., 2014). Em relação à taxa de sobrevivência das bactérias lácticas, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* apresentou uma sobrevivência de 0,1363 a 0,037 % de células viáveis e *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* uma sobrevivência de 0,237 a 1,50 %. Rybka e Kailasapathy (1997) constataram uma sobrevivência de de 0,25 % de *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* e 47,50 % de *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* durante o processo de liofilização, o que comprovou maior sensibilidade do *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ao processo de desidratação. A redução na contagem viável de bactérias de iogurte poderia ser devido a lesão metabólica durante o processo de liofilização. A liofilização afeta negativamente as ligações

de hidrogênio envolvido na composição da proteína da parede celular de *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* (KUMAR e MISHRA, 2004).

No processo de liofilização, as formulações com 15% de maltodextrina apresentaram os melhores valores para preservação da cor e aumento da solubilidade, essas formulações também preservaram mais as células viáveis de *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*. No entanto, nas formulações os menores teores de maltodextrina preservaram melhor a células viáveis de *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus*.

Tabela 5. Matriz de ensaios para o delineamento composto central rotacional das amostras liofilizadas de iogurte com as variáveis respostas.

Tratamentos	Maltodextrina X ₁	Goma arábica X ₂	Lecitina X ₃	Cor (L) Y ₁	Solubilidade (%) Y ₂	<i>Lactobacillus bulgaricus</i> ¹ . (%) Y ₃	<i>Streptococcus thermophilus</i> ² . (%) Y ₄
1	5,00	0,200	0,200	94,75	59,23	0,180	1,301
2	5,00	0,200	0,600	94,06	59,46	0,114	0,962
3	5,00	0,600	0,200	94,53	62,26	0,013	0,989
4	5,00	0,600	0,600	93,73	61,44	0,029	1,237
5	15,00	0,200	0,200	96,12	71,11	0,240	0,530
6	15,00	0,200	0,600	96,03	75,72	0,217	0,484
7	15,00	0,600	0,200	95,67	74,28	0,345	0,631
8	15,00	0,600	0,600	95,46	72,95	0,367	0,657
9	1,59	0,400	0,400	93,57	49,43	0,28	1,504
10	18,41	0,400	0,400	95,64	77,52	0,128	0,236
11	10,00	0,064	0,400	95,58	68,20	0,300	1,001
12	10,00	0,736	0,400	95,61	69,00	0,116	0,343
13	10,00	0,400	0,064	94,88	72,33	0,088	0,330
14	10,00	0,400	0,736	94,84	70,86	0,066	0,317
15	10,00	0,400	0,400	95,59	70,26	0,129	0,599
16	10,00	0,400	0,400	95,22	72,10	0,096	0,605
17	10,00	0,400	0,400	96,11	73,05	0,156	0,777
18	0	0	0	96,80	46,25	0,69	0,694

*Amostra sem nenhum aditivo.

¹ Taxas de sobrevivência de de *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*.

² Taxas de sobrevivência de de *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus*.

3.1.1 Influência de aditivos sobre a luminosidade cor (L).

As amostras liofilizadas apresentaram valores maiores para luminosidade se comparado com as amostras atomizadas. Segundo Carvalho, Perez-Palacios e Ruiz-Carrascal (2017), a presença de lactose e proteínas no iogurte, juntamente com a diminuição da atividade da água e temperatura elevada durante a secagem, impulsionam reações de Maillard nas amostras atomizadas que provocam escurecimento.

As Figuras 1 e 2 demonstraram que o efeito linear da adição de maltodextrina influenciou positivamente as amostras atomizadas, colaborando com a preservação da cor. A equação (1) que define o modelo é:

$$\text{Luminosidade} = 95,63 + 1,42M \quad (1)$$

O coeficiente de determinação foi $R^2 = 0,92335$ com erro puro = 0,1999. Em seus estudos com aditivos incorporados em iogurte durante o processo de atomização, Triboli e Gut (2016) perceberam que a maltodextrina colaborava com a manutenção da cor enquanto a goma arábica contribuía para o escurecimento, deixando as amostras mais amarelas. Resultados análogos também foram obtidos por Kumar e Mishra (2004), porém utilizando gelatina e pectina como estabilizadores.

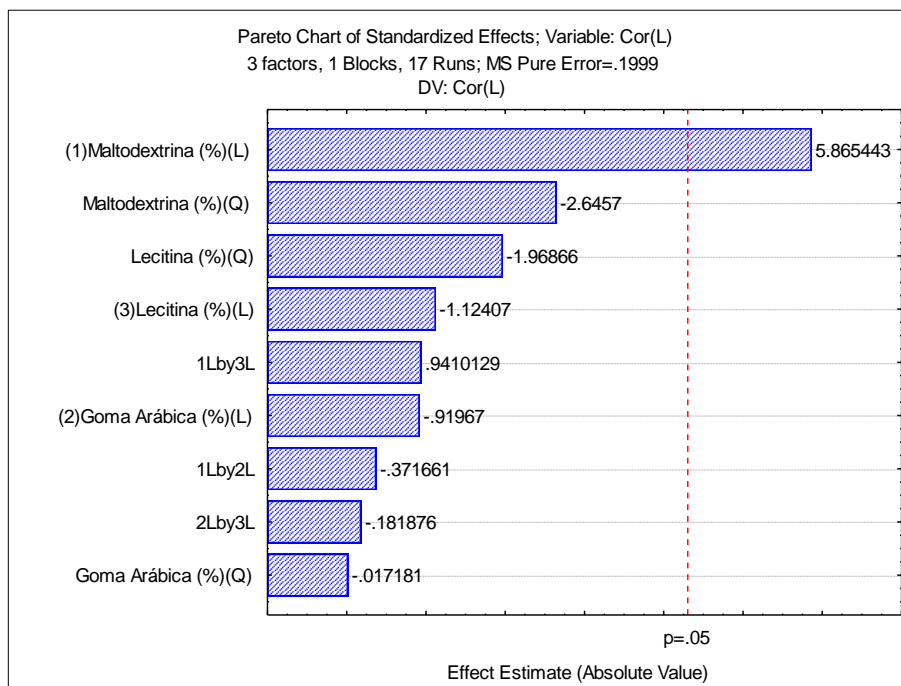


Figura 1. Gráfico de Pareto retratando a influência do teor de maltodextrina (%), lecitina (%) e goma arábica (%) e sua inteiração sobre a luminosidade (L) do iogurte decorrente do processo de atomização.

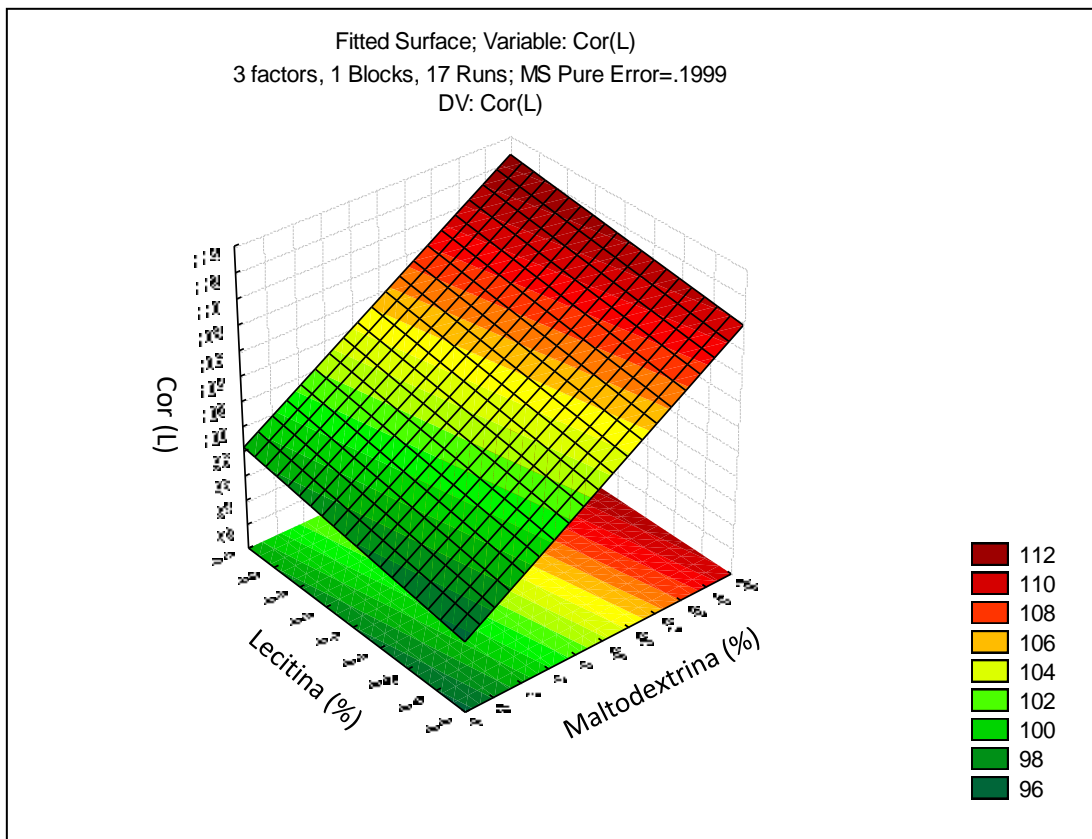


Figura 2. Efeito do teor de maltodextrina (%) e lecitina (%) sobre a luminosidade (L) do iogurte decorrente do processo de atomização.

Observando-se a Figura 3, o efeito linear da adição de maltodextrina influenciou na preservação da cor das amostras durante o processo de liofilização. Na Figura 4, no entanto, o efeito quadrático do teor de maltodextrina indica que adicionar até 10% desse composto antes da liofilização provoca uma redução na luminosidade do iogurte, aumentando para percentuais acima de 10%. A adição linear da lecitina contribuiu para o escurecimento das amostras, sendo tal comportamento esperado por ser a lecitina um composto de coloração escura. Todavia, o efeito quadrático do teor de lecitina indica que até 0,7% de adição esta contribui para o aumento do escurecimento das amostras, ocorrendo efeito negativo, com diminuição do escurecimento, a partir deste percentual. A equação (2) que define o modelo é:

$$\text{Luminosidade (L)} = 95,636 + 0,7096M \quad (2)$$

O coeficiente de determinação resultou em $R^2 = 0,92010$ com erro puro = 0,3613. A cor é um dos parâmetros mais importantes para aceitação de um produto (Toniazzi et al., 2014). Ergün et al. (2013) obtiveram valores de luminosidade de 85,57 a 92,92 para amostras de iogurte em pó liofilizadas, valores inferiores aos do presente estudo, considerados aceitáveis pelos autores.

De um modo geral as amostras liofilizadas apresentaram valores médios mais altos para cor (L). As amostras atomizadas que foram expostas a altas temperaturas sofreram escurecimento, principalmente as que possuíam baixo teor de maltodextrina. Koc et al. (2010) obtiveram diferença de 3,58 a 30,56 comparando o iogurte antes e após o processo de atomização. As altas temperaturas e o longo tempo de secagem pode diminuir significativamente a qualidade da matéria seca, tornando-a mais escura e indesejável.

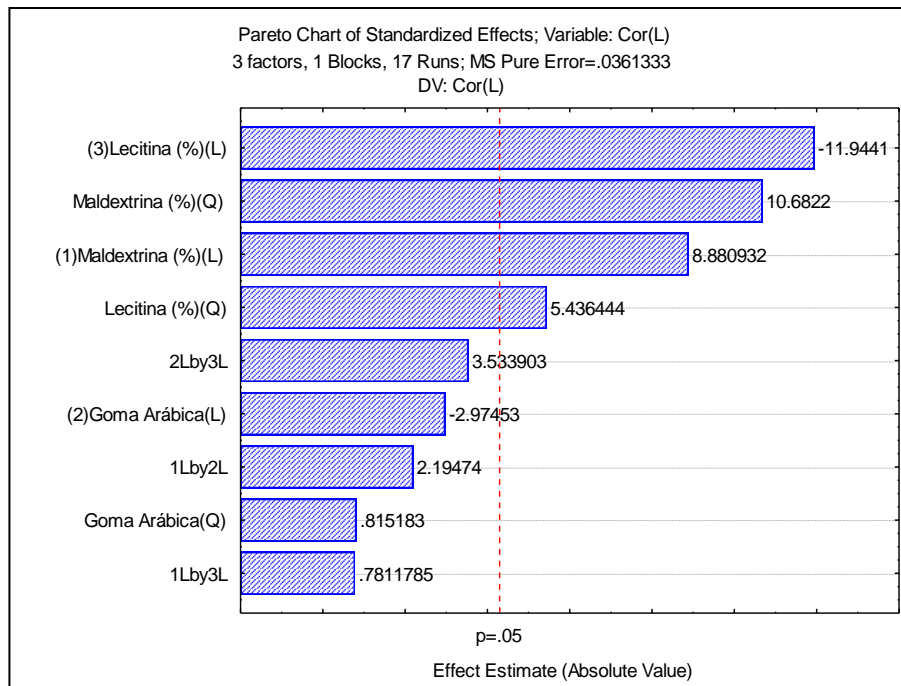


Figura 3. Gráfico de Pareto retratando a influência do teor de maltodextrina (%), lecitina (%) e goma arábica (%) sobre a luminosidade do iogurte durante o processo de liofilização.

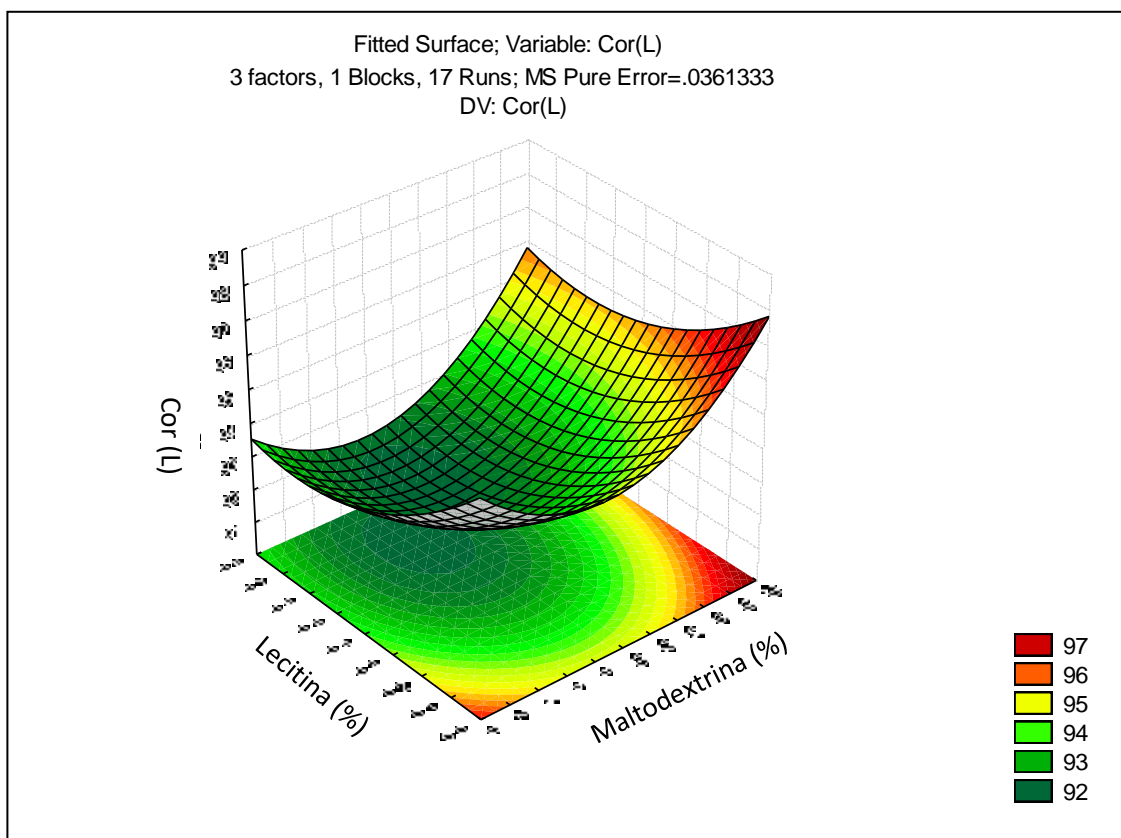


Figura 4. Efeito do teor de maltodextrina (%) e lecitina (%) sobre a luminosidade (L) do iogurte decorrente do processo de liofilização.

3.1.2 Influência de aditivos sobre a solubilidade

As figuras 5 e 6 apresentam a influência da maltodextrina sobre a solubilidade das amostras atomizadas, demonstrando que esse aditivo colaborou com a melhoria da solubilidade das amostras. A equação (3) que define o modelo é:

$$S = 74,822 + 5,047M \quad (3)$$

O coeficiente de determinação foi $R^2 = 0,96748$ com erro puro = 0,3813. A adição de lecitina e goma arábica não influenciou na solubilidade, ao contrário dos resultados obtidos por Vissotto et al. (2006) para achocolatados, quando a adição de 0,5% de lecitina contribuiu para solubilidade do produto.

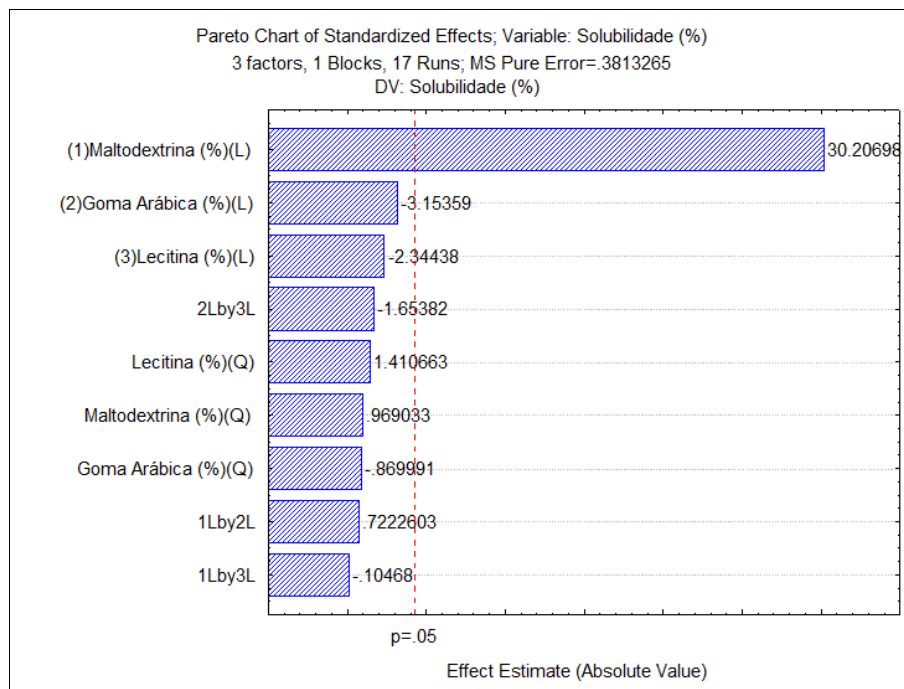


Figura 5. Gráfico de Pareto retratando a influência de aditivos sobre a solubilidade do iogurte durante o processo de atomização.

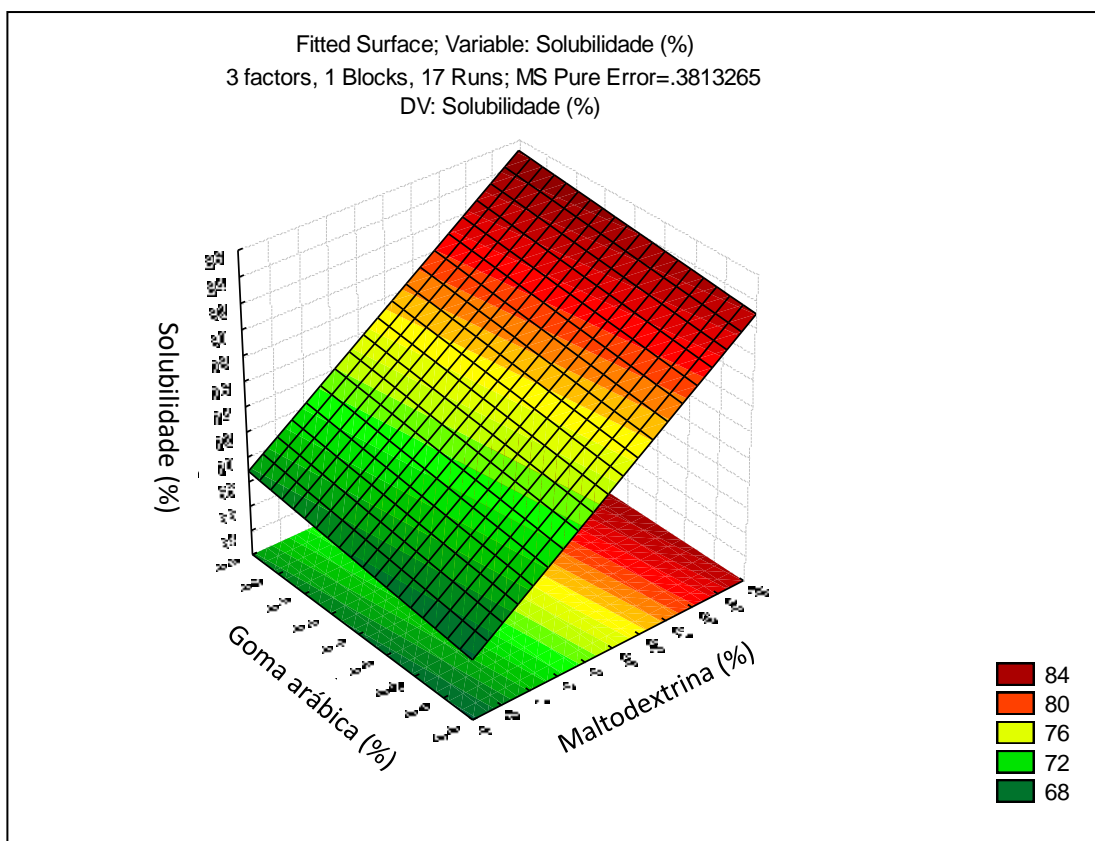


Figura 6. Efeito do teor de maltodextrina (%) e goma arábica (%) sobre a solubilidade do iogurte decorrente do processo de atomização.

As Figuras 7 e 8 apresentam a influência da maltodextrina sobre as amostras liofilizadas. O efeito linear da adição de maltodextrina contribuiu para o aumento da solubilidade das amostras, porém o efeito quadrático de sua adição é negativo indicando que até 18 % de maltodextrina houve um aumento da solubilidade das amostras, no entanto, teores superiores a estes não promoveram um maior aumento. A equação (4) que define o modelo é:

$$S = 74,84 + 7,24M - 3,08M^2 \quad (4)$$

O coeficiente de determinação foi $R^2 = 0,97396$ com erro puro = 2,012. Ergün et al. (2013) afirmaram que o aumento do teor de carboidratos contribuiu para o aumento da solubilidade de amostras liofilizadas de iogurte com castanhas, teores inferiores ao apresentado pelas diferentes formulações do presente estudo. Assim como na atomização a maltodextrina apresentou efeito favorável para ao aumento da solubilidade das amostras liofilizadas.

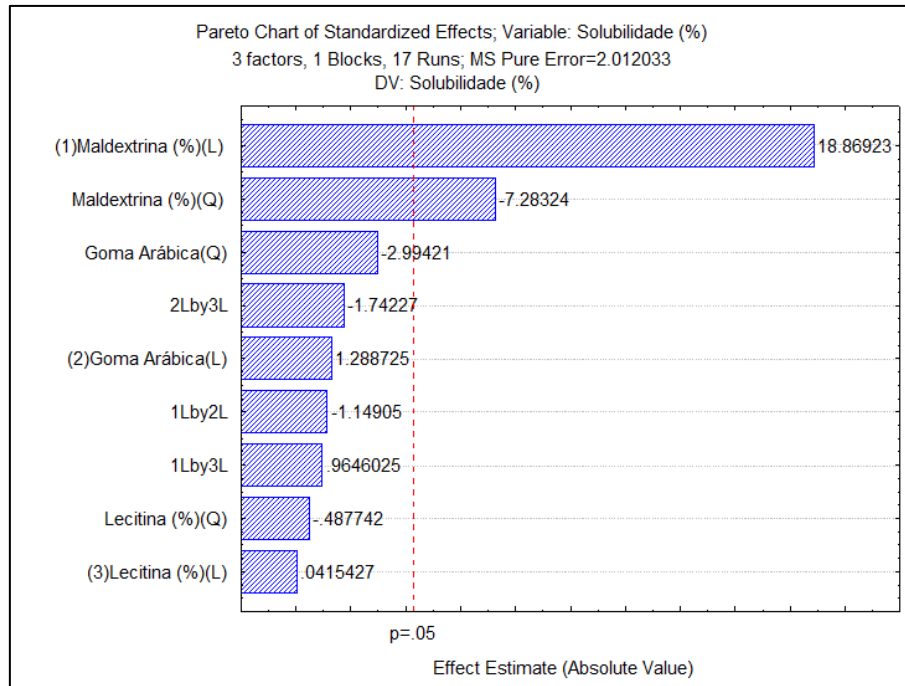


Figura 7. Gráfico de Pareto retratando a influência do teor de maltodextrina (%), lecitina (%) e goma arábica (%) sobre a solubilidade do iogurte durante o processo de liofilização.

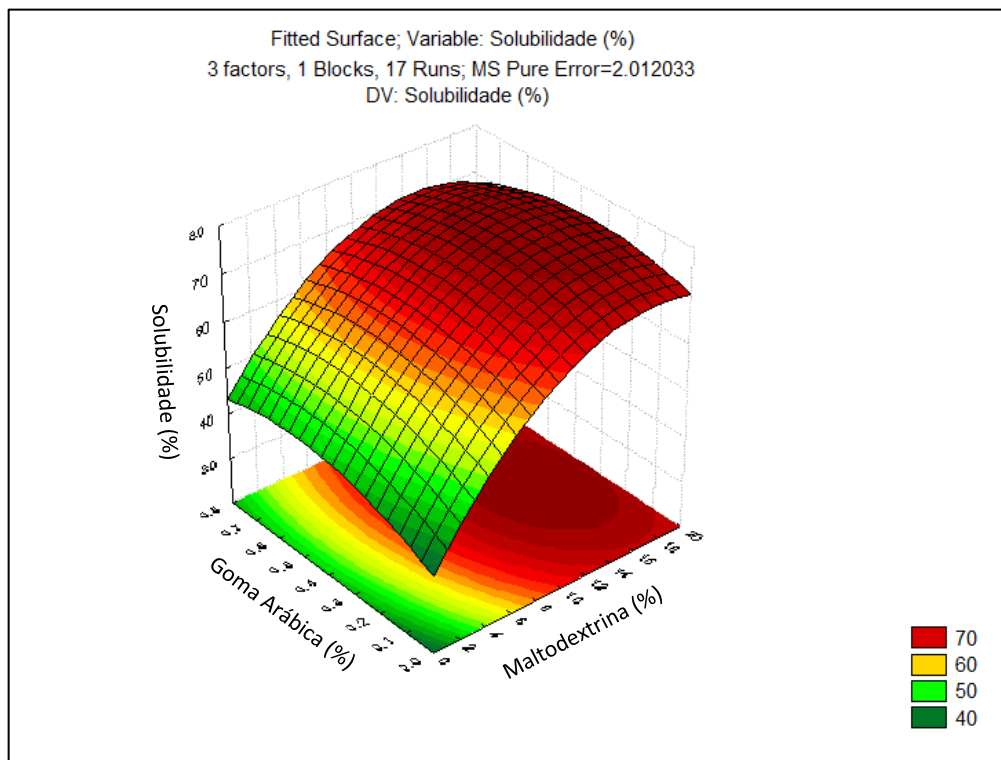


Figura 8. Efeito do teor de maltodextrina (%) e goma arábica (%) sobre a solubilidade do iogurte durante o processo de liofilização.

3.1.3 Influência de aditivos sobre a preservação de *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* durante os processos de secagem.

O efeito linear da adição da maltodextrina colaborou com a preservação das células de *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, durante o processo de atomização (Figuras 9 e 10). Embora a maltodextrina seja normalmente incorporada ao processo de secagem por atomização para evitar a deposição do material sobre a parede do atomizador, também colabora com a preservação das bactérias durante o processo de secagem, pois substitui a água quando a mesma está escassa ligando-se às membranas celulares e mantendo-as integras (TRIBOLI e GUT, 2016). A equação (5) que define o modelo é:

$$R(L) = 0,09980 - 0,107M. \quad (5)$$

O coeficiente de determinação foi $R^2 = 0,78167$ com erro puro = 0,3813. Rascón-Díaz et al. (2012) verificaram que a utilização de hidrocoloides como goma arábica e pectina aumentam a sobrevivência de bactérias lácticas durante a atomização de iogurte pela formação de microcápsulas, o que não foi confirmado no presente estudo já que a goma arábica não teve influência significativa na quantidade administrada.

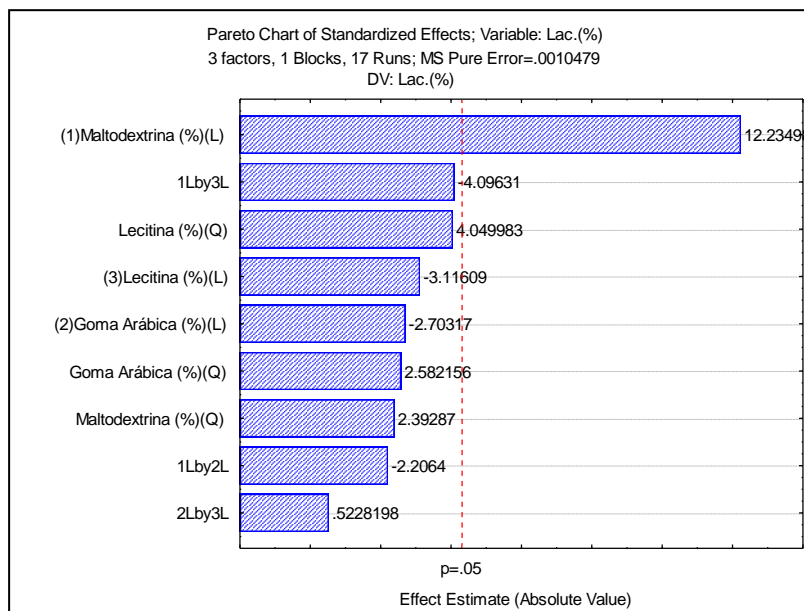


Figura 9. Gráfico de Pareto retratando a influência do teor de maltodextrina (%), lecitina (%) e goma arábica (%) sobre a redução de *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* no iogurte após o processo de atomização.

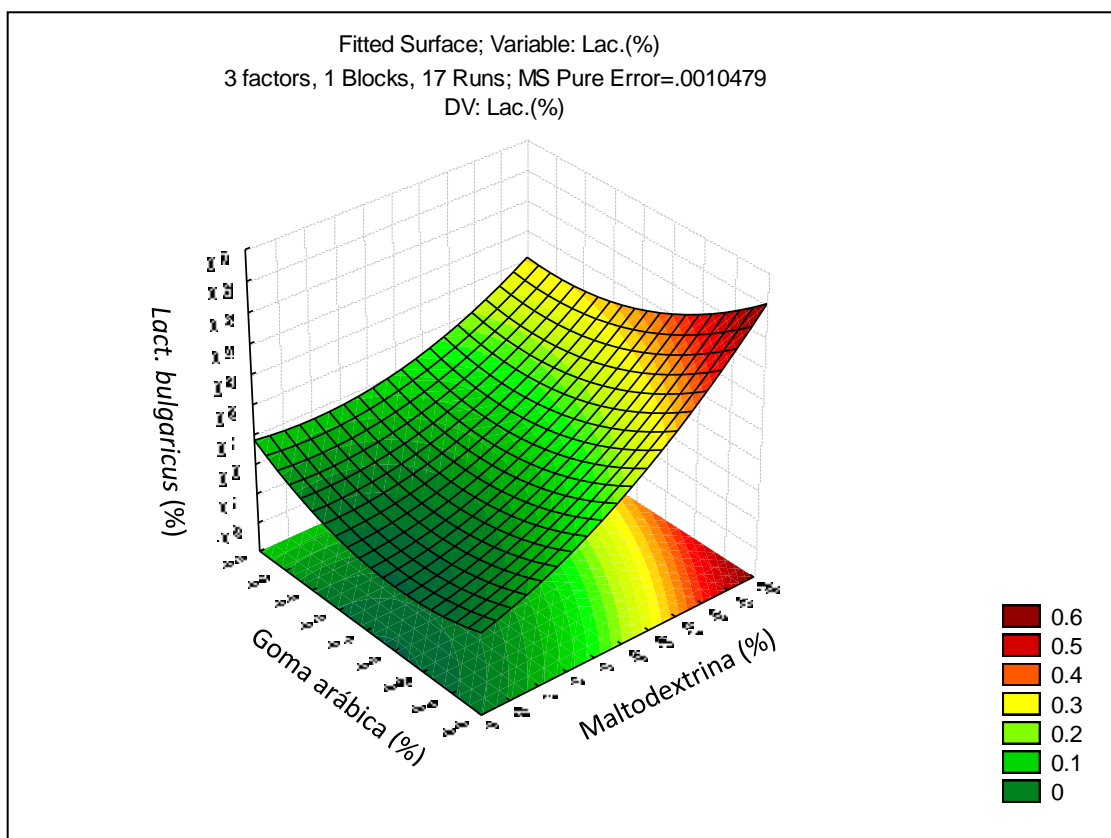


Figura 10. Efeito do teor de maltodextrina (%) e goma arábica (%) sobre a redução de *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* no iogurte após o processo de atomização.

Como apresentado nas figuras 11 e 12, a interação entre a maltodextrina e a goma arábica contribuiu para a conservação das células de *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* durante o processo de liofilização, bem como o efeito linear da adição da maltodextrina. O efeito quadrático da adição de goma arábica demonstra que a partir 0,3 % de goma arábica na formulação do iogurte liofilizado, o hidrocoloide colabora com a preservação de *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*. Trabalhos como os de Sohail et al. (2013) e Rosas e Montoya (2013) relataram o efeitos crioprotetor de hidrocoloides e maltodextrina, protegendo as bactérias de lesões pelo congelamento, choque térmico e mudança da permeabilidade da parede celular que provocam a redução do número de células durante a liofilização. O polissacarídeo mostra uma capacidade para penetrar a membrana celular, o que é amplamente dependente no seu peso molecular promovendo equilíbrio osmótico durante a desidratação. A equação (6) que define o modelo é:

$$(L) = 0,12 + 0,07M + 0,04G^2 + 0,06MG. \quad (6)$$

O coeficiente de determinação foi $R^2 = 0,75918$ com erro puro = 0,00090. As amostras apresentaram um comportamento similar quanto à sobrevivência de *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* durante os processos de liofilização e atomização.

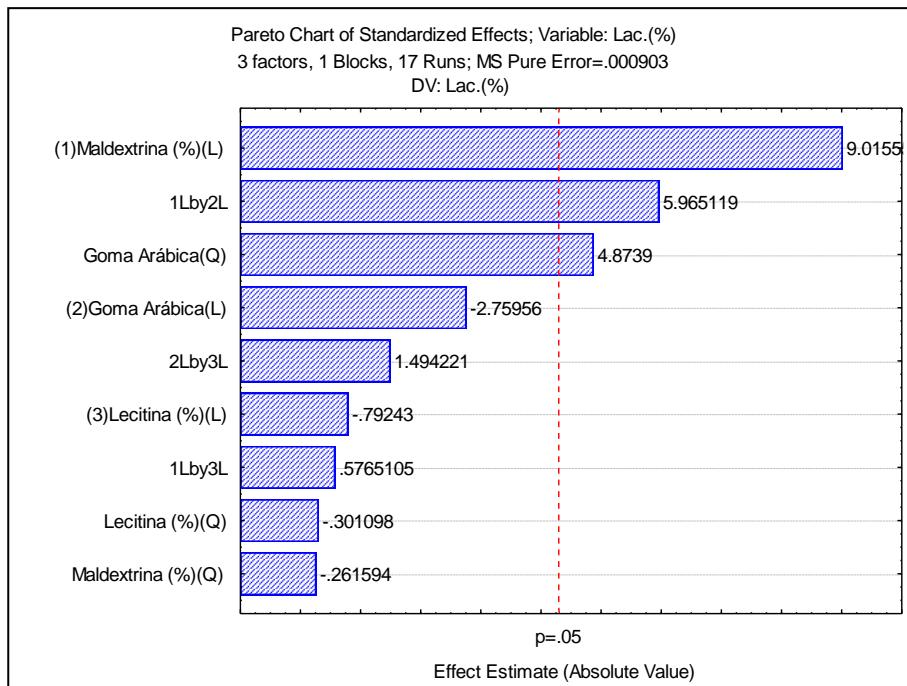


Figura 11. Gráfico de Pareto retratando a influência do teor de maltodextrina (%), lecitina (%) e goma arábica (%) sobre a redução de *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* no iogurte após o processo de liofilização.

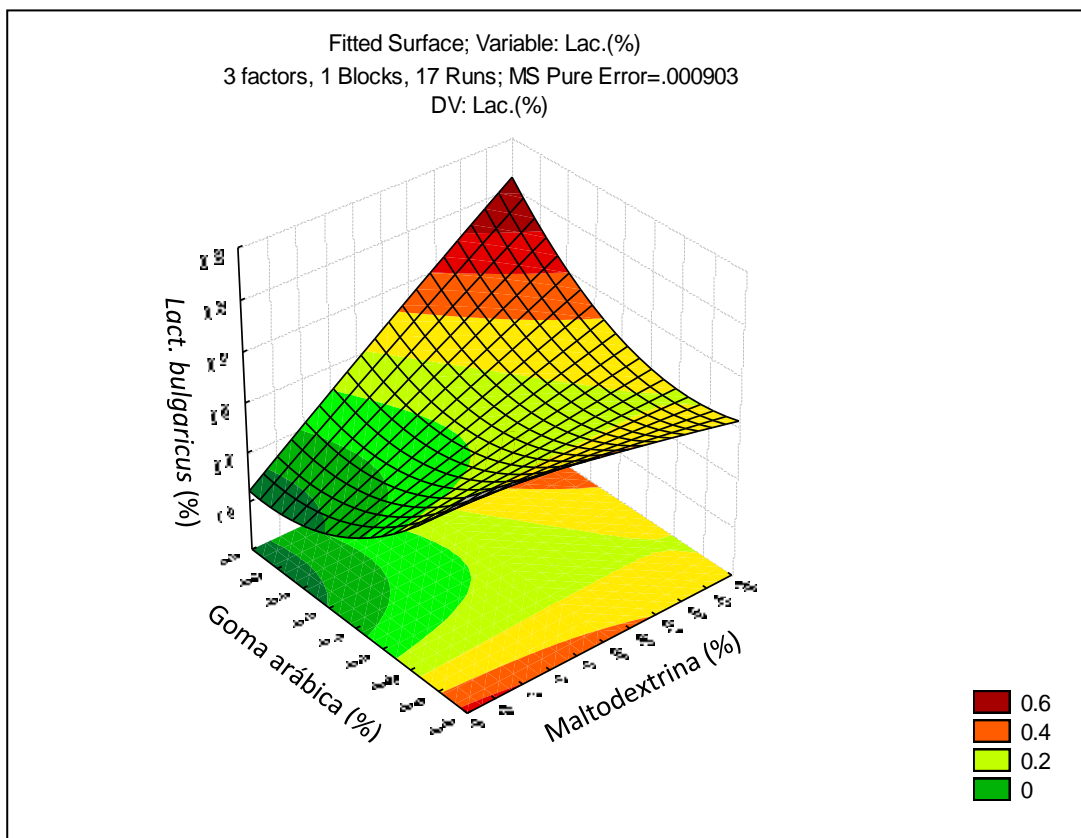


Figura 12. Efeito do teor de maltodextrina (%) e goma arábica (%) sobre a redução de *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* no iogurte após o processo de liofilização.

3.1.4 Influência de aditivos sobre a preservação de *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* durante os processos de secagem.

A interação entre maltodextrina e lecitina, assim como, o efeito linear da adição de maltodextrina, apresentadas na Figura 13 e 14, influenciaram negativamente a conservação das células de *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* no processo de atomização. Todavia os efeitos quadráticos da adição de lecitina e maltodextrina indicaram que, aproximadamente em níveis acima de 10% da adição de maltodextrina, o composto colaborou com a preservação de *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus*. Entretanto, até 0,5% da adição de lecitina, esse favoreceu a redução do número de células sobreviventes após o processo de secagem. PEIGHAMBARDoust e HESARI (2011) igualmente indicaram a maltodextrina como meio para preservação de bactérias lácticas durante o processo de atomização. A equação (7) que define o modelo é:

$$S(L) = 0,198 - 0,14M + 0,13M^2 - 0,12L^2 - 0,27ML. \quad (7)$$

Sendo o coeficiente de determinação $R^2 = 0,81457$, com erro puro = 0,0067.

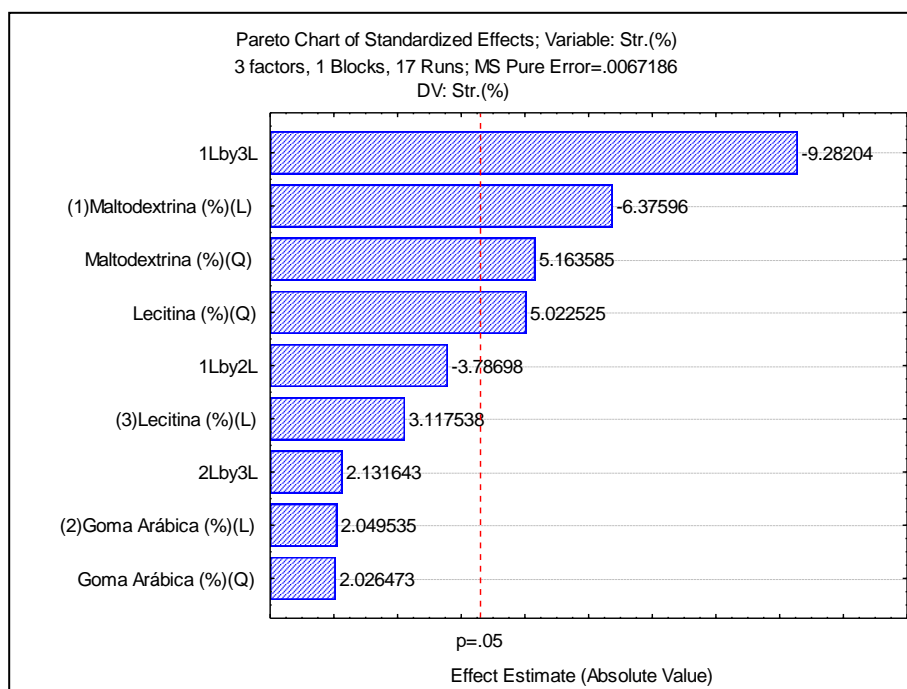


Figura 13. Influência do teor de maltodextrina (%), lecitina (%) e goma arábica (%) sobre a redução de *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* no iogurte decorrente do processo de atomização.

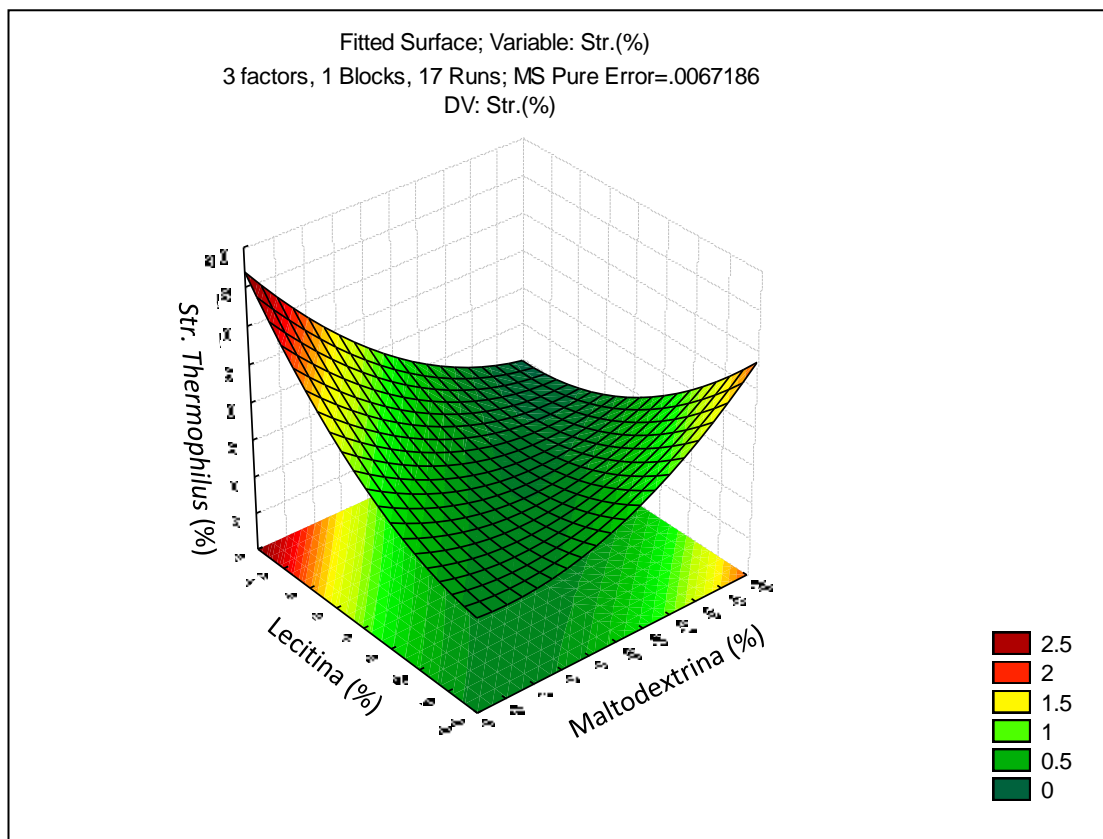


Figura 14. Efeito do teor de maltodextrina (%) e lecitina (%) sobre a redução de *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* no iogurte decorrente do processo de atomização.

O efeito da adição linear de maltodextrina (Figuras 15 e 16), colaborou com a redução do número das células de *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* durante o processo de liofilização, esse resultado é oposto ao encontrado por SHARMA et al., (2014) que cita a maltodextrina como um lioprotetor, resultando na viabilidade de 67% de células liofilizadas no meio com esse composto. A equação (8) que define o modelo é:

$$R(S) = 0,64 - 0,32M \quad (8)$$

O coeficiente de determinação foi de $R^2 = 0,8115$ com erro puro = 0,0103. A sobrevivência das células no processo de liofilização mostrou-se maior que na atomização. No entanto, a maltodextrina apresentou efeito negativo resultante do processo de liofilização.

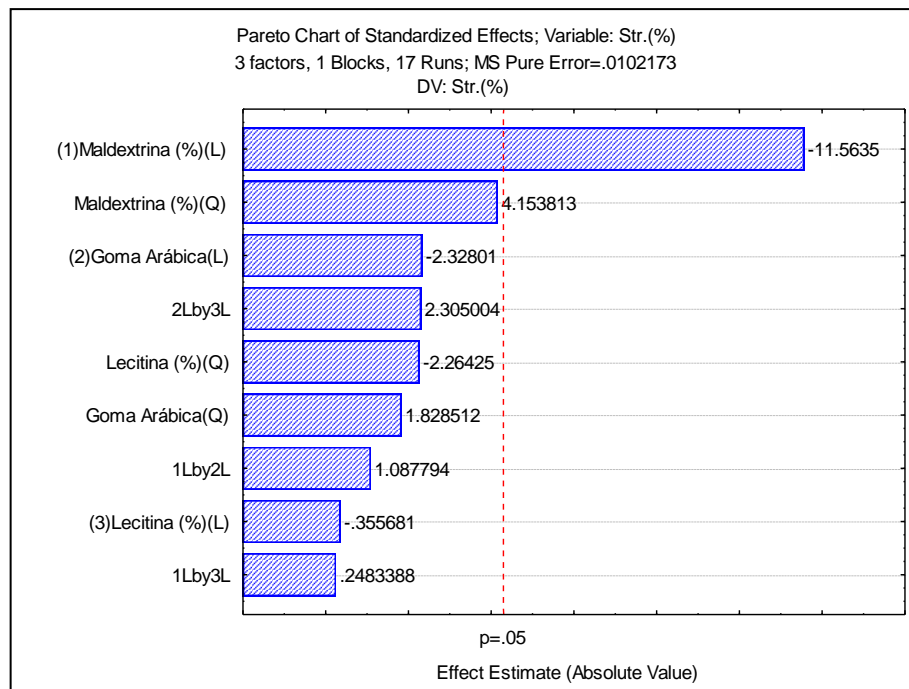


Figura 15. Gráfico de Pareto retratando a influência do teor de maltodextrina (%), lecitina (%) e goma arábica (%) sobre a redução de *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* no iogurte durante o processo de liofilização.

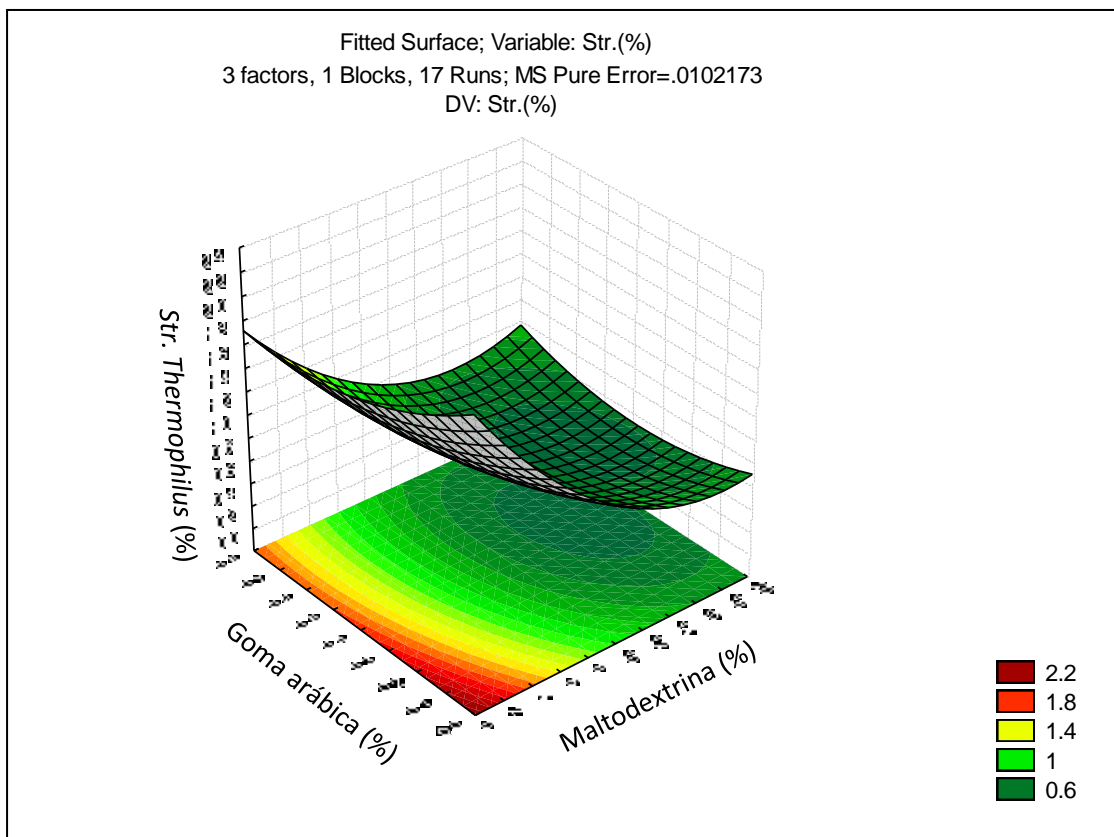


Figura 16. Efeito do teor de maltodextrina (%) e goma arábica (%) sobre a redução de *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* no iogurte durante ao processo de liofilização.

3.2 Isotermas de adsorção de umidade dos iogurtes em pó

Os resultados dos isotermas de adsorção de umidade dos iogurtes em pó são apresentados na figura 17, retratando que a umidade do equilíbrio aumentou com o aumento da atividade da água nas amostras de iogurtes em pó, conforme esperado. Assim como a maioria dos materiais biológicos, as amostras demonstraram comportamento de tipo II, de acordo com a classificação Brunauer, Emmett e Teller (BET). A curva resultante é causada pelos efeitos aditivos conforme a lei de Raoult, abrangendo efeitos capilares e interações de águas superficiais (MADAMBA, DRISCOLL e BUCKLE, 1994). Este resultado é consistente com os encontrados por de Kumar e Mishra (2006), Varghese K, Ramachandrannair e Mishra (2009), Koc et al. (2010) e Bastioğlu, Dirim e Ertekin (2016).

As amostras atomizadas mostraram-se mais higroscópicas que as liofilizadas, pois apresentaram maior umidade de equilíbrio, quando expostas a ambiente com alta atividade de água. Embora os teores de umidade de equilíbrio de pós de iogurte sejam baixos, quando a atividade da água aumentou acima de 0,6 observou-se um crescimento considerável no teor de umidade de equilíbrio. Sabe-se que quando uma amostra possui uma grande quantidade de lactose amorfa, esse composto tendem a se cristalizar com o aumento da umidade. Na literatura, esse fenômeno é chamado de "ponto de ruptura", que foi relatado nas isotermas de pós de lácteos por Foster, Bronlund e Paterson (2005) e Iglesias (2012). Entretanto, assim como no presente trabalho, Varghese K, Ramachandrannair e Mishra (2009), Koc et al. (2010) e Bastioğlu, Dirim e Ertekin (2016) não observaram o ponto de ruptura em sua determinação das isotermas de sorção de umidade do pó de iogurte, o que provavelmente está relacionado à redução da lactose durante a fermentação do produto.

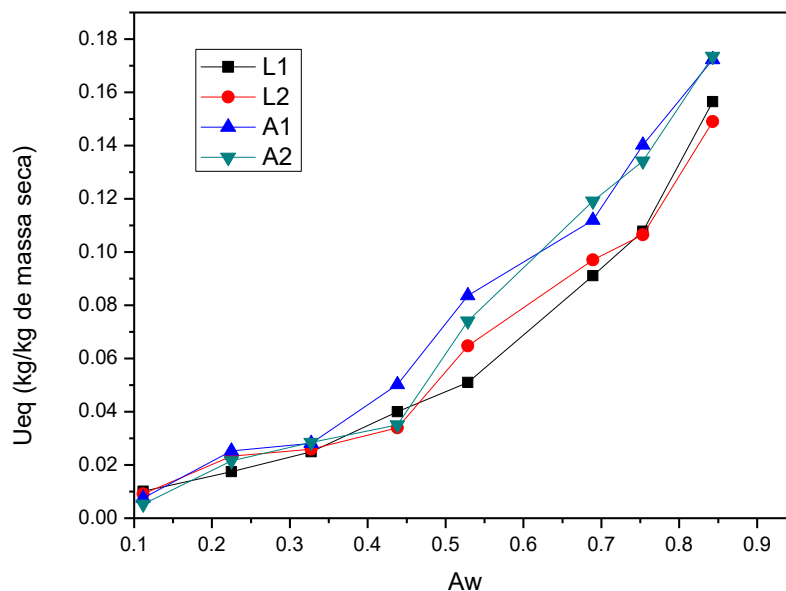


Figura17. Gráfico das isotermas do iogurte desidratado por liofilização ou atomização, sendo L1 = iogurte liofilizado sem aditivos; L2 = iogurte liofilizado com aditivos (0,6% de goma arábica, 15% de maltodextrina); A1 = iogurte atomizado sem aditivos; A2 = iogurte liofilizado com aditivos (0,6% de goma arábica, 15% de maltodextrina).

3.2.1 Modelos matemáticos

As isotermas de sorção foram ajustadas para cinco modelos. Na Tabela 6 são apresentados os valores dos parâmetros calculados para os ajustes, além do coeficiente de determinação (R^2) e do erro relativo médio (E).

Segundo esta análise, todos os modelos aplicados adequaram-se às amostras apresentando erros $< 10\%$ e $R^2 > 0,9$; o modelo de GAB teve valores de R^2 entre 0,991 e 0,999; BET apresentou valores de R^2 entre 0,974 a 0,984; Chung & Pfof apresentou valores de R^2 entre 0,979 e 0,988; Halsey resultou em valores R^2 entre 0,973 e 0,995; Oswin apresentou valores de R^2 entre 0,982 e 0,998 e Peleg resultou em valores de R^2 entre 0,989 e 0,994. O modelo de GAB foi o que melhor se ajustou às amostras, assim como ocorreu nos trabalhos de Bastioğlu e Ertekin (2016) e Koc et al. (2010). Entretanto, Varghese K, Ramachandrannair e Mishra (2009) sugerem que para isotermas de iogurte em pó com temperaturas elevadas, isto é 50°C , Peleg seria o mais adequado. Ajustando o modelo de GAB para amostras liofilizadas e atomizadas, Kim e Bhowmik (1994) obtiveram $R^2 = 0,943$ e $R^2 = 0,993$, respectivamente, valores semelhantes aos encontrados no presente trabalho.

Tabela 6. Valores dos parâmetros dos modelos de isotermas do iogurte desidratado.

Modelos	Constantes	Amostras			
		A1	A2	L1	L2
GAB	m_0	0,364	0,277	0,142	0,426
	C	1,647	2,013	2,516	1,222
	K	1,036	1,110	1,124	0,913
	R^2	0,995	0,991	0,999	0,993
	Erro	1,595	2,475	0,834	1,426
BET	m_0	0,224	0,467	0,351	0,160
	C	1,305	0,091	0,052	0,98
	R^2	0,983	0,984	0,974	0,977
	Erro	2,112	2,563	4,001	3,424
Chung & Pfof	K	37,836	36,528	40,113	36,659
	C	1,231	1,180	2,516	1,710
	R^2	0,988	0,979	0,981	0,979
	Erro	2,013	2,621	2,866	2,649
Halsey	A	0,058	0,059	0,044	0,043
	B	0,858	0,819	0,881	0,900
	R^2	0,973	0,975	0,995	0,981
	Erro	8,999	10,434	1,037	4,832
Oswin	A	0,467	0,311	0,141	0,332
	B	1,024	1,540	1,742	1,014
	R^2	0,986	0,982	0,998	0,989
	Erro	0,840	2,303	4,965	6,431
Peleg	k1	2,279	7,222	5,603	1,662
	n1	3,617	7,343	8,491	3,750
	k2	2,279	7,222	5,603	1,662
	n2	3,617	7,343	8,491	3,75
	R^2	0,990	0,989	0,994	0,991
	Erro	1,770	2,379	3,425	2,919

L1 = iogurte liofilizado sem aditivos; L2 = iogurte liofilizado com aditivos (0,6% de goma arábica, 15% de maltodextrina); A1 = iogurte atomizado sem aditivos; A2 = iogurte liofilizado com aditivos (0,6% de goma arábica, 15% de maltodextrina).

O teor de umidade de monocamada (m_0) ajuda a definir a estabilidade física e química dos alimentos porque tem influência direta na atividade enzimática, conservação de sabor e estrutura do produto. Os teores de umidade da monocamada GAB para as amostras de iogurte em pó liofilizado foram de $L1 = 0,142$ kg/kg e $L2 = 0,426$ kg/kg de sólido seco, enquanto que, o iogurte em pó atomizado as amostras apresentaram $A1 = 0,277$ kg/kg e $A2 = 0,364$ kg/kg. Estes resultados são semelhantes aos encontrados por Bastioğlu e Ertekin (2016) para iogurte liofilizado e Kumar e Mishra (2006) para iogurte atomizado. De acordo com os valores de m_0 , os aditivos colaboraram para incorporação de água das amostras, esse efeito pode estar ligado ao aumento de locais polares com a incorporação da maltodextrina principalmente, isso pode acarretar em uma maior instabilidade destas amostras quando expostas a ambientes mais úmidos.

As constantes K e C do modelo de GAB, que são constantes de calor de sorção na monocamada e multicamada, respectivamente; para os pós de iogurte liofilizado, L1 e L2 apresentaram valores de K e C que variaram de 0,913 a 1,124 e 1,222 a 2,516; respectivamente. Bastioğlu e Ertekin (2016) em seus estudos apresentaram valores semelhantes aos reportados com $K = 0,999$ e $C = 1,742$ para amostras de iogurte liofilizados com castanhas. Observando as amostras atomizadas, A1 e A2, os valores de K e C variaram de 1,036 a 1,110 e 2,013 a 1,647, respectivamente. Kumar e Mishra (2006) observaram valores de $K = 1,015$ e $C = 5,643$ para isotermas de iogurte em pó obtido por secagem convectiva a 50°C . O valor de K fornece uma medida das interações entre as moléculas em multicamadas com o adsorvente e tende a cair entre o valor energético das moléculas em monocamada e a da água líquida (BASTIOĞLU e ERTEKIN, 2016). Van den Berg (1984) afirmou que os parâmetros C e K incorporam o efeito de temperatura. C é mais entálpico, enquanto K é de natureza mais entrópico

Stencl (2004), estudando isotermas de sorção para iogurte em pó desidratado por atomização, obteve os melhores valores de R^2 0,995 e 0,969, quando ajustados aos modelos de Chung – Pfof e Oswin, respectivamente, valores semelhantes foram encontrados no presente estudo para as amostras provenientes da atomização ou liofilização.

4 CONCLUSÃO

A incorporação de maltodextrina colabora para a preservação da luminosidade e aumento da solubilidade do iogurte desidratado, assim como para a preservação de células viáveis de *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* durante os processos de desidratação. Todavia, a maltodextrina também colaborou para redução de células viáveis de *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus*. Já a lecitina, na quantidade utilizada, não apresentou efeito sobre a solubilidade das amostras.

As isotermas de sorção de pós de iogurte liofilizado e atomizados resultaram em curvas sigmoidais tipo II típicas, de acordo com a classificação BET. Os dados foram mais bem ajustados ao modelo de GAB para sorção de pós de iogurte, mas os modelos de BET, Peleg, Chung – Pfof, Halsey e Oswin também poderiam ser utilizados para descrever os isotermas do iogurte em pó a temperatura e umidade relativa conhecidas. As variáveis de resposta das amostras liofilizadas foram melhores ajustadas aos modelos que as correspondentes às amostras atomizadas.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- AOAC. **Official methods of analysis of AOAC International**. Gaithersburg: AOAC International 2010.
- ASSOCIATION, I. D. F. et al. **Dairy facts**. International Dairy Foods Association, 2003.
- BASTIOĞLU, A. Z.; DIRIM, S. N.; ERTEKIN, F. K. Moisture Sorption Isotherms of Yogurt Powder Containing Candied Chestnut Puree. **Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology**, v. 4, n. 8, p. 676-683, 2016.
- BIELECKA, M.; MAJKOWSKA, A. Effect of spray drying temperature of yoghurt on the survival of starter cultures, moisture content and sensoric properties of yoghurt powder. **Molecular Nutrition & Food Research**, v. 44, n. 4, p. 257-260, 2000.
- BRASIL. **REGULAMENTO TÉCNICO DE IDENTIDADE E QUALIDADE DE LEITE EM PÓ**. AGRÁRIA, Brasília: PORTARIA Nº 146 DE 07 DE MARÇO. 1996.
- _____. **Instrução Normativa nº 46, de 23 de outubro de 2007. Adota o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Leites Fermentados**. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, P. E. A. Brasília: Diário Oficial da República Federativa do Brasil 2007a.
- CARVALHO, M. J.; PEREZ-PALACIOS, T.; RUIZ-CARRASCAL, J. Physico-chemical and sensory characteristics of freeze-dried and air-dehydrated yogurt foam. **LWT-Food Science and Technology**, v. 80, p. 328-334, 2017.
- ERGÜN, K. et al. Freeze drying of yoghurt with candied chestnut puree: survival of lactic acid bacteria and determination of physical properties. **Italian Journal of Food Science**, v. 25, n. 4, p. 470, 2013.
- FONSECA, C. R. et al. Physical properties of goat milk powder with soy lecithin added before spray drying. **International journal of food science & technology**, v. 46, n. 3, p. 608-611, 2011.
- FOSTER, K. D.; BRONLUND, J. E.; PATERSON, A. T. The prediction of moisture sorption isotherms for dairy powders. **International Dairy Journal**, v. 15, n. 4, p. 411-418, 2005.
- FU, N.; CHEN, X. D. Towards a maximal cell survival in convective thermal drying processes. **Food Research International**, v. 44, n. 5, p. 1127-1149, 2011. ISSN 0963-9969.
- IGLESIAS, H. **Handbook of food isotherms: Water sorption parameters for food and food components**. Elsevier, 2012.
- KAYMAK-ERTEKIN, F.; GEDIK, A. Sorption isotherms and isosteric heat of sorption for grapes, apricots, apples and potatoes. **LWT-Food Science and Technology**, v. 37, n. 4, p. 429-438, 2004.
- KEARNEY, N. et al. Development of a spray dried probiotic yoghurt containing *Lactobacillus paracasei* NFBC 338. **International Dairy Journal**, v. 19, n. 11, p. 684-689, 2009.
- KIM, E. H. J.; CHEN, X. D.; PEARCE, D. Surface characterization of four industrial spray-dried dairy powders in relation to chemical composition, structure and wetting property. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 26, n. 3, p. 197-212, 2002.
- KIM, S. S.; BHOWMIK, S. R. Moisture sorption isotherms of concentrated yogurt and microwave vacuum dried yogurt powder. **Journal of Food Engineering**, v. 21, n. 2, p. 157-175, 1994.
- KOÇ, B. et al. Physical properties of yoghurt powder produced by spray drying. **Journal of food science and technology**, v. 51, n. 7, p. 1377-1383, 2014.
- KOC, B. et al. Spray drying of yogurt: Optimization of process conditions for improving viability and other quality attributes. **Drying Technology**, v. 28, n. 4, p. 495-507, 2010..
- KOKSOY, A.; KILIC, M. Use of hydrocolloids in textural stabilization of a yoghurt drink, ayran. **Food hydrocolloids**, v. 18, n. 4, p. 593-600, 2004.

KUMAR, P.; MISHRA, H. Storage stability of mango soy fortified yoghurt powder in two different packaging materials: HDPP and ALP. **Journal of Food Engineering**, v. 65, n. 4, p. 569-576, 2004.

KUMAR, P.; MISHRA, H. N. Moisture sorption characteristics of mango–soy-fortified yogurt powder. **International journal of dairy technology**, v. 59, n. 1, p. 22-28, 2006.

KUROZAWA, L. E.; EL-AOUAR, Â. A.; MURR, F. E. Obtenção de isoterms de dessecção de cogumelo in natura e desidratado osmoticamente. **Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas**, v. 25, n. 4, p. 828-834, 2005.

MADAMBA, P.; DRISCOLL, R.; BUCKLE, K. Predicting the sorption behaviour of garlic slices. **Drying Technology**, v. 12, n. 3, p. 669-683, 1994. MARQUES, L. G. Liofilização de frutas tropicais. **São Carlos: UFSCar**, 2008.

MANOJLOVIĆ, V. et al. Encapsulation of probiotics for use in food products. In: (Ed.). **Encapsulation technologies for active food ingredients and food processing**: Springer, 2010. p.269-302.

MEZHERICHER, M.; LEVY, A.; BORDE, I. Spray drying modelling based on advanced droplet drying kinetics. **Chemical Engineering and Processing: Process Intensification**, v. 49, n. 11, p. 1205-1213, 2010.

RASCÓN-DÍAZ, M. P. et al. Spray drying yogurt incorporating hydrocolloids: structural analysis, acetaldehyde content, viable bacteria, and rheological properties. **Food and bioprocess technology**, v. 5, n. 2, p. 560-567, 2012.

ROSAS-FLORES, W.; RAMOS-RAMÍREZ, E. G.; SALAZAR-MONTOYA, J. A. Microencapsulation of *Lactobacillus helveticus* and *Lactobacillus delbrueckii* using alginate and gellan gum. **Carbohydrate polymers**, v. 98, n. 1, p. 1011-1017, 2013..

RYBKA, S.; KAILASAPATHY, K. Effect of freeze drying and storage on the microbiological and physical properties of AB-yoghurt. **Milchwissenschaft**, v. 52, n. 7, p. 390-394, 1997.

SAAD, S. M. I.; CRUZ, A. G. D.; FARIA, J. D. A. F. Probióticos e prebióticos em alimentos: fundamentos e aplicações tecnológicas. In: (Ed.). **Probióticos e prebióticos em alimentos: fundamentos e aplicações tecnológicas**: Varela, 2011.

SILVA, F. D. A.; AZEVEDO, C. D. A new version of the assistat-statistical assistance software. World Congress on computers in agriculture, 2006, American Society of Agricultural Engineers Orlando. p.393-396.

SOHAIL, A. et al. The viability of *Lactobacillus rhamnosus* GG and *Lactobacillus acidophilus* NCFM following double encapsulation in alginate and maltodextrin. **Food and Bioprocess Technology**, p. 1-7, 2013..

STENCL, J. Modelling the water sorption isotherms of yoghurt powder spray. **Mathematics and computers in simulation**, v. 65, n. 1, p. 157-164, 2004.

TAMIME, A. Y.; ROBINSON, R. K. **Tamime and Robinson's yoghurt: science and technology**. Elsevier, 2007.

TONIAZZO, T. et al. β -carotene-loaded liposome dispersions stabilized with xanthan and guar gums: Physico-chemical stability and feasibility of application in yogurt. **LWT-Food Science and Technology**, v. 59, n. 2, p. 1265-1273, 2014.

TRIBOLI, E. P. D. R.; GUT, J. A. W. Study of Spray-dried Yoghurt Production in a Pilot-scale Equipment Using Drying Agents to Reduce Wall Deposition. **International Journal of Food Engineering**, v. 12, n. 8, p. 793-803, 2016.

VARGHESE K, S.; RAMACHANDRANNAIR, S. V.; MISHRA, H. N. Moisture sorption characteristics of curd (Indian yogurt) powder. **International Journal of Dairy Technology**, v. 62, n. 1, p. 85-92, 2009.

VELARDI, S. A.; BARRESI, A. A. Development of simplified models for the freeze-drying process and investigation of the optimal operating conditions. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 86, n. 1, p. 9-22, 2008.

VISSOTTO, F. Z. et al. Avaliação da influência dos processos de lecitinação e de aglomeração nas propriedades físicas de achocolatado em pó. **Ciênc. Tecnol. Aliment**, v. 26, n. 3, p. 666-671, 2006.

WALSTRA, P. G., T. J.; NOOMEN, A.; JELLEMA, A. B., M. A. J. S. . **CIENCIA DE LA LECHE Y TECNOLOGÍA DE LOS PRODUCTOS LACTEOS**. p.729. 2001

CAPÍTULO III

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, FÍSICO-QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA DO IOGURTE EM PÓ OBTIDO POR ATOMIZAÇÃO OU LIOFILIZAÇÃO.

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, FÍSICO-QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA DO IOGURTE EM PÓ OBTIDO POR ATOMIZAÇÃO OU LIOFILIZAÇÃO

RESUMO

A grande concorrência no mercado alimentício faz com que as empresas desenvolvam novos produtos que promovam nichos de mercado e, sob esse prisma, a produção de leites fermentados diversificados, principalmente o iogurte, tem sido uma das mais promissoras e bem-sucedidas no ramo alimentício. O iogurte apresentado sob a forma de pó ainda é um produto incomum no mercado brasileiro e, devido a isto, o presente trabalho teve por objetivo caracterizar as propriedades físicas, físico-químicas e microbiológicas do iogurte em pó obtido por atomização ou liofilização. Foram analisadas duas amostras liofilizadas, L1 (sem aditivos) e L2 com aditivos (15 % de maltodextrina e 0,6 % de Goma arábica) e duas amostras atomizadas, A1 (sem aditivos) e A2 com aditivos (15 % de maltodextrina e 0,6 % de Goma arábica), sendo realizadas análises físicas de molhabilidade, solubilidade, atividade de água (A_w), tamanho de partículas, microscopia, colorimetria; análises químicas de composição centesimal (umidade, lipídios, proteínas, lactose), perfil de ácidos graxos, teor de acetaldeído, perfil eletroforético das proteínas e análises microbiológicas de bactérias lácticas. As amostras com aditivos apresentaram melhor solubilidade, independente do processo de desidratação. A molhabilidade no processo de liofilização e a coloração no processo de atomização também foram superiores para as amostras com aditivos, no entanto, para dispersibilidade, as amostras com aditivos apresentaram as piores médias. As amostras, independente do processo, apresentaram valores de umidade e A_w baixos, satisfatórios para produtos em pó. Os ácidos graxos saturados compuseram a maior parte dos triglicerídeos presentes nas amostras desidratadas, os processos de secagem preservaram as principais proteínas do iogurte. As partículas obtidas do processo de atomização diferiram estruturalmente das obtidas na liofilização. Tanto as amostras atomizadas quanto as liofilizadas resultaram dentro dos padrões exigidos pela legislação brasileira, tendo o processo de liofilização se mostrado mais eficiente tanto na preservação das bactérias lácticas, quanto na retenção de acetaldeído. Independentemente do processo, a desidratação mostrou-se uma alternativa interessante de conservação, resultando em um produto com potencial de incrementar o nicho de mercado de leite fermentado.

Palavras – Chave: Desidratação, Conservação e Armazenamento.

**PHYSICAL, PHYSICOCHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL
CHARACTERIZATION OF YOGURT POWDER OBTAINED BY SPRAY DRYING
OR FREEZE DRYING**

ABSTRACT

The great competition in the food market causes companies to develop new products that promote market niches and, under this prism, the production of diversified fermented milk, mainly yogurt, has been one of the most promising and successful in the food industry. Yogurt presented in powder is still an uncommon product in the Brazilian market and, for this reason, the objective of this work was to characterize the physical, physicochemical and microbiological properties of yogurt powder obtained by spray drying or freeze drying. Two freeze-dried samples, L1 (without additives) and L2 (with additives: 15 % of maltodextrin and 0,6 % of gum arabic) and two atomized samples, A1 (without additives) and A2 (with additives: 15 % of maltodextrin and 0,6 % of gum Arabic). We performed some physical analyses, such as wettability, solubility, water activity (A_w), microscopy and colorimetry. We also performed some chemical analyses, such as centesimal composition (moisture, lipids, proteins, lactose), fatty acid profile, acetaldehyde content, electrophoretic profile of proteins and microbiological analysis of lactic acid bacteria. Regardless of the dehydration process, the samples with additives presented a better solubility. The wettability was better in the freeze-drying process and the coloration in the spray drying process, also considering samples with additives. The samples, regardless of the process, presented low humidity and A_w values, which are satisfactory for powder products. Saturated fatty acids made up most part of the triglycerides present in dehydrated samples; the drying processes preserved the main yogurt proteins. The particles obtained from the spray drying process differed structurally from those obtained by freeze drying. Both spray dried and freeze dried samples were within the standards required by Brazilian legislation, and the freeze drying process was shown to be more efficient both in the preservation of lactic acid bacteria and in the retention of acetaldehyde. Regardless of the process, dehydration proved to be an interesting conservation alternative, resulting in a product with the potential to increase the number of options in the market niche of fermented milk.

Keywords: Dehydration, Conservation, Storage.

1 INTRODUÇÃO

Os derivados lácteos em pó são ingredientes muito comuns em diversos alimentos, no entanto, iogurte desidratado ou reconstituído é um produto incomum no Brasil. Este produto pode ser utilizado como ingrediente ou suplemento de sucos, biscoitos, sorvetes, doces, bebidas lácteas, podendo também substituir o leite em pó em receitas agregando, assim, valor nutricional e funcional aos produtos, além de aumentar o nicho de produtos lácteos ao ser consumido reidratado (VARGHESE e MISHRA, 2009; ERGÜN et al., 2013; BASTIOĞLU e ERTEKIN, 2016; SERHAN e DEBS, 2016).

Os métodos mais utilizados para produção de iogurte em pó são a atomização e a liofilização. A atomização caracteriza-se por ser uma secagem instantânea pela exposição de um fluido pulverizado a altas temperaturas, tendo como principal vantagem à alta produtividade e preservação de algumas características do produto, apesar da exposição a altas temperaturas. A liofilização consiste na secagem a frio por sublimação da água livre no alimento, tendo como característica a preservação de atributos sensoriais, nutricionais, além de permitir fácil reidratação do pó, porém sendo um processo de custos elevados (VENIR et al., 2007; ERGÜN et al., 2013; KOÇ et al., 2014).

Muitas propriedades são importantes para o armazenamento, manuseio e a reidratação do produto em pó, tais como molhabilidade, dispersibilidade, solubilidade e estabilidade oxidativa, que são influenciadas pela composição do produto. A presença de gordura na superfície do pó torna a superfície hidrofóbica, o que dificulta a homogeneização do produto reidratado, além de facilitar a deterioração por rancificação (KIM e PEARCE, 2009a; SAKIN-YILMAZER et al., 2014).

A preservação das características microbiológicas é de suma importância para manter as características de um bioproduto como iogurte, mesmo desidratado. A legislação brasileira define que para ser considerado iogurte, o leite fermentado tem que possuir em sua microbiota cultivos protossimbóticos de *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* e *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus*. Estas bactérias devem estar viáveis durante a vida útil do produto em quantidade mínima de 10^7 ufc/g (BRASIL, 2007).

Na produção do iogurte em pó, além da preservação das características físicas e microbiológicas, também é importante a manutenção de atributos como cor e aroma, essenciais para aceitação do produto (CARVALHO e CARRASCAL, 2017). O acetaldeído foi identificado como o mais importante dos compostos carbonílicos que contribuem para o aroma tipicamente associado ao iogurte (ZOURARI, ACCOLAS e DESMAZEAUD, 1992). Diante disto, o presente capítulo tem por objetivo caracterizar as propriedades físicas, químicas e microbiológicas do iogurte em pó obtido por liofilização ou atomização.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Análises foram realizadas nos laboratórios da Embrapa Agroindústria de Alimentos e no laboratório de microbiologia do Departamento de Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Foram realizadas análises físicas, físico-químicas e microbiológicas de 4 amostras de iogurte em pó, atomizado sem aditivos (A1), atomizado com 0,6 % de goma arábica e 15 % de maltodextrina (A2), liofilizado sem aditivos (L1) e liofilizado com 0,6 % de goma arábica e 15 % de maltodextrina (L2).

2.1 Material

Foi utilizado iogurte natural produzido segundo KEARNEY et al., (2009), maltodextrina *MOR-REX® 1910* (DE 10), fornecida pela Corn Products (Mogi-Guaçu, Brasil) como agente carreador e goma arábica *Instantgum BA®*, fornecida pela Colloïdes Naturels Brasil (São Paulo, Brasil) como estabilizante.

2.2 Processamento do Iogurte Liofilizado

As amostras de iogurte foram depositadas em bandejas de aço inoxidável (150 mm /250 mm) e inseridas em liofilizador (Bocedwards) à temperatura de -40 ± 2 °C por 4 horas e, após o congelamento, a bomba de vácuo foi acionada a uma pressão mínima de 0,18 mbar por 24 horas, até peso constante. Depois de desidratadas, as amostras foram armazenadas em embalagens laminadas compostas por polipropileno e alumínio, seladas a vácuo em seladora de marca TEC MAQ, Modelo AP 500 (ERGÜN et al., 2013).

2.3 Processamento do Iogurte Atomizado

A secagem por atomização do iogurte foi realizada em um atomizador (NIRO ATOMIZER) com disco rotativo com 4 orifícios de alimentação de 1 mm de diâmetro, velocidade do ar $730 \text{ m}^3/\text{min}$. A alimentação do secador foi realizada por meio de uma bomba peristáltica com vazão de 10 L.h^{-1} . As temperaturas de entrada e saída do ar foram 170 e 80 °C, respectivamente, e uma temperatura de alimentação de 15 °C (KEARNEY et al., 2009). Em seguida, foram armazenadas em embalagens laminadas compostas por polipropileno e alumínio, seladas a vácuo em seladora de marca TEC MAQ, Modelo AP 500.

2.4 Colorimetria

A cor das amostras de iogurte foi determinada por colorimetria tristímulo, em colorímetro (Konica minolta, Modelo CR-10) pelo sistema L^* , a^* , b^* . A alteração de cor total das amostras de iogurte em pó em relação ao iogurte fresco foi calculada usando a Equação (HUNTER, 1975).

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad (1)$$

2.5 Tamanho de Partículas

O diâmetro médio das partículas foi medido em um analisador de tamanho de partícula por laser de sensibilidade (Shimadzu, SALD-201V). As amostras em pó foram suspensas em etanol e submetidos a ultrassom (Ultra Cleaner 14000) durante 5 min., antes de cada determinação, conforme recomendado pelo fabricante (AL-KAHTARI e BASSAN, 1990). Foram determinados o $D[4,3]$ que corresponde ao diâmetro médio das partículas e o Tile 90 que representa o tamanho médio máximo em que estão compreendido 90 % das partículas das amostras.

2.6 Molhabilidade

Esta propriedade foi medida através da metodologia proposta por Hla e Hoge Kamp (1999). O método consistia na queda de 2,0 g de amostra sobre 400 mL de água destilada a 25 °C, em béquer de 600 mL e medição do tempo necessário para que todas as partículas molhassem. As determinações foram realizadas em triplicata.

2.7 Solubilidade

A solubilidade foi determinada pelo método gravimétrico, de acordo com (CANO-CHAUCA et al., 2005). O método consiste na adição de 1 g de amostra a um recipiente contendo 100 ml de água destilada, operando com agitação magnética a alta velocidade – nível 4 do agitador magnético (Fisatom, São Paulo, Brasil) – por 5 min., seguida por uma centrifugação a 3000 x g, também por 5 min. Posteriormente, uma alíquota de 25 ml do sobrenadante é retirada e levada à estufa a 105 °C, até peso constante. A solubilidade é calculada pela diferença de peso.

2.8 Composição centesimal

As análises de umidade, lipídios, proteínas e cinzas foram realizadas de acordo com LUTZ, (2008). A atividade de água foi determinada utilizando-se equipamento Aqualab (Decagon Devices, Modelo série 3TE), com leitura direta da atividade de água a 25 °C.

2.9 Lactose

A etapa de extração dos açúcares foi feita segundo metodologia descrita por Macrae (1998). A análise por CLAE foi realizada utilizando-se um cromatógrafo de alta eficiência Waters ® Alliance 2695, detector de índice de refração Waters ® 2410, coluna amino Zorbax ® Carbohydrate da Agilent (250 mm x 4,6 mm; 5 µm), fluxo de 1,0 mL.min⁻¹, volume de injeção de 20 µL e modo de eluição isocrático com solução 75 % acetonitrila em água.

2.10 Perfil de Ácidos Graxos

A análise das amostras foi realizada utilizando-se um cromatógrafo de gás Hewlett Packard HP 5890 - Série II, (Paio Alto, CA, EUA), equipado com detector de ionização de chama (GC-FID) e coluna capilar (30 m x 0,25 mm x 0,25 mm), BPX70-ms (thermo scientific, waltham, ma, eua). A temperatura inicial foi de 150 °C com aumento de 5 °C / min até 240 °C, sendo posteriormente mantida constante durante 30 minutos. A temperatura do injetor foi de 240 °C e a do detector de 280 °C, com uma taxa de divisão de 01:30. O gás de transporte utilizado foi He a 1mL / min e pressão de 11 psi (BANNON et. al. 1982).

2.11 Microextração em Fase Sólida Quantitativa do Analito Acetaldeído

A análise de acetaldeído foi realizada em cromatógrafo Agilent 7890A acoplado a detector de massas Agilent 5973N, equipado com coluna capilar HP-INNOWAX (25 m X 0,2 mm X 0,2 µm). Gas hélio foi utilizado como carreador com vazão de 1,0 mL/min a pressão constante. A temperatura do forno variou de 40 a 60 °C, com taxa de aquecimento de 3 °C/minuto, mantendo-se a temperatura final constante por 10 min. A injeção foi realizada no modo com divisão de fluxo (*split*) de 1: 50, com o injetor aquecido a 250 °C, durante 3 minutos. O detector de massas foi operado no modo ionização eletrônica a 70 eV, com monitoramento seletivo de íons (SIM) dos sinais m/z 43, 44 e 86.

2.12 Eletroforese de Proteínas em Sds-page

As análises de eletroforese seguiram o método estabelecido por Laemmli (1970), conforme segue. Inicialmente, as amostras (20 mg) foram solubilizadas em tampão de

amostra (1 mL) e agitadas em agitador tipo vórtex por 1h, à temperatura ambiente, sendo congeladas e mantidas à -20 °C até o uso.

A solução de tampão de amostra foi composta de 3,8 mL de água destilada; 1 mL de 0,5M Tris-HCl, pH 6,8; 800 µL de glicerol; 1,6 mL de SDS 10 % (m/v); 400 µL de β-mercaptoetanol; 400 µL de azul de bromofenol.

Os géis de empilhamento e corrida foram preparados com soluções de acrilamida a 8 % e 12 %, respectivamente e a análise foi realizada em cuba PROTEAN II xi cell da marca BIO-RAD. A corrida eletroforética foi realizada a 100V durante 8h.

Os géis foram corados em solução de Coomassie Brilliant Blue R 250 (1 % - Coomassie Brilliant Blue R 250 1 % + 40 % metanol + 10 % ácido acético) e foram utilizados como marcadores de massa molecular as proteínas padrões da marca BIO-RAD de baixa e alta massa molecular: Fosforilase D (101,36 Da), BSA (55,05 Da), Ovalbumina (40,9 Da), Anidrase Carbônica (27,67 Da), inibidor de tripsina de soja (20,69 Da), Lisozima (15,47 Da), Miosina (195,27 Da), β-galactosidase (102,52 Da), BSA (55978), Ovoalbumina (40,72 Da),(VEITH e REYNOLDS, 2004) .

2.13 Análises Microbiológicas

As análises de contagem de bactérias lácticas foram realizadas através da técnica de plaqueamento por profundidade sobrecamada, em triplicata, os meios de cultivo utilizados devidamente autoclavados foram M17 Agar base (Himedia) e MRS (Himedia) acrescido de ácido acético até pH 5, para determinação de *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* e *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, respectivamente.

Na determinação de *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* as placas com meio de cultura M17 foram devidamente semeadas e incubadas em estufa tipo BOD a 37 °C por 48 h, para *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* as placas com MRS acidificado foram incubadas a 37 °C por 72 h dentro de jarra de Gaspac em BOD sob condições microaerófilas (IDF, 1988).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Características Físicas

As características físicas são parâmetros importantes para o armazenamento, processamento e aplicação do produto em pó (HOGEKAMP e SCHUBERT, 2003), os resultados destas análises estão presentes na Tabela 1. A solubilidade das amostras sem aditivos A1 = 47,30 e L1 = 44,29 % foi menor que das amostras com aditivos A2 = 77,48 e L2 = 77,43 %, esta diferença deveu-se à presença de maltodextrina, que é um material solúvel em água, diminuindo assim o percentual de material insolúvel presente nas amostras sem aditivos. KOÇ et al (2014) encontrou solubilidade de 68% para amostras de iogurte em pó atomizadas, valores condizentes com os das amostras com aditivos.

As amostras atomizadas tiveram os menores tamanhos, como esperado, devido ao processo de aspersão pelo qual passam antes da secagem. A amostra com aditivo atomizada A2 apresentou 90% das partículas com tamanho $\leq 28,09 \mu\text{m}$ e diâmetro médio D [4,3] de $19,53 \mu\text{m}$, sendo a que possuiu uma distribuição de partículas com menor tamanho médio. Os aditivos tiveram efeito contrários na liofilização, pois a amostra L2 apresentou 90 % das partículas com tamanho $\leq 770,98 \mu\text{m}$ e diâmetro médio D [4,3] de $383,47 \mu\text{m}$, resultando na distribuição de partículas com maior tamanho médio. Segundo Kurozawa et al. (2009), o tamanho das partículas de um pó é importante, pois geralmente quanto menor a partícula,

menor a solubilidade, considerando a mesma estrutura e composição da matrix com presença preponderante de componentes solúveis, e partículas atomizadas grandes podem permitir o maior acúmulo de ar, podendo ocasionar um tempo de armazenamento reduzido, devido a uma possível oxidação.

A Figura 1 mostra a distribuição de tamanho de partícula para os pós do iogurte produzido pelos diferentes processos de secagem. De acordo com a Figura, as amostras atomizadas apresentaram distribuições unimodais, ou seja, são amostras mais homogêneas. Já as amostras liofilizadas apresentaram tamanhos mais heterogêneos, embora a amostra L1 (sem aditivos) tenha distribuição bimodal, isto é, existem dois picos distintos, cada um representando um tamanho predominante.

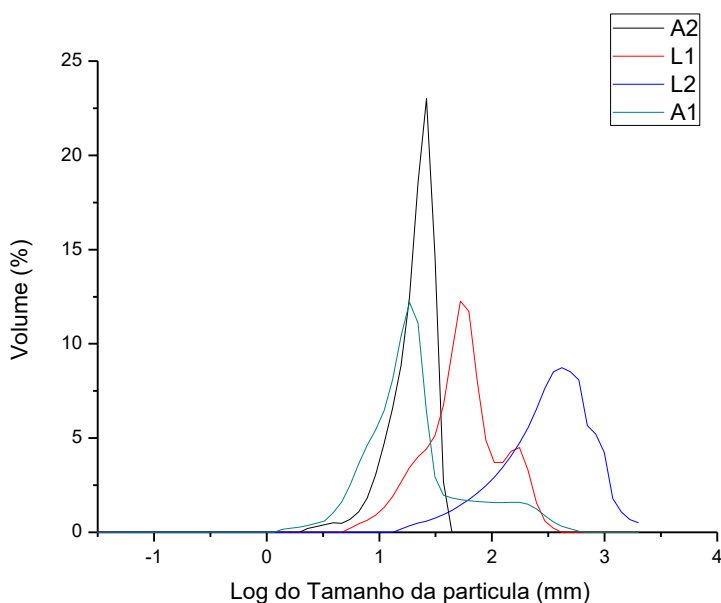


Figura 1. Distribuição do tamanho de partículas de pós de iogurte produzidos por liofilização ou atomização, L1 = iogurte liofilizado sem aditivos; L2 = iogurte liofilizado com aditivos (0,6 % de goma arábica, 15 % de maltodextrina); A1 = iogurte atomizado sem aditivos; A2 = iogurte liofilizado com aditivos (0,6 % de goma arábica, 15 % de maltodextrina).

A molhabilidade da amostra atomizada sem aditivos ocorreu em menor tempo (216 s), seguido da amostra liofilizada com aditivo (245 s), ou seja, a presença de aditivos favoreceu a molhabilidade das amostras liofilizadas sob estas condições, enquanto que com as amostras atomizadas esse efeito foi negativo. Isso ocorreu porque no processo de atomização a presença de maltodextrina deixou as partículas mais leves se comparadas às amostras sem tal aditivo, o que dificulta com que o pó vença a resistência superficial da água no processo de reidratação, todavia, no processo de liofilização, o efeito da maltodextrina foi contrário, ou seja, contribuiu para o ganho de peso das partículas favorecendo sua molhabilidade, Koç et al. (2014) obtiveram tempo de 374 s para amostras de iogurte em pó atomizado, superior a presente pesquisa.

A molhabilidade é frequentemente usada para representar o completo fenômeno da reconstituição em pó de lácteos, que compreende solução solúvel de componentes como lactose, proteína de soro não desnaturado e sais, bem como componentes dispersáveis como a caseína. A taxa de formação de material insolúvel em produtos lácteos depende em grande parte da temperatura de secagem. A menor molhabilidade de um produto lácteo desidratado

pode estar relacionada à diminuição da solubilidade da proteína desnaturada (FANG, SELOMULYA e CHEN, 2007).

De acordo com Vissotto et al. (2006), o espaço intersticial apresentado por partículas grandes e de forma irregular favorece a molhabilidade, enquanto que partículas pequenas acarretam uma redução dos interstícios, prejudicando a penetração de água. Este pode ser um dos motivos da maior molhabilidade verificada em amostras sem aditivos atomizadas.

De acordo com Schubert (1993), a reconstituição de um pó alimentício é conduzida em quatro etapas, não necessariamente sequenciais: penetração do líquido dentro da estrutura do poro por capilaridade (molhabilidade), imersão das partículas ou porções do pó dentro do líquido (imersibilidade), dispersão do pó no líquido (dispersibilidade) e dissolução, caso as partículas sejam solúveis (solubilidade). As propriedades associadas a estas quatro etapas são denominadas propriedades de instantaneidade. Segundo o autor, para um pó com boas propriedades de instantaneidade, estes passos devem ocorrer em poucos segundos. Dessa forma, pode-se dizer que as partículas do iogurte atomizado com ou sem agentes carreadores apresentaram um tempo de molhamento muito alto ou baixa solubilidade, o processo de aglomeração poderia contribuir para instantaneidade das amostras atomizadas (TONON, BRABET e HUBINGER, 2008).

Tabela 1. Propriedades físicas do iogurte em pó liofilizado ou atomizado.

Amostras	Parâmetros físicos			
	Solubilidade (%)	Molhabilidade (s)	D[4,3] (µm)	Tile 90%
A1	47,30 ^a ± 0,22	216 ^a ± 1,67	36,96 ^b ± 4,83	96,25 ^b ± 6,93
A2	77,48 ^b ± 0,27	845 ^d ± 1,54	19,53 ^a ± 0,58	28,09 ^a ± 0,26
L1	44,29 ^a ± 0,36	562 ^c ± 1,42	65,78 ^c ± 7,79	122,86 ^c ± 7,91
L2	77,43 ^b ± 0,18	245 ^b ± 1,78	383,47 ^d ± 9,70	770,98 ^d ± 12

Médias com letras em comum não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5 % de significância. L1 = iogurte liofilizado sem aditivos; L2 = iogurte liofilizado com aditivos (0,6 % de goma arábica, 15 % de maltodextrina); A1 = iogurte atomizado sem aditivos; A2 = iogurte liofilizado com aditivos (0,6 % de goma arábica, 15 % de maltodextrina).

Análise de colorimetria é importante para constatar possíveis reações de escurecimento e também influencia diretamente a aceitação do produto, pois um alimento funcional mesmo que possa fornecer vários benefícios para a saúde dos consumidores, não será comercializável se não for visualmente atrativo (ZARE et al., 2011). Os valores L* a* b* estão presentes na Tabela 2. A amostra A1 apresentou valor de L* menor e b* maior, indicando que amostra foi mais escura e amarela, o que significa um provável escurecimento não enzimático e, a amostra A2 apresentou mudanças colorimétricas mais amenas devido ao efeito termoprotetor da maltodextrina, o que manteve seus parâmetros colorimétricos mais próximos aos das amostras liofilizadas, segundo Triboli e Gutierrez (2016) o uso de agentes de secagem ajudou a produção de pós com cores mais próximas do padrão quando comparado com o iogurte puro. Por causa da cor branca dos aditivos sendo que, de modo geral, tais amostras tendem ao branco e são amareladas. Quando comparada à amostra natural (ΔE), a amostra A1 foi a que apresentou maior diferença e a amostra L2 a mais próxima. Ergün et al. (2013), estudando amostras de iogurte liofilizadas com purê de castanhas obteve valores de L variando de 85, 57 a 89,79, portanto inferiores ao do presente estudo, entretanto estas amostras quando reidratadas estavam mais próximas ao produto original do que as do presente trabalho, já que o ΔE variou de 9,37 a 17,19. Koc et al. (2010), estudando amostras de iogurte em pó desidratadas por atomização obteve ΔE varando de 3,33 a 30,36, a diferença na

coloração está diretamente ligada às temperaturas de entrada e saída utilizadas no processo de atomização, sendo que o emprego de temperaturas mais altas tendem a propiciar um pó mais escuro.

Tabela 2. Valores de L *, a *, b * e ΔE de iogurte em pó liofilizado ou atomizado.

Amostras	L	A	b	ΔE
L1	96,8 ^d ± 0,12	-2,38 ^a ± 0,02	12,59 ^a ± 0,10	19,68 ^b ± 0,22
L2	94,94 ^b ± 0,10	-2,37 ^b ± 0,04	13,01 ^b ± 0,08	18,20 ^a ± 0,24
A1	92,99 ^a ± 0,07	-1,34 ^d ± 0,09	16,03 ^d ± 0,01	24,98 ^d ± 0,17
A2	95,67 ^c ± 0,08	-1,93 ^c ± 0,02	14,99 ^c ± 0,06	21,49 ^c ± 0,16

Médias com letras em comum não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5 % de significância. L1 = iogurte liofilizado sem aditivos; L2 = iogurte liofilizado com aditivos (0,6 % de goma arábica, 15 % de maltodextrina); A1 = iogurte atomizado sem aditivos; A2 = iogurte liofilizado com aditivos (0,6 % de goma arábica, 15 % de maltodextrina).

3.2 Caracterização Físico-química

Os parâmetros físico-químicos são apresentados na Tabela 3. O teor de umidade das amostras foram adequados para a qualidade de um produto em pó, variando entre 2,49 e 5,13%, assim como os valores da atividade de água (a_w), que variaram de 0,08 a 0,23. É importante que esses parâmetros sejam controlados em produtos em pó, pois além de garantirem a estabilidade microbiológica, também contribuem para diminuição ou redução de reações que comprometem a qualidade do produto reidratado, como oxidação da gordura e cristalização da lactose (KIM, CHEN e PEARCE, 2009c). Na obtenção de iogurte desidratado por liofilização, Carvalho, Perez-Palacios e Ruiz-Carrascal (2017) apresentaram produto seco com 5,6% de umidade e a_w de 0,17. Izadi et al. (2014) apresentaram valores de umidade variando de 1,35 e 4,70% e atividade de água variando de 0,096 e 0,243 para iogurte em pó atomizado, sendo estes valores semelhantes ao do presente estudo, assim como, os também reportados por Kearney et al. (2009) para iogurte probiótico em pó e por Atalar e Dervisoglu (2015) para kefir em pó.

Alimentos desidratados devem possuir atividade de água e teor de umidade de ~0,3 e 5%, respectivamente, mantidos constantes, a fim de alcançar o armazenamento a longo prazo (CHÁVEZ e LEDEBOER, 2007).

Tabela 3. Caracterização Físico-química das amostras de iogurte em pó liofilizado ou atomizado.

Amostr as	Análises						
	Aw	Umidad e (%)	Lípidio s (%)	Proteínas (%)	Lactose (%)	Cinzas (%)	Cálcio (g/Kg)
A1	0,20 ^a ± 0,01	4,85 ^b ± 0,32	24,54 ^c ± 1,12	28,74 ^b ± 0,82	25,52 ^d ± 0,24	6,15 ^b ± 0,20	10,27 ^b ± 0,25
A2	0,22 ^b ± 0,02	2,49 ^a ± 0,72	4,38 ^a ± 0,55	13,48 ^a ± 0,53	12,04 ^a ± 0,41	3,06 ^a ± 0,31	4,81 ^a ± 0,27
L1	0,26 ^b ± 0,03	5,13 ^b ± 0,28	25,96 ^d ± 1,22	28,43 ^b ± 0,59	23,41 ^c ± 0,22	5,92 ^b ± 0,26	9,84 ^b ± 0,23
L2	0,18 ^a ± 0,02	3,43 ^a ± 0,48	9,35 ^b ± 0,64	13,82 ^a ± 0,68	12,74 ^a ± 0,35	3,10 ^a ± 0,18	5,09 ^a ± 0,29

¹Médias com letras em comum não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5 % de significância. L1 = iogurte liofilizado sem aditivos; L2 = iogurte liofilizado com aditivos (0,6 % de goma arábica, 15% de maltodextrina); A1 = iogurte atomizado sem aditivos; A2 = iogurte liofilizado com aditivos (0,6 % de goma arábica, 15 % de maltodextrina).

O teor de proteína foi maior nas amostras sem aditivos, A1 = 28,74 % e L1 = 28,43 %, se comparado às amostras com aditivos, A2 = 4,38 % e L2 = 9,35 %, devido à presença da maltodextrina que “diluiu quantitativamente” os teores desses compostos. O mesmo ocorreu com os outros parâmetros da composição centesimal. O baixo teor de proteína pode comprometer a formação de gel do produto reidratado, já que proteínas possuem características emulsificantes (MELO FILHO e VASCONCELOS, 2016). O teor de lactose foi de 25,52 % para A1 e 23,41 % para L1, enquanto que para nas amostras com aditivos resultou em A2 = 12,04 % e L2 = 12,74 %. O baixo teor de lactose é satisfatório para produtos lácteos, já que 46 a 67 % da população brasileira possuem intolerância à lactose (DA CUNHA et al., 2015). Bielecka, Maria e Majkowska, (2000) obtiveram 36,09 % de proteína e 44,78 % de lactose em amostras de iogurte em pó atomizado com 5,08 % de umidade, já (YILMAZ et al, 2010) obtiveram 33 % de proteína, 53,07 % de lactose e 3,3 % de umidade para iogurte em pó. O alto teor de lactose pode comprometer a solubilidade do produto, devido à cristalização da mesma (SAFFARI e LANGRISH, 2014).

A quantidade de resíduo mineral fixo foi de 6,15 % para A1 e 5,92 % para L1, enquanto que para A2 resultou em 3,06 % e para L2 em 3,10 %, não havendo diferença significativa, em relação aos diferentes métodos de secagem. Ergün et al. (2013) obtiveram valores próximos, variando de 2,60 a 6,85 % de cinzas, para iogurte liofilizado. Em relação ao teor de cálcio, as amostras sem aditivos, A1 = 10,27 g/kg e L1 = 9,84 g/kg apresentaram teores mais elevados, enquanto que as amostras com aditivos apresentaram teores mais modestos, A2 = 4,81 g/kg e L2 = 5,09 g/kg, também sem diferença significativa entre os tratamentos.

O teor de gordura apresentado pelas amostras também foi influenciado pela presença ou não de aditivos, A1 = 24,54 % e L1 = 25,96 %, apresentaram teores substancialmente maiores que as amostras A2 = 4,38 % e L2 = 9,35 %, sendo a presença de gordura determinante para a qualidade do produto devido à possibilidade de rancificação, que compromete nutricionalmente e sensorialmente o produto (CHITRA, DEB e MISHRA,

2015). Krasaekoopt e Bhatia (2012) consideraram ideal o iogurte em pó com 3,0 - 5,0 % de umidade, 1,2 - 2,0 % de gordura, 33,0 - 36,0 % de proteína, 50,0 - 51,5 % de lactose e 7,0 - 8,0 % de cinzas.

3.3 Ácidos Graxos no Iogurte em Pó Liofilizado ou Atomizado

A gordura láctea extraída do iogurte foi constituída por uma mistura heterogênea de diversos triglicerídeos como apresentado na Tabela 4. Os ácidos graxos saturados representaram a maior parte dos compostos variando de 62,67 – 67,92 % da fração lipídica, sendo o ácido palmítico com maior teor, enquanto que os insaturados representaram 28,78 % - 34,68 %, com o ácido oleico como maior representante desse grupo, enquanto que os poliinsaturados estiveram presentes nas amostras de iogurte em pó numa concentração que varia entre 2,56 % – 6,00 %. Esses resultados são condizentes com os encontrados por Kim, Chen e Pearce (2009c), estudando modificações na fração lipídica de leite em pó armazenado, assim como verificado por Serhan, Mattar e Debs (2016), que obtiveram valores idênticos aos do presente estudo, avaliando a composição lipídica de iogurte concentrado tipo Labneh.

Os ácidos graxos monoinsaturados têm um efeito neutro sobre os níveis de colesterol, enquanto que os poliinsaturados se inclinam para diminuir a quantidade de colesterol total e HDL (CHITRA, DEB e MISHRA, 2015). A gordura do leite com alto teor de ácidos graxos insaturados é caracterizada por um menor índice de aterogenicidade (SACKS e KATAN, 2002).

Tabela 4. Composição individual de ácidos graxos das frações de gordura láctea extraídas do iogurte em pó.

		A1	A2	L1	L2
		%	%	%	%
C8	Ác. Caprílico	0,40	0,33	0,96	0,00
C10	Ác. Cáprico	1,55	1,83	2,97	2,10
C12	Ác. Láurico	2,22	2,62	3,88	3,32
C14	Ác. Mirístico	10,27	10,28	15,24	13,23
C14:1	Ác. Miristoléico	0,95	0,88	1,58	1,38
	Ác.	1,36	1,39	2,26	1,93
C15	Pentadecanóico				
C16	Ác. Palmítico	32,94	33,06	28,71	32,31
C16:1	Ác. Palmitoléico	2,19	2,16	3,86	2,46
C18	Ác. Esteárico	13,94	14,49	11,19	15,02
C18:1	Ác. Oléico	31,54	30,38	23,34	25,07
C18:2	Ác. Linoléico	1,49	1,60	3,25	1,37
C18:3	Ác. Linolênico	1,16	0,97	2,75	1,79
	Saturados	62,67	64,01	65,21	67,92
	Insaturados	34,68	33,43	28,78	28,92
	Poliinsaturados	2,65	2,56	6,00	3,16

L1 = iogurte liofilizado sem aditivos; L2 = iogurte liofilizado com aditivos (0,6 % de goma arábica, 15 % de maltodextrina); A1 = iogurte atomizado sem aditivos; A2 = iogurte liofilizado com aditivos (0,6 % de goma arábica, 15 % de maltodextrina).

A Figura 2 apresenta o teor de ácidos graxos saturados, insaturados e poli-insaturados de cada amostra. É possível perceber que, independente do processo de secagem, os ácidos graxos saturados foram predominantes nas amostras, e esse alto teor deve colaborar com o processo de rancificação e formação de radicais livres quando expostos a oxigênio.

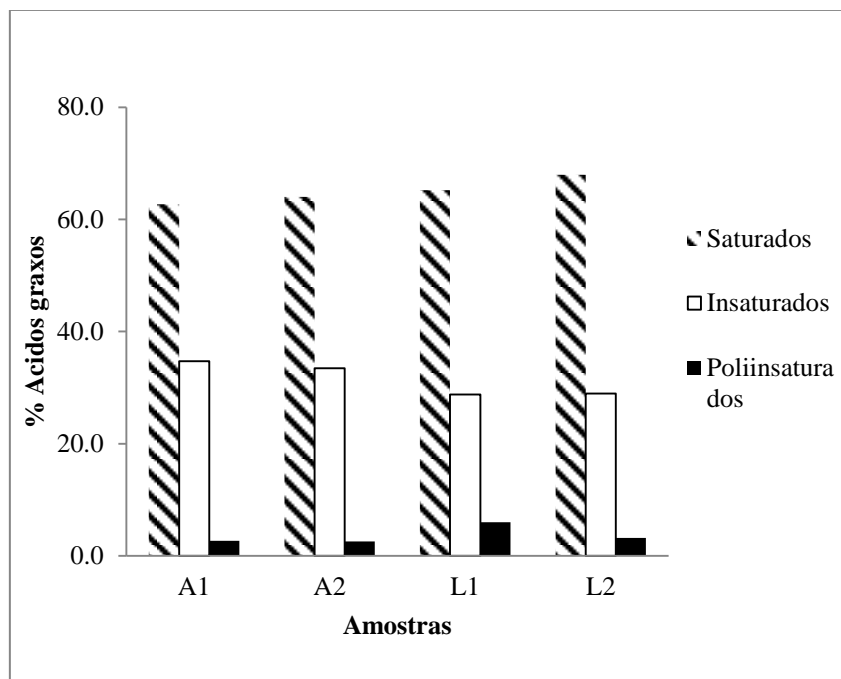


Figura 2. Composição de ácidos graxos do iogurte em pó liofilizado ou atomizado. L1 = iogurte liofilizado sem aditivos; L2 = iogurte liofilizado com aditivos (0,6% de goma arábica, 15% de maltodextrina); A1 = iogurte atomizado sem aditivos; A2 = iogurte liofilizado com aditivos (0,6% de goma arábica, 15% de maltodextrina).

3.4 Acetaldeído

O acetaldeído é o principal composto aromático do iogurte (ROUTRAY e MISHRA, 2011). Na Tabela 5 estão dispostos os teores de acetaldeído das amostras de iogurte em pó. As amostras liofilizadas (L1 = 55,66 % e L2 = 50,47 %) tiveram melhor retenção do composto se comparado às atomizadas (A1 = 13,51 % e A2 = 16,91 %). As altas temperaturas empregadas no processo de atomização promovem a volatilização de compostos aromáticos modificando o sabor e aceitação do produto, assim como, nos estudos de Rascón-Díaz et al. (2012) após o processo de atomização as amostras com aditivos preservaram melhor o acetaldeído que a amostra controle sem aditivo, os resultados variaram de 62% a 92,6% de retenção. Os autores afirmaram que hidrocoloides como a goma arábica são capazes de formarem cápsulas que retém o acetaldeído durante a secagem. Já Kumar e Mishra (2005) conseguiram retenção de 33 a 34 % do acetaldeído utilizando de 0,2 a 0,4 g/100 g de gelatina, e de 28 a 29,4 % empregando 0,2 a 0,4/g de pectina na secagem de iogurte por atomização.

Tabela 5. Quantidade de acetaldeído presentes nas amostras de iogurte desidratado.

Amostras	Acetaldeído^a (µg/g)	Retenção (%)
A1	5,73	13,51
A2	7,17	16,91
L1	23,6	55,66
L2	21,40	50,47

^a Quantificado a partir do íon m/z 43. L1 = iogurte liofilizado sem aditivos; L2 = iogurte liofilizado com aditivos (0,6 % de goma arábica, 15 % de maltodextrina); A1 = iogurte atomizado sem aditivos; A2 = iogurte liofilizado com aditivos (0,6 % de goma arábica, 15 % de maltodextrina).

3.5 Eletroforese de Proteínas em SDS-PAGE

O leite de vaca integral, matéria-prima usada na produção dos iogurtes desidratados é uma rica fonte de proteínas de alto valor biológico, contendo cerca de 32g /L de proteínas totais (HAUG, HØSTMARK e HARSTAD, 2007). Dentre essas, a caseína compõe cerca de 80 % das proteínas, sendo estruturalmente arranjada em três cadeias poliméricas: α -, β - e κ -caseínas. Além das caseínas, o leite também apresenta proteínas de alta massa molecular, como as imunoglobulinas, lactoferrina e soro-albumina (BSA) relacionadas à imunomodulação do lactante ao ser amamentado. Ainda, o leite também contém as proteínas de baixa massa molecular, α -lactoalbumina e β -lactoglobulina, conhecidas por serem as principais proteínas do soro de leite (STRANGE et al., 1992).

A análise do gel de proteínas em SDS-PAGE (Figura 3) mostrou que as principais proteínas encontradas nos iogurtes, provenientes do leite, foram preservadas após os métodos de secagem por atomização (A) e liofilização (L), tanto nos iogurtes naturais (1), quanto nos formulados, adicionados de aditivos (2). A amostra A2, no entanto, parece ter apresentado menor quantidade de proteínas, possivelmente devido ao percentual de maltodextrina.

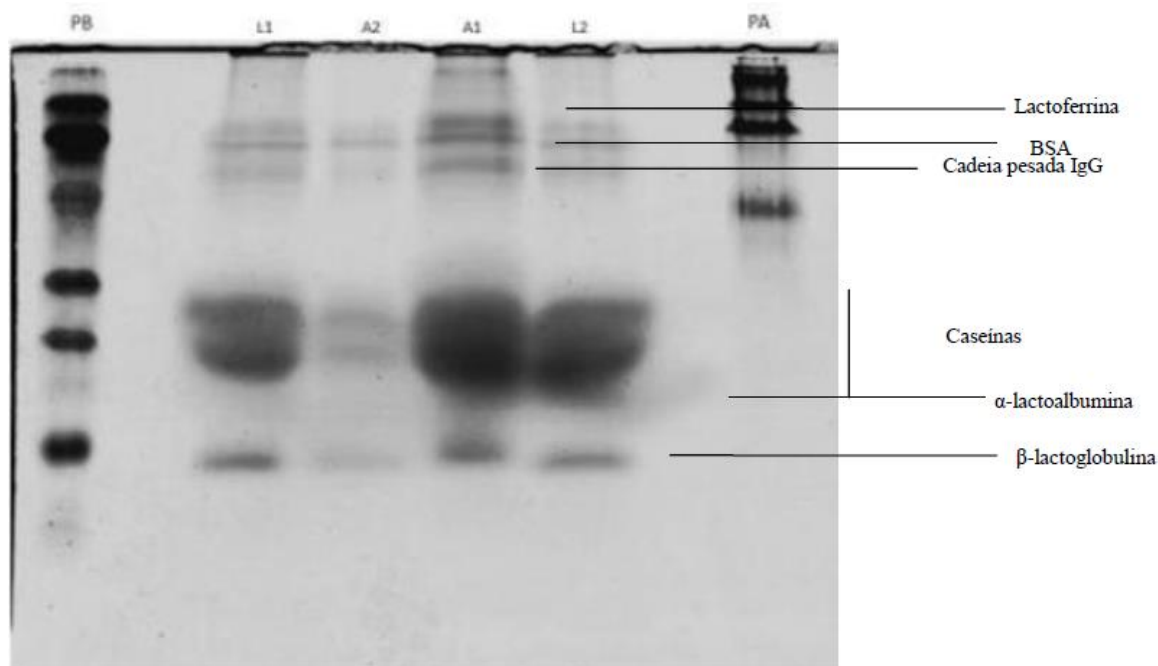


Figura 3. Perfil proteico por eletroforese em SDS-PAGE dos iogurtes desidratados por atomização e liofilização, PB – Padrão de baixo peso molecular (kDa): 101,36; 55,05; 40,9; 27,67; 20,69; 15,47. PA – Padrão de alto peso molecular (kDa): 195,27; 102,52; 55,98; 40,72. L1 = iogurte liofilizado sem aditivos; L2 = iogurte liofilizado com aditivos (0,6% de goma arábica, 15% de maltodextrina); A1 = iogurte atomizado sem aditivos; A2 = iogurte liofilizado com aditivos (0,6% de goma arábica, 15% de maltodextrina).

3.6 Caracterização Microbiológica

A quantidade de bactérias lácticas presentes nas amostras está expressa na Tabela 6. Tanto as amostras liofilizadas (L1 = $2,94 \times 10^9$ ufc/g e L2 = $2,1 \times 10^9$ ufc/g) quanto as amostras atomizadas (A1 = $4,1 \times 10^7$ ufc/g e A2 = $1,62 \times 10^8$ ufc/g) sofreram uma redução no número de células microbianas, se comparado com a amostra natural ($4,83 \times 10^9$ ufc/g) sendo que, no entanto, todas resultaram em valores acima do recomendado pela legislação brasileira (10^7 ufc/g). Outros autores como Rascón-Díaz et al. (2012) e Ergün et al. (2013) também constataram essa redução no número de células viáveis de bactérias lácticas devido ao processo de atomização e liofilização, respectivamente. Krasaekoopt e Bhatia (2012) obtiveram contagens de $5,6 \times 10^7$ ufc/g de bactérias lácticas em iogurte desidratado por secagem convectiva, valores inferiores ao apresentado neste estudo por atomização ou liofilização.

Logo após o processamento, as amostras liofilizadas apresentaram contagens próximas para as duas espécies, sendo L1 = $2,93 \times 10^9$ ufc/g e L2 = $2,10 \times 10^9$ ufc/g de *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus*; L1 = $4,7 \times 10^5$ ufc/g e L2 = $4,8 \times 10^5$ ufc/g de *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*. As amostras atomizadas apresentaram valores menores de colônias após o processamento com A1 = $4,1 \times 10^7$ ufc/g e A2 = $1,62 \times 10^8$ ufc/g para *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus*; A1 = $3,0 \times 10^4$ ufc/g e A2 = $3,3 \times 10^5$ ufc/g para *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*. Kearney et al. (2009), utilizando atomização para processamento de iogurte em pó, obtiveram após o processamento $6,5 \times 10^7$ ufc/g e $3,0 \times 10^5$ ufc/g para *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* e *Lactobacillus delbrueckii* subsp.

bulgaricus, respectivamente, sendo que resultados similares foram encontrados por Izadi et al. (2014).

A adição de aditivos se mostrou eficiente para melhoria da sobrevivência das amostras atomizadas, Rascón-Díaz et al. (2012) também verificaram tal fato utilizando goma, pectina e gelatina como estabilizantes.

Tabela 6: Contagens populacionais de bactérias lácticas do iogurte em pó liofilizado ou atomizado.

Bactérias Lácticas	Amostras e Contagens Populacionais (ufc/g)				
	Natural*	A1	A2	L1	L2
<i>Streptococcus thermophilus</i>	4,76x10 ⁹	4,1x10 ⁷	1,62x10 ⁸	2,93x10 ⁹	2,1x10 ⁹
<i>Lactobacillus bulgaricus</i>	7,4x10 ⁷	3,0x10 ⁴	3,3x10 ⁵	4,7x10 ⁵	4,8x10 ⁵
Total	4,83x10 ⁹	4,1x10 ⁷	1,62x10 ⁸	2,94x10 ⁹	2,1x10 ⁹

L1 = iogurte liofilizado sem aditivos; L2 = iogurte liofilizado com aditivos (0,6 % de goma arábica, 15 % de maltodextrina); A1 = iogurte atomizado sem aditivos; A2 = iogurte liofilizado com aditivos (0,6 % de goma arábica, 15 % de maltodextrina).

Independentemente do processo, a redução do número de colônias de *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* foi maior que o de *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus*. O tamanho e estrutura das células bacterianas de Lactobacilos, maior e mais complexa, as tornam mais suscetíveis às injúrias do meio que os Estreptococos (FONSECA, BÉAL e CORRIEU, 2001). A desnaturação de macromoléculas (DNA e RNA), danos aos ribossomos, desidratação de células da membrana citoplasmáticas, peroxidação lipídica e ruptura da membrana celular são alguns exemplos do que acontecem com as células durante a secagem (BEHBOUDI-JOBBEHDAR et al., 2013). Os estudos de Kearney et al. (2009) também comprovaram uma maior sensibilidade do gênero Lactobacilos durante a desidratação do iogurte.

Rascón-Díaz et al. (2012) constataram reduções de 17×10^7 ufc/g para 17×10^5 ufc/g para *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* e 49×10^4 ufc/g para 11×10^3 ufc/g para *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, durante a secagem de iogurte por atomização. Já Rybka e Kailasapathy (1997) constataram uma redução de $1,2 \times 10^8$ ufc/g para 3×10^5 ufc/g de *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, e de $1,6 \times 10^9$ ufc/g para $7,6 \times 10^8$ ufc/g de *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* durante o processo de liofilização, o que comprova maior sensibilidade de Lactobacilos ao processo de secagem. Os estudos de Heckly (1961); Wang, Yu e Chou (2004) e Venir et al. (2007) apresentaram resultados semelhantes quanto a redução significativa das células de bactérias lácticas durante a produção de iogurte em pó .

4 CONCLUSÕES:

Embora estruturalmente diferentes, as amostras oriundas da liofilização e atomização apresentaram resultados semelhante para solubilidade. As amostras com aditivos foram mais solúveis, independente do processo de desidratação, a presença de aditivos também melhorou a molhabilidade no processo de liofilização, além da preservação de bactérias lácticas e manutenção da coloração no processo de atomização. No entanto, as amostras com aditivos liofilizadas apresentaram dificuldade de molhabilidade.

Tanto o processo de liofilização quanto o processo de atomização garantem pós com quantidades de bactérias lácticas acima do recomendado pela legislação brasileira. Entretanto, o processo de liofilização se mostrou mais eficiente na preservação das bactérias e na retenção dos compostos aromáticos. As amostras de iogurte em pó possuem um alto teor proteico e de cálcio, confirmando ser uma alternativa interessante de conservação e aumento de nicho de produtos associados ao leite fermentado.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- ABADIAS, M. et al. Viability, efficacy, and storage stability of freeze-dried biocontrol agent *Candida sake* using different protective and rehydration media. **Journal of Food Protection**, v. 64, n. 6, p. 856-861, 2001.
- AL-KADAMANY, E. et al. Determination of shelf life of concentrated yogurt (Labneh) produced by in-bag straining of set yogurt using hazard analysis. **Journal of dairy science**, v. 85, n. 5, p. 1023-1030, 2002.
- ANAL, A. K.; SINGH, H. Recent advances in microencapsulation of probiotics for industrial applications and targeted delivery. **Trends in Food Science & Technology**, v. 18, n. 5, p. 240-251, 2007.
- ANANTA, E.; VOLKERT, M.; KNORR, D. Cellular injuries and storage stability of spray-dried *Lactobacillus rhamnosus* GG. **International Dairy Journal**, v. 15, n. 4, p. 399-409, 2005.
- ANEMA, S. et al. Effects of storage temperature on the solubility of milk protein concentrate (MPC85). **Food Hydrocolloids**, v. 20, n. 2, p. 386-393, 2006.
- AOAC. **Official methods of analysis of AOAC International**. Gaithersburg: AOAC International 2010.
- ASSOCIATION, I. D. F. et al. **Dairy facts**. International Dairy Foods Association, 2003.
- ATALAR, I.; DERVISOGLU, M. Optimization of spray drying process parameters for kefir powder using response surface methodology. **LWT-Food Science and Technology**, v. 60, n. 2, p. 751-757, 2015.
- BARBOSA, J. et al. Comparison of spray drying, freeze drying and convective hot air drying for the production of a probiotic orange powder. **Journal of Functional Foods**, v. 17, p. 340-351, 2015.
- BARBOSA, S. J. **Qualidade de suco em pó de mistura de frutas obtido por spray drying**. 2010. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido, Universidade Estadual de Montes Claros-Unimontes
- BASTIÖGLU, A. Z.; DIRIM, S. N.; ERTEKIN, F. K. Moisture Sorption Isotherms of Yogurt Powder Containing Candied Chestnut Puree. **Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology**, v. 4, n. 8, p. 676-683, 2016.
- BEAL, C.; FONSECA, F.; CORRIEU, G. Resistance to freezing and frozen storage of *Streptococcus thermophilus* is related to membrane fatty acid composition. **Journal of Dairy Science**, v. 84, n. 11, p. 2347-2356, 2001.
- BEALES, N. Adaptation of microorganisms to cold temperatures, weak acid preservatives, low pH, and osmotic stress: a review. **Comprehensive Reviews in Food science and Food safety**, v. 3, n. 1, p. 1-20, 2004.
- BEHBOUDI-JOBBEHDAR, S. et al. Optimization of spray-drying process conditions for the production of maximally viable microencapsulated *L. acidophilus* NCIMB 701748. **Drying Technology**, v. 31, n. 11, p. 1274-1283, 2013.
- BIELECKA, M.; MAJKOWSKA, A. Effect of spray drying temperature of yoghurt on the survival of starter cultures, moisture content and sensoric properties of yoghurt powder. **Molecular Nutrition & Food Research**, v. 44, n. 4, p. 257-260, 2000.
- BIELECKA, M.; MAJKOWSKA, A. Effect of spray drying temperature of yoghurt on the survival of starter cultures, moisture content and sensoric properties of yoghurt powder. **Food/Nahrung**, v. 44, n. 4, p. 257-260, 2000.
- BOSS, E. A.; MACIEL FILHO, R.; DE TOLEDO, E. C. V. Freeze drying process: real time model and optimization. **Chemical engineering and processing: process intensification**, v. 43, n. 12, p. 1475-1485, 2004.

BOZA, Y.; BARBIN, D.; SCAMPARINI, A. Effect of spray-drying on the quality of encapsulated cells of *Beijerinckia* sp. **Process Biochemistry**, v. 39, n. 10, p. 1275-1284, 2004.

BOZOĞLU, T.; ÖZILGEN, M.; BAKIR, U. Survival kinetics of lactic acid starter cultures during and after freeze drying. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 9, n. 9, p. 531-537, 1987.

BRASIL. **REGULAMENTO TÉCNICO DE IDENTIDADE E QUALIDADE DE LEITE EM PÓ**. AGRÁRIA., M. D. A. D. A. E. D. R. Brasília: PORTARIA Nº 146 DE 07 DE MARÇO. 1996.

_____. **Instrução Normativa nº 46, de 23 de outubro de 2007. Adota o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Leites Fermentados**. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, P. E. A. Brasília: Diário Oficial da República Federativa do Brasil 2007a.

CANO-CHAUCA, M. et al. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 6, n. 4, p. 420-428, 2005.

CAPELA, P.; HAY, T.; SHAH, N. Effect of cryoprotectants, prebiotics and microencapsulation on survival of probiotic organisms in yoghurt and freeze-dried yoghurt. **Food Research International**, v. 39, n. 2, p. 203-211, 2006.

CARDONA, T. et al. Optimizing conditions for heat pump dehydration of lactic acid bacteria. **Drying technology**, v. 20, n. 8, p. 1611-1632, 2002.

CARVALHO, A. S. et al. Survival of freeze-dried *Lactobacillus plantarum* and *Lactobacillus rhamnosus* during storage in the presence of protectants. **Biotechnology letters**, v. 24, n. 19, p. 1587-1591, 2002.

CARVALHO, A. S. et al. Effects of Various Sugars Added to Growth and Drying Media upon Thermotolerance and Survival throughout Storage of Freeze-Dried *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus*. **Biotechnology Progress**, v. 20, n. 1, p. 248-254, 2004a.

_____. Relevant factors for the preparation of freeze-dried lactic acid bacteria. **International Dairy Journal**, v. 14, n. 10, p. 835-847, 2004b.

CARVALHO, M. J.; PEREZ-PALACIOS, T.; RUIZ-CARRASCAL, J. Physico-chemical and sensory characteristics of freeze-dried and air-dehydrated yogurt foam. **LWT-Food Science and Technology**, v. 80, p. 328-334, 2017.

CHÁVEZ, B.; LEDEBOER, A. Drying of probiotics: optimization of formulation and process to enhance storage survival. **Drying Technology**, v. 25, n. 7-8, p. 1193-1201, 2007.

CHEN, X. D.; PATEL, K. C. Micro-organism inactivation during drying of small droplets or thin-layer slabs—A critical review of existing kinetics models and an appraisal of the drying rate dependent model. **Journal of Food Engineering**, v. 82, n. 1, p. 1-10, 2007.

CHITRA, J.; DEB, S.; MISHRA, H. N. Selective fractionation of cholesterol from whole milk powder: optimisation of supercritical process conditions. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 50, n. 11, p. 2467-2474, 2015.

CHUTRTONG, J. The Dynamics of Microorganisms in Dried Yogurt Storages at Different Temperatures. **World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Biological, Biomolecular, Agricultural, Food and Biotechnological Engineering**, v. 8, n. 5, p. 459-461, 2014.

CONRAD, P. B. et al. Stabilization and Preservation of *Lactobacillus acidophilus* in Saccharide Matrices. **Cryobiology**, v. 41, n. 1, p. 17-24, 2000.

CORCORAN, B. et al. Comparative survival of probiotic lactobacilli spray-dried in the presence of prebiotic substances. **Journal of Applied Microbiology**, v. 96, n. 5, p. 1024-1039, 2004.

COSTA, E. et al. Effect of protective agents, rehydration media and initial cell concentration on viability of *Pantoea agglomerans* strain CPA-2 subjected to freeze-drying. **Journal of Applied Microbiology**, v. 89, n. 5, p. 793-800, 2000.

CRUZ, A. et al. Developing a prebiotic yogurt: Rheological, physico-chemical and microbiological aspects and adequacy of survival analysis methodology. **Journal of food engineering**, v. 114, n. 3, p. 323-330, 2013.

DA CUNHA, M. E. T. et al. Intolerância à lactose e alternativas tecnológicas. **Journal of Health Sciences**, v. 10, n. 2, 2015.

DA SILVA LANNES, S. C.; MEDEIROS, M. L. Processamento de achocolatado de cupuaçu por spray-dryer. **Brazilian journal of pharmaceutical sciences**, v. 39, n. 1, 2003.

DE ANTONI, G. et al. Trehalose, a cryoprotectant for *Lactobacillus bulgaricus*. **Cryobiology**, v. 26, n. 2, p. 149-153, 1989.

DE URRAZA, P.; DE ANTONI, G. Induced Cryotolerance of *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* LBB by Preincubation at Suboptimal Temperatures with a Fermentable Sugar. **Cryobiology**, v. 35, n. 2, p. 159-164, 1997.

DESMOND, C. et al. Environmental adaptation of probiotic lactobacilli towards improvement of performance during spray drying. **International Dairy Journal**, v. 11, n. 10, p. 801-808, 2001.

DIMITRELLOU, D. et al. Evaluation of thermally-dried *Kluyveromyces marxianus* as baker's yeast. **Food chemistry**, v. 115, n. 2, p. 691-696, 2009.

DOS SANTOS MATHIAS, T. R. et al. Avaliação do comportamento reológico de diferentes iogurtes comerciais/Rheological evaluation of different commercial yoghurts. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 16, n. 1, p. 12, 2013.

EFIUVWEVERE, B. et al. Mannitol-enhanced survival of *Lactococcus lactis* subjected to drying. **Applied microbiology and biotechnology**, v. 51, n. 1, p. 100-104, 1999.

ERGÜN, K. et al. Freeze drying of yoghurt with candied chestnut puree: survival of lactic acid bacteria and determination of physical properties. **Italian Journal of Food Science**, v. 25, n. 4, p. 470, 2013.

FANG, Y. et al. Functionality of milk protein concentrate: Effect of spray drying temperature. **Biochemical Engineering Journal**, v. 62, p. 101-105, 2011.

FANG, Y.; SELOMULYA, C.; CHEN, X. On measurement of food powder reconstitution properties. **Drying technology**, v. 26, n. 1, p. 3-14, 2007.

FARAH, J. S.; ARAUJO, C. B.; MELO, L. Analysis of yoghurts', whey-based beverages' and fermented milks' labels and differences on their sensory profiles and acceptance. **International Dairy Journal**, 2016.

FARAJI, H.; LINDSAY, R. C. Characterization of the antioxidant activity of sugars and polyhydric alcohols in fish oil emulsions. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 52, n. 23, p. 7164-7171, 2004.

_____. Antioxidant protection of bulk fish oils by dispersed sugars and polyhydric alcohols. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 53, n. 3, p. 736-744, 2005.

FELLOWS, P. J. et al. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**. Artmed, 2006.

FONSECA, C. R. et al. Physical properties of goat milk powder with soy lecithin added before spray drying. **International journal of food science & technology**, v. 46, n. 3, p. 608-611, 2011.

FONSECA, F.; BÉAL, C.; CORRIEU, G. Operating conditions that affect the resistance of lactic acid bacteria to freezing and frozen storage. **Cryobiology**, v. 43, n. 3, p. 189-198, 2001.

FONSECA, F. et al. Improvement of cryopreservation of *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* CFL1 with additives displaying different protective effects. **International dairy journal**, v. 13, n. 11, p. 917-926, 2003..

FOSCHINO, R.; FIORI, E.; GALLI, A. Survival and residual activity of *Lactobacillus acidophilus* frozen cultures under different conditions. **Journal of dairy research**, v. 63, n. 02, p. 295-303, 1996.

FOSTER, K. D.; BRONLUND, J. E.; PATERSON, A. T. The prediction of moisture sorption isotherms for dairy powders. **International Dairy Journal**, v. 15, n. 4, p. 411-418, 2005.

FREUDIG, B.; HOGEKAMP, S.; SCHUBERT, H. Dispersion of powders in liquids in a stirred vessel. **Chemical Engineering and Processing: Process Intensification**, v. 38, n. 4, p. 525-532, 1999.

FU, N.; CHEN, X. D. Towards a maximal cell survival in convective thermal drying processes. **Food Research International**, v. 44, n. 5, p. 1127-1149, 2011.

GIRGIS, H. S. et al. Stress adaptations of lactic acid bacteria. **Microbial stress adaptation and food safety**, p. 159-211, 2003.

GONÇALVEZ, D. et al. Effect of Thickeners on the Texture of stirred Yogurt. **Alimentos e Nutrição Araraquara**, v. 16, n. 3, p. 207-11, 2003.

GYAWALI, R.; IBRAHIM, S. A. Effects of hydrocolloids and processing conditions on acid whey production with reference to Greek yogurt. **Trends in Food Science & Technology**, v. 56, p. 61-76, 2016.

HAYALOGLU, A. et al. Mathematical modeling of drying characteristics of strained yoghurt in a convective type tray-dryer. **Journal of Food Engineering**, v. 78, n. 1, p. 109-117, 2007.

HECKLY, R. J. Preservation of bacteria by lyophilization. **Advances in applied microbiology**, v. 3, n. 1, 1961.

HIGL, B. et al. Impact of water activity, temperature, and physical state on the storage stability of *Lactobacillus paracasei* ssp. *paracasei* freeze-dried in a lactose matrix. **Biotechnology Progress**, v. 23, n. 4, p. 794-800, 2007.

HLA, P.; HOGEKAMP, S. Wetting behaviour of instantized cocoa beverage powders. **International journal of food science & technology**, v. 34, n. 4, p. 335-342, 1999.

HOGEKAMP, S.; SCHUBERT, H. Rehydration of food powders. **Food Science and Technology International**, v. 9, n. 3, p. 223-235, 2003.

HUBALEK, Z. Protectants used in the cryopreservation of microorganisms. **Cryobiology**, v. 46, n. 3, p. 205-229, 2003.

HUBÁLEK, Z. Protectants used in the cryopreservation of microorganisms. **Cryobiology**, v. 46, n. 3, p. 205-229, 2003.

HUNTER, R. Scales for the measurements of color difference. **the Measurement of Appearance. John Willy & Sons, New York**, p. 133-140, 1975.

HUTKINS, R. W. **Microbiology and technology of fermented foods**. John Wiley & Sons, 2008.

IGLESIAS, H. **Handbook of food isotherms: Water sorption parameters for food and food components**. Elsevier, 2012.

IZADI, M. et al. Optimisation of a pilot-scale spray drying process for probiotic yoghurt, using response surface methodology. **International Journal of Dairy Technology**, v. 67, n. 2, p. 211-219, 2014.

JAYA, S.; DAS, H. Glass transition and sticky point temperatures and stability/mobility diagram of fruit powders. **Food and Bioprocess Technology**, v. 2, n. 1, p. 89-95, 2009.

JULIANO, P.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. Food powders flowability characterization: theory, methods, and applications. **Annual review of food science and technology**, v. 1, p. 211-239, 2010.

KAYMAK-ERTEKIN, F.; GEDIK, A. Sorption isotherms and isosteric heat of sorption for grapes, apricots, apples and potatoes. **LWT-Food Science and Technology**, v. 37, n. 4, p. 429-438, 2004.

KEARNEY, N. et al. Development of a spray dried probiotic yoghurt containing *Lactobacillus paracasei* NFBC 338. **International Dairy Journal**, v. 19, n. 11, p. 684-689, 2009.

KILARA, A.; SHAHANI, K.; DAS, N. Effect of cryoprotective agents on freeze-drying and storage of lactic cultures. **Cult Dairy Prod J**, 1976.

KIM, E. H.-J.; CHEN, X. D.; PEARCE, D. Surface composition of industrial spray-dried milk powders. 1. Development of surface composition during manufacture. **Journal of Food Engineering**, v. 94, n. 2, p. 163-168, 2009a.

_____. Surface composition of industrial spray-dried milk powders. 2. Effects of spray drying conditions on the surface composition. **Journal of Food Engineering**, v. 94, n. 2, p. 169-181, 2009b.

_____. Surface composition of industrial spray-dried milk powders. 3. Changes in the surface composition during long-term storage. **Journal of food engineering**, v. 94, n. 2, p. 182-191, 2009c.

KIM, E. H. J.; CHEN, X. D.; PEARCE, D. Surface characterization of four industrial spray-dried dairy powders in relation to chemical composition, structure and wetting property. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 26, n. 3, p. 197-212, 2002.

KIM, S. S.; BHOWMIK, S. R. Survival of lactic acid bacteria during spray drying of plain yogurt. **Journal of Food Science**, v. 55, n. 4, p. 1008-1010, 1990.

_____. Moisture sorption isotherms of concentrated yogurt and microwave vacuum dried yogurt powder. **Journal of Food Engineering**, v. 21, n. 2, p. 157-175, 1994. KIM, S. S. et al. Survival of Lactic acid Bacteria during Microwave Vacuum-drying of Plain Yoghurt. **LWT - Food Science and Technology**, v. 30, n. 6, p. 573-577, 1997.

KITAMURA, Y. et al. Experimental vacuum spray drying of probiotic foods included with lactic acid bacteria. **Journal of food processing and preservation**, v. 33, n. 6, p. 714-726, 2009.

KOÇ, B. et al. Physical properties of yoghurt powder produced by spray drying. **Journal of food science and technology**, v. 51, n. 7, p. 1377-1383, 2014.

KOC, B. et al. Spray drying of yogurt: Optimization of process conditions for improving viability and other quality attributes. **Drying Technology**, v. 28, n. 4, p. 495-507, 2010.

KOKSOY, A.; KILIC, M. Use of hydrocolloids in textural stabilization of a yoghurt drink, ayran. **Food hydrocolloids**, v. 18, n. 4, p. 593-600, 2004.

KRASAEOOPT, W.; BHATIA, S. Production of yogurt powder using foam-mat drying. **AU Journal of Technology**, v. 15, n. 3, 2012.

KUMAR, P.; MISHRA, H. Storage stability of mango soy fortified yoghurt powder in two different packaging materials: HDPP and ALP. **Journal of Food Engineering**, v. 65, n. 4, p. 569-576, 2004.

KUMAR, P.; MISHRA, H. Yoghurt powder—A review of process technology, storage and utilization. **Food and Bioproducts Processing**, v. 82, n. 2, p. 133-142, 2004.

KUMAR, P.; MISHRA, H. Effect of stabilizer on drying characteristics and quality of mango soy fortified yoghurt. **European Food Research and Technology**, v. 220, n. 5-6, p. 483-488, 2005.

KUMAR, P.; MISHRA, H. N. Yoghurt Powder—A Review of Process Technology, Storage and Utilization. **Food and Bioproducts Processing**, v. 82, n. 2, p. 133-142, 6// 2004.

KUMAR, P.; MISHRA, H. N. Moisture sorption characteristics of mango- soy-fortified yogurt powder. **International journal of dairy technology**, v. 59, n. 1, p. 22-28, 2006.

KUROZAWA, L. E.; EL-AOUAR, Â. A.; MURR, F. E. Obtenção de isothermas de dessecção de cogumelo in natura e desidratado osmoticamente. **Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas**, v. 25, n. 4, p. 828-834, 2005.

LAIHO, S. et al. Effect of whey protein phase volume on the tribology, rheology and sensory properties of fat-free stirred yoghurts. **Food Hydrocolloids**, v. 67, p. 166-177, 2017.

LESLIE, S. B. et al. Trehalose and sucrose protect both membranes and proteins in intact bacteria during drying. **Applied and environmental microbiology**, v. 61, n. 10, p. 3592-3597, 1995.

LIAN, W.-C.; HSIAO, H.-C.; CHOU, C.-C. Survival of bifidobacteria after spray-drying. **International journal of food microbiology**, v. 74, n. 1, p. 79-86, 2002.

LIAPIS, A. I.; BRUTTINI, R. **Freeze Drying Handbook of industrial drying**. 3rd ed. 2006. p.259.

LIEVENSE, L.; VAN'T RIET, K. Convective drying of bacteria. In: (Ed.). **Biotechnics/Wastewater**: Springer, 1994. p.71-89.

LUTZ, I. A. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. **São Paulo: ANVISA**, 2008.

MADAMBA, P.; DRISCOLL, R.; BUCKLE, K. Predicting the sorption behaviour of garlic slices. **Drying Technology**, v. 12, n. 3, p. 669-683, 1994.

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 & technology**, v. 41, n. 5, p. 560-568, 2006.

MARQUES, L. G. Liofilização de frutas tropicais. **São Carlos: UFSCar**, 2008.

MASTERS, K.; HANDBOOK, S.-D. Longman Scientific and Technical. **Spray Drying Handbook**, 1990.

MATA, M. et al. Obtenção de Graviola em pó pelo processo de Liofilização. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 7, n. 2, p. 165-172, 2005.

MELO FILHO, A. B. D.; VASCONCELOS, M. A. D. S. Química dos Alimentos. 2016.

MESTRY, A.; MUJUMDAR, A.; THORAT, B. Optimization of spray drying of an innovative functional food: Fermented mixed juice of carrot and watermelon. **Drying Technology**, v. 29, n. 10, p. 1121-1131, 2011.

MEZHERICHER, M.; LEVY, A.; BORDE, I. Spray drying modelling based on advanced droplet drying kinetics. **Chemical Engineering and Processing: Process Intensification**, v. 49, n. 11, p. 1205-1213, 2010.

MORGAN, C. A. et al. Preservation of micro-organisms by drying; A review. **Journal of Microbiological Methods**, v. 66, n. 2, p. 183-193, 2006.

MULLINEUX, G.; SIMMONS, M. J. Effects of processing on shear rate of yoghurt. **Journal of food engineering**, v. 79, n. 3, p. 850-857, 2007.

NGUYEN, P. T. et al. Effect of different hydrocolloids on texture, rheology, tribology and sensory perception of texture and mouthfeel of low-fat pot-set yoghurt. **Food Hydrocolloids**, 2017.

NIJDAM, J.; LANGRISH, T. The effect of surface composition on the functional properties of milk powders. **Journal of Food Engineering**, v. 77, n. 4, p. 919-925, 2006.

OLIVEIRA, A. et al. Microencapsulation of *B. lactis* (BI 01) and *L. acidophilus* (LAC 4) by complex coacervation followed by spouted-bed drying. **Drying Technology**, v. 25, n. 10, p. 1687-1693, 2007.

PALMFELDT, J.; HAHN-HÄGERDAL, B. Influence of culture pH on survival of *Lactobacillus reuteri* subjected to freeze-drying. **International journal of food microbiology**, v. 55, n. 1, p. 235-238, 2000.

PAN, T.; XU, G.; GAO, F. Manufacture of yoghurt powder. **Shipin-Kexue**, v. 3, p. 18-21, 1994.

PANOFF, J.-M.; THAMMAVONGS, B.; GUÉGUEN, M. Cryoprotectants lead to phenotypic adaptation to freeze-thaw stress in *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* CIP 101027T. **Cryobiology**, v. 40, n. 3, p. 264-269, 2000.

PARAMITA, V. et al. Effect of additives on the morphology of spray-dried powder. **Drying Technology**, v. 28, n. 3, p. 323-329, 2010.

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

PEIGHAMBARDOUST, S.; TAFTI, A. G.; HESARI, J. Application of spray drying for preservation of lactic acid starter cultures: a review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 22, n. 5, p. 215-224, 2011.

PEREZ SILVA, A.; SALGADO CERVANTES, M.; GARCIA GALINDO, H. Acetaldehyde retention during spray drying of yoghurt. **Milchwissenschaft**, v. 52, n. 2, p. 89-93, 1997.

QUEIROZ, V.; FONTES, S. Experimental analysis of structural change and rheological behavior of macromolecular solutions with guar and xanthan gums in crossflow microfiltration processing. **Food and Bioprocess Technology**, v. 1, n. 2, p. 180-186, 2008.

RAMIREZ-FIGUEROA, E. et al. Addition of hydrocolloids to improve the functionality of spray dried yoghurt. **Milchwissenschaft**, v. 57, n. 2, p. 87-89, 2002.

RASCÓN-DÍAZ, M. P. et al. Spray drying yogurt incorporating hydrocolloids: structural analysis, acetaldehyde content, viable bacteria, and rheological properties. **Food and bioprocess technology**, v. 5, n. 2, p. 560-567, 2012.

RATHI, S. et al. Studies on the physico chemical properties of freeze dried dahi. **Indian Journal of Dairy Science**, v. 43, n. 2, p. 249-251, 1990.

RATTI, C. Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review. **Journal of food engineering**, v. 49, n. 4, p. 311-319, 2001.

RIVEROS, B.; FERRER, J.; BORQUEZ, R. Spray drying of a vaginal probiotic strain of *Lactobacillus acidophilus*. **Drying Technology**, v. 27, n. 1, p. 123-132, 2009.

ROSAS-FLORES, W.; RAMOS-RAMÍREZ, E. G.; SALAZAR-MONTOYA, J. A. Microencapsulation of *Lactobacillus helveticus* and *Lactobacillus delbrueckii* using alginate and gellan gum. **Carbohydrate polymers**, v. 98, n. 1, p. 1011-1017, 2013.

ROUSTAPOUR, O. R. et al. A proposed numerical–experimental method for drying kinetics in a spray dryer. **Journal of food engineering**, v. 90, n. 1, p. 20-26, 2009.

ROUTRAY, W.; MISHRA, H. Sensory evaluation of different drinks formulated from dahi (indian yogurt) powder using fuzzy logic. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 36, n. 1, p. 1-10, 2012.

ROUTRAY, W.; MISHRA, H. N. Scientific and technical aspects of yogurt aroma and taste: a review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 10, n. 4, p. 208-220, 2011.

RYBKA, S.; KAILASAPATHY, K. The survival of culture bacteria in fresh and freeze-dried AB yoghurts. **Australian Journal of Dairy Technology**, v. 50, n. 2, p. 51-57, 1995. _____.

Effect of freeze drying and storage on the microbiological and physical properties of AB-yoghurt. **Milchwissenschaft**, v. 52, n. 7, p. 390-394, 1997.

SAAD, S. M. I.; CRUZ, A. G. D.; FARIA, J. D. A. F. Probióticos e prebióticos em alimentos: fundamentos e aplicações tecnológicas. In: (Ed.). **Probióticos e prebióticos em alimentos: fundamentos e aplicações tecnológicas**: Varela, 2011.

SAARELA, M. et al. Influence of fermentation time, cryoprotectant and neutralization of cell concentrate on freeze-drying survival, storage stability, and acid and bile exposure of *Bifidobacterium animalis* ssp. *lactis* cells produced without milk-based ingredients. **Journal of applied microbiology**, v. 99, n. 6, p. 1330-1339, 2005.

SACKS, F. M.; KATAN, M. Randomized clinical trials on the effects of dietary fat and carbohydrate on plasma lipoproteins and cardiovascular disease. **The American journal of medicine**, v. 113, n. 9, p. 13-24, 2002.

SAFFARI, M.; LANGRISH, T. Effect of lactic acid in-process crystallization of lactose/protein powders during spray drying. **Journal of Food Engineering**, v. 137, p. 88-94, 2014.

SAKIN-YILMAZER, M. et al. Yoghurt with candied chestnut: freeze drying, physical, and rheological behaviour. **Journal of food science and technology**, v. 51, n. 12, p. 3949-3955, 2014.

SAKIN-YILMAZER, M. et al. Rheological behavior of reconstituted yoghurt powder—An optimization study. **Powder Technology**, v. 266, p. 433-439, 2014.

SANTIVARANGKNA, C.; HIGL, B.; FOERST, P. Protection mechanisms of sugars during different stages of preparation process of dried lactic acid starter cultures. **Food Microbiology**, v. 25, n. 3, p. 429-441, 2008.

SANTIVARANGKNA, C.; KULOZIK, U.; FOERST, P. Effect of carbohydrates on the survival of *Lactobacillus helveticus* during vacuum drying. **Letters in applied microbiology**, v. 42, n. 3, p. 271-276, 2006.

_____. Inactivation mechanisms of lactic acid starter cultures preserved by drying processes. **Journal of Applied Microbiology**, v. 105, n. 1, p. 1-13, 2008.

SANTOS, G. D. **ESTUDO DO PROCESSO DE OBTENÇÃO DE IOGURTE LIOFILIZADO “EM PÓ” E AVALIAÇÃO DE SUA QUALIDADE NUTRICIONAL E SENSORIAL**. 2012. Dissertação (Mestrado). Departamento de tecnologia em Alimentos, Universidade Federal de Sergipe, São cristóvão.

SCHUBERT, H. Instantization of powdered food products. **International Chemical Engineering**, v. 33, n. 1, p. 28-45, 1993.

SERHAN, M.; MATTAR, J.; DEBS, L. Concentrated yogurt (Labneh) made of a mixture of goats' and cows' milk: Physicochemical, microbiological and sensory analysis. **Small Ruminant Research**, v. 138, p. 46-52, 2016.

SHARMA, N.; ARORA, C. Influence of product thickness, chamber pressure and heating conditions on production rate of freeze-dried yoghurt. **International journal of refrigeration**, v. 18, n. 5, p. 297-307, 1995.

SHARMA, N.; ARORA, C.; MITAL, B. INFLUENCE of CONCENTRATION of MILK SOLIDS ON FREEZE-DRYING RATE of YOGHURT and ITS QUALITY¹. **Journal of food process engineering**, v. 15, n. 3, p. 187-198, 1992.

SHARMA, R. et al. Standardization of lyophilization medium for *Streptococcus thermophilus* subjected to viability escalation on freeze drying. **Microbiology Research**, v. 5, n. 1, 2014.

SILVA, F. D. A.; AZEVEDO, C. D. A new version of the assistat-statistical assistance software. World Congress on computers in agriculture, 2006, American Society of Agricultural Engineers Orlando. p.393-396.

SILVA, J. et al. Effect of the pH of growth on the survival of *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* to stress conditions during spray-drying. **Journal of applied microbiology**, v. 98, n. 3, p. 775-782, 2005.

SILVA, J. et al. Bacteriocin production by spray-dried lactic acid bacteria. **Letters in Applied Microbiology**, v. 34, n. 2, p. 77-81, 2002.

SIMPSON, P. et al. Intrinsic tolerance of *Bifidobacterium* species to heat and oxygen and survival following spray drying and storage. **Journal of Applied Microbiology**, v. 99, n. 3, p. 493-501, 2005.

SMITTLE, R.; GILLILAND, S.; SPECK, M. Death of *Lactobacillus bulgaricus* resulting from liquid nitrogen freezing. **Applied microbiology**, v. 24, n. 4, p. 551-554, 1972.

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

SOHAIL, A. et al. The viability of *Lactobacillus rhamnosus* GG and *Lactobacillus acidophilus* NCFM following double encapsulation in alginate and maltodextrin. **Food and Bioprocess Technology**, p. 1-7, 2013.

STEFFE, J. F. **Rheological methods in food process engineering**. Freeman press, 1996.

STENCL, J. Modelling the water sorption isotherms of yoghurt powder spray. **Mathematics and computers in simulation**, v. 65, n. 1, p. 157-164, 2004.

STRASSER, S. et al. Influence of lyophilization, fluidized bed drying, addition of protectants, and storage on the viability of lactic acid bacteria. **Journal of applied microbiology**, v. 107, n. 1, p. 167-177, 2009.

SUNNY-ROBERTS, E.; KNORR, D. The protective effect of monosodium glutamate on survival of *Lactobacillus rhamnosus* GG and *Lactobacillus rhamnosus* E-97800 (E800) strains during spray-drying and storage in trehalose-containing powders. **International Dairy Journal**, v. 19, n. 4, p. 209-214, 2009.

TAMIME, A.; ROBINSON, R. Traditional and recent developments in yoghurt production and related products. **Tamime and Robinson's yoghurt: science and technology**, n. Ed. 3, p. 348-467, 2007.

TEIXEIRA, P.; CASTRO, H.; KIRBY, R. Spray drying as a method for preparing concentrated cultures of *Lactobacillus bulgaricus*. **Journal of Applied Bacteriology**, v. 78, n. 4, p. 456-462, 1995.

_____. Evidence of membrane lipid oxidation of spray-dried *Lactobacillus bulgaricus* during storage. **Letters in Applied Microbiology**, v. 22, n. 1, p. 34-38, 1996.

TONIAZZO, T. et al. β -carotene-loaded liposome dispersions stabilized with xanthan and guar gums: Physico-chemical stability and feasibility of application in yogurt. **LWT-Food Science and Technology**, v. 59, n. 2, p. 1265-1273, 2014.

TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. **Journal of Food Engineering**, v. 88, n. 3, p. 411-418, 2008.

TRIBOLI, E. P. D. R.; GUT, J. A. W. Study of Spray-dried Yoghurt Production in a Pilot-scale Equipment Using Drying Agents to Reduce Wall Deposition. **International Journal of Food Engineering**, v. 12, n. 8, p. 793-803, 2016.

TYMCZYSZYN, E. E. et al. Critical water activity for the preservation of *Lactobacillus bulgaricus* by vacuum drying. **International journal of food microbiology**, v. 128, n. 2, p. 342-347, 2008.

VAN DEN BERG, J. **Dairy technology in the tropics and subtropics**. Pudoc, 1988.

VARGHESE K, S.; RAMACHANDRANNAIR, S. V.; MISHRA, H. N. Moisture sorption characteristics of curd (Indian yogurt) powder. **International Journal of Dairy Technology**, v. 62, n. 1, p. 85-92, 2009.

VELARDI, S. A.; BARRESI, A. A. Development of simplified models for the freeze-drying process and investigation of the optimal operating conditions. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 86, n. 1, p. 9-22, 2008.

VENIR, E. et al. Preparation of freeze-dried yoghurt as a space food. **Journal of food engineering**, v. 80, n. 2, p. 402-407, 2007.

VISSOTTO, F. Z. et al. Avaliação da influência dos processos de lecitinação e de aglomeração nas propriedades físicas de achocolatado em pó. **Ciênc. Tecnol. Aliment**, v. 26, n. 3, p. 666-671, 2006.

WALSTRA, P. G., T. J.; NOOMEN, A.; JELLEMA, A. B., M. A. J. S. . **CIENCIA DE LA LECHE Y TECNOLOGÍA DE LOS PRODUCTOS LACTEOS**. p.729. 2001

WANG, Y.-C.; YU, R.-C.; CHOU, C.-C. Viability of lactic acid bacteria and bifidobacteria in fermented soymilk after drying, subsequent rehydration and storage. **International Journal of Food Microbiology**, v. 93, n. 2, p. 209-217, 2004.

- WANG, Y.; CORRIEU, G.; BÉAL, C. Fermentation pH and temperature influence the cryotolerance of *Lactobacillus acidophilus* RD758. **Journal of Dairy Science**, v. 88, n. 1, p. 21-29, 2005.
- WIRJANTORO, T. I.; PHIANMONGKHOL, A. The viability of lactic acid bacteria and *Bifidobacterium bifidum* in yoghurt powder during storage. **Journal of Natural Sciences**, v. 8, n. 1, p. 95-104, 2009.
- WU, W. D. et al. Towards spray drying of high solids dairy liquid: Effects of feed solid content on particle structure and functionality. **Journal of Food Engineering**, v. 123, p. 130-135, 2014.
- YILMAZ, M. T.; SERT, D.; KARAKAYA, M. The effect of interaction on the functional properties of dairy powder solutions. **Australian Journal of Dairy Technology**, v. 65, n. 1, p. 15, 2010.
- ZARE, F. et al. Microbial, physical and sensory properties of yogurt supplemented with lentil flour. **Food Research International**, v. 44, n. 8, p. 2482-2488, 2011. ISSN 0963-9969.
- ZAVAGLIA, A. G.; DISALVO, E. A.; DE ANTONI, G. L. Fatty acid composition and freeze-thaw resistance in lactobacilli. **Journal of Dairy Research**, v. 67, n. 02, p. 241-247, 2000.
- ZOURARI, A.; ACCOLAS, J.; DESMAZEAUD, M. Metabolism and biochemical characteristics of yogurt bacteria. A review. **Le lait**, v. 72, n. 1, p. 1-34, 1992.

CAPÍTULO IV

CARACTERIZAÇÃO REOLÓGICA DO IOGURTE REIDRATADO E SOBREVIVÊNCIA DE BACTÉRIAS LÁCTICAS AO LONGO DO ARMAZENAMENTO DO IOGURTE EM PÓ

CARACTERIZAÇÃO REOLÓGICA DO IOGURTE REIDRATADO E SOBREVIVÊNCIA DE BACTÉRIAS LÁCTICAS AO LONGO DO ARMAZENAMENTO DO IOGURTE EM PÓ

RESUMO

A atomização e a liofilização são processos de secagem que podem ser aplicados na conservação de produtos lácteos. Apesar de incomum, sua aplicação no processamento de iogurte pode garantir uma maior estabilidade do produto, estendendo assim sua vida útil. Para que um produto em pó tenha qualidade é necessário que ele tenha características reológicas, nutricionais e sensoriais próximas às do produto natural. Diante disto, o presente trabalho tem por objetivo caracterizar reologicamente o iogurte reidratado e avaliar a viabilidade das bactérias lácticas do iogurte em pó, sob diferentes condições de armazenamento. Foram realizadas análises reológicas por meio de um reômetro rotacional ThermoHaake MARS (KARLSRUHE, ALEMANHA), equipado com geometria placa/placa, com 35 mm de diâmetro. Também foram realizadas análises físico-químicas e microbiológicas de 4 amostras de iogurte em pó, atomizado sem aditivos (A1), atomizado com 0,6 % de goma arábica e 15 % de maltodextrina (A2), liofilizado sem aditivos (L1) e liofilizado com 0,6 % de goma arábica e 15 % de maltodextrina (L2) armazenadas a 6 °C e 30 °C, sendo realizadas análises a cada 15 dias. O tempo de armazenamento foi limitado pela sobrevivência das bactérias lácticas. Todas as amostras de iogurte apresentaram comportamento não newtoniano pseudoplástico. Os modelos de Ostwald-de-Waele e Herschel-Bulkley mostraram-se ajustados à caracterização reológica das amostras reidratadas de iogurte em pó. A umidade e a atividade de água permaneceram baixas ao longo do armazenamento, e a coloração e a solubilidade das amostras praticamente inalteradas. A atomização e a liofilização conservaram a viabilidade das bactérias lácticas acima do recomendado pela legislação brasileira por mais de 150 dias se armazenado a 6 °C. Quando armazenadas a 30 °C, a viabilidade foi de 30 dias para amostras atomizadas e 60 dias para amostras liofilizadas sem aditivos, entretanto, para amostras com aditivos o tempo armazenamento foi de até 45 dias para atomizadas e até 120 dias para liofilizadas. Todas as amostras apresentaram viabilidade de bactérias lácticas por tempos de armazenamento muito superiores ao do iogurte tradicional, o que confirma ambos os métodos de secagem como eficientes para conservação do iogurte.

Palavras – Chave: Viscosidade, Armazenamento, Atomização, Liofilização.

RHEOLOGICAL CHARACTERIZATION OF REHYDRATED YOGURT AND SURVIVAL OF DAIRY BACTERIA THROUGH YOGURT POWDER STORAGE

ABSTRACT

Spray drying and freeze drying are processes that can be applied in the preservation of dairy products. Although unusual, its application in the yogurt processing may guarantee a greater stability for the product, extending its shelf life. In order to have a powdered product with quality, it is necessary to have rheological, nutritional and sensorial characteristics that are close to the natural product. Therefore, the objective of the present work is to characterize rheologically the rehydrated yogurt and to evaluate the viability of lactic bacteria in the yogurt powder under different storage conditions. Rheological analyses were carried out using a ThermoHaake MARS rotational rheometer (KARLSRUHE, GERMANY), equipped with plate/plate geometry with a diameter of 35 mm. We also performed physicochemical and microbiological analyses of 4 samples: spray dried without additives (A1), spray dried with 0.6 % of gum arabic and 15 % of maltodextrin (A2), freeze dried without additives (L1) and freeze dried with 0.6 % of gum arabic and 15 % of maltodextrin (L2) stored at 6 °C and 30 °C. The samples were analyzed every 15 days. Storage time was limited by the survival of lactic acid bacteria. All the yogurt samples presented pseudoplastic and thixotropic non-Newtonian behavior. The Ostwald-de-Waele and Herschel-Bulkley models were also well adjusted to the rheological data of the rehydrated samples of yogurt powder. The moisture and water activity remained low throughout the storage, and the coloration and solubility of the samples remained virtually unchanged. Spray drying and freeze drying preserved the viability of lactic acid bacteria above that recommended by the Brazilian legislation for more than 150 days, if stored at 6 °C. When stored at 30 °C, the viability was 30 days for spray dried samples and 60 days for freeze dried samples without additives. However, samples with additives achieved storage of 45 days for spray dried and 120 days for freeze dried. All samples showed viability of lactic acid bacteria for storage times much longer than traditional yogurt, which confirms both drying methods as efficient for yogurt preservation.

Keywords: Viscosity, Storage, Spray Drying, Freeze Drying.

1 INTRODUÇÃO

O iogurte é um leite fermentado amplamente consumido internacionalmente e também conhecido pelos seus benefícios à saúde, valor nutricional e digestibilidade (NGUYEN et al., 2017). Nos últimos anos, variedades de iogurte tornaram-se cada vez mais populares no mercado, como produtos ricos em ômega 3, probióticos, prebióticos, baixo teor de gordura, sem lactose, etc. No entanto, o iogurte em pó ainda é pouco conhecido no mercado brasileiro (TAMIME, e ROBINSON, 2007; SAAD, CRUZ e FARIA, 2011; ERGÜN et al., 2013).

A desidratação tem por objetivo prolongar a vida útil do iogurte que, em condições de refrigeração, dura de 14 a 21 dias (AL-KADAMANY et al., 2002). Vários métodos como leite fluidizado, secagem a vácuo, secagem convectiva, leite de jorro, micro-ondas, têm sido objetos de estudos para desidratação do iogurte. Entretanto, a liofilização e a atomização destacam-se como os métodos mais eficientes para obtenção de lácteos desidratados (HAYALOGLU et al., 2007; VENIR et al., 2007; TYMCZYSZYN et al., 2008; KOÇ et al., 2014).

A secagem por *spray drying* ou atomização consiste na transformação de produtos líquidos em pós, através de um sistema centrífugo ou de alta pressão, onde as gotículas atomizadas entram imediatamente em contato com um fluxo de ar quente, ocorrendo a imediata evaporação da água. O processo tem como vantagem a alta produtividade e baixo custo, principalmente se comparado à liofilização (VELARDI e BARRESI, 2008). O processo de secagem a frio ou liofilização consiste na remoção da água de um produto por sublimação, sob pressão negativa (vácuo). Esta forma de desidratação mantém as características sensoriais, biológicas e nutricionais do produto seco próximo às do produto fresco. Entretanto, a liofilização tem como principal inconveniente os altos custos em instalações e operação (MEZHERICHER, LEVY e BORDE, 2010).

O iogurte em pó pode ampliar o nicho de produtos no mercado de leites fermentados e ser utilizado como ingrediente ou suplemento de sucos, biscoitos, sorvetes, doces, bebidas lácteas; substituindo o leite em pó em receitas, agregando assim valor nutricional e funcional a esses produtos. Além disso, o processo de secagem garante maior estabilidade ao produto e redução de custos com transporte e armazenamento (KUMAR e MISHRA, 2004; TAMIME, e ROBINSON, 2007; BASTIOĞLU, DIRIM e ERTEKIN, 2016).

A estabilidade microbiológica do iogurte é muito importante por se tratar de um bioproduto, as bactérias responsáveis pela fermentação, *Streptococcus salvarius* subsp. *thermophilus* e *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, devem estar presentes em um mínimo de 10^7 ufc/g durante a vida útil (BRASIL, 2007). Vários fatores contribuem para diminuição de células viáveis ao longo do armazenamento do iogurte, como redução de substrato, aumento de células e metabólitos (ácido láctico, ácido acético, acetaldeído, CO_2), (AL-KADAMANY et al., 2002).

Outro fator importe no processamento de iogurte é a qualidade reológica do produto. Segundo Routray e Mishra (2012), a homogeneidade é um dos principais fatores para aceitação do iogurte, e essa característica pode ser bastante afetada pelo processo de desidratação. O iogurte é um gel formado por uma rede tridimensional de proteínas, o processo de secagem afeta irreversivelmente essa estrutura causando diminuição da consistência do produto reidratado (RYBKA e KAILASAPATHY, 1997; LAIHO et al., 2017).

Os estabilizadores hidrocoloides, como a gelatina, alginato, carboximetilcelulose, gomas e pectina, são frequentemente adicionados para manter ou melhorar propriedades reológicas e de textura do iogurte (NGUYEN et al., 2017). Rascón-Díaz et al. (2012)

constatarem uma melhoria na aceitação e qualidade do iogurte em pó reidratado quando utilizaram goma, pectina e gelatina como estabilizantes.

Os fluídos são geralmente caracterizados por análises gráficas de cisalhamento como uma função da taxa de cisalhamento. Dependendo do seu comportamento sob forças de cisalhamento impostas, os materiais são classificados como fluidos newtonianos ou não newtonianos. O iogurte é um fluido não newtoniano pseudoplástico - toxiótico. Sua viscosidade diminui com o aumento taxa de cisalhamento, assim como seu comportamento pode ser representado pela relação entre a taxa de cisalhamento e o tempo para cisalhamento (MAGENIS et al., 2006; MULLINEUX e SIMMONS, 2007; QUEIROZ e FONTES, 2008). Diante disto, o presente trabalho tem por objetivo caracterizar reologicamente o iogurte reidratado e avaliar a viabilidade das bactérias lácticas do iogurte em pó, sob diferentes condições de armazenamento.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Análises foram realizadas nos laboratórios da Embrapa Agroindústria de Alimentos e no laboratório de microbiologia do Departamento de Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Foram realizadas análises físico-químicas, microbiológicas e reológicas de 4 amostras de iogurte em pó, atomizado sem aditivos (A1), atomizado com 0,6 % de goma arábica e 15 % de maltodextrina (A2), liofilizado sem aditivos (L1) e liofilizado com 0,6 % de goma arábica e 15 % de maltodextrina (L2).

2.1 Material

Foi utilizado iogurte natural produzido segundo KEARNEY et al. (2009), maltodextrina *MOR-REX*® 1910 (DE 10), produzida pela Corn Products (MOGI-GUAÇU, BRASIL) como agente carreador e goma arábica *Instantgum BA*®, produzida pela Colloides Naturels Brasil (SÃO PAULO, BRASIL) como estabilizante.

2.2 Processamento do Iogurte Liofilizado

As amostras de iogurte foram depositadas em bandejas de aço inoxidável (150 mm /250 mm) e acondicionadas no liofilizador (Bocedwards) à temperatura de -40 ± 2 °C por 4 horas e, após o congelamento, a bomba de vácuo foi acionada a uma pressão mínima de 0,18 mbar por 24 horas, até peso constante. Depois de desidratadas, as amostras foram armazenadas em embalagens laminadas compostas por polipropileno e alumínio, seladas a vácuo em seladora de marca TEC MAQ, Modelo AP 500 (ERGÜN et al., 2013).

2.3 Processamento do Iogurte Atomizado

A secagem por atomização do iogurte foi realizada em um atomizador Niro com disco rotativo com 4 orifícios de alimentação de 1 mm de diâmetro, velocidade do ar $730 \text{ m}^3/\text{min}$. A alimentação do secador foi realizada por meio de uma bomba peristáltica com vazão de 10 L.h^{-1} . As temperaturas de entrada e saída do ar foram 170 e 80 °C, respectivamente, e a temperatura de alimentação de 15 °C (KEARNEY et al., 2009). Em seguida, foram armazenadas em embalagens laminadas compostas por polipropileno e alumínio, seladas a vácuo em seladora da marca TEC MAQ, Modelo AP 500.

2.4 Preparação do Iogurte Reidratado

As amostras foram reidratadas com 60 % da umidade perdida durante o processo de desidratação, pois segundo Venir et al. (2007), as amostras com esse percentual de sólidos são mais bem aceitas por terem características de texturas parecidas com a do iogurte natural. Inicialmente, todas as amostras de iogurte foram igualmente submetidas à agitação em *mixer* por um minuto, em velocidade de rotação de 150 RPM e, em seguida, permaneceram em repouso por dez minutos a 18 °C (PASEEPHOL et al., 2008; SODINI et al., 2005).

2.5 Análise Reológica

As análises reológicas foram realizadas em triplicata, em reômetro rotacional Thermo Haake MARS (Karlsruhe, Alemanha), equipado com geometria placa/placa, com 35 mm de diâmetro, disponibilizado na EMBRAPA Agroindústria de Alimentos – Rio de Janeiro. Foi utilizado um *gap* (espaço delimitado entre as placas) de 1 mm e um volume de amostra de 1 mL, conforme indicado pelo *software* do referido equipamento. O reômetro possui controlador de temperatura Haake Mars Controller do tipo Peltier, cujo valor foi ajustado a 8 °C (GONÇALVEZ et al., 2005; SODINI et al., 2005).

As curvas de fluxo e de viscosidade foram obtidas pela determinação da tensão e da viscosidade em função da taxa de cisalhamento, respectivamente. A taxa variou entre 0,02 e 100 s⁻¹ (curva ascendente) e entre 100 e 0,02 s⁻¹ (curva descendente). Antes da medição, a amostra fresca foi submetida à mistura do mesmo modo que as amostras reconstituídas, para satisfazer a comparabilidade termo-mecânica.

Tabela 1. Modelos para ajustes reológicos.

Nome do modelo	Modelo
Ostwald de Weale	$\tau = k \cdot \gamma^n$
Herschel-Bukley	$\tau = \tau_0 + k \cdot \gamma^n$
Bingham	$\tau = \tau_0 + \eta_p \cdot \gamma$
Casson	$\tau^{0.5} = \tau_0^{0.5} + k \cdot (\gamma^{0.5})$

em que: η = viscosidade (Pa.s); K = índice de consistência (Pa.sⁿ); n = índice de escoamento (adimensional); τ = tensão de cisalhamento (Pa); γ = taxa de deformação (s⁻¹); η_p = viscosidade plástica; τ_0 = limite de escoamento;

2.6 Vida Útil

As amostras de iogurte atomizadas (A1 e A2) e liofilizadas (L1 e L2) foram armazenadas a 6 °C e 30 °C, sendo realizadas análises de umidade, atividade de água (a_w), solubilidade e contagens de bactérias lácticas a cada 15 dias. O tempo de armazenamento foi limitado pela sobrevivência das bactérias lácticas.

2.7 Análise Estatística

Para as análises físico-químicas, foi realizado um delineamento experimental inteiramente casualizado, com três repetições de cada experimento. Os resultados foram expressos como médias. Aplicou-se o teste de Tukey a 5 % de significância, para detecção de diferenças entre as médias dos diferentes tratamentos, através do software de estatística ASSISTAT versão 7.6 beta (SILVA e AZEVEDO, 2006). Os dados reológicos foram modelados utilizando o software Statistic 6.0. Os parâmetros dos modelos reológicos foram

estimados a partir dos resultados experimentais, utilizando-se análise de regressão não linear, objetivando a minimização da soma residual dos quadrados (RMSE, proveniente do termo em inglês *Root Mean Square Error*), definido como:

$$\% \text{ RMSE} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{|M_{exp} - M_{cal}|}{M_{exp}} \right)^2 \times 100.$$

Onde M_{exp} e M_{cal} são valores experimentais e preditos de umidade, respectivamente, e N é o número de dados experimentais. Um modelo é considerado aceitável se o valor de RMSE estiver abaixo de 10 % e os valores de R forem superiores a 0,9 (KAYMAK e GEDIK, 2004; BASTIOĞLU e ERTEKIN, 2016).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Reologia

A Figura 1 representa a relação entre a tensão e a taxa de cisalhamento das amostras. Observando-a é perceptível a não linearidade da curva, o que demonstra que as amostras são não newtonianas.

Segundo Cruz, et al. (2013) e Sakin-Yilmazer, et al. (2014) o iogurte natural é um exemplo de material tixotropico. No entanto, a secagem provoca uma perda irreversível na matriz estrutural do iogurte, fazendo com que as amostras processadas tenham um menor tempo de dependência.

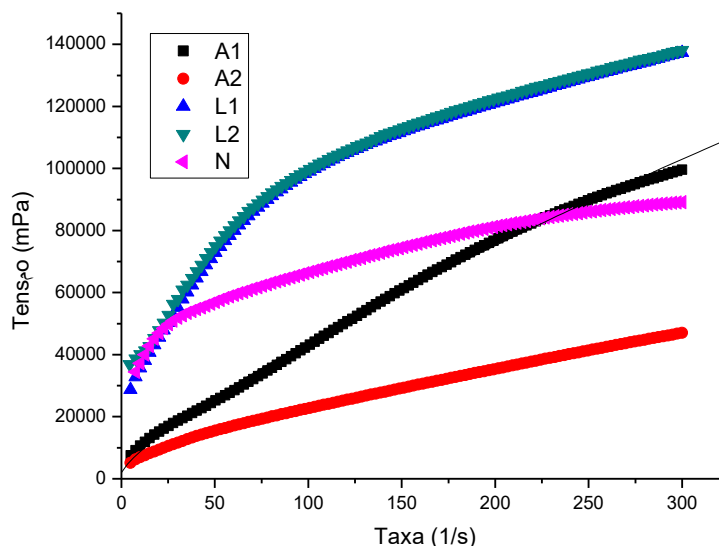


Figura 1. Curvas de fluxo do iogurte atomizado ou liofilizado, sendo N = natural; L1 = iogurte liofilizado sem aditivos; L2 = iogurte liofilizado com aditivos (0,6 % de goma arábica, 15 % de maltodextrina); A1 = iogurte atomizado sem aditivos; A2 = iogurte liofilizado com aditivos (0,6 % de goma arábica, 15 % de maltodextrina).

A relação entre viscosidade e taxa de cisalhamento esta representada na figura 2. A diminuição da viscosidade com o aumento da taxa de cisalhamento classifica as amostras como pseudoplásticas. Segundo Magenis et al. (2006), isso pode ocorrer em razão do enfraquecimento das interações existentes entre as moléculas do produto e da diminuição da energia de interação. Rascón-Díaz et al. (2012) também observaram esse comportamento estudando a reologia de iogurte em pó atomizado reidratado e adicionado de outros hidrocoloides como pectina, goma guar e carragena. Outros estudos confirmam o iogurte como fluido pseudoplástico (GONÇALVEZ et al., 2003; PASEEPHOL, SMALL e SHERKAT, 2008; DOS SANTOS MATHIAS et al., 2013).

Embora todas as amostras secas tenham sido reidratadas com 60% da água perdida durante o processo de secagem, as amostras liofilizadas apresentaram maior viscosidade média ($L1 = 1005,10$ mPa.s e $L2 = 1052,96$ mPa.s) se comparado as amostras atomizadas ($A1 = 452,01$ mPa.s e $A2 = 241,06$ mPa.s), isso deve-se supostamente à maior facilidade de reconstituição das amostras liofilizadas, que sofrem menos danos estruturais durante o processo de secagem. Sakin-Yilmazer et al. (2014) e Koc et al. (2010) consideram o valor de viscosidade de 1160mPa.s como ideais para aceitação do iogurte. Esta diminuição da viscosidade dos iogurtes reconstituídos sugerem que a microestrutura dos iogurtes pode ter sido interrompido pelo processo de secagem por pulverização.

A amostra natural teve valor de 907.13 mPa.s, valor este próximo aos das amostras liofilizadas. Segundo Sakin-Yilmazer et al. (2014), o uso e consumo de iogurte seco após reconstituição exige um comportamento reológico comparável aos iogurtes frescos, uma vez que as propriedades reológicas e estruturais de iogurte são muito relacionadas com os critérios sensoriais de qualidade como maciez, consistência na boca e na colher, que afetam diretamente a aceitação do consumidor. Os autores reidrataram o iogurte em pó para que tivessem diferentes concentrações de sólidos no produto final e chegaram à conclusão que a concentração de 30 % era a que apresentava as características reológicas mais próximas às do produto tradicional com 14 % de sólidos.

A diminuição da capacidade de retenção de água das amostras desidratadas é atribuída à desnaturação de proteínas e a destruição da rede tridimensional. No entanto, segundo Rybka e Kailasapathy (1997) e Venir et al. (2007) a possível causa para o enfraquecimento estrutural do produto reconstituído poderia derivar da energia mecânica necessária para incorporar água durante a reidratação.

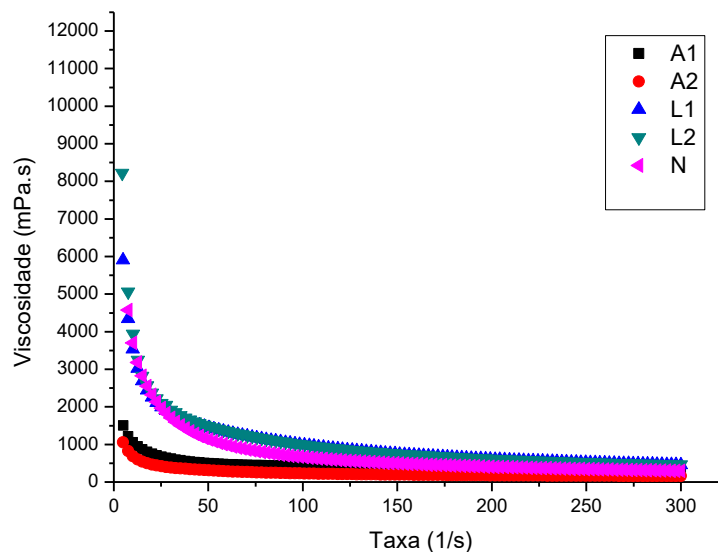


Figura 2. Curvas de viscosidade do iogurte atomizado ou liofilizado, sendo N = natural; L1 = iogurte liofilizado sem aditivos; L2 = iogurte liofilizado com aditivos (0,6 % de goma arábica, 15 % de maltodextrina); A1 = iogurte atomizado sem aditivos; A2 = iogurte atomizado com aditivos (0,6 % de goma arábica, 15 % de maltodextrina).

3.1.1 Modelos Matemáticos

Foram utilizados quatro modelos reológicos, ajustados às curvas ascendentes de fluxo das amostras de iogurte, cujos valores dos parâmetros e dos coeficientes de regressão r de cada modelo são apresentados na Tabela 2.

Tanto o modelo de Ostwald-de-Waele, como o de Herschel-Bulkley, considera a relação não linear entre a tensão e a taxa de cisalhamento. Porém, este modelo não leva em consideração a tensão limite de escoamento (τ_0) (DOS SANTOS MATHIAS et al., 2013). Em função da semelhança entre os modelos, com exceção de um coeficiente linear na equação matemática, ambos apresentaram ajustes com valores de $R^2 > 0,99$. No entanto, a utilização do modelo de Ostwald-de-Waele leva à perda de uma importante informação para o processamento de iogurte (τ_0) (STEFFE, 1996). Sakin-Yilmazer et al. (2014) aplicaram o modelo de Ostwald-de-Waele em amostras reidratadas de iogurte liofilizado com castanhas e obtiveram índice de consistência k variando de 0,47 a 4,47 ($\text{Pa}\cdot\text{s}^n$) e n variando de 0,35 a 0,58, com R^2 de 0,97 a 1,00, valores próximos aos encontrados neste estudo. Em contrapartida, o modelo de Bingham apresentou a pior adequação às curvas de fluxo e viscosidade, o que confirma a relação não linear entre a tensão e a taxa de cisalhamento, classificando os iogurtes analisados como fluidos não newtonianos (STEFFE, 1996).

Pode ser observado que todos os valores referentes ao índice de escoamento (n) são menores que um, em concordância com dados da literatura, corroborando para a classificação dos fluidos analisados como não newtonianos pseudoplásticos (GONÇALVES et al., 2003; DOS SANTOS MATHIAS et al., 2013).

De forma coerente com os resultados obtidos para a viscosidade, o maior índice de consistência (K) foi calculado para as amostras liofilizadas ($L2 = 1,93 \times 10^4 \text{ mPa}$ e $L1 = 1,79 \times 10^4 \text{ mPa}$) seguidos pelas amostras atomizadas ($A1 = 1,31 \times 10^2 \text{ mPa}$ e $A2 = 3,68 \times 10^1 \text{ mPa}$). Sakin-Yilmazer et al. (2014) apresentaram valores de K variando de $0,42 \times 10^3 \text{ mPa}$ a $4,47 \times 10^3 \text{ mPa}$ para amostras de iogurte em pó liofilizadas reidratadas. Diversos trabalhos

na literatura estudaram o comportamento reológico de diferentes formulações de iogurte, obtendo como resultados para o limite de escoamento (τ_0) valores entre 1,1 e 10,1 Pa, dependente do teor de sólidos, do tipo de espessante, do tipo de cultura *starter* (produtora ou não de exopolissacarídeos) e da presença de prebióticos (SODINI, MONTELLA e TONG, 2005; PASEEPHOL, SMALL e SHERKAT, 2008), As amostras liofilizadas apresentaram limite de escoamento (L2 = $4,44 \times 10^4$ mPa e L1 = $7,97 \times 10^4$ mPa) superiores ao das amostras atomizadas (A1 = $1,07 \times 10^4$ mPa e A2 = $1,63 \times 10^3$ mPa) e natural = $1,42 \times 10^4$ mPa.

Tabela 2. Parâmetros reológicos do iogurte em pó liofilizado ou reidratado.

Modelos	Constantes	Amostras				
		A1	A2	L1	L2	Natural
Ostwald de Weale	K	$1,31 \times 10^2$	$3,68 \times 10^1$	$1,79 \times 10^4$	$1,93 \times 10^4$	$2,10 \times 10^4$
	N	0,763	0,837	0,361	0,348	0,254
	R ²	0,986	0,998	0,993	0,995	0,998
	Erro	0,60	3,63	0,33	0,22	0,02
	τ_0	$1,95 \times 10^3$	$1,63 \times 10^2$	$7,97 \times 10^4$	$4,44 \times 10^4$	$1,42 \times 10^4$
Herschel-Bukley	K	$1,09 \times 10^3$	$2,66 \times 10^2$	$7,25 \times 10^4$	$4,80 \times 10^4$	$1,19 \times 10^4$
	N	0,794	0,845	0,192	0,235	0,325
	R ²	0,999	0,999	0,992	0,997	0,998
	Erro	0,27	8,55	0,25	0,24	0,02
	τ_0	$1,07 \times 10^4$	$2,58 \times 10^3$	$5,79 \times 10^4$	$6,02 \times 10^4$	$4,90 \times 10^4$
Bingham	η_p	$3,18 \times 10^2$	1,79	$3,03 \times 10^2$	$2,97 \times 10^2$	$1,51 \times 10^2$
	R ²	0,996	0,703	0,940	0,946	0,969
	Erro	0,98	6,38	4,26	2,79	0,18
	τ_0	$1,29 \times 10^4$	$1,04 \times 10^3$	$3,75 \times 10^4$	$3,95 \times 10^4$	$3,66 \times 10^4$
Casson	K	1,918	1,424	10,812	10,56	6,47
	R ²	0,977	0,920	0,972	0,976	0,992
	Erro	5,29	9,85	24,90	1,11	0,03

em que: η = viscosidade (mPa.s); K = índice de consistência (mPa.sⁿ); n = índice de comportamento (adimensional); τ = tensão de cisalhamento (mPa); $\dot{\gamma}$ = taxa de deformação (s⁻¹); η_p = viscosidade plástica; τ_0 = limite de escoamento;

3.2 Vida Útil

A Tabela 3 representa o comportamento dos parâmetros do iogurte em pó liofilizado ou atomizado no início e final do tempo de armazenamento, que foi limitado pela sobrevivência das bactérias lácticas. A umidade e a atividade de água permaneceram baixas ao longo do armazenamento, provando a eficiência da embalagem laminada como barreira física. Segundo Kumar, Pradyuman e Mishra, Hn (2004), quando o teor de umidade do iogurte em pó atinge de 6,8 a 7,2 %, seu escoamento livre é comprometido com a aglomeração do pó.

Também não ocorreu diferença significativa ao longo do armazenamento para os parâmetros físicos, a luminosidade das amostras atomizadas sem aditivos (A1) apresentaram os valores mais baixos em relação à luminosidade, com $L = 91,77$ após 30 dias de armazenamento a $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, no entanto, esses valores são bem superiores aos de Kumar, Pradyuman e Mishra, Hn (2004) que desidratou iogurte por secagem com convecção a $45\text{ }^{\circ}\text{C}$, obtendo após o armazenamento de 49 dias a $38\text{ }^{\circ}\text{C}$ em embalagens laminadas o valor de $L = 54,14$. A cor deve-se manter inalterada ao longo do armazenamento para que se evite a rejeição do produto pelos consumidores (ZARE et al., 2011).

A solubilidade permaneceu praticamente inalterada nas amostras, independente da temperatura de armazenamento, Anema et al. (2006) observaram que a solubilidade não se alterou durante 60 dias de armazenamento do concentrado proteico lácteo a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, No entanto, a $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ houve alteração ao fim do armazenamento. Uma diminuição da solubilidade ao longo do armazenamento pode ser explicada pela formação de ligações cruzadas de proteínas na superfície das partículas do pó, formando aglomerados que dificultam a penetração da água, sendo que a umidade favorece essa reação.

Ao longo do período de armazenamento, as amostras liofilizadas mantiveram as células das bactérias lácticas viáveis por mais tempo que as atomizadas, sendo possível observar-se na tabela 3 que a viabilidade das culturas é inversamente relacionada com a temperatura de armazenamento (KEARNEY et al., 2009). Quando a secagem por pulverização é utilizada para a preservação de bactérias lácticas, boa parte da sua viabilidade é normalmente perdida após semanas de armazenamento à temperatura ambiente. Isso está associado ao estresse, induzido por mudanças de temperatura, mudanças de fase e secagem, a associação de tais fatores tende a danificar as membranas celulares das bactérias (ANAL E SINGH, 2007).

Segundo Chutrtong (2014), quando as amostras de iogurte liofilizadas são armazenadas a 30 e $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, o número de micro-organismos diminui 2 ciclos logarítmicos em 4 semanas. No fim da semana 10, as bactérias ácido lácticas diminuiram o ciclo de 4 log. O que compromete a viabilidade das amostras.

Tabela 3. Características do iogurte em pó liofilizado ou atomizado durante o armazenamento.

Tempo (dias)	Amostras	Análises					
		<i>Streptococcus thermophilus</i> (log)	<i>Lactobacillus bulgaricus</i> (log)	Aw	Umidade	Solubilidade	Cor (L)
0	A1	7,61	4,48	0,16 ^{ab}	3,70 ^{bc} ±	44,54 ^b ± 2,85	92.14 ^a ±
				± 0,02	0,42		0. 21
150	A1 ₆	7,40	3,74	0,28 ^c ±	2,85 ^{ab} ±	41,10 ^{ab} ±	92.26 ^a ±
				0,03	0,38	2,10	0.12
30	A1 ₃₀	6,11	3,64	0,23 ^{bc}	3,40 ^{ab} ±	42,33 ^{ab} ±	91.77 ^a ±
				± 0,01	0,24	1,45	0. 28
0	A2	8,21	5,52	0,22 ^{bc}	2,94 ^{ab} ±	76,093 ^d ±	95.01 ^b ±
				± 0,03	0,57	2,22	0.92
150	A2 ₆	7,68	3,72	0,30 ^c ±	2,22 ^a ±	71,28 ^{cd} ±	95.37 ^b ±
				0,02	0,65	3,08	0.62
45	A2 ₃₀	6,92	2,84	0,22 ^{bc}	2,42 ^{ab} ±	66,17 ^c ± 2.56	95.47 ^b ±
				± 0,05	0,39		0.43
0	L1	9,36	5,67	0,24 ^{bc}	5,52 ^d ±	45,69 ^b ± 1.21	96.36 ^b ±
				± 0,04	0,39	0.54	
150	L1 ₆	8,90	5,28	0,30 ^c ±	4,84 ^{cd} ±	39,61 ^{ab} ±	95.82 ^b ±
				0,08	0,72	3,14	0.32
60	L1 ₃₀	6,53	3,32	0,27 ^c ±	3,72 ^{bc} ±	34,65 ^a ± 2,95	95.60 ^b ±
				0,08	0,46	0.47	
0	L2	9,32	5,68	0,11 ^a ±	3,02 ^{ab} ±	75,83 ^d ± 1,17	96.23 ^b ±
				0,08	0,26	0.49	
150	L2 ₆	9,16	5,53	0,21 ^{bc}	2,36 ^{ab} ±	75,25 ^{cd} ±	96.77 ^b ±
				± 0,07	0,55	3,78	0.89
120	L2 ₃₀	6,38	2,46	0,24 ^{bc}	2,77 ^{ab} ±	73,66 ^{cd} ±	96.55 ^b ±
				± 0,07	0,21	3,58	0.39

Médias com letras em comum não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5 % de significância. L1 = iogurte liofilizado sem aditivos; L2 = iogurte liofilizado com aditivos (0,6 % de goma arábica, 15 % de maltodextrina); A1 = iogurte atomizado sem aditivos; A2 = iogurte liofilizado com aditivos (0,6 % de goma arábica, 15 % de maltodextrina). 6, 30 temperatura de armazenamento (°C).

A contagem de *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ao longo do armazenamento do iogurte em pó atomizado sob condição de refrigeração e a temperatura ambiente são apresentadas na Figura 3. Todas as amostras apresentaram reduções significativas do número de células ao longo do tempo, entretanto, as amostras armazenadas a temperatura ambiente tiveram células viáveis por aproximadamente de 15 dias para A1 e cerca de 45 dias para A2. As amostras refrigeradas permaneceram com células viáveis por 150 dias. Kumar, Pradyuman e Mishra, Hn (2004), estudando a desidratação de iogurte em pó, obtiveram uma redução de $1,28 \times 10^8$ ufc/g para $3,7 \times 10^4$ ufc/g para *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ao longo de 45 dias de armazenamento a 38 °C.

Os estudos mostram uma conservação por mais tempo das células viáveis nas amostras em que foram adicionadas maltodextrina e goma arábica. Kearney et al. (2009) observaram, durante estudo com iogurte probiótico em pó, que *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* apresentava baixa viabilidade mesmo a temperatura de 4°C. Teixeira, Castro e Kirby (1996) relataram a ocorrência de oxidação lipídica da membrana de *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* durante secagem por aspersão e durante armazenamento prolongado.

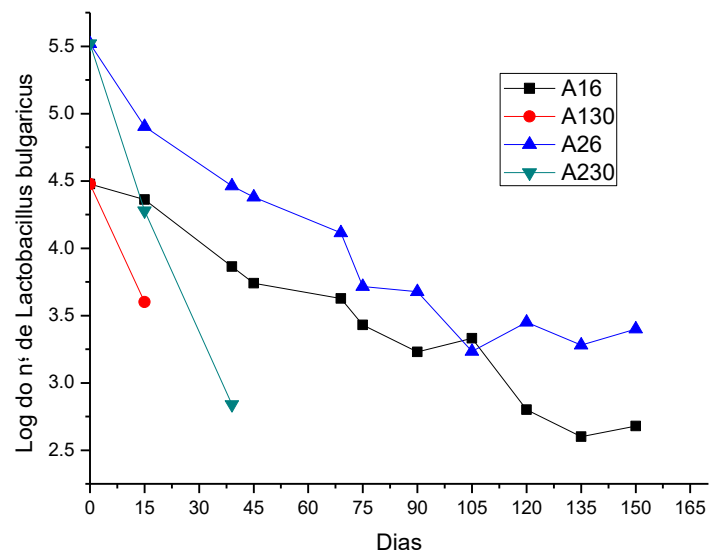


Figura 3. Contagem de *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* durante vida útil de amostras de iogurte atomizadas. (A1 = iogurte atomizado sem aditivos; A2 = iogurte atomizado com aditivos (0,6 % de goma arábica, 15 % de maltodextrina); 6, 30 temperatura de armazenamento (°C).

As contagens de *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ao longo do armazenamento do iogurte em pó liofilizado sob condição de refrigeração e a temperatura ambiente estão presentes na Figura 4. As amostras armazenadas a temperatura ambiente apresentaram reduções significativas do número de células ao longo do tempo, sendo que a amostra L1 apresentaram células viáveis até 60 dias e L2 até 75 dias. Entretanto, as amostras armazenadas a temperatura de refrigeração mantiveram os números de células praticamente constantes ao longo do tempo de 150 dias. Kumar e Mishra (2004) afirmaram que as bactérias lácticas do iogurte em pó liofilizado podem durar 1,5 mês à temperatura ambiente e até 1 ano a 4°C.

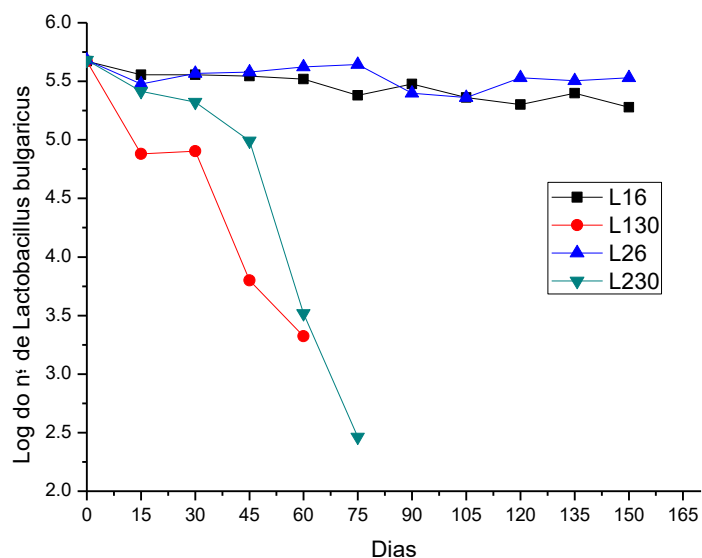


Figura 4. Contagem de *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* durante vida útil das amostras de iogurte liofilizadas. (A1 = iogurte atomizado sem aditivos; A2 = iogurte atomizado com aditivos (0,6 % de goma arábica, 15 % de maltodextrina); 6, 30 temperatura de armazenamento (°C).

A Figura 5 apresenta contagem de *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* ao longo do armazenamento do iogurte em pó atomizado, sob condição de refrigeração e a temperatura ambiente. As amostras armazenadas a temperatura ambiente apresentaram reduções significativas do número de células viáveis ao longo do tempo, sendo que a amostra A1 apresentou células viáveis até 30 dias e A2 até 45 dias. Entretanto, as amostras armazenadas a temperatura de refrigeração mantiveram os números de células viáveis praticamente constantes ao longo do tempo de 150 dias. Kumar e Mishra (2004) apresentaram contagens de $9,8 \times 10^4$ ufc/g em amostras de iogurte em pó armazenadas a 38°C por 49 dias. Todavia, Kearney et al. (2009) obtiveram contagens de $6,9 \times 10^7$ e $4,5 \times 10^7$ ufc/g para iogurte em pó atomizado armazenado a temperatura de 4 °C e 15 °C/42 dias, respectivamente, o que demonstra uma boa resistência dos *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* quando submetidas à refrigeração.

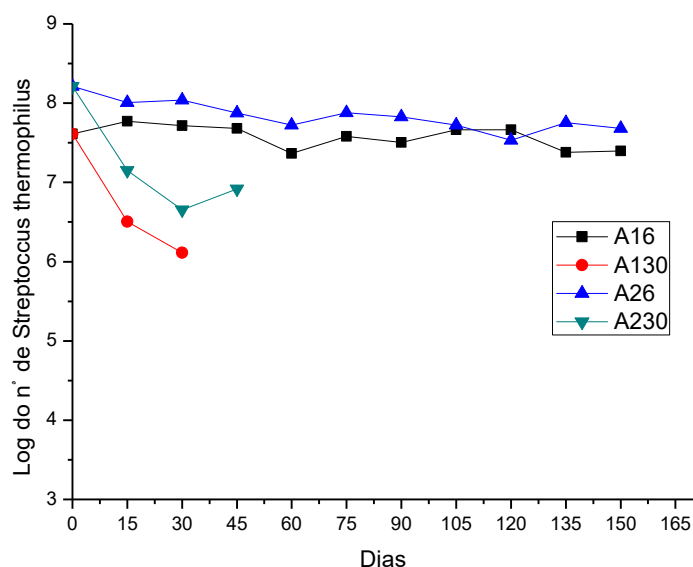


Figura 5. Contagem de *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* durante vida útil das amostras de iogurte atomizadas. (A1 = iogurte atomizado sem aditivos; A2 = iogurte atomizado com aditivos (0,6 % de goma arábica, 15 % de maltodextrina); 6, 30 temperatura de armazenamento (°C).

A quantidade de unidades formadoras de colônias de *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* ao longo do armazenamento do iogurte em pó liofilizado sob condição de refrigeração e a temperatura ambiente são apresentadas na Figura 6. As amostras armazenadas a temperatura ambiente apresentaram reduções significativas do número de células viáveis ao longo do tempo, embora L1 tenha permanecido com células viáveis por 60 dias e L2 ao longo dos 120 dias. As amostras armazenadas a temperatura de refrigeração mantiveram os números de células viáveis praticamente constantes ao longo do tempo de 150 dias.

Independente do processamento e condição de armazenamento, *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* foram mais resistentes que *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*. O tamanho e estrutura das células bacterianas de Lactobacilos, maior e mais complexa, as tornam mais suscetíveis às injúrias do meio que os Estreptococos (FONSECA, BÉAL e CORRIEU, 2001). A desnaturação de macromoléculas (DNA e RNA), danos aos ribossomos, desidratação de células da membrana citoplasmáticas, peroxidação lipídica e ruptura da membrana celular são alguns exemplos do que acontecem com as células durante a secagem (BEHBOUDI-JOBBEHDAR et al., 2013). Os estudos de Kearney et al. (2009), Venir et al. (2007), Rybka e Kailasapathy (1997) também comprovam uma maior sensibilidade do gênero lactobacilos durante a desidratação do iogurte.

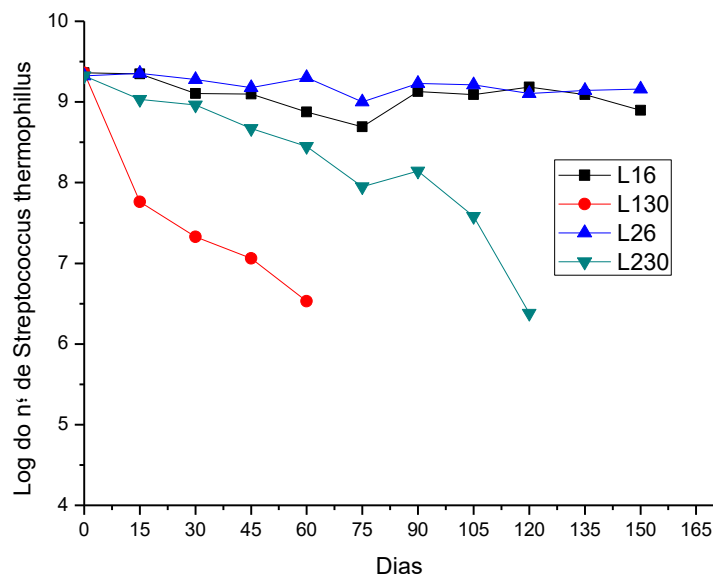


Figura 6. Contagem de *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* durante vida útil das amostras de iogurte liofilizadas. (A1 = iogurte atomizado sem aditivos; A2 = iogurte atomizado com aditivos (0,6 % de goma arábica, 15% de maltodextrina); 6, 30 temperatura de armazenamento (°C)).

4 CONCLUSÕES:

Todas as amostras de iogurte apresentaram comportamento não newtoniano pseudoplástico e tixotrópico. As amostras apresentaram diferentes faixas de viscosidade em função da taxa de cisalhamento. O iogurte em pó liofilizado reidratado apresentou valores apreciáveis de viscosidade, superiores aos apresentados pelas amostras atomizadas e próximos aos da amostra de iogurte natural. O modelo de Herschel-Bulkley apresentou a melhor adequação às curvas de fluxo e viscosidade ($R^2 > 0,99$).

O processo de liofilização garante maior tempo de viabilidade das bactérias lácticas se comparado à atomização. A atomização e a liofilização conservam a viabilidade das bactérias lácticas acima do recomendado pela legislação brasileira por mais de 150 dias, se armazenado a 6 °C. Quando armazenadas a 30 °C, a viabilidade situou-se em 45 dias para amostras atomizadas e até 120 dias para amostras liofilizadas.

Os *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* mostraram-se mais suscetíveis à desidratação e as condições de armazenamento que *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus*. A presença de maltodextrina e goma arábica melhorou a viabilidade das bactérias lácticas durante o armazenamento.

Todas as amostras apresentaram viabilidade de bactérias lácticas por tempos de armazenamento superiores ao do iogurte tradicional, o que confirma que ambos os métodos de secagem mostraram-se eficientes para conservação do iogurte considerando a estabilidade microbiológica.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- AL-KADAMANY, E. et al. Determination of shelf life of concentrated yogurt (Labneh) produced by in-bag straining of set yogurt using hazard analysis. **Journal of dairy science**, v.85, n. 5, p. 1023-1030, 2002.
- ANAL, A. K.; SINGH, H. Recent advances in microencapsulation of probiotics for industrial applications and targeted delivery. **Trends in Food Science & Technology**, v.18, n.5, p. 240-251, 2007.
- ANEMA, S. et al. Effects of storage temperature on the solubility of milk protein concentrate (MPC85). **Food Hydrocolloids**, v. 20, n. 2, p. 386-393, 2006. BASTIOĞLU, A. Z.; DIRIM, S. N.; ERTEKIN, F. K. Moisture Sorption Isotherms of Yogurt Powder Containing Candied Chestnut Puree. **Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology**, v. 4, n. 8, p. 676-683, 2016.
- BEHBOUDI-JOBBEHDAR, S. et al. Optimization of spray-drying process conditions for the production of maximally viable microencapsulated *L. acidophilus* NCIMB 701748. **Drying Technology**, v. 31, n. 11, p. 1274-1283, 2013.
- BRASIL. **Instrução Normativa nº 46, de 23 de outubro de 2007. Adota o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Leites Fermentados.** MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, P. E. A. Brasília: Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 2007.
- CHUTRTONG, J. The Dynamics of Microorganisms in Dried Yogurt Storages at Different Temperatures. **World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Biological, Biomolecular, Agricultural, Food and Biotechnological Engineering**, v. 8, n. 5, p. 459-461, 2014.
- CRUZ, A. et al. Developing a prebiotic yogurt: Rheological, physico-chemical and microbiological aspects and adequacy of survival analysis methodology. **Journal of food engineering**, v. 114, n. 3, p. 323-330, 2013.
- DOS SANTOS MATHIAS, T. R. et al. Avaliação do comportamento reológico de diferentes iogurtes comerciais/Rheological evaluation of different commercial yoghurts. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 16, n. 1, p. 12, 2013.
- ERGÜN, K. et al. Freeze drying of yoghurt with candied chestnut puree: survival of lactic acid bacteria and determination of physical properties. **Italian Journal of Food Science**, v. 25, n. 4, p. 470, 2013. FONSECA, F.; BÉAL, C.; CORRIEU, G. Operating conditions that affect the resistance of lactic acid bacteria to freezing and frozen storage. **Cryobiology**, v. 43, n. 3, p. 189-198, 2001.
- GONÇALVEZ, D. et al. Effect of Thickeners on the Texture of stirred Yogurt. **Alimentos e Nutrição Araraquara**, v. 16, n. 3, p. 207-11, 2003.
- HAYALOGLU, A. et al. Mathematical modeling of drying characteristics of strained yoghurt in a convective type tray-dryer. **Journal of Food Engineering**, v. 78, n. 1, p. 109-117, 2007.
- KEARNEY, N. et al. Development of a spray dried probiotic yoghurt containing *Lactobacillus paracasei* NFBC 338. **International Dairy Journal**, v. 19, n. 11, p. 684-689, 2009.
- KOÇ, B. et al. Physical properties of yoghurt powder produced by spray drying. **Journal of food science and technology**, v. 51, n. 7, p. 1377-1383, 2014.
- KOC, B. et al. Spray drying of yogurt: Optimization of process conditions for improving viability and other quality attributes. **Drying Technology**, v. 28, n. 4, p. 495-507, 2010.
- KUMAR, P.; MISHRA, H. Storage stability of mango soy fortified yoghurt powder in two different packaging materials: HDPP and ALP. **Journal of Food Engineering**, v. 65, n. 4, p. 569-576, 2004.

KUMAR, P.; MISHRA, H. Yoghurt powder—A review of process technology, storage and utilization. **Food and Bioproducts Processing**, v. 82, n. 2, p. 133-142, 2004.

LAIHO, S. et al. Effect of whey protein phase volume on the tribology, rheology and sensory properties of fat-free stirred yoghurts. **Food Hydrocolloids**, v. 67, p. 166-177, 2017.

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 & technology**, v. 41, n. 5, p. 560-568, 2006.

MEZHERICHER, M.; LEVY, A.; BORDE, I. Spray drying modelling based on advanced droplet drying kinetics. **Chemical Engineering and Processing: Process Intensification**, v. 49, n. 11, p. 1205-1213, 2010.

MULLINEUX, G.; SIMMONS, M. J. Effects of processing on shear rate of yoghurt. **Journal of food engineering**, v. 79, n. 3, p. 850-857, 2007.

NGUYEN, P. T. et al. Effect of different hydrocolloids on texture, rheology, tribology and sensory perception of texture and mouthfeel of low-fat pot-set yoghurt. **Food Hydrocolloids**, 2017.

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

QUEIROZ, V.; FONTES, S. Experimental analysis of structural change and rheological behavior of macromolecular solutions with guar and xanthan gums in crossflow microfiltration processing. **Food and Bioprocess Technology**, v. 1, n. 2, p. 180-186, 2008.

RASCÓN-DÍAZ, M. P. et al. Spray drying yogurt incorporating hydrocolloids: structural analysis, acetaldehyde content, viable bacteria, and rheological properties. **Food and bioprocess technology**, v. 5, n. 2, p. 560-567, 2012.

ROUTRAY, W.; MISHRA, H. Sensory evaluation of different drinks formulated from dahi (indian yogurt) powder using fuzzy logic. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 36, n. 1, p. 1-10, 2012.

RYBKA, S.; KAILASAPATHY, K. Effect of freeze drying and storage on the microbiological and physical properties of AB-yoghurt. **Milchwissenschaft**, v. 52, n. 7, p. 390-394, 1997.

SAAD, S. M. I.; CRUZ, A. G. D.; FARIA, J. D. A. F. Probióticos e prebióticos em alimentos: fundamentos e aplicações tecnológicas. In: (Ed.). **Probióticos e prebióticos em alimentos: fundamentos e aplicações tecnológicas**: Varela, 2011.

SAKIN-YILMAZER, M. et al. Yoghurt with candied chestnut: freeze drying, physical, and rheological behaviour. **Journal of food science and technology**, v. 51, n. 12, p. 3949-3955, 2014.

SAKIN-YILMAZER, M. et al. Rheological behavior of reconstituted yoghurt powder—An optimization study. **Powder Technology**, v. 266, p. 433-439, 2014.

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

STEFFE, J. F. **Rheological methods in food process engineering**. Freeman press, 1996.

TEIXEIRA, P.; CASTRO, H.; KIRBY, R.. Evidence of membrane lipid oxidation of spray-dried *Lactobacillus bulgaricus* during storage. **Letters in Applied Microbiology**, v. 22, n. 1, p. 34-38, 1996.

TYMCZYSZYN, E. E. et al. Critical water activity for the preservation of *Lactobacillus bulgaricus* by vacuum drying. **International journal of food microbiology**, v. 128, n. 2, p. 342-347, 2008.

VELARDI, S. A.; BARRESI, A. A. Development of simplified models for the freeze-drying process and investigation of the optimal operating conditions. **Chemical Engineering**

Research and Design, v. 86, n. 1, p. 9-22, 2008. VENIR, E. et al. Preparation of freeze-dried yoghurt as a space food. **Journal of food engineering**, v. 80, n. 2, p. 402-407, 2007. ZARE, F. et al. Microbial, physical and sensory properties of yogurt supplemented with lentil flour. **Food Research International**, v. 44, n. 8, p. 2482-2488, 2011.

CAPÍTULO V

CARACTERÍSTICAS SENSORIAIS DO IOGURTE REIDRATADO OBTIDO POR ATOMIZAÇÃO OU LIOFILIZAÇÃO

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS E SENSORIAIS DO IOGURTE REIDRATADO OBTIDO POR ATOMIZAÇÃO OU LIOFILIZAÇÃO

RESUMO

O desenvolvimento de novos produtos é uma necessidade para ampliação e diversificação de mercados para a indústria alimentícia. Sendo o iogurte um dos principais derivados lácteos, este é utilizado com frequência para diversificação de produtos e, nesse contexto, a desidratação do iogurte surge como uma forma de conservação e alternativa de consumo. A análise sensorial é ferramenta importante no desenvolvimento de produtos e, desse modo, o presente estudo teve por objetivo caracterizar sensorialmente e avaliar a aceitação do iogurte em pó liofilizado ou atomizado após reidratação, em comparação com o produto convencional. Foram analisadas 4 amostras reidratadas, 2 de iogurte em pó liofilizado e 2 de iogurte em pó atomizado, (uma amostra proveniente de cada processo com 0,6 % de goma arábica e 15 % de maltodextrina e outro sem aditivos), bem como amostras do iogurte natural e de um produto comercial. Foi avaliada a aceitação das 6 amostras por 86 consumidores de iogurte utilizando-se escala hedônica de 9 pontos, bem como suas características sensoriais, utilizando-se a metodologia de questões Check All That Apply (CATA), sendo também realizadas análises de composição centesimal (umidade, lipídios, proteínas e lactose). As amostras sem aditivos apresentaram composição centesimal próxima à do iogurte concentrado. As amostras processadas apresentaram menor aceitação do que as amostras natural e comercial. No entanto, as amostras liofilizadas apresentaram boa aceitação por parte dos consumidores, sendo caracterizadas como cremosas, homogêneas e sabor característico de iogurte. Todavia as amostras atomizadas apresentaram baixa aceitação, sendo caracterizadas como amareladas, sabor amanteigado, gordurosas, cremosas e homogêneas. A presença de aditivos melhorou as características das amostras atomizadas, não tendo o mesmo efeito sobre a aceitação das liofilizadas. O processo de liofilização se mostrou uma possível alternativa para a desidratação do iogurte, preservando características sensoriais do produto mesmo depois da reidratação.

Palavras – chave: CATA, Aceitação, Desidratação, Reidratação.

PHYSICOCHEMICAL AND SENSORY CHARACTERISTICS OF REHYDRATED YOGURT OBTAINED BY SPRAY DRYING OR FREEZE DRYING

ABSTRACT

The development of new products is necessary for the expansion and diversification of market of the food industry. Since yogurt is one of the main dairy products, it is often used for product diversification and, in this context, yogurt dehydration appears as a form of conservation and alternative consumption. Sensory analysis is an important tool in the development of products and, in this sense, the present study aimed to sensorial characterize and evaluate the acceptance of freeze dried and spray dried yogurt powder after rehydration, in comparison to conventional products. We analyzed 4 rehydrated samples: 2 freeze dried and 2 spray dried ones, with (0,6 % of gum arabic and 15 % of maltodextrin) and without additives, as well as samples of the natural yogurt and of a commercial product. The acceptance of the 6 samples by 86 yogurt consumers was evaluated using a 9-point hedonic scale, as well as their sensorial characteristics by using the Check All That Apply (CATA) method, in addition to the analyses of centesimal composition (moisture, lipids, proteins and lactose). Samples without additives showed a centesimal composition close to that of concentrated yogurt. The samples processed showed less acceptance than the natural and commercial samples. However, the freeze dried samples showed good acceptance. They were characterized as creamy, homogeneous and with characteristic yogurt flavor. The spray dried samples showed low acceptance. They were characterized as yellowish, buttery, fatty, creamy and homogeneous. The presence of additives collaborated with the acceptance of the spray dried samples, but hindered the acceptance of the freeze dried ones. The freeze drying process proved to be a possible alternative for yogurt dehydration, preserving the product sensorial characteristics, even after rehydration.

Keywords: CATA, Acceptance, Dehydration, Rehydration

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, aumentou o interesse pelos alimentos processados com componentes alimentares naturais que melhoram o bem-estar da população (SEYHAN, YAMAN e ÖZER, 2016). Os iogurtes são os produtos que mais despertam o desejo do consumidor brasileiro quando se trata de derivados lácteos. A grande aceitação pela sociedade brasileira implica no potencial de ampliação de mercado e desenvolvimento de novos produtos a base de iogurte (TRIBOLI e GUT, 2016).

Produto obtido pela fermentação bacteriana do leite, o iogurte tornou-se popular devido ao alto valor nutricional e efeitos benéficos à saúde. No entanto, a vida de prateleira do iogurte é de 1 dia quando armazenado em condições ambientais (25 – 30 °C) cerca de 5 dias quando refrigerado a 7 °C (KUMAR e MISHRA, 2004). Nessas condições, a desidratação surge como uma alternativa para produção, armazenamento e consumo de iogurte, sendo a liofilização e a atomização os métodos mais utilizados na pesquisa e desenvolvimento de produtos lácteos em pó (KOC et al., 2010).

A secagem do iogurte traz inúmeras vantagens como a redução da deterioração microbiológica e enzimática, com conseqüente aumento da vida útil, redução de custos com transporte e armazenamento, praticidade e potencial de ampliação de mercado. O produto pode ser utilizado como ingrediente ou suplemento de sucos, biscoitos, sorvetes, doces, bebidas lácteas; poderá também substituir o leite em pó em receitas, agregando assim valor nutricional e funcional a esses produtos (KEARNEY et al., 2009; KRASAEKOOPT e BHATIA, 2012).

Quando um novo produto é lançado, os consumidores esperam obter prazer e exigem que o alimento tenha boas características sensoriais (MELO et al., 2013). Desse modo, é importante que as empresas entendam como os consumidores percebem os produtos a serem comercializados. Essa informação é essencial para o desenvolvimento e comercialização de novos produtos, reformulação dos já existentes, otimização de processos de fabricação e o estabelecimento de especificações, além da implementação de programas de controle de qualidade (ARES et al., 2010; CRUZ, CADENA et al., 2013; FARAH, ARAUJO e MELO, 2016).

Uma ferramenta que está sendo muito utilizada para caracterização de produtos junto a consumidores é o Check-all-that-apply (CATA), que consiste em um questionário de múltiplas escolhas, em que os avaliadores têm de selecionar os termos de uma lista que descrevem o produto analisado, sem restrição do número de termos descritivos (DOOLEY, LEE e MEULLENET, 2010; ARES e JAEGER, 2013; ARES et al., 2014).

A utilização do CATA como ferramenta descritiva tem se intensificado pela simplicidade de aplicação e facilidade de compreensão do teste pelos consumidores, quando comparado a outros com painéis treinados, tendo resultados tão satisfatórios como testes mais complexos (ARES et al., 2013; JAEGER et al., 2013; JAEGER et al., 2013). A utilização de ferramentas descritivas como a Análise Descritiva Quantitativa (ADQ) pode ocasionar um baixo custo-benefício, devido ao tempo e recurso humano gastos, que nem sempre estão disponíveis numa empresa. Portanto, o teste CATA fornece uma visão mais genérica do produto sob o ponto de vista do consumidor, o que, aliado a ferramentas estatísticas adequadas, pode fornecer informações valiosas a empresas e instituições de pesquisa (BRUZZONE, ARES e GIMÉNEZ, 2013; CRUZ et al., 2013).

Os testes afetivos são muitas vezes destinados a determinar a reação hedônica dos consumidores às características sensoriais dos produtos (LAWLESS e HEYMANN, 2010). Os consumidores são convidados a provar um conjunto de produtos e indicar o quanto eles gostam ou desgostam do produto por meio de uma escala hedônica. Este teste é de suma

importância para verificar a aprovação do produto ou de determinada característica (STONE, BLEIBAUM e THOMAS, 2012). Diante disto, o presente trabalho tem por objetivo caracterizar e avaliar a aceitação do iogurte em pó liofilizado ou atomizado reidratado, com ou sem aditivos comumente empregados com coadjuvantes de secagem.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Material

Foram realizadas análises físico-químicas e sensoriais de 4 amostras de iogurte em pó (produzidos conforme descrito no capítulo II) reidratado. As amostras foram: atomizado sem aditivos (A1), atomizado com 0,6 % de goma arábica e 15 % de maltodextrina (A2), liofilizado sem aditivos (L1) e liofilizado com 0,6 % de goma arábica e 15 % de maltodextrina (L2). Também foram analisadas 1 amostra de iogurte natural e 1 amostra de iogurte comercial, todas as amostras foram adicionadas com 8 % de açúcar.

2.2 Preparação do Iogurte Reidratado

A produção do iogurte reidratado foi realizada em sala de manipulação do laboratório de análise sensorial da Embrapa Agroindústria de Alimentos, Rio de Janeiro, RJ. As amostras em pó foram misturadas à água e ao açúcar (8 %) por meio de um termomixer TM 31 (Vorwerk) por 30 s, após a mistura, foram levadas ao refrigerador onde permaneceram por 1 hora até que alcançassem a temperatura refrigerada (7 °C), sendo então servidas nestas condições. Ao final as amostras possuíam aproximadamente 25 % de sólidos. Segundo Sakin-Yilmazer et al. (2014), as amostras com esse percentual de sólidos são mais bem aceitas por terem características de texturas parecidas com a do iogurte natural.

Antes das análises, as amostras comercial e natural foram submetidas à mistura do mesmo modo que as amostras reconstituídas, para satisfazer a comparabilidade termomecânicas.

2.3 Análises Físico-químicas

A determinação da umidade foi realizada por secagem de 2 g da amostra a 70 °C, durante 4 h em estufa a vácuo (AOAC, 2010); teor de gordura foi quantificado pelo método de Gerber (BRASIL, 2006); e teor de proteína de acordo com Kjeldahl, multiplicando-se o conteúdo de nitrogênio pelo fator 6,38 (BRASIL, 2006). Para as medições de pH, foi utilizado um medidor digital inserindo-se o eletrodo diretamente na amostra, e acidez foi determinada por titulação, sendo expressa em g /100 g de ácido láctico (AOAC, 2010). Lactose foi realizada por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE), de acordo com (MACRAE, 1998). A determinação de resíduo mineral fixo foi feita de acordo com (AOAC, 2010) e a quantificação dos elementos (cálcio) pela técnica de espectrometria de emissão ótica em plasma indutivamente acoplado (ICP-OES).

2.4 Análise Sensorial

2.4.1 Levantamento de atributos

Para o levantamento de atributos, quatro amostras de iogurte em pó reidratado foram apresentadas à equipe de 10 provadores não treinados, de maneira a levantar o maior número

possível de atributos sensoriais relacionados à aparência, cor, aroma, sabor e textura. No dia da sessão, as amostras foram reidratadas de maneira similar com vistas a manutenção das características de textura do produto *in natura*, com o auxílio de um termomixer, servidas em copos plásticos de poliestireno e acondicionadas sob refrigeração (10 °C/1 h), previamente à análise. Para abrir a discussão, o líder da sessão perguntou a cada um dos provadores sobre as características que melhor descreviam os produtos a serem avaliados. Ao final, foram discutidas e elaboradas as definições dos atributos para a ficha individual dos provadores. Dezesete características relacionadas às amostras foram descritas.

2.4.2 Avaliação da aceitação e Questionário CATA

Oitenta e seis consumidores não treinados, com idades entre 18 e 60 anos, foram selecionados aleatoriamente na Embrapa Agroindústria de Alimentos. Eles não eram alérgicos ao leite. Os consumidores foram convidados a experimentar os iogurtes e marcar na escala hedônica estruturada de nove pontos sua aceitação, variando entre 1, que equivalia a “desgostei muitíssimo”, e 9, “gostei extremamente”. Em seguida, eles responderam questionário CATA composto por 17 atributos relacionados com as características sensoriais do iogurte. Os termos considerados relacionaram-se aos seguintes atributos: gosto ácido, adstringente, diluído, presença de partículas, homogêneo, gosto doce, rançoso, amarelado, sabor característico de iogurte, sabor característico de leite, aroma característico de iogurte, aroma característico de leite, sabor de queijo, sabor amanteigado, gorduroso, cor branca e cremoso. A ordem de apresentação dos termos no CATA foi balanceada de maneira a variar a sequência das amostras avaliadas entre os participantes (ARES, ETCHEMENDY, et al., 2014; ARES, TÁRREGA, et al., 2014). As amostras também foram balanceadas durante a apresentação para os consumidores para se evitar os erros.

2.5 Análise Estatística

Utilizou-se análise de variância (ANOVA) e o teste de Tukey para verificar a diferença entre as médias, a um nível de 5 % de significância. Técnicas de análises multivariadas foram utilizadas, como a Análise de Correspondência (AC). Foi utilizado análise de cluster hierárquico (ACH) para o estudo da similaridade entre os provadores, mediante o cálculo de distância euclidiana e aplicação do método de Ward. Logo depois, foi utilizada a técnica de aglomeração hierárquica para agrupar os provadores, segundo o estudo prévio de ACH. Para análise dos dados do questionário CATA, a frequência de uso de cada atributo foi determinada pela contagem do número de consumidores que o utilizaram para descrever cada amostra, e para a avaliação da significância destes atributos do CATA. Utilizou-se para análise estatística o teste Q de Cochran (MANOUKIAN, 1986; PARENTE, MANZONI e ARES, 2011). Todas as análises estatísticas foram feitas usando o software R 3.2.4 (2016) desenvolvido pela Core Team (2011) R, e os pacotes, Factor Mine R 1.32. e Sensor Mine R 1.2.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Composição Físico-química

Os resultados da composição centesimal das amostras de iogurte reidratado estão dispostos na Tabela 1. O teor de umidade das amostras reidratadas variaram de 71,57 a 78,74 %, o que torna as amostras com concentração de sólidos próximas as do iogurte concentrado

(Grego ou Labneh). Em estudos com iogurte tipo Labneh, Serhan, Mattar e Debs (2016) encontraram valores de umidade variando de 71 a 76 %.

Os teores de proteínas, lipídios, lactose e cinzas foram proporcionalmente maiores nas amostras sem aditivos, devido ao teor da maltodextrina presente nas outras amostras. Assim como, para umidade, as amostras sem aditivos apresentam teores de composição centesimal próximos aos de amostras de iogurte concentrado, como podem ser vistos nos trabalhos de Tamime e Robinson (2007), Bong e Moraru (2014) e Phadungath (2015). As amostras reidratadas destacaram-se pelo alto teor proteico e de cálcio.

A presença da maltodextrina nas amostras com aditivos diminuiu proporcionalmente os outros compostos como os teores de gordura, proteínas e lactose, proporcionando uma melhor estabilidade dessas amostras, pela diminuição do risco de cristalização de lactose e rancificação. As amostras sem aditivos possuem capacidade de emulsionar reduzida pelo baixo teor de proteínas (MELO FILHO e VASCONCELOS, 2016). Rathi et al. (1990) em seus estudos sobre liofilização de iogurte, observaram que o produto reconstituído numa proporção de 5 g de pó para 20 ml de água a 40 °C, possuía as seguintes características: umidade, 79,44 %; sólidos totais 20,86 %; pH 4,37; acidez 0,92 %.

Tabela 1. Caracterização físico-química do iogurte em pó reidratado e natural.

Amostras	Análises						
	Aw	Umidade (%)	Lípidios (%)	Proteínas (%)	Lactose (%)	Cinzas (%)	Cálcio (mg/100g)
A1	0,98 ^a ± 0,01	74,27 ^a ± 0,52	6,50 ^d ± 0,68	7,62 ^b ± 0,65	7,56 ^d ± 0,37	1,63 ^c ± 0,31	2,75 ^c ± 0,61
A2	0,98 ^a ± 0,01	73,57 ^a ± 1,01	1,28 ^a ± 0,32	3,93 ^a ± 0,52	3,51 ^a ± 0,31	0,89 ^a ± 0,22	1,43 ^a ± 0,21
L1	0,98 ^a ± 0,02	78,08 ^b ± 2,09	5,27 ^c ± 0,62	6,77 ^b ± 0,89	5,75 ^c ± 0,19	1,20 ^b ± 0,15	2,06 ^b ± 0,47
L2	0,97 ^a ± 0,02	76,04 ^b ± 1,2	2,22 ^b ± 0,23	3,29 ^a ± 0,31	3,03 ^a ± 0,26	0,74 ^a ± 0,18	1,27 ^a ± 0,13
N	0,99 ^a ± 0,01	88,00 ± 1,92	3,65 ± 0,35	3,60 ± 0,49	6,25 ± 0,18	0,98 ± 0,16	0,02 ± 0,04

¹Médias com letras em comum nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5 % de significância. L1 = iogurte liofilizado sem aditivos; L2 = iogurte liofilizado com aditivos (0,6 % de goma arábica, 15 % de maltodextrina); A1 = iogurte atomizado sem aditivos; A2 = iogurte liofilizado com aditivos (0,6 % de goma arábica, 15 % de maltodextrina); N = iogurte natural.

3.2 Análise Sensorial

Os testes sensoriais foram realizados após a confirmação que o leite e as formulações estavam dentro dos requisitos de segurança microbiológica estabelecidos pela Legislação Brasileira vigente, para leite em pó e mistura em pó para o preparo de bebidas de base láctea (BRASIL, 2001). Todas as análises resultaram na não detecção dos micro-organismos patogênicos analisados (Estafilococos coagulase positiva, coliformes a 45°C, E. coli, micro-organismo aeróbicos mesófilos estáveis, bolores e leveduras, *Bacillus cereus* e *Salmonella* sp.), demonstrando boas práticas de fabricação.

3.2.1 Perfil dos Consumidores

O perfil demográfico dos provadores está apresentado na Tabela 2. As maiores porcentagens de provadores era do sexo feminino (67,44 %), conseqüentemente 32,56 % do sexo masculino. Em relação à faixa etária, o grupo era formado predominantemente por pessoas com até 45 anos (76,74 %).

Os consumidores eram predominantemente pós-graduandos (66,28 %), devido à Instituição em que foi realizado o teste e grupo preponderante que participou do mesmo. Observando-se à renda, pode-se considerar que houve uma distribuição equilibrada entre os níveis analisados, sendo que pessoas que recebiam de 10 a 20 salários representavam 36,05 % do grupo e as que recebiam de 1 a 5 salários representavam 27,91 %. No que diz respeito ao consumo de iogurte, 59,3 % consumiam iogurte frequentemente e 13,9 % diariamente; 14% consumiam mais de uma vez na semana e 27 % consumiam iogurte raramente. A formação dos consumidores, o poder aquisitivo e a frequência de consumo possibilita inferir que o grupo é formado preponderantemente por consumidores exigentes que tem o iogurte como parte de sua dieta.

Dois segmentos de consumidores foram identificados na avaliação dos tratamentos, como se observa no dendograma (Figura 1), elaborado a partir das respostas em relação à aceitação das amostras. Em seguida, utilizou-se a segmentação hierárquica dos dois grupos formados previamente e obteve-se que o primeiro grupo (G1) foi composto por 47 provadores, enquanto o segundo (G2) grupo foi constituído por 39 provadores.

Ambos os grupos são formados em sua maior partes por mulheres que consomem iogurte com frequência, o que é um ponto importante, pois as mulheres são responsáveis normalmente pelas compras da família, na maioria dos lares brasileiros. A faixa etária dos grupos está compreendida entre 18 e 45 anos, sendo a maior parte compreendida entre os 26 e 45 anos. Os grupos são formados basicamente por pós-graduandos, conforme anteriormente relatado e, portanto, bem acima da escolaridade brasileira.

Tabela 2. Perfis sócios-demográficos e atitudinal dos consumidores (n = 86) que participaram do estudo de aceitação do iogurte.

Características	Descrição	N (%)	G1 (%)	G2 (%)
Gênero	Feminino	67,44	59,57	76,92
	Masculino	32,56	40,43	23,08
Faixa etária	18 – 25 anos	22,09	19,15	25,64
	26 – 35	25,58	25,53	25,64
	36 – 45	29,07	29,79	28,20
	46 – 55	13,95	10,64	17,95
	56 – 65	9,3	14,89	2,57
Escolaridade	Médio	6,98	8,51	5,13
	Superior incompleto	16,28	17,02	15,39
	Superior	10,47	17,02	2,56
	Pós – graduação	66,28	57,45	76,92
Renda familiar	1 a 5 salários	27,91	34,04	20,51
	>5 a 10	19,77	17,02	23,08
	>10 a 20	36,05	29,79	43,59
	>20 a 30	13,95	17,02	10,26
	>30	2,33	2,13	2,56
Frequência com consome iogurte natural	Nunca	1,16	0	2,56
	Raramente	25,58	21,28	30,77
	Frequentemente	59,3	68,08	48,72
	Diariamente	13,95	10,64	17,95

N = número total de consumidores, G1 e G2 = grupos formados de consumidores.

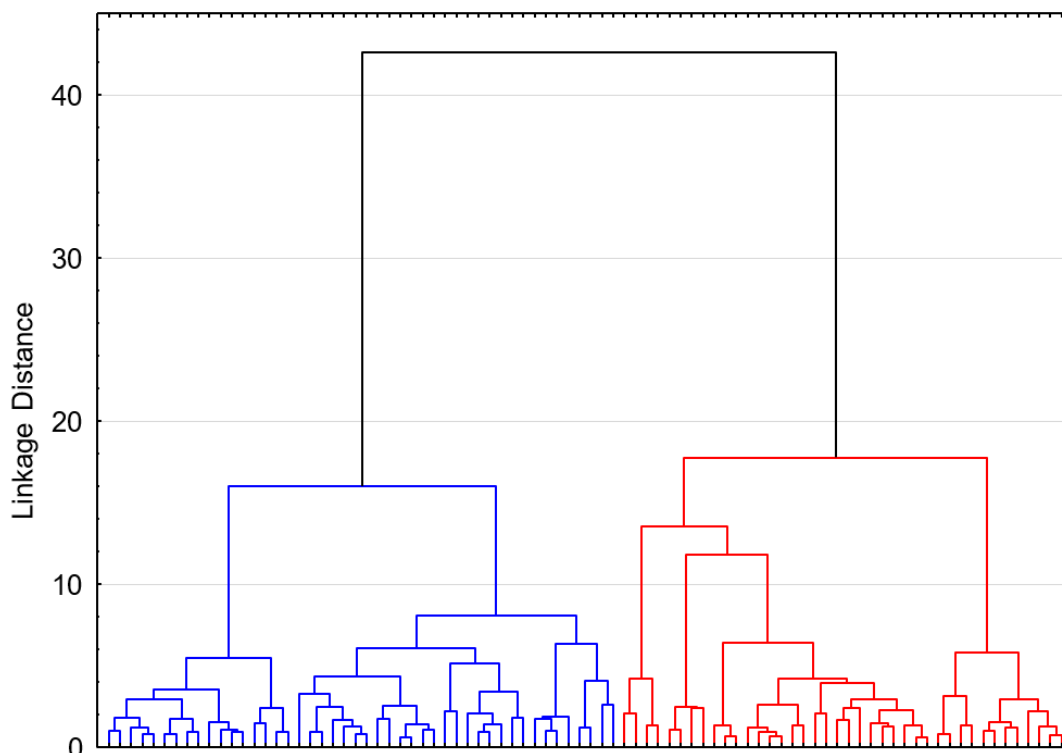


Figura 1. Dendrograma dos consumidores (n=86) para a aceitabilidade das amostras do iogurte reidratado liofilizado ou atomizado, com ou sem aditivos. G1 (Azul) e G2 (Vermelho).

3.2.2 Teste de aceitação e Caracterização (CATA)

A Tabela 3 apresenta os valores médios de aceitação das amostras de iogurte em pó. As amostras de iogurte comercial e natural tiveram uma aceitação melhor com médias de 7,60 e 7,17, respectivamente, segundo os resultados do teste CATA e o Q de Cochran apresentados na Tabela 4. A amostra comercial segundo os consumidores teve como principais características ser homogênea, sabor característico de iogurte, sabor característico de leite e cor branca. Já a amostra natural teve como principais características homogênea, cor branca, sabor característico de iogurte e gosto doce, atributos estes apreciáveis para o iogurte. Embora as perguntas da CATA não captam diretamente intensidades, se um atributo estiver presente em uma amostra e também ocorrer em outra a um nível de intensidade diferente, é possível que um avaliador identifique o atributo para ambas as amostras pois não há escala para permitir que um avaliador caracterize a diferença de nível. No entanto, as evidências apresentadas até agora na literatura indicam boa correlação entre frequências CATA e intensidades de atributos (BRUZZONE, ARES e GIMÉNEZ, 2012; REINBACH et al., 2014; CASTURA et al., 2016)

Dentre as amostras reidratadas, destacou-se as liofilizadas com médias de 5,90 e 5,34, para as amostras sem aditivo e com aditivo, respectivamente, não havendo diferença significativa entre as mesmas. Rathi et al. (1990), avaliando a aceitação de parâmetros sensoriais como aparência, *flavor*, gosto, textura e aceitação geral do iogurte em pó liofilizado reidratado, constataram os respectivos resultados de 6,67, 6,82, 6,77 e 6,45, numa escala hedônica de 1 a 9. A amostra liofilizada L1 teve como principais características homogêneo, sabor característico de iogurte e cor branca, no entanto, a presença de partículas citada por 32 %, pode ter contribuído para a depreciação das notas dessa amostra. A amostra L2 teve como

destaques os atributos gosto doce, homogêneo, amarelado embora a coloração amarelada e a sensação de gordura na boca tenham também influenciado negativamente a amostra. A presença de goma foi possivelmente responsável pela cor amarelada dessas amostras.

A menor aceitação das amostras processadas em relação às amostras padrões pode ter sido causada por perdas de componentes do aroma durante a secagem, Routray e Mishra (2012) observaram tal comportamento realizando análise sensorial de iogurte indiano em pó. A adição de sabor bastante comum no mercado de iogurte poderia ser a solução para melhor aceitação das amostras em pó (AKALIN et al., 2012).

As amostras atomizadas tiveram a menor aceitação, de 3,39 para A2 e 2,59 para A1 ($p \leq 5$). Koc et al. (2010) também obtiveram valores baixos na aceitação do iogurte em pó por atomização, 6,10 numa escala de 20 pontos. Apesar dos baixos valores médios obtidos pelas amostras, a incorporação de aditivos no processamento influenciaram positivamente as amostras atomizadas proporcionando melhor aceitação destas, devido principalmente à preservação da cor e aroma, características essenciais para a aceitação (RASCÓN-DÍAZ et al., 2012).

As amostras atomizadas tiveram como principais características citadas pelos consumidores os mesmos atributos, sendo descritas principalmente como amareladas, sabor amanteigado, gordurosas, e homogêneas. Os problemas de escurecimento, formação de sabor estranho, além de aceleração da reação de rancificação são consequências da exposição de derivados lácteos a altas temperaturas. Estes defeitos influenciaram negativamente a aceitação das amostras atomizadas, o que ocorreu também no teste de aceitação de iogurte atomizado reidratado feito por Koc et al. (2010). As amostras foram consideradas homogêneas pela maioria dos consumidores, embora Rybka e Kailasapathy (1997) tenham afirmado que os iogurtes reidratados tenham consistência pobre devido às mudanças estruturais sofridas no processo.

O processo de atomização também promove a formação de compostos amargos, repulsivos ao paladar, devido à rancificação da gordura e a reação de Maillard, que também provocam mudança de coloração (KUMAR e MISHRA, 2004). Segundo Sakin-Yilmaz et al. (2014), o uso e consumo de iogurte seco após reconstituição exigem um comportamento reológico comparável aos iogurtes frescos, uma vez que as propriedades reológicas e estruturais de iogurte são muito relacionadas com os critérios sensoriais de qualidade, como maciez, consistência na boca e na colher, que afetam diretamente a aceitação do consumidor. Pan, Xu e Gao (1994) afirmaram que iogurte em pó, após reconstituição em água a temperaturas entre 10-40 °C, numa proporção de 1:5 de pó / água; tem paladar, sabor e composição nutricional semelhantes aos do iogurte fresco.

Tabela 3. Aceitação global das amostras de iogurte liofilizado ou atomizado, com ou sem aditivos, em relação aos controles comercial ou natural.

Amostras	Médias
CM	7,60 ^a ± 1,44
N	7,17 ^a ± 1,74
L1	5,94 ^b ± 2,16
L2	5,34 ^b ± 2,36
A2	3,39 ^c ± 1,73
A1	2,53 ^d ± 2,16

¹Médias com letras em comum não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5 % de significância. L1 = iogurte liofilizado sem aditivos; L2 = iogurte liofilizado com aditivos (0,6 % de goma arábica, 15 % de maltodextrina); A1 = iogurte atomizado sem aditivos; A2 = iogurte liofilizado com aditivos (0,6 % de goma arábica, 15 % de maltodextrina); N = iogurte natural; CM = iogurte comercial.

De acordo com os resultados do teste Q de Cochran apresentados na Tabela 4, quase todos os atributos com exceção da cremosidade servem para diferenciar as amostras entre si.

Tabela 4. Frequência (%) que cada um dos termos do questionário CATA foi marcado para descrição sensorial do iogurte reidratado liofilizado ou atomizado, com ou sem aditivos, controles comercial ou natural.

<i>Características</i>	<i>Amostras</i>						<i>Q de Cochran</i>
	<i>CM</i>	<i>CN</i>	<i>L1</i>	<i>L2</i>	<i>A1</i>	<i>A2</i>	<i>p. value</i>
Gosto ácido	43,02	22,09	32,56	23,26	20,93	20,93	1,00x10 ⁻³
Adstringente	8,14	4,65	10,47	6,98	25,58	13,95	2,53x10 ⁻⁶
Diluído	12,79	26,74	8,14	4,65	2,33	5,81	3,46x10 ⁻⁸
Presença de partículas	0,00	1,16	32,79	25,78	22,09	1,16	1,26x10 ⁻³³
Homogêneo	8,40	75,58	48,60	46,51	34,48	62,79	7,40x10 ⁻²⁵
Gosto doce	44,19	69,77	44,19	73,26	22,09	44,19	3,20x10 ⁻¹⁶
Rançoso	3,49	4,65	15,12	18,60	53,49	43,02	1,39x10 ⁻²²
Amarelado	2,33	1,16	20,93	68,60	69,77	77,91	5,57x10 ⁻⁴⁸
Sabor característico de iogurte	84,88	69,77	53,49	32,56	6,98	6,98	9,65x10 ⁻³⁹
Sabor característico de leite	22,79	25,58	23,26	23,36	10,47	10,47	2,78x10 ⁻³
Aroma característico de iogurte	72,09	52,33	37,21	27,91	4,65	10,47	6,96x10 ⁻²⁹
Aroma característico de leite	17,44	30,23	36,05	20,93	13,95	15,12	1,64x10 ⁻⁴
Sabor de queijo	11,63	6,98	23,26	20,93	33,72	31,40	2,97x10 ⁻⁶
Sabor amanteigado	6,98	8,14	26,74	37,21	54,65	60,47	2,47x10 ⁻²¹
Gorduroso	4,65	12,79	25,58	43,02	55,81	59,30	1,37x10 ⁻²³
Cor branca	84,88	83,72	56,98	11,63	9,30	2,33	3,74x10 ⁻⁵³
Cremoso	68,90	63,95	59,30	66,28	54,65	63,90	3,04x10 ⁻¹

L1 = iogurte liofilizado sem aditivos; L2 = iogurte liofilizado com aditivos (0,6 % de goma arábica, 15 % de maltodextrina); A1 = iogurte atomizado sem aditivos; A2 = iogurte liofilizado com aditivos (0,6 % de goma arábica, 15 % de maltodextrina); N = iogurte natural; CM = iogurte comercial.

A Figura 2 mostra o mapa sensorial de análise de componentes principais obtido com as características investigadas no CATA. As primeiras dimensões da análise de correspondência representam 90,78 % da variância dos dados experimentais, estando 73,05 % na primeira dimensão e 17,73 % na segunda. As características mais desejáveis no iogurte tiveram valores negativos na primeira dimensão e valores próximos a 0 na segunda dimensão, estando as amostras comercial e natural nesse quadrante. Já as características depreciativas estavam no lado positivo da dimensão 1 e próximos a 0 na dimensão 2, essas regiões foram ocupadas pelas amostras L2 e, principalmente, as atomizadas.

As amostras CM e CN foram avaliadas com características próximas, compreendendo as características comuns ao iogurte, no entanto, com aspecto diluído provavelmente devido supostamente à agitação mecânica antes do teste. A Amostra L2 possui características entre as

amostras atomizadas e da outra amostra liofilizada (L1), que por sua vez possui aroma e sabor característicos próximos ao do leite. As amostras atomizadas possuem características próximas e desagradáveis, como rançosa, amarelada, sabor amanteigada e gordurosa, sendo a amostra A1 com características mais intensas. Estes resultados trazem informações práticas para uma aplicação industrial, indicando quais atributos estão relacionados a uma possível aceitação ou rejeição dos produtos. Segundo Routray e Mishra (2012), o gosto, o sabor, a homogeneidade e a cor, necessariamente nesta ordem, são os atributos determinantes para a aceitação do iogurte.

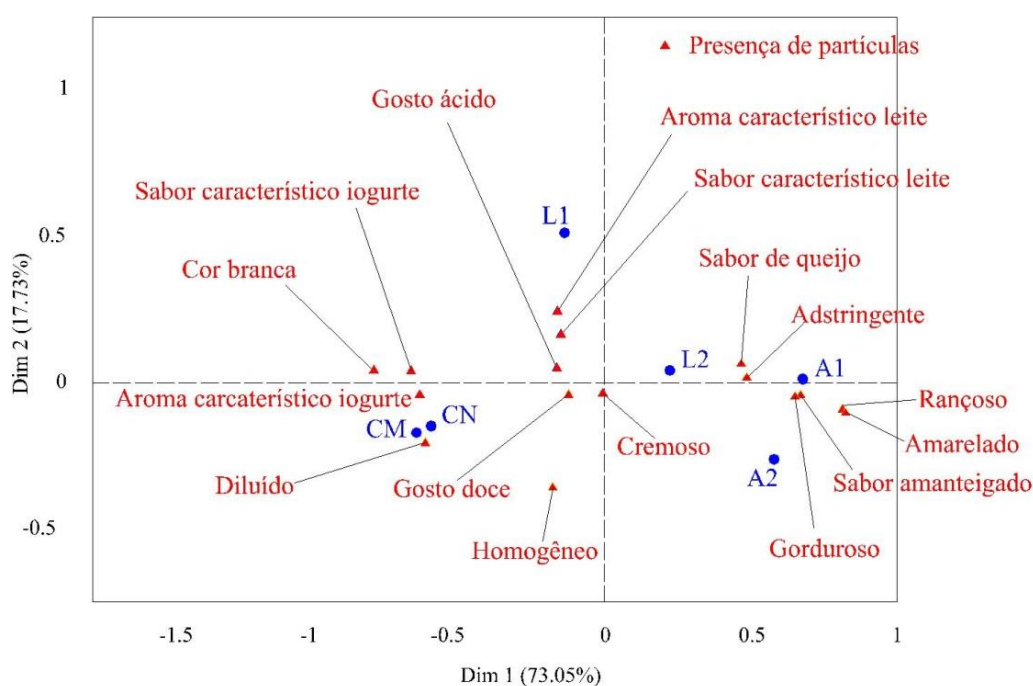


Figura 2. Termos sensoriais usados para descrever as amostras nas duas primeiras dimensões da análise de correspondência (ACP) das variáveis descritivas no CATA e representação das amostras de iogurte reidratado liofilizado ou atomizado, com ou sem aditivos, em relação aos controles comercial ou natural. L1 = iogurte liofilizado sem aditivos; L2 = iogurte liofilizado com aditivos (0,6 % de goma arábica, 15 % de maltodextrina); A1 = iogurte atomizado sem aditivos; A2 = iogurte liofilizado com aditivos (0,6 % de goma arábica, 15 % de maltodextrina); N = iogurte natural; CM = iogurte comercial.

A Figura 3 apresenta o percentual de reprovação (atribuições de notas entre 1 a 4), indiferença (notas iguais a 5) e aceitação (atribuições de notas entre 6 a 9) das amostras. As liofilizadas apresentaram um nível de aceitação bem superior às atomizadas, L1 = 62,8 % e L2 = 55, 81 % de aceitação; sendo L1 rejeitada por 25,6 % e L2 por 36,04 % dos consumidores. As amostras atomizadas foram rejeitadas por A1 = 86 % e A2 = 67,4 %, sendo aceitas por apenas A1 = 8,1 % e A2 = 20,9 %; como comprovado, os aditivos utilizados tiveram efeito positivo para atomização e negativo para liofilização do iogurte no que diz respeito à aceitação.

As amostras reidratadas de um modo geral tiveram aceitação bem inferior que a amostras natural, com 88,4 %, e comercial, com 93,02 %. No entanto, as amostras liofilizadas apresentaram bons resultados, já que mais da metade dos consumidores indicaram aceitação positiva dos produtos.

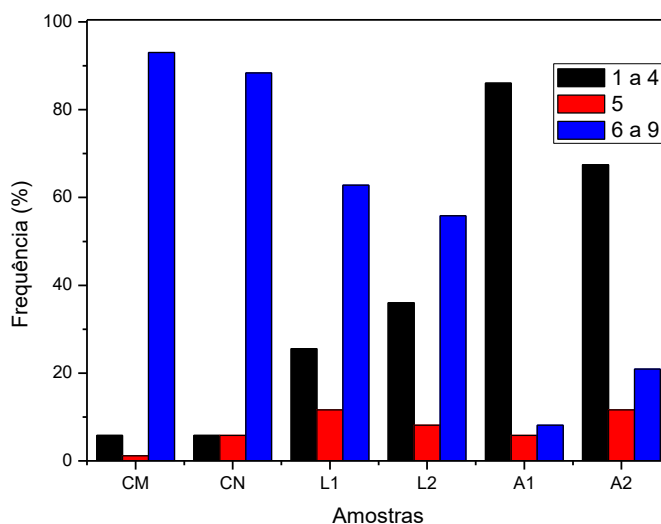


Figura 3. Faixa de aceitação do iogurte reidratado liofilizado ou atomizado, com ou sem aditivos, em relação aos controles comercial ou natural. L1 = iogurte liofilizado sem aditivos; L2 = iogurte liofilizado com aditivos (0,6 % de goma arábica, 15 % de maltodextrina); A1 = iogurte atomizado sem aditivos; A2 = iogurte liofilizado com aditivos (0,6 % de goma arábica, 15 % de maltodextrina); N = iogurte natural; CM = iogurte comercial.

A aceitação dos G1 e G2 foram diferentes entre si, como pode ser visto na Tabela 5. O G1 teve uma melhor aceitação em relação a todas as amostras, tendo como destaques as amostras liofilizadas, que tiveram aceitação acima de 7, o que representa gostei moderadamente na escala hedônica. O G2 não aceitou bem as amostras liofilizadas, atribuindo notas médias abaixo de 4, que representa desgostei moderadamente. Para as amostras atomizadas, o Grupo 1 foi indiferente na avaliação da amostra A2, atribuindo média de 5, enquanto que o grupo G2 atribuiu valores menores, sendo a média abaixo de 2, que representa desgostei muito. Farah, Araujo e Melo (2016), analisando o perfil de consumidores de iogurte e outras bebidas fermentadas, constaram em seus estudos a formação de dois grupos, G1 e G2, que atribuíram médias de 5,9 e 6,6, respectivamente, para aceitação de iogurte.

Tabela 5. Aceitação do iogurte reidratado liofilizado ou atomizado, com ou sem aditivos, em relação aos controles comercial ou natural pelos consumidores dos grupos G1 e G2.

Grupos	Amostra					
	CM	CN	L1	L2	A1	A2
G1	7,9 ^a ± 0,21	7,6 ^b ± 0,24	7,0 ^b ± 0,26	6,9 ^b ± 0,24	3,5 ^b ± 0,19	4,6 ^b ± 0,25
G2	7,3 ^a ± 0,23	6,6 ^a ± 0,27	4,6 ^a ± 0,29	3,5 ^a ± 0,27	1,3 ^a ± 0,21	1,9 ^a ± 0,27
Média	7,6	7,2	5,9	5,3	2,5	3,4

L1 = iogurte liofilizado sem aditivos; L2 = iogurte liofilizado com aditivos (0,6 % de goma arábica, 15 % de maltodextrina); A1 = iogurte atomizado sem aditivos; A2 = iogurte liofilizado com aditivos (0,6 % de goma arábica, 15 % de maltodextrina); N = iogurte natural; CM = iogurte comercial.

4 CONCLUSÃO

As amostras reidratadas sem aditivos possuem composição centesimal similar a do iogurte concentrado, sendo nutritivas, notadamente devido ao teor proteico e de cálcio. A incorporação de aditivos diminuiu a aceitação das amostras liofilizadas e aumentou a aceitação das amostras atomizadas.

As amostras liofilizadas apresentaram aceitação bem superior às amostras atomizadas, os atributos associados à aceitação foram sabor característico de iogurte, homogêneo, cor branca. Entretanto, as amostras atomizadas tiveram baixa aceitação devido a atributos relacionados a reações de escurecimento. As amostras liofilizadas possuíram boa aceitação no grupo formado por mulheres de 26 a 45 anos, com ensino superior, classe média e que consomem iogurte frequentemente.

O processo de liofilização se mostrou uma alternativa para a desidratação do iogurte, preservando características sensoriais do produto mesmo depois da reidratação, já as amostras atomizadas necessitam de tratamentos posteriores como incorporação de sabores e corantes para suavizar os efeitos do processo.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- ABADIAS, M. et al. Viability, efficacy, and storage stability of freeze-dried biocontrol agent *Candida sake* using different protective and rehydration media. **Journal of Food Protection**, v. 64, n. 6, p. 856-861, 2001.
- AKALIN, A. et al. Microstructural, textural, and sensory characteristics of probiotic yogurts fortified with sodium calcium caseinate or whey protein concentrate. **Journal of dairy science**, v. 95, n. 7, p. 3617-3628, 2012.
- AL-KADAMANY, E. et al. Determination of shelf life of concentrated yogurt (Labneh) produced by in-bag straining of set yogurt using hazard analysis. **Journal of dairy science**, v. 85, n. 5, p. 1023-1030, 2002.
- ANAL, A. K.; SINGH, H. Recent advances in microencapsulation of probiotics for industrial applications and targeted delivery. **Trends in Food Science & Technology**, v. 18, n. 5, p. 240-251, 2007.
- ANANTA, E.; VOLKERT, M.; KNORR, D. Cellular injuries and storage stability of spray-dried *Lactobacillus rhamnosus* GG. **International Dairy Journal**, v. 15, n. 4, p. 399-409, 2005.
- ANEMA, S. et al. Effects of storage temperature on the solubility of milk protein concentrate (MPC85). **Food Hydrocolloids**, v. 20, n. 2, p. 386-393, 2006.
- AOAC. **Official methods of analysis of AOAC International**. Gaithersburg: AOAC International 2010.
- ARES, G. et al. Application of a check-all-that-apply question to the development of chocolate milk desserts. **Journal of Sensory Studies**, v. 25, n. s1, p. 67-86, 2010.
- ARES, G. et al. Visual attention by consumers to check-all-that-apply questions: Insights to support methodological development. **Food Quality and Preference**, v. 32, p. 210-220, 2014.
- ARES, G.; JAEGER, S. R. Check-all-that-apply questions: Influence of attribute order on sensory product characterization. **Food Quality and Preference**, v. 28, n. 1, p. 141-153, 2013.
- ARES, G. et al. CATA questions for sensory product characterization: Raising awareness of biases. **Food Quality and Preference**, v. 30, n. 2, p. 114-127, 2013.
- ARES, G. et al. Investigation of the number of consumers necessary to obtain stable sample and descriptor configurations from check-all-that-apply (CATA) questions. **Food Quality and Preference**, v. 31, p. 135-141, 2014.
- ASSOCIATION, I. D. F. et al. **Dairy facts**. International Dairy Foods Association, 2003.
- ATALAR, I.; DERVISOGLU, M. Optimization of spray drying process parameters for kefir powder using response surface methodology. **LWT-Food Science and Technology**, v. 60, n. 2, p. 751-757, 2015.
- BARBOSA, J. et al. Comparison of spray drying, freeze drying and convective hot air drying for the production of a probiotic orange powder. **Journal of Functional Foods**, v. 17, p. 340-351, 2015.
- BARBOSA, S. J. **Qualidade de suco em pó de mistura de frutas obtido por spray drying**. 2010. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido, Universidade Estadual de Montes Claros-Unimontes
- BASTIOGLU, A. Z.; DIRIM, S. N.; ERTEKIN, F. K. Moisture Sorption Isotherms of Yogurt Powder Containing Candied Chestnut Puree. **Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology**, v. 4, n. 8, p. 676-683, 2016.

BEAL, C.; FONSECA, F.; CORRIEU, G. Resistance to freezing and frozen storage of *Streptococcus thermophilus* is related to membrane fatty acid composition. **Journal of Dairy Science**, v. 84, n. 11, p. 2347-2356, 2001.

BEALES, N. Adaptation of microorganisms to cold temperatures, weak acid preservatives, low pH, and osmotic stress: a review. **Comprehensive Reviews in Food science and Food safety**, v. 3, n. 1, p. 1-20, 2004.

BEHBOUDI-JOBBEHDAR, S. et al. Optimization of spray-drying process conditions for the production of maximally viable microencapsulated *L. acidophilus* NCIMB 701748. **Drying Technology**, v. 31, n. 11, p. 1274-1283, 2013.

BIELECKA, M.; MAJKOWSKA, A. Effect of spray drying temperature of yoghurt on the survival of starter cultures, moisture content and sensoric properties of yoghurt powder. **Molecular Nutrition & Food Research**, v. 44, n. 4, p. 257-260, 2000.

BIELECKA, M.; MAJKOWSKA, A. Effect of spray drying temperature of yoghurt on the survival of starter cultures, moisture content and sensoric properties of yoghurt powder. **Food/Nahrung**, v. 44, n. 4, p. 257-260, 2000.

BONG, D.; MORARU, C. Use of micellar casein concentrate for Greek-style yogurt manufacturing: Effects on processing and product properties. **Journal of dairy science**, v. 97, n. 3, p. 1259-1269, 2014.

BOSS, E. A.; MACIEL FILHO, R.; DE TOLEDO, E. C. V. Freeze drying process: real time model and optimization. **Chemical engineering and processing: process intensification**, v. 43, n. 12, p. 1475-1485, 2004.

BOZA, Y.; BARBIN, D.; SCAMPARINI, A. Effect of spray-drying on the quality of encapsulated cells of *Beijerinckia* sp. **Process Biochemistry**, v. 39, n. 10, p. 1275-1284, 2004.

BOZOĞLU, T.; ÖZILGEN, M.; BAKIR, U. Survival kinetics of lactic acid starter cultures during and after freeze drying. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 9, n. 9, p. 531-537, 1987.

BRASIL. **REGULAMENTO TÉCNICO DE IDENTIDADE E QUALIDADE DE LEITE EM PÓ**. AGRÁRIA., M. D. A. D. A. E. D. R. Brasília: PORTARIA Nº 146 DE 07 DE MARÇO. 1996.

_____. **Regulamento técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos**. VIGILÂNCIA, A. N. D. e UNIÃO, S. D. O. D. Brasília 2001.

_____. **Métodos Analíticos Oficiais Físico-Químicos para controle de leite e produtos lácteos (Instrução Normativa nº 68 de 12/12/2006)**. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, P. E. A. Brasília: Diário Oficial da República Federativa do Brasil. 2006.

_____. **Instrução Normativa nº 46, de 23 de outubro de 2007. Adota o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Leites Fermentados**. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, P. E. A. Brasília: Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 2007.

BRUZZONE, F.; ARES, G.; GIMÉNEZ, A. CONSUMERS' TEXTURE PERCEPTION OF MILK DESSERTS. II-COMPARISON WITH TRAINED ASSESSORS' DATA. **Journal of Texture Studies**, v. 43, n. 3, p. 214-226, 2012.

BRUZZONE, F.; ARES, G.; GIMÉNEZ, A. Temporal aspects of yoghurt texture perception. **International Dairy Journal**, v. 29, n. 2, p. 124-134, 2013.

CANO-CHAUCA, M. et al. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 6, n. 4, p. 420-428, 2005.

CAPELA, P.; HAY, T.; SHAH, N. Effect of cryoprotectants, prebiotics and microencapsulation on survival of probiotic organisms in yoghurt and freeze-dried yoghurt. **Food Research International**, v. 39, n. 2, p. 203-211, 2006.

CARDONA, T. et al. Optimizing conditions for heat pump dehydration of lactic acid bacteria. **Drying technology**, v. 20, n. 8, p. 1611-1632, 2002.

CARVALHO, A. S. et al. Survival of freeze-dried *Lactobacillus plantarum* and *Lactobacillus rhamnosus* during storage in the presence of protectants. **Biotechnology letters**, v. 24, n. 19, p. 1587-1591, 2002.

CARVALHO, A. S. et al. Effects of Various Sugars Added to Growth and Drying Media upon Thermotolerance and Survival throughout Storage of Freeze-Dried *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus*. **Biotechnology Progress**, v. 20, n. 1, p. 248-254, 2004a.

_____. Relevant factors for the preparation of freeze-dried lactic acid bacteria. **International Dairy Journal**, v. 14, n. 10, p. 835-847, 2004b.

CARVALHO, M. J.; PEREZ-PALACIOS, T.; RUIZ-CARRASCAL, J. Physico-chemical and sensory characteristics of freeze-dried and air-dehydrated yogurt foam. **LWT-Food Science and Technology**, v. 80, p. 328-334, 2017.

CASTURA, J. C. et al. Temporal Check-All-That-Apply (TCATA): A novel dynamic method for characterizing products. **Food Quality and Preference**, v. 47, p. 79-90, 2016.

CHÁVEZ, B.; LEDEBOER, A. Drying of probiotics: optimization of formulation and process to enhance storage survival. **Drying Technology**, v. 25, n. 7-8, p. 1193-1201, 2007.

CHEN, X. D.; PATEL, K. C. Micro-organism inactivation during drying of small droplets or thin-layer slabs—A critical review of existing kinetics models and an appraisal of the drying rate dependent model. **Journal of Food Engineering**, v. 82, n. 1, p. 1-10, 2007.

CHITRA, J.; DEB, S.; MISHRA, H. N. Selective fractionation of cholesterol from whole milk powder: optimisation of supercritical process conditions. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 50, n. 11, p. 2467-2474, 2015.

CHUTRTONG, J. The Dynamics of Microorganisms in Dried Yogurt Storages at Different Temperatures. **World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Biological, Biomolecular, Agricultural, Food and Biotechnological Engineering**, v. 8, n. 5, p. 459-461, 2014.

CONRAD, P. B. et al. Stabilization and Preservation of *Lactobacillus acidophilus* in Saccharide Matrices. **Cryobiology**, v. 41, n. 1, p. 17-24, 2000.

CORCORAN, B. et al. Comparative survival of probiotic lactobacilli spray-dried in the presence of prebiotic substances. **Journal of Applied Microbiology**, v. 96, n. 5, p. 1024-1039, 2004.

COSTA, E. et al. Effect of protective agents, rehydration media and initial cell concentration on viability of *Pantoea agglomerans* strain CPA-2 subjected to freeze-drying. **Journal of Applied Microbiology**, v. 89, n. 5, p. 793-800, 2000.

CRUZ, A. et al. Consumer perception of probiotic yogurt: Performance of check all that apply (CATA), projective mapping, sorting and intensity scale. **Food Research International**, v. 54, n. 1, p. 601-610, 2013.

CRUZ, A. et al. Developing a prebiotic yogurt: Rheological, physico-chemical and microbiological aspects and adequacy of survival analysis methodology. **Journal of food engineering**, v. 114, n. 3, p. 323-330, 2013.

DA CUNHA, M. E. T. et al. Intolerância à lactose e alternativas tecnológicas. **Journal of Health Sciences**, v. 10, n. 2, 2015.

DA SILVA LANNES, S. C.; MEDEIROS, M. L. Processamento de achocolatado de cupuaçu por spray-dryer. **Brazilian journal of pharmaceutical sciences**, v. 39, n. 1, 2003.

DE ANTONI, G. et al. Trehalose, a cryoprotectant for *Lactobacillus bulgaricus*. **Cryobiology**, v. 26, n. 2, p. 149-153, 1989.

DE URRAZA, P.; DE ANTONI, G. Induced Cryotolerance of *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* LBB by Preincubation at Suboptimal Temperatures with a Fermentable Sugar. **Cryobiology**, v. 35, n. 2, p. 159-164, 1997.

DESMOND, C. et al. Environmental adaptation of probiotic lactobacilli towards improvement of performance during spray drying. **International Dairy Journal**, v. 11, n. 10, p. 801-808, 2001.

DIMITRELLOU, D. et al. Evaluation of thermally-dried *Kluyveromyces marxianus* as baker's yeast. **Food chemistry**, v. 115, n. 2, p. 691-696, 2009.

DOOLEY, L.; LEE, Y.-S.; MEULLENET, J.-F. The application of check-all-that-apply (CATA) consumer profiling to preference mapping of vanilla ice cream and its comparison to classical external preference mapping. **Food quality and preference**, v. 21, n. 4, p. 394-401, 2010.

DOS SANTOS MATHIAS, T. R. et al. Avaliação do comportamento reológico de diferentes iogurtes comerciais/Rheological evaluation of different commercial yoghurts. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 16, n. 1, p. 12, 2013.

EFIUVWEVWERE, B. et al. Mannitol-enhanced survival of *Lactococcus lactis* subjected to drying. **Applied microbiology and biotechnology**, v. 51, n. 1, p. 100-104, 1999.

ERGÜN, K. et al. Freeze drying of yoghurt with candied chestnut puree: survival of lactic acid bacteria and determination of physical properties. **Italian Journal of Food Science**, v. 25, n. 4, p. 470, 2013.

FANG, Y. et al. Functionality of milk protein concentrate: Effect of spray drying temperature. **Biochemical Engineering Journal**, v. 62, p. 101-105, 2011. FANG, Y.; SELOMULYA, C.; CHEN, X. On measurement of food powder reconstitution properties. **Drying technology**, v. 26, n. 1, p. 3-14, 2007.

FARAH, J. S.; ARAUJO, C. B.; MELO, L. Analysis of yoghurts', whey-based beverages' and fermented milks' labels and differences on their sensory profiles and acceptance. **International Dairy Journal**, 2016.

FARAJI, H.; LINDSAY, R. C. Characterization of the antioxidant activity of sugars and polyhydric alcohols in fish oil emulsions. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 52, n. 23, p. 7164-7171, 2004.

_____. Antioxidant protection of bulk fish oils by dispersed sugars and polyhydric alcohols. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 53, n. 3, p. 736-744, 2005. FELLOWS, P. J. et al. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**. Artmed, 2006.

FONSECA, C. R. et al. Physical properties of goat milk powder with soy lecithin added before spray drying. **International journal of food science & technology**, v. 46, n. 3, p. 608-611, 2011.

FONSECA, F.; BÉAL, C.; CORRIEU, G. Operating conditions that affect the resistance of lactic acid bacteria to freezing and frozen storage. **Cryobiology**, v. 43, n. 3, p. 189-198, 2001.

FONSECA, F. et al. Improvement of cryopreservation of *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* CFL1 with additives displaying different protective effects. **International Dairy Journal**, v. 13, n. 11, p. 917-926, 2003.

FOSCHINO, R.; FIORI, E.; GALLI, A. Survival and residual activity of *Lactobacillus acidophilus* frozen cultures under different conditions. **Journal of dairy research**, v. 63, n. 02, p. 295-303, 1996.

FOSTER, K. D.; BRONLUND, J. E.; PATERSON, A. T. The prediction of moisture sorption isotherms for dairy powders. **International Dairy Journal**, v. 15, n. 4, p. 411-418, 2005.

FREUDIG, B.; HOGEKAMP, S.; SCHUBERT, H. Dispersion of powders in liquids in a stirred vessel. **Chemical Engineering and Processing: Process Intensification**, v. 38, n. 4, p. 525-532, 1999.

FU, N.; CHEN, X. D. Towards a maximal cell survival in convective thermal drying processes. **Food Research International**, v. 44, n. 5, p. 1127-1149, 2011. ISSN 0963-9969.

GIRGIS, H. S. et al. Stress adaptations of lactic acid bacteria. **Microbial stress adaptation and food safety**, p. 159-211, 2003.

GONÇALVEZ, D. et al. Effect of Thickeners on the Texture of stirred Yogurt. **Alimentos e Nutrição Araraquara**, v. 16, n. 3, p. 207-11, 2003.

GYAWALI, R.; IBRAHIM, S. A. Effects of hydrocolloids and processing conditions on acid whey production with reference to Greek yogurt. **Trends in Food Science & Technology**, v. 56, p. 61-76, 2016.

HAUG, A.; HØSTMARK, A. T.; HARSTAD, O. M. Bovine milk in human nutrition—a review. **Lipids in health and disease**, v. 6, n. 1, p. 25, 2007..

HAYALOGLU, A. et al. Mathematical modeling of drying characteristics of strained yoghurt in a convective type tray-dryer. **Journal of Food Engineering**, v. 78, n. 1, p. 109-117, 2007.

HECKLY, R. J. Preservation of bacteria by lyophilization. **Advances in applied microbiology**, v. 3, n. 1, 1961.

HIGL, B. et al. Impact of water activity, temperature, and physical state on the storage stability of *Lactobacillus paracasei* ssp. *paracasei* freeze-dried in a lactose matrix. **Biotechnology Progress**, v. 23, n. 4, p. 794-800, 2007.

HLA, P.; HOGEKAMP, S. Wetting behaviour of instantized cocoa beverage powders. **International journal of food science & technology**, v. 34, n. 4, p. 335-342, 1999.

HOGEKAMP, S.; SCHUBERT, H. Rehydration of food powders. **Food Science and Technology International**, v. 9, n. 3, p. 223-235, 2003.

HUBÁLEK, Z. Protectants used in the cryopreservation of microorganisms. **Cryobiology**, v. 46, n. 3, p. 205-229, 2003.

HUNTER, R. Scales for the measurements of color difference. **the Measurement of Appearance. John Willy & Sons, New York**, p. 133-140, 1975.

HUTKINS, R. W. **Microbiology and technology of fermented foods**. John Wiley & Sons, 2008.

IGLESIAS, H. **Handbook of food isotherms: Water sorption parameters for food and food components**. Elsevier, 2012.

IZADI, M. et al. Optimisation of a pilot-scale spray drying process for probiotic yoghurt, using response surface methodology. **International Journal of Dairy Technology**, v. 67, n. 2, p. 211-219, 2014.

JAEGER, S. R. et al. Check-all-that-apply (CATA) responses elicited by consumers: Within-assessor reproducibility and stability of sensory product characterizations. **Food Quality and Preference**, v. 30, n. 1, p. 56-67, 2013.

JAEGER, S. R. et al. Investigation of bias of hedonic scores when co-eliciting product attribute information using CATA questions. **Food Quality and Preference**, v. 30, n. 2, p. 242-249, 2013.

JAYA, S.; DAS, H. Glass transition and sticky point temperatures and stability/mobility diagram of fruit powders. **Food and Bioprocess Technology**, v. 2, n. 1, p. 89-95, 2009.

JULIANO, P.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. Food powders flowability characterization: theory, methods, and applications. **Annual review of food science and technology**, v. 1, p. 211-239, 2010.

KAYMAK-ERTEKIN, F.; GEDIK, A. Sorption isotherms and isosteric heat of sorption for grapes, apricots, apples and potatoes. **LWT-Food Science and Technology**, v. 37, n. 4, p. 429-438, 2004.

KEARNEY, N. et al. Development of a spray dried probiotic yoghurt containing *Lactobacillus paracasei* NFBC 338. **International Dairy Journal**, v. 19, n. 11, p. 684-689, 2009.

KILARA, A.; SHAHANI, K.; DAS, N. Effect of cryoprotective agents on freeze-drying and storage of lactic cultures. **Cult Dairy Prod J**, 1976.

KIM, E. H.-J.; CHEN, X. D.; PEARCE, D. Surface composition of industrial spray-dried milk powders. 1. Development of surface composition during manufacture. **Journal of Food Engineering**, v. 94, n. 2, p. 163-168, 2009a.

_____. Surface composition of industrial spray-dried milk powders. 2. Effects of spray drying conditions on the surface composition. **Journal of Food Engineering**, v. 94, n. 2, p. 169-181, 2009b. _____ . Surface composition of industrial spray-dried milk powders. 3. Changes in the surface composition during long-term storage. **Journal of food engineering**, v. 94, n. 2, p. 182-191, 2009c.

KIM, E. H. J.; CHEN, X. D.; PEARCE, D. Surface characterization of four industrial spray-dried dairy powders in relation to chemical composition, structure and wetting property. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 26, n. 3, p. 197-212, 2002.

KIM, S. S.; BHOWMIK, S. R. Survival of lactic acid bacteria during spray drying of plain yogurt. **Journal of Food Science**, v. 55, n. 4, p. 1008-1010, 1990.

_____. Moisture sorption isotherms of concentrated yogurt and microwave vacuum dried yogurt powder. **Journal of Food Engineering**, v. 21, n. 2, p. 157-175, 1994. KIM, S. S. et al. Survival of Lactic acid Bacteria during Microwave Vacuum-drying of Plain Yoghurt. **LWT - Food Science and Technology**, v. 30, n. 6, p. 573-577, 1997. KITAMURA, Y. et al. Experimental vacuum spray drying of probiotic foods included with lactic acid bacteria. **Journal of food processing and preservation**, v. 33, n. 6, p. 714-726, 2009.

KOÇ, B. et al. Physical properties of yoghurt powder produced by spray drying. **Journal of food science and technology**, v. 51, n. 7, p. 1377-1383, 2014.

KOC, B. et al. Spray drying of yogurt: Optimization of process conditions for improving viability and other quality attributes. **Drying Technology**, v. 28, n. 4, p. 495-507, 2010.

KOKSOY, A.; KILIC, M. Use of hydrocolloids in textural stabilization of a yoghurt drink, ayran. **Food hydrocolloids**, v. 18, n. 4, p. 593-600, 2004.

KRASAEKOOPT, W.; BHATIA, S. Production of yogurt powder using foam-mat drying. **AU Journal of Technology**, v. 15, n. 3, 2012.

KUMAR, P.; MISHRA, H. Storage stability of mango soy fortified yoghurt powder in two different packaging materials: HDPP and ALP. **Journal of Food Engineering**, v. 65, n. 4, p. 569-576, 2004.

KUMAR, P.; MISHRA, H. Yoghurt powder—A review of process technology, storage and utilization. **Food and Bioproducts Processing**, v. 82, n. 2, p. 133-142, 2004.

KUMAR, P.; MISHRA, H. Effect of stabilizer on drying characteristics and quality of mango soy fortified yoghurt. **European Food Research and Technology**, v. 220, n. 5-6, p. 483-488, 2005.

KUMAR, P.; MISHRA, H. N. Moisture sorption characteristics of mango–soy-fortified yogurt powder. **International journal of dairy technology**, v. 59, n. 1, p. 22-28, 2006.

KUROZAWA, L. E.; EL-AOUAR, Â. A.; MURR, F. E. Obtenção de isotermas de dessecção de cogumelo in natura e desidratado osmoticamente. **Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas**, v. 25, n. 4, p. 828-834, 2005.

KUROZAWA, L. E. et al. Influence of spray drying conditions on physicochemical properties of chicken meat powder. **Drying Technology**, v. 27, n. 11, p. 1248-1257, 2009.

LAIHO, S. et al. Effect of whey protein phase volume on the tribology, rheology and sensory properties of fat-free stirred yoghurts. **Food Hydrocolloids**, v. 67, p. 166-177, 2017.

LAWLESS, H. T.; HEYMANN, H. **Sensory evaluation of food: principles and practices**. Springer Science & Business Media, 2010.

LESLIE, S. B. et al. Trehalose and sucrose protect both membranes and proteins in intact bacteria during drying. **Applied and environmental microbiology**, v. 61, n. 10, p. 3592-3597, 1995.

LIAN, W.-C.; HSIAO, H.-C.; CHOU, C.-C. Survival of bifidobacteria after spray-drying. **International journal of food microbiology**, v. 74, n. 1, p. 79-86, 2002. ISSN 0168-1605.

LIAPIS, A. I.; BRUTTINI, R. **Freeze Drying Handbook of industrial drying**. 3rd ed. 2006. 259

LIEVENSE, L.; VAN'T RIET, K. Convective drying of bacteria. In: (Ed.). **Biotechnics/Wastewater**: Springer, 1994. p.71-89. LUTZ, I. A. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. **São Paulo: ANVISA**, 2008.

MACRAE, R. Food science and technology: a series of monographs: HPLC in food analysis. **New York: Academic**, p. 77, 1998.

MADAMBA, P.; DRISCOLL, R.; BUCKLE, K. Predicting the sorption behaviour of garlic slices. **Drying Technology**, v. 12, n. 3, p. 669-683, 1994.

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 & technology**, v. 41, n. 5, p. 560-568, 2006.

MANOUKIAN, E. B. Mathematical nonparametric statistics. 1986.

MARQUES, L. G. Liofilização de frutas tropicais. **São Carlos: UFSCar**, 2008.

MASTERS, K.; HANDBOOK, S.-D. Longman Scientific and Technical. **Spray Drying Handbook**, 1990.

MATA, M. et al. Obtenção de Graviola em pó pelo processo de Liofilização. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 7, n. 2, p. 165-172, 2005.

MELO FILHO, A. B. D.; VASCONCELOS, M. A. D. S. Química dos Alimentos. 2016.

MELO, L. et al. Using response surface methodology and high-intensity sweeteners' positive synergy to optimize peach nectar acceptability. 2013.

MESTRY, A.; MUJUMDAR, A.; THORAT, B. Optimization of spray drying of an innovative functional food: Fermented mixed juice of carrot and watermelon. **Drying Technology**, v. 29, n. 10, p. 1121-1131, 2011.

MEZHERICHER, M.; LEVY, A.; BORDE, I. Spray drying modelling based on advanced droplet drying kinetics. **Chemical Engineering and Processing: Process Intensification**, v. 49, n. 11, p. 1205-1213, 2010.

MORGAN, C. A. et al. Preservation of micro-organisms by drying; A review. **Journal of Microbiological Methods**, v. 66, n. 2, p. 183-193, 2006. MULLINEUX, G.; SIMMONS, M. J. Effects of processing on shear rate of yoghurt. **Journal of food engineering**, v. 79, n. 3, p. 850-857, 2007.

NGUYEN, P. T. et al. Effect of different hydrocolloids on texture, rheology, tribology and sensory perception of texture and mouthfeel of low-fat pot-set yoghurt. **Food Hydrocolloids**, 2017.

NIJDAM, J.; LANGRISH, T. The effect of surface composition on the functional properties of milk powders. **Journal of Food Engineering**, v. 77, n. 4, p. 919-925, 2006. OLIVEIRA, A. et al. Microencapsulation of *B. lactis* (BI 01) and *L. acidophilus* (LAC 4) by complex coacervation followed by spouted-bed drying. **Drying Technology**, v. 25, n. 10, p. 1687-1693, 2007. PALMFELDT, J.; HAHN-HÅGERDAL, B. Influence of culture pH on survival of *Lactobacillus reuteri* subjected to freeze-drying. **International journal of food microbiology**, v. 55, n. 1, p. 235-238, 2000.

PAN, T.; XU, G.; GAO, F. Manufacture of yoghurt powder. **Shipin-Kexue**, v. 3, p. 18-21, 1994.

PANOFF, J.-M.; THAMMAVONGS, B.; GUÉGUEN, M. Cryoprotectants lead to phenotypic adaptation to freeze-thaw stress in *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* CIP 101027T. **Cryobiology**, v. 40, n. 3, p. 264-269, 2000.

PARAMITA, V. et al. Effect of additives on the morphology of spray-dried powder. **Drying Technology**, v. 28, n. 3, p. 323-329, 2010. PARENTE, M. E.; MANZONI, A. V.; ARES, G. EXTERNAL PREFERENCE MAPPING OF COMMERCIAL ANTIAGING CREAMS BASED ON CONSUMERS' RESPONSES TO A CHECK-ALL-THAT-APPLY QUESTION. **Journal of Sensory Studies**, v. 26, n. 2, p. 158-166, 2011.

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

PEIGHAMBARDOUST, S.; TAFTI, A. G.; HESARI, J. Application of spray drying for preservation of lactic acid starter cultures: a review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 22, n. 5, p. 215-224, 2011.

PEREZ SILVA, A.; SALGADO CERVANTES, M.; GARCIA GALINDO, H. Acetaldehyde retention during spray drying of yoghurt. **Milchwissenschaft**, v. 52, n. 2, p. 89-93, 1997.

PHADUNGATH, C. Greek-Style Yogurt and Its Application in Cheesecake. **International Journal of Food Engineering**, v. 1, n. 1, 2015.

QUEIROZ, V.; FONTES, S. Experimental analysis of structural change and rheological behavior of macromolecular solutions with guar and xanthan gums in crossflow microfiltration processing. **Food and Bioprocess Technology**, v. 1, n. 2, p. 180-186, 2008.

RAMIREZ-FIGUEROA, E. et al. Addition of hydrocolloids to improve the functionality of spray dried yoghurt. **Milchwissenschaft**, v. 57, n. 2, p. 87-89, 2002.

RASCÓN-DÍAZ, M. P. et al. Spray drying yogurt incorporating hydrocolloids: structural analysis, acetaldehyde content, viable bacteria, and rheological properties. **Food and bioprocess technology**, v. 5, n. 2, p. 560-567, 2012.

RATHI, S. et al. Studies on the physico chemical properties of freeze dried dahi. **Indian Journal of Dairy Science**, v. 43, n. 2, p. 249-251, 1990.

RATTI, C. Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review. **Journal of food engineering**, v. 49, n. 4, p. 311-319, 2001.

REINBACH, H. C. et al. Comparison of three sensory profiling methods based on consumer perception: CATA, CATA with intensity and Napping®. **Food Quality and Preference**, v. 32, p. 160-166, 2014.

RIVEROS, B.; FERRER, J.; BORQUEZ, R. Spray drying of a vaginal probiotic strain of *Lactobacillus acidophilus*. **Drying Technology**, v. 27, n. 1, p. 123-132, 2009.

ROSAS-FLORES, W.; RAMOS-RAMÍREZ, E. G.; SALAZAR-MONTOYA, J. A. Microencapsulation of *Lactobacillus helveticus* and *Lactobacillus delbrueckii* using alginate and gellan gum. **Carbohydrate polymers**, v. 98, n. 1, p. 1011-1017, 2013.

ROUSTAPOUR, O. R. et al. A proposed numerical–experimental method for drying kinetics in a spray dryer. **Journal of food engineering**, v. 90, n. 1, p. 20-26, 2009.

ROUTRAY, W.; MISHRA, H. Sensory evaluation of different drinks formulated from dahi (indian yogurt) powder using fuzzy logic. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 36, n. 1, p. 1-10, 2012.

ROUTRAY, W.; MISHRA, H. N. Scientific and technical aspects of yogurt aroma and taste: a review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 10, n. 4, p. 208-220, 2011.

RYBKA, S.; KAILASAPATHY, K. The survival of culture bacteria in fresh and freeze-dried AB yoghurts. **Australian Journal of Dairy Technology**, v. 50, n. 2, p. 51-57, 1995. _____.

Effect of freeze drying and storage on the microbiological and physical properties of AB-yoghurt. **Milchwissenschaft**, v. 52, n. 7, p. 390-394, 1997.

SAAD, S. M. I.; CRUZ, A. G. D.; FARIA, J. D. A. F. Probióticos e prebióticos em alimentos: fundamentos e aplicações tecnológicas. In: (Ed.). **Probióticos e prebióticos em alimentos: fundamentos e aplicações tecnológicas**: Varela, 2011.

SAARELA, M. et al. Influence of fermentation time, cryoprotectant and neutralization of cell concentrate on freeze-drying survival, storage stability, and acid and bile exposure of *Bifidobacterium animalis* ssp. *lactis* cells produced without milk-based ingredients. **Journal of applied microbiology**, v. 99, n. 6, p. 1330-1339, 2005.

SACKS, F. M.; KATAN, M. Randomized clinical trials on the effects of dietary fat and carbohydrate on plasma lipoproteins and cardiovascular disease. **The American journal of**

medicine, v. 113, n. 9, p. 13-24, 2002. SAFFARI, M.; LANGRISH, T. Effect of lactic acid in-process crystallization of lactose/protein powders during spray drying. **Journal of Food Engineering**, v. 137, p. 88-94, 2014. SAKIN-YILMAZER, M. et al. Yoghurt with candied chestnut: freeze drying, physical, and rheological behaviour. **Journal of food science and technology**, v. 51, n. 12, p. 3949-3955, 2014.

SAKIN-YILMAZER, M. et al. Rheological behavior of reconstituted yoghurt powder—An optimization study. **Powder Technology**, v. 266, p. 433-439, 2014.

SANTIVARANGKNA, C.; HIGL, B.; FOERST, P. Protection mechanisms of sugars during different stages of preparation process of dried lactic acid starter cultures. **Food Microbiology**, v. 25, n. 3, p. 429-441, 2008.

SANTIVARANGKNA, C.; KULOZIK, U.; FOERST, P. Effect of carbohydrates on the survival of *Lactobacillus helveticus* during vacuum drying. **Letters in applied microbiology**, v. 42, n. 3, p. 271-276, 2006.

_____. Inactivation mechanisms of lactic acid starter cultures preserved by drying processes. **Journal of Applied Microbiology**, v. 105, n. 1, p. 1-13, 2008.

SANTOS, G. D. **ESTUDO DO PROCESSO DE OBTENÇÃO DE IOGURTE LIOFILIZADO “EM PÓ” E AVALIAÇÃO DE SUA QUALIDADE NUTRICIONAL E SENSORIAL**. 2012. Dissertação (Mestrado). Departamento de tecnologia em Alimentos, Universidade Federal de Sergipe, São cristóvão.

SCHUBERT, H. Instantization of powdered food products. **International Chemical Engineering**, v. 33, n. 1, p. 28-45, 1993.

SERHAN, M.; MATTAR, J.; DEBS, L. Concentrated yogurt (Labneh) made of a mixture of goats' and cows' milk: Physicochemical, microbiological and sensory analysis. **Small Ruminant Research**, v. 138, p. 46-52, 2016.

SEYHAN, E.; YAMAN, H.; ÖZER, B. Production of a whey-based functional beverage supplemented with soy isoflavones and phytosterols. **International Journal of Dairy Technology**, v. 69, n. 1, p. 114-121, 2016.

SHARMA, N.; ARORA, C. Influence of product thickness, chamber pressure and heating conditions on production rate of freeze-dried yoghurt. **International journal of refrigeration**, v. 18, n. 5, p. 297-307, 1995.

SHARMA, N.; ARORA, C.; MITAL, B. INFLUENCE of CONCENTRATION of MILK SOLIDS ON FREEZE-DRYING RATE of YOGHURT and ITS QUALITY1. **Journal of food process engineering**, v. 15, n. 3, p. 187-198, 1992.

SHARMA, R. et al. Standardization of lyophilization medium for *Streptococcus thermophilus* subjected to viability escalation on freeze drying. **Microbiology Research**, v. 5, n. 1, 2014.

SILVA, F. D. A.; AZEVEDO, C. D. A new version of the assistat-statistical assistance software. World Congress on computers in agriculture, 2006, American Society of Agricultural Engineers Orlando. p.393-396.

SILVA, J. et al. Effect of the pH of growth on the survival of *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* to stress conditions during spray-drying. **Journal of applied microbiology**, v. 98, n. 3, p. 775-782, 2005.

SILVA, J. et al. Bacteriocin production by spray-dried lactic acid bacteria. **Letters in Applied Microbiology**, v. 34, n. 2, p. 77-81, 2002.

SIMPSON, P. et al. Intrinsic tolerance of *Bifidobacterium* species to heat and oxygen and survival following spray drying and storage. **Journal of Applied Microbiology**, v. 99, n. 3, p. 493-501, 2005.

SMITTLE, R.; GILLILAND, S.; SPECK, M. Death of *Lactobacillus bulgaricus* resulting from liquid nitrogen freezing. **Applied microbiology**, v. 24, n. 4, p. 551-554, 1972. SODINI, I.; MONTELLA, J.; TONG, P. S. Physical properties of yogurt fortified with various

commercial whey protein concentrates. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 85, n. 5, p. 853-859, 2005.

SOHAIL, A. et al. The viability of *Lactobacillus rhamnosus* GG and *Lactobacillus acidophilus* NCFM following double encapsulation in alginate and maltodextrin. **Food and Bioprocess Technology**, p. 1-7, 2013.

STEFFE, J. F. **Rheological methods in food process engineering**. Freeman press, 1996.

STENCL, J. Modelling the water sorption isotherms of yoghurt powder spray. **Mathematics and computers in simulation**, v. 65, n. 1, p. 157-164, 2004.

STONE, H.; BLEIBAUM, R.; THOMAS, H. A. **Sensory evaluation practices**. Academic press, 2012.

STRANGE, E. D. et al. Chromatographic and electrophoretic methods used for analysis of milk proteins. **Journal of Chromatography A**, v. 624, n. 1-2, p. 81-102, 1992.

STRASSER, S. et al. Influence of lyophilization, fluidized bed drying, addition of protectants, and storage on the viability of lactic acid bacteria. **Journal of applied microbiology**, v. 107, n. 1, p. 167-177, 2009.

SUNNY-ROBERTS, E.; KNORR, D. The protective effect of monosodium glutamate on survival of *Lactobacillus rhamnosus* GG and *Lactobacillus rhamnosus* E-97800 (E800) strains during spray-drying and storage in trehalose-containing powders. **International Dairy Journal**, v. 19, n. 4, p. 209-214, 2009.

TAMIME, A.; ROBINSON, R. Traditional and recent developments in yoghurt production and related products. **Tamime and Robinson's yoghurt: science and technology**, n. Ed. 3, p. 348-467, 2007.

TEIXEIRA, P.; CASTRO, H.; KIRBY, R. Spray drying as a method for preparing concentrated cultures of *Lactobacillus bulgaricus*. **Journal of Applied Bacteriology**, v. 78, n. 4, p. 456-462, 1995.

_____. Evidence of membrane lipid oxidation of spray-dried *Lactobacillus bulgaricus* during storage. **Letters in Applied Microbiology**, v. 22, n. 1, p. 34-38, 1996.

TONIAZZO, T. et al. β -carotene-loaded liposome dispersions stabilized with xanthan and guar gums: Physico-chemical stability and feasibility of application in yogurt. **LWT-Food Science and Technology**, v. 59, n. 2, p. 1265-1273, 2014.

TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. **Journal of Food Engineering**, v. 88, n. 3, p. 411-418, 2008.

TRIBOLI, E. P. D. R.; GUT, J. A. W. Study of Spray-dried Yoghurt Production in a Pilot-scale Equipment Using Drying Agents to Reduce Wall Deposition. **International Journal of Food Engineering**, v. 12, n. 8, p. 793-803, 2016.

TYMCZYSZYN, E. E. et al. Critical water activity for the preservation of *Lactobacillus bulgaricus* by vacuum drying. **International journal of food microbiology**, v. 128, n. 2, p. 342-347, 2008.

VAN DEN BERG, J. **Dairy technology in the tropics and subtropics**. Pudoc, 1988.

VARGHESE K, S.; RAMACHANDRANNAIR, S. V.; MISHRA, H. N. Moisture sorption characteristics of curd (Indian yogurt) powder. **International Journal of Dairy Technology**, v. 62, n. 1, p. 85-92, 2009.

VEITH, P.; REYNOLDS, E. Production of a high gel strength whey protein concentrate from cheese whey. **Journal of dairy science**, v. 87, n. 4, p. 831-840, 2004. ISSN 0022-0302.

VELARDI, S. A.; BARRESI, A. A. Development of simplified models for the freeze-drying process and investigation of the optimal operating conditions. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 86, n. 1, p. 9-22, 2008.

VENIR, E. et al. Preparation of freeze-dried yoghurt as a space food. **Journal of food engineering**, v. 80, n. 2, p. 402-407, 2007.

- VISSOTTO, F. Z. et al. Avaliação da influência dos processos de lecitinação e de aglomeração nas propriedades físicas de achocolatado em pó. **Ciênc. Tecnol. Aliment**, v. 26, n. 3, p. 666-671, 2006.
- WALSTRA, P. G., T. J.; NOOMEN, A.; JELLEMA, A. B., M. A. J. S. . **CIENCIA DE LA LECHE Y TECNOLOGÍA DE LOS PRODUCTOS LACTEOS**. p.729. 2001
- WANG, Y.-C.; YU, R.-C.; CHOU, C.-C. Viability of lactic acid bacteria and bifidobacteria in fermented soymilk after drying, subsequent rehydration and storage. **International Journal of Food Microbiology**, v. 93, n. 2, p. 209-217, 2004.
- WANG, Y.; CORRIEU, G.; BÉAL, C. Fermentation pH and temperature influence the cryotolerance of *Lactobacillus acidophilus* RD758. **Journal of Dairy Science**, v. 88, n. 1, p. 21-29, 2005.
- WIRJANTORO, T. I.; PHIANMONGKHOL, A. The viability of lactic acid bacteria and *Bifidobacterium bifidum* in yoghurt powder during storage. **Journal of Natural Sciences**, v. 8, n. 1, p. 95-104, 2009.
- WU, W. D. et al. Towards spray drying of high solids dairy liquid: Effects of feed solid content on particle structure and functionality. **Journal of Food Engineering**, v. 123, p. 130-135, 2014.
- YILMAZ, M. T.; SERT, D.; KARAKAYA, M. The effect of interaction on the functional properties of dairy powder solutions. **Australian Journal of Dairy Technology**, v. 65, n. 1, p. 15, 2010.
- ZARE, F. et al. Microbial, physical and sensory properties of yogurt supplemented with lentil flour. **Food Research International**, v. 44, n. 8, p. 2482-2488, 2011.
- ZAVAGLIA, A. G.; DISALVO, E. A.; DE ANTONI, G. L. Fatty acid composition and freeze-thaw resistance in lactobacilli. **Journal of Dairy Research**, v. 67, n. 02, p. 241-247, 2000.
- ZOURARI, A.; ACCOLAS, J.; DESMAZEAUD, M. Metabolism and biochemical characteristics of yogurt bacteria. A review. **Le lait**, v. 72, n. 1, p. 1-34, 1992.

CONCLUSÕES FINAIS:

A maltodextrina e a goma arábica colaboraram para preservação e manutenção das características físicas e microbiológicas das amostras atomizadas, não tendo o mesmo efeito significativo sobre as amostras liofilizadas. A lecitina nas condições administradas no presente trabalho não resultou em influência significativa sobre a solubilidade, o que não seria esperado baseado nos poucos estudos anteriores publicados enfocando sua utilização.

Os dados das isotermas de sorção das amostras atomizadas ou liofilizadas foram bem ajustados aos modelos propostos, destacando-se o modelo de GAB. O valor da umidade da monocamada (m_0) das amostras indicaram que as amostras com aditivos foram mais suscetíveis à incorporação de água, podendo tornar tais amostras mais susceptíveis à deterioração durante o armazenamento, se comparado às sem aditivos.

Tanto o processo de liofilização, quanto o processo de atomização garantiram pós com quantidades de bactérias lácticas acima do recomendado pela legislação brasileira. Entretanto, o processo de liofilização se mostrou mais eficiente na preservação das bactérias e na retenção do composto aromático (acetaldeído) utilizado como indicador de qualidade. Independentemente do processo, as amostras de iogurte em pó resultaram em um alto teor proteico, confirmando ser uma alternativa interessante de conservação e aumento de nicho de produtos associados ao leite fermentado.

O iogurte em pó liofilizado reidratado apresentou os maiores valores de viscosidade, se comparado às amostras atomizadas, valores estes próximos aos da amostra de iogurte natural, o que demonstra uma maior preservação das características reológicas das amostras liofilizadas, após o processamento.

O processo de liofilização garante maior tempo de viabilidade das bactérias lácticas se comparado à atomização. A presença de maltodextrina e goma arábica melhorou a viabilidade das bactérias lácticas durante o armazenamento independente do processo de secagem. Todas as amostras apresentaram viabilidade de bactérias lácticas acima do recomendado pela legislação brasileira, por tempos de armazenamento muito superiores ao do iogurte tradicional, o que confirma que ambos os métodos de secagem mostraram-se eficientes para conservação do iogurte, considerando a estabilidade microbiológica.

As amostras liofilizadas possuíram boa aceitação no grupo formado por mulheres de 26 a 45 anos, com ensino superior, classe média e que consomem iogurte frequentemente. Os atributos associados à aceitação foram sabor característico de iogurte, homogêneo, cor branca e cremoso. Entretanto, as amostras atomizadas tiveram baixa aceitação devido a atributos relacionados a reações de escurecimento.

O processo de liofilização se mostrou uma ótima alternativa para a desidratação do iogurte, preservando características sensoriais do produto mesmo depois da reidratação, já as amostras atomizadas possivelmente necessitariam de tratamentos posteriores como incorporação de sabores e corantes, para suavizar os efeitos do processo.

Alguns aspectos como a cinética de secagem do iogurte, reidratação e mudanças durante o armazenamento (temperatura, condições atmosféricas e perdas sensoriais) precisam ser investigados e aprofundados em futuros estudos, para melhor compreensão científica dos mecanismos envolvidos, bem para aplicação tecnológica a partir do estabelecimento das condições mais adequadas de produção e comercialização do iogurte em pó.