

Josimária Dantas Costa

**SECAGEM DE IOGURTE NATURAL POR *CAST- TAPE* SOB
VÁCUO**

Dissertação de mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. João Borges Laurindo.

Florianópolis - SC
2017

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

Costa, Josimária Dantas

Secagem de iogurte natural por *cast-tape* sob vácuo / Josimária Dantas Costa ; orientador, João Borges Laurindo – Florianópolis, SC, 2017.

103p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos.

Inclui referências

1. Engenharia de Alimentos. 2. iogurte. 3. secagem. 4. pós. 5. Bactérias lácticas. I. Laurindo, João Borges. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos. III. Título.

Josimária Dantas Costa

**SECAGEM DE IOGURTE NATURAL POR *CAST-TAPE* SOB
VÁCUO**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de “Mestre em Engenharia de Alimentos” e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 17 de março de 2017.

Prof. xxx, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof., Dr.
João Borges Laurindo
Universidade xxxx

Prof.^a xxxx, Dr.^a
Orientadora
Universidade xxxx

Prof. xxxx, Dr.
Universidade xxxxxx

Dedico este trabalho aos meus pais José e Maria, aos meus irmãos José, Josiane, Jaciara e Jussara, aos meus sobrinhos Iara, Eduardo e Emanuel, ao meu amor Antônio, e a minha avó Isabel.

AGRADECIMENTOS

Ao meu Deus, por me proporcionar forças, iluminar e guiar durante todo o processo.

Ao professor Dr. João Borges Laurindo, pela orientação, pela confiança em minha capacidade para a realização deste trabalho, pela amizade e por todos os conselhos e ensinamentos vindos do coração.

Ao meu parceiro António Monteiro, que mesmo à distância, esteve presente neste percurso com amor, atenção, palavras de incentivo em momentos difíceis e pelas comemorações a cada pequena conquista.

Aos meus pais José Ludugério e Maria do Rosário e toda a minha família, que sempre apoiaram as minhas escolhas, me aconselhando, motivando, dando carinho e amor nesses anos de vida. Eu amo vocês!

Ao professor Dr. Marinho Basto Quadri, por me receber em seu laboratório LASIPO e fornecer condições necessárias para a realização de parte do meu trabalho. Muito obrigada!

À professora Dr.^a. Gláucia Maria Falcão de Aragão por me receber de braços abertos para realizações das minhas análises no laboratório ENGEBIO.

Ao Ricardo Monteiro pela dedicação e paciência em me ajudar na montagem do aparato experimental.

Aos colegas do laboratório PROFI (Jade, Johne, Denise, Leandro, Ana Caroline, Priscila, Fernanda, Angelise, Laura), pelo companheirismo de todos os dias.

À Paula Gimenez e à Emanuelle Parisotto do grupo de estudos do CTD, trabalhos e pesquisas pelas trocas de conhecimento, pela amizade e pelos momentos descontraídos. Obrigada por estarem realmente ao meu lado desde o início dos trabalhos, explicando e não me deixando perder tempo.

Ao Edilberto Cordeiro, pela disponibilidade em ajudar durante os ensaios experimentais.

À Ingrid Ramalho pela amizade, pela ajuda nos experimentos e companheirismo durante toda jornada do mestrado. Ingrinha obrigada pelos longos anos de convivência diária.

Ao Wiaslan Figueredo e a Danielle Severo pela amizade, confiança e paciência, pelas orientações e ensinamento da microbiologia.

Aos colegas do laboratório LASIPO (Clara Mariana, Marcelo, Valdir, Rafael e Vivian) pela amizade.

À Natália Silva, por ter contribuído para realizações de algumas análises no CCA.

Aos meus irmãos Josiane, Jaciara, Jussara e José Carlos todo o meu amor e minha gratidão.

À vovó Isabel, todos os tios, tias e primos (não vou citar nomes porque são muitos), agradeço imensamente, pois vocês completam a família maravilhosa que tenho, estando sempre presentes vibrando comigo nos momentos de felicidade, como também, me apoiando nos momentos mais difíceis.

Aos ausentes, vovô Manoel (Neneco), vovó Elita, vovô Eronides e tio José Assunção por tudo que representaram na minha formação pessoal. Sempre serei grata a todos os ensinamentos e conselhos recebidos de vocês.

Aos meus cunhados Leon e João Paulo por tudo que representam e a minha cunhada Elizabete que além de ser a mãe maravilhosa dos meus sobrinhos sempre me apoiou e me aconselhou nos momentos que precisei.

Aos meus sobrinhos Iara Sofia, Eduardo Dantas e Emanuel, todo o meu amor e gratidão. Tia ama vocês!

À turma do Programa de Pós-graduação do ano de 2015 pelos grupos de estudos, pelas trocas de conhecimento e pelas confraternizações. Pelas amizades!

À professora Dr^a Neila Richards pelo esclarecimento sobre alguns assuntos abordados ao iogurte.

À empresa INDACO por disponibilizar materiais para realizações dos testes experimentos.

Ao Valério, pelo comprometimento em montar o equipamento. Obrigada!

Ao programa de Pós-Graduação de Engenharia de alimentos da UFSC por viabilizar o desenvolvimento do mestrado e a todo seu corpo docente.

Ao CNPq pelo apoio financeiro.

RESUMO

O iogurte é um produto nutritivo, rico em proteína e com grande aceitação pelos consumidores. Há grande interesse industrial em produtos de iogurte que possam ser estocados sem necessidade de refrigeração. O método de secagem denominado *cast-tape drying* pode ser realizado sob vácuo (CTSV), sendo uma alternativa para secagem de alimentos termossensíveis. Estudou-se a produção de iogurte natural em pó por CTSV (temperaturas de 50 °C e espessuras de filme de 2 mm), avaliando-se características físico-químicas do produto, que foram comparadas com iogurte liofilizado. Curvas de secagem e a contagem de bactérias lácticas (*Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus*) foram obtidas, além da determinação de propriedades físico-químicas, cor, distribuição de tamanho das partículas, tempo de dispersão, e estabilidade das bactérias lácticas. A secagem por CTSV apresentou 3 períodos: i) período de aquecimento, ii) período de secagem à taxa constante e iii) período de secagem à taxa decrescente, como nos casos clássicos de secagem convectiva. A atividade de água final foi dependente do tempo de secagem e pode ser controlado, o tempo de processo não deve ultrapassar 40 minutos, para evitar inativação microbiana desejável. O iogurte sofreu alterações durante a secagem por CTSV, representadas por mudanças de coloração (escurecimento) e coalescência das gotículas de gordura. O processo de liofilização proporcionou a obtenção de um produto com menores modificações e maior reidratação, resultando em comportamento reológico similar ao do iogurte *in natura*. Os iogurtes reconstituídos se comportaram como fluidos pseudoplásticos, característica de produtos derivados de iogurtes. A contagem de bactérias lácticas viáveis nos iogurtes após a secagem está de acordo com a legislação (10^7 UFC/g), mas essa contagem é reduzida durante o armazenamento dos pós. É possível manter a contagem microbiana de iogurtes durante a secagem sob vácuo, em camada fina, sobre uma placa aquecida. O uso de uma superfície hidrofóbica, como um filme teflonado, facilita a retirada do iogurte desidratado. Esse processo pode ser utilizado como uma alternativa para a produção de pó de iogurte, em virtude de o processo garantir um produto com estabilidade nutricional e das bactérias lácticas viáveis. Estudos detalhados para compreender a redução da contagem de células viáveis durante o armazenamento dos pós devem ser realizados, pois produtos desidratados estão associados com elevadas vida útil.

Palavras-chave: iogurte. secagem. pós. conveniência. bactérias lácticas.

ABSTRACT

Yogurt is a nutritious product that provides a rich amount of protein and it is widely accepted by consumers. There is a great industrial interest in yogurt products that can be stocked without the need for refrigeration. The drying method called cast-tape drying can be performed under vacuum (CTDUV) and it is an alternative to dry termosensitive food. The production of natural yogurt powder through CTDUV (temperatures of 50 ° C and 2 mm films thickness) was analyzed, evaluating the physicochemical characteristics of the product and comparing it with freeze-dried yogurt. Drying curves and counting of lactic acid bacteria (*Lactobacillus delbrueckii* subsp. *Bulgaricus*) were performed in addition to the determination of physicochemical properties, color, particle size distribution, dispersion time, and stability of lactic acid bacteria. Drying using CTDUV presents three periods: i) heating period, ii) drying period at a constant rate and iii) drying period at a decreasing rate, as an example in the classic cases of convective drying. The final water activity depended on the drying time and it can be controlled, however it should not exceed 40 minutes in order to avoid additional microbial inactivation. The yogurt modifies some of its properties during CTDUV, such as color changes (darkening) and coalescence of fat droplets. On the other hand, the freeze-drying process provides the product with less modification and better rehydration, resulting in a rheological behavior similar to that of in fresh yogurt. The reconstituted yogurts behaved like pseudoplastic fluids, which is a characteristic of products derived from yogurts. The counting of viable lactic acid bacteria in yogurt after drying is in accordance with the legislation (10^7 CFU/g), but this amount is reduced during the storage of the powders. The microbial counting in yogurts can be performed during vacuum drying on a heated plate and in a thin layer of the product. The use of a hydrophobic surface, such as a teflon film, facilitates the removal of dehydrated yogurt. This process can be used as an alternative for the production of yogurt powder because it guarantees a product with nutritional stability and viable lactic acid bacteria. More detailed studies should be performed in order to understand the reduction of viable cell counting during the storage of the powders, since dehydrated products are associated with high shelf lives.

Keywords: yogurt. drying. powders. convenience. lactic acid bacterias.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - <i>RANKING</i> DE PRODUÇÃO ESTADUAL E VARIAÇÃO ANUAL DO VOLUME DE LEITE CRU ADQUIRIDO PELOS LATICÍNIOS - UNIDADES DA FEDERAÇÃO - 2º TRIMESTRE DE 2015 E 2016.	28
FIGURA 2 – PRODUÇÃO DE ÁCIDO LÁCTICO DURANTE O CRESCIMENTO DOS MICRORGANISMOS INICIADORES DO IOGURTE.	31
FIGURA 3 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE UMA CURVA TÍPICA DE SECAGEM A) UMIDADE EM FUNÇÃO DO TEMPO DE SECAGEM B) TAXA DE SECAGEM EM FUNÇÃO DA UMIDADE.	34
FIGURA 4 - LOCALIZAÇÃO DO PONTO TRIPLO DA ÁGUA, ASSIM COMO, SUAS MUDANÇAS DE FASE (SÓLIDO, LÍQUIDO E GASOSO) EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA (°C) E PRESSÃO ATMOSFÉRICA (MMHG).	36
FIGURA 5 - ESQUEMA EXPERIMENTAL DE TAPE-CASTING.	38
FIGURA 6 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE UM RW CONTÍNUO.	39
FIGURA 7 - ESQUEMA DO APARATO EXPERIMENTAL CAST-TAPE DRYING.	40
FIGURA 8 - VELOCIDADE DE REAÇÕES QUÍMICAS E CRESCIMENTO MICROBIANO EM FUNÇÃO DA ATIVIDADE DE ÁGUA NO ALIMENTO.	43
FIGURA 9 - ETAPAS DA RECONSTITUIÇÃO DE UM PÓ EM UM LÍQUIDO.	45
FIGURA 10 - DISPOSITIVO ESQUEMÁTICO DO CTSV.	48
FIGURA 11 - PLANTA DA MONTAGEM DO APARATO EXPERIMENTAL.	50
FIGURA 12 - CÂMARA DE VÁCUO.	50
FIGURA 13 - DIVISÃO DO ESPALHAMENTO EM TRÊS REGIÕES DIFERENTES, INDICADAS PELAS SETAS. AS AMOSTRAS FORAM RETIRADAS EM TEMPOS DE SECAGEM PRÉ-DETERMINADOS.	51
FIGURA 14 - AMOSTRA RESULTANTE DE IOGURTE LIOFILIZADO (FD). ..	54
FIGURA 15 - (A) MOSTRA O ASPECTO DA AMOSTRA DE IOGURTE FINAL DA SECAGEM, (B) MOSTRA O PÓ CTSV RESULTANTE DA SECAGEM APÓS MOAGEM E (C) MOSTRA O PÓ LIOFILIZADO RESULTANTE APÓS MOAGEM.	55
FIGURA 16 - MECANISMO DE DETERMINAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO E TAMANHO DE PARTÍCULA.	58
FIGURA 17 - APARATO EXPERIMENTAL DESENVOLVIDO PARA DETERMINAR O TEMPO DE DISPERSÃO DOS PÓS DE IOGURTE.	58
FIGURA 18 - MATERIAL UTILIZADO NO EXPERIMENTO, EM CÂMARA DE FLUXO LAMINAR.	61
FIGURA 19 - (A) COLÔNIAS DE <i>LACTOBACILLUS DELBRUECKII</i> SUBSP. <i>BULGARICUS</i> DESENVOLVIDAS EM MEIO DE CULTURA MRS – ÁGAR GLICOSE ACIDIFICADO, APÓS 72 HORAS DE INCUBAÇÃO E (B) FORMATO DE COLÔNIA DE <i>LACTOBACILLUS</i> COM AUXÍLIO DE UM	

APLICATIVO COZY MAGNIFIER & MICROSCOPE COM AUMENTO DE 4X.	62
FIGURA 20 - AS AMOSTRAS ARMAZENADAS EM AMBIENTE CONTROLADO PARA AS CONTAGENS DE LACTOBACILLUS VIÁVEIS.	63
FIGURA 21 - CURVAS DE SECAGEM DE AMOSTRAS DE IOGURTE ESPALHADAS SOBRE O TEFLON, COM ESPESSURA DE 2 MM.	67
FIGURA 22 - PERFIS TEMPORAIS DE TEMPERATURA DAS AMOSTRAS DE IOGURTE DURANTE SECAGEM REALIZADA POR CTSV.	67
FIGURA 23 - CURVAS DE SECAGEM EXPERIMENTAIS E AJUSTE NÃO PARAMÉTRICO COM O FILTRO DE SAVITZKY-GOLAY. 1º EXPERIMENTO (-) PRETO, 2º EXPERIMENTO (-) AZUL E 3º EXPERIMENTO (-) VERMELHO.	70
FIGURA 24 - TAXAS DE SECAGEM UTILIZANDO A DERIVADA NUMÉRICA DAS CURVAS SUAVIZADAS COM O FILTRO DE SAVITZKY-GOLAY. 1º EXPERIMENTO(-) PRETO, 2º EXPERIMENTO (-) AZUL E 3º EXPERIMENTO (-) VERMELHO.	70
FIGURA 25 - EVOLUÇÃO TEMPORAL DA ATIVIDADE DE ÁGUA (AW) DAS AMOSTRAS DE IOGURTE IN NATURA DURANTE A SECAGEM EM CTSV.	71
FIGURA 26 - EVOLUÇÃO TEMPORAL DA CONTAGEM DE BACTÉRIAS LÁCTICAS DURANTE A SECAGEM, EM UNIDADES FORMADORAS DE COLÔNIA/ GRAMA DE AMOSTRAS DE IOGURTE IN NATURA, DURANTE A SECAGEM EM CTSV.	72
FIGURA 27 - HISTOGRAMA PARA DISTRIBUIÇÃO E TAMANHO DE PARTÍCULA PARA O PÓ CTSV E LIOFILIZAÇÃO (FD).	75
FIGURA 28 - MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV) PARA AMOSTRAS DE IOGURTE EM PÓ DOS PROCESSOS CTSV E LIOFILIZADO(FD) COM AUMENTO DE 600X.	76
FIGURA 29 - MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV) PARA AMOSTRAS DE IOGURTE DO PROCESSO CTSV COM AUMENTO DE 3000 X.	77
FIGURA 30 - IMAGENS OBTIDAS DOS IOGURTES IN NATURA E OS RECONSTITUÍDOS, OBTIDAS EM MICROSCÓPIO ÓPTICO. AUMENTO DE 40X, COM SETAS INDICATIVAS PARA GOTÍCULAS DE GORDURAS... ..	84
FIGURA 31 - TAXA DE CISLHAMENTO VS TENSÃO DE DEFORMAÇÃO DOS IOGURTES IN NATURA E RECONSTITUÍDOS.	85
FIGURA 32 - CURVAS DE VISCOSIDADE VS A TAXA DE DEFORMAÇÃO DAS AMOSTRAS DE IOGURTE (IN NATURA) E RECONSTITUÍDOS.	85

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - TIPOS DE IOGURTE EXISTENTES.	29
TABELA 2 - CARACTERÍSTICAS DO IOGURTE.....	30
TABELA 3 - COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL DO IOGURTE NATURAL (FRIMESA®) PARA CADA EMBALAGEM DE 165 G.....	47
TABELA 4 - ANÁLISES REALIZADAS E RESPECTIVOS MÉTODOS COM IOGURTE IN NATURA, O PÓ E IOGURTE RECONSTITUÍDO.....	55
TABELA 5 - COMPOSIÇÃO CENTESIMAL DO IOGURTE IN NATURA.	65
TABELA 6 - TAXA DE SECAGEM PARA O PERÍODO DE TAXA CONSTANTE A CAPACIDADE EVAPORATIVA PARA A MÉDIA DAS REPETIÇÕES DE CINÉTICA DE SECAGEM CTSV.	69
TABELA 7 - CARACTERIZAÇÃO CENTESIMAL DOS PÓS PRODUZIDOS EM CTSV E DO PÓ OBTIDO POR LIOFILIZAÇÃO (FD), COM ESPESURA DE ESPALHAMENTO DE 2 MM	73
TABELA 8 - MASSA ESPECÍFICA APARENTE E REAL E POROSIDADE DOS PÓS DE IOGURTE PRODUZIDO EM CTSV E LIOFILIZADO (FD).	77
TABELA 9 - VALORES DE TEMPO DE DISPERSÃO DOS PÓS DE IOGURTE PRODUZIDO POR CTSV E LIOFILIZADO (FD).....	78
TABELA 10 - PARÂMETRO DA ESCALA CIELAB DOS PÓS OBTIDO POR CTSV E POR LIOFILIZAÇÃO (FD).	79
TABELA 11 - VIABILIDADE DAS BACTÉRIAS LÁCTICAS NO IOGURTE IN NATURA E NOS PÓS PRODUZIDOS PELOS PROCESSOS DE LIOFILIZAÇÃO E CTSV.....	80
TABELA 12 - VIABILIDADE DAS BACTÉRIAS LÁCTICAS DOS PÓS LIOFILIZADOS (FD) E CTSV DURANTE OS DIAS DE ARMAZENAMENTO EM AMBIENTE CONTROLADO.	81
TABELA 13 - COMPOSIÇÃO CENTESIMAL DO IOGURTE RECONSTITUÍDO PARA O PROCESSO CTSV E LIOFILIZADO.	81
TABELA 14 - PARÂMETRO DE COR PARA IOGURTE INTEGRAL (IN NATURA) E PARA OS REIDRATADOS.	83
TABELA 15 - VARIAÇÃO TOTAL DE COR DOS REIDRATADOS OBTIDOS POR CTSV E LIOFILIZAÇÃO EM RELAÇÃO AO IOGURTE NATURAL IN NATURA.	83
TABELA 16 - HISTERESE DAS AMOSTRAS DE IOGURTE COMERCIAIS DAS AMOSTRAS IN NATURA, E DOS PÓS RECONSTITUÍDOS.....	86
TABELA 17 - PARÂMETROS DO MODELO DE OSTWALD PARA CURVAS DE FLUXOS (ASCENDENTES), AOS TESTES IN NATURA, E DOS RECONSTITUÍDOS.	87
TABELA 18 - VIABILIDADE DAS BACTÉRIAS LÁCTICAS DO IOGURTE (IN NATURA) E NOS PÓS RECONSTITUÍDOS.	87

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<i>Símbolo</i>	Descrição	Unidade
a_w	Atividade de água	
a^*	Cromaticidade de a^*	
b^*	Cromaticidade de b^*	
b.u	Base úmida	%
b.s	Base seca	g/g^{-1}
CTD	<i>Cast- tape Drying</i>	
CTSV	<i>Cast- tape</i> sob Vácuo	
CE	Capacidade evaporativa	kg de água $m^{-2} h^{-1}$
dX_t/dt	Taxa de secagem	kg de água min^{-1}
DIPOA/ MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento	
E	Emissividade	
FD	Liofilizado	
FAO/W	Organização das Nações Unidas para	
HO	Agricultura e Alimentação	
RW	<i>Refractactance window</i>	
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e estatística	
L	Espessura do iogurte espalhado	cm
L^*	Luminosidade	
MEV	Microscopia eletrônica de varredura	
M_s	Massa de sólido úmido	g
M_{SS}	Massa de sólidos secos	g
N	Índice de comportamento do fluido	
ϵ	Porosidade do leito de partículas	
pH	Potencial hidrogeniônico	
SST	Sólidos solúveis totais	$^{\circ}$ BRIX
$X_{b.u}$	Umidade em base úmida	g de água g de amostra $^{-1}$
X_u	Umidade inicial	kg kg^{-1} b. u
X_t	Umidade do produto	g de água g de sólidos secos $^{-1}$
X_c	Umidade crítica	g de água g de sólidos secos $^{-1}$
ΔE^*	Diferença de cor	
L_p	Espessura da camada de iogurte espalhado	cm
UFC	Unidade Formadora de Colônia	

$\dot{\gamma}$	Taxa de deformação	s^{-1}
P	Massa específica	$kg\ m^{-3}$
ρ_p	Massa específica real	$g\ cm^{-3}$
ρ_b	Massa específica aparente	$g\ cm^{-3}$
T	Tensão de cisalhamento	Pa
TACO	Tabela Brasileira de Composição de Alimentos	

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	23
1.1	OBJETIVOS	25
1.1.1	Objetivo geral	25
1.1.2	Objetivos específicos	25
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	27
2.1	HISTÓRICO DOS LEITES FERMENTADOS.....	27
2.2	O LEITE NA INDÚSTRIA LÁCTEA NO BRASIL	27
2.3	O IOGURTE	29
2.3.1	Definição	29
2.3.2	Composição básica do iogurte.....	30
2.4	BACTÉRIAS UTILIZADAS NO DESENVOLVIMENTO DO IOGURTE	30
2.4.1	Bactérias lácteas	30
2.4.2	Microrganismos iniciadores	31
2.5	CONSUMO DO IOGURTE	32
2.6	SECAGEM DE ALIMENTOS	32
2.7	MÉTODO DE SECAGEM	35
2.7.1	Secagem por liofilização (FD).....	35
2.7.2	Secagem a vácuo.....	36
2.7.3	Secagem por espalhamento	37
2.7.3.1	Tape-casting	38
2.7.3.2	Refractance Window (RW).....	38
2.7.3.3	Cast-tape Drying (CTD).....	40
2.7.4	Secagem do iogurte	40
2.8	CARACTERÍSTICAS DE IOGURTES DESIDRATADOS EM PÓ.....	41
2.8.1	Tamanho e distribuição de tamanhos de partículas.....	41
2.8.2	Atividade de água (a_w)	42
2.8.3	Cor	44

2.8.4	Reidratação de pós.....	44
3	MATERIAIS E MÉTODOS	47
3.1	IOGURTE.....	47
3.1.1	Caracterização centesimal do iogurte in natura	47
3.2	DISPOSITIVO EXPERIMENTAL (CTSV)	48
3.2.1	Montagem da câmara de vácuo	49
3.3	SECAGEM DO IOGURTE EM CTSV	50
3.3.1	Temperatura do iogurte durante o processo de secagem	52
3.3.2	Cinéticas de secagem do iogurte natural.....	52
3.3.3	Determinação das taxas de secagem.....	53
3.3.4	Cinética de atividade de água (a_w).....	53
3.3.5	Cinética de inativação das bactérias lácticas.....	53
3.3.6	Capacidade evaporativa (CE).....	53
3.4	LIOFILIZAÇÃO DO IOGURTE NATURAL	54
3.5	MOAGEM E CLASSIFICAÇÃO DO IOGURTE EM PÓ ..	54
3.5.1	Caracterização das amostras	55
3.5.2	Determinação da umidade	56
3.5.3	Atividade de água (a_w).....	56
3.5.4	Medidas de cor	56
3.5.5	Microscopia óptica.....	56
3.5.6	Massa específica aparente, massa específica real e porosidade.....	57
3.5.7	Distribuição e tamanho de partícula	57
3.5.8	Tempo de dispersão dos pós na reidratação.....	58
3.5.9	Morfologia do Pó.....	59
3.6	CARACTERIZAÇÃO DAS POLPAS RECONSTITUÍDAS.....	59
3.6.1	Determinação do teor de sólidos solúveis.....	59
3.6.2	Potencial Hidrogeniônico (pH)	59
3.7	COMPORTAMENTO REOLÓGICO	60

3.8	ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS	60
3.8.1	Bactérias lácticas (<i>Lactobacillus delbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i>)	61
3.9	ESTABILIDADE MICROBIOLÓGICA DOS IOGURTES EM PÓ.....	62
3.10	ANÁLISES ESTATÍSTICAS	63
4	RESULTADOS	65
4.1	CARACTERIZAÇÃO DO IOGURTE <i>IN NATURA</i>	65
4.2	CINÉTICAS, PERFIS DE TEMPERATURA, TAXAS DE SECAGEM E CAPACIDADE EVAPORATIVA.	66
4.2.1	Cinética da umidade	66
4.2.2	Cinética atividade de água (a_w)	71
4.2.3	Cinética de inativação das bactérias lácticas	72
4.3	CARACTERIZAÇÃO DOS PÓS	73
4.3.1	Composição centesimal dos pós	73
4.3.2	Distribuição do tamanho de partícula	74
4.3.3	Microestrutura dos pós.....	75
4.3.4	Massa específica e porosidade	77
4.3.5	Tempo de dispersão	78
4.3.6	Cor	79
4.3.7	Viabilidade das bactérias lácticas	79
4.3.8	Viabilidade das bactérias lácticas durante o armazenamento dos pós.....	80
4.4	CARACTERIZAÇÃO DOS PÓS REIDRATADOS	81
4.4.1	Composição centesimal dos pós reidratados.....	81
4.4.2	Cor	83
4.4.3	Microscopia Óptica	84
4.4.4	Comportamento Reológico.....	84
4.4.5	Viabilidade das bactérias lácticas dos pós reidratados. ...	87
5	CONCLUSÕES	89
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91

ANEXO A 103

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, houve mudanças nos hábitos alimentares em função da busca incessante por alimentos naturais e funcionais, diminuindo o consumo de alimentos ricos em açúcar, sal e gordura, com o objetivo de prevenir o aparecimento de determinadas doenças.

O leite é a base da produção dos mais variados produtos lácteos. Possui dois fins distintos: alimentação na sua forma natural e como matéria-prima industrial, que resulta na produção de bebidas lácticas, leites fermentados, iogurtes, queijos, entre outros derivados (OLIVEIRA, 2009). O mercado de produtos lácteos busca desenvolver produtos inovadores que possam trazer benefícios à saúde. Dentre eles, os leites fermentados são os principais representantes desta inovação, com destaque para o iogurte (GALLINA, 2010). De acordo com Pelczar e Joseph (1997), os alimentos fermentados à base de leite, tais como coalhada e iogurte, são importantes na dieta humana, sendo as bactérias lácticas as mais comumente utilizadas na preparação desses produtos. A primeira etapa do processo de leite fermentado se inicia com adição de uma cultura iniciadora ativa no leite pasteurizado (*Streptococcus thermophilus* e *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*), seguida da incubação à temperatura adequada para o crescimento dos microrganismos, os quais consomem o substrato e produzem ácido láctico. O processo é finalizado.

As bactérias iniciadoras utilizadas na fermentação de iogurtes não pertencem à flora intestinal, não são resistentes à bile e conseqüentemente não sobrevivem à passagem através do trato gastrointestinal. No entanto, possuem efeitos positivos como ação inibidora contra bactérias patogênicas no trato gastrointestinal e melhoramento da digestão da lactose, devido à produção de enzima β -galactosidade (LOURENS-HATTINGH e VILJOEN, 2001).

A secagem de sólidos e de fluidos é caracterizada pela evaporação de umidade de um material e remoção dos vapores por um agente carreador, como o ar ao redor. Esse fenômeno ocorre através de vários mecanismos, que dependem da estrutura do material, do modo de fornecimento de calor e do estágio de secagem (GEANKOPLIS, 1993; KERR, 2007).

Os métodos de secagem mais utilizados para obtenção de alimentos em pó são a secagem em tambor (*drum drying*), o *spray drying* e a liofilização (BARBOSA-CÁNOVAS et al., 2005). Porém, métodos de secagem por espalhamento de uma suspensão sobre uma superfície aquecida, como é o caso da secagem por *Refractance Window*

(RW), também podem ser utilizados. Sabendo que o RW é um processo que utiliza os três mecanismos de transferência de calor (condução, convecção e radiação) para a secagem, Zotarelli, Carciofi e Laurindo (2015) e Ortiz-Jerez et al. (2015) comprovaram que a contribuição térmica pela radiação pode ser desprezada, de forma que a RW deve ser considerada uma secagem condutiva, semelhante ao processo *cast-tape drying*, que consiste em uma secagem por espalhamento sobre uma chapa aquecida.

Sendo assim, o método de secagem por *Cast-tape* sob Vácuo (CTSV) pode ser vantajoso para a secagem de produtos sensíveis ou com micro-organismos que não podem ser inativados durante a secagem. O processo denominado *Cast-Tape Drying* (CTD) por Sousa (2015) e Durigon et al. (2016) utiliza temperaturas amenas e apresenta elevadas taxas de secagem, tempos de secagem moderados, com baixos custos de operação. Acoplar o vácuo neste processo permite realizar a evaporação da água em temperaturas ainda mais baixas, diminuindo a velocidade de reações química e inativação microbiana.

Segundo Triboli (2014), mesmo que a denominação do iogurte em pó deva ser alterada para proteína de leite, sua obtenção pode oferecer mais uma matéria-prima para a indústria de alimentos, com diversas aplicações convenientes. Desta forma, a desidratação pode ser uma alternativa para prolongar a vida útil do iogurte em forma de pó. Além disso, é possível desenvolver novos produtos, que podem ser armazenados e comercializados à temperatura ambiente. O mercado exige praticidade e, deste modo, o iogurte desidratado pode ter destaque para formulação de vários produtos em lojas *gourmet*, como na preparação de bolos e bebidas instantâneas.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho foi estudar as condições de desidratação do iogurte natural por CTSV a fim de que o produto mantenha a viabilidade dos microrganismos inicialmente presentes. O Produto final, na forma de pó, será comparado ao iogurte em pó liofilizado (FD).

1.1.2 Objetivos específicos

- ✓ Montagem do aparato experimental;
- ✓ Determinar a cinética de secagem de iogurte natural pelo processo CTSV;
- ✓ Determinar a evolução da atividade de água do iogurte durante a secagem pelo processo CTSV;
- ✓ Determinar a evolução da população de bactérias lácticas durante a secagem pelo processo CTSV;
- ✓ Determinar a taxa de secagem e a capacidade evaporativa do iogurte seco em CTSV;
- ✓ Comparar a viabilidade dos microrganismos viáveis submetidos aos processos de CTSV e liofilização (FD);
- ✓ Caracterizar o produto obtido e os pós reconstituídos;
- ✓ Estudar os comportamentos reológicos dos pós reconstituídos e comparar com o iogurte *in natura*.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 HISTÓRICO DOS LEITES FERMENTADOS

O consumo de leites fermentados remonta ao início da civilização, uma vez que resíduos desses produtos foram encontrados em fragmentos de cerâmica do Neolítico, Bronze, e em assentamentos da idade dos Metais na Grã-Bretanha (MCKINLEY, 2005). Admite-se que o consumo inicial de fermentados ou produtos lácteos cultivados, como iogurte, manteiga e queijo, ocorreu em uma época em que eram reconhecidos como meios eficazes de prolongar a vida útil de leite (TAMIME e DEETH, 1980).

A produção desse tipo de leite no período Neolítico (entre 5.000 a 3.500 a.C) ocorreu quando pastores passaram a se alimentar com o leite de animais domesticados. Armazenado em marmitas de barro, o leite ficava exposto às altas temperaturas do deserto, fermentava e originava um tipo de iogurte. Outra teoria sobre a origem vem da Turquia, onde o leite fresco era guardado em sacos feitos de pele de cabra. Transportados por camelos, os sacos em contato com o calor do corpo do animal favoreciam a multiplicação de bactérias lácticas e transformavam o leite em iogurte (ROBERT, 2008).

Conforme Robinson (2002), o iogurte foi feito em agregados individuais ou em uma escala limitada comunal no Oriente Médio. O conhecimento da microbiologia não existia, mas por utilizarem os mesmos utensílios e os vasos serem usados dia após dia, uma típica microbiota evoluiu. Geralmente, o iogurte envelhecido era utilizado para iniciar a fermentação de um novo lote de leite e, dadas as altas temperaturas da região, a seleção natural de uma microbiota termofílica tornou-se inevitável. As vantagens foram evitar a deterioração do excedente do leite cru e a derivação de um agradável, nutritivo e sensorial complemento da dieta e com uma vida de armazenamento de vários dias.

2.2 O LEITE NA INDÚSTRIA LÁCTEA NO BRASIL

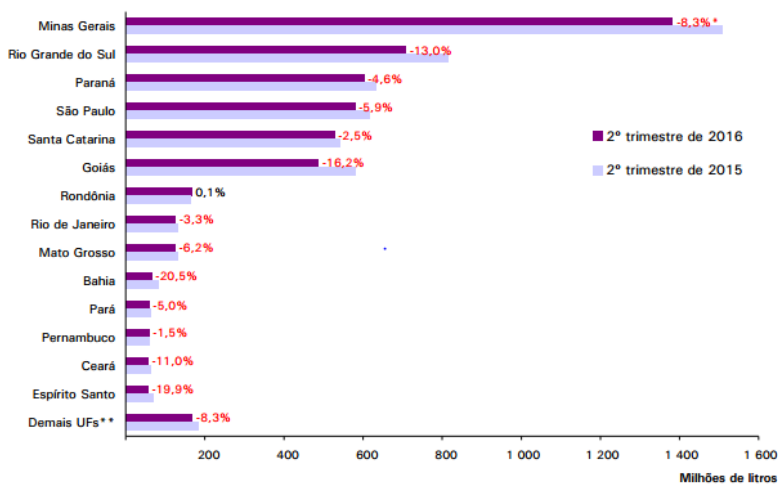
O leite, obtido em circunstâncias naturais, é uma emulsão de cor branca, ligeiramente amarelada, de odor suave e gosto ligeiramente adocicado. É um produto secretado pelas glândulas mamárias e é um alimento indispensável aos mamíferos nos primeiros meses de vida, enquanto não podem digerir outras substâncias necessárias à sua subsistência (BEHMER, 1979).

De acordo com Silva, Silva e Ferreira (2012), o Brasil, até o final da década de 80, apresentava um sistema de produção leiteira de caráter familiar (sobremaneira rudimentar), com baixa produtividade, pouca orientação técnica, pastagens degradadas, quase nenhum controle zootécnico da criação, higiene deficitária e, principalmente, fiscalização ineficaz por parte dos órgãos governamentais.

Nos anos 90, teve início no país um processo evolutivo na produção leiteira, alavancado pela expansão econômica do Brasil através da sua inserção no MERCOSUL, maior participação no comércio exterior e, principalmente, pela recuperação do poder aquisitivo da população (JANK et al., 1999).

Na Figura 1 são apresentados o *ranking* da variação anual do volume de leite adquirido pelos laticínios, no período de 2015 a 2016.

Figura 1- *Ranking* de produção estadual e variação anual do volume de leite cru adquirido pelos laticínios - Unidades da Federação - 2º trimestre de 2015 e 2016.



*Variação 2016/2015. **Agregado das Unidades da Federação com participação inferior a 1% do total nacional. Fonte: IBGE, 2016. Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Agropecuária, Pesquisa Trimestral do Leite, 2015.II e 2016.II.

No comparativo do 2º trimestre de 2016 com igual período do ano anterior, houve produção de 474 milhões de litros de leite a menos em nível nacional. A maior parte do leite captado tem sido transformado por estabelecimentos de grande porte, que representam uma pequena

parcela do total dos laticínios do país. No 2º trimestre de 2016, participaram da pesquisa 1.991 estabelecimentos de laticínio e apenas 97 (4,9 % do total) processaram mais de 150 mil litros de leite/dia, sendo responsáveis por 64,2% do total de leite (IBGE, 2016).

2.3 O IOGURTE

2.3.1 Definição

No Brasil, de acordo com a Instrução Normativa nº 46 de 23 de outubro de 2007, entende-se por iogurte como produto cuja fermentação se realiza com cultivos protossimbióticos: *Streptococcus thermophilus* e *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, que podem ser acompanhados, de forma complementar, por outras bactérias ácido-lácticas que, por sua atividade, contribuem para a determinação das características do produto final (BRASIL, 2007).

Na Tabela 1 são apresentados os tipos de iogurte classificados de acordo com o processo de elaboração, consistência e textura.

Tabela 1 - Tipos de iogurte existentes.

Tipo de iogurte	Classificação
Iogurte tradicional (<i>set yogurt</i>)	O processo de fermentação ocorre dentro da própria embalagem, não sofre homogeneização e o resultado é um produto firme, mais ou menos consistente.
Iogurte batido (<i>stirred yogurt</i>)	O processo de fermentação ocorre em fermentadeira ou incubadoras com posterior quebra do coágulo.
Iogurte líquido (<i>fluid yogurt</i>)	O processo de fermentação é realizado em tanques e o produto é comercializado em embalagens plásticas tipo garrafa ou tipo cartonadas.

Fonte: adaptado ROBERT, 2008.

A elaboração de iogurte vem se transformando em um processo bastante sofisticado. Porém, com a rápida incorporação desse produto aos hábitos alimentares, o setor industrial tem buscado novos processos que possibilitem a redução dos custos de fabricação, sem prejuízo da qualidade do produto (GRANATO, 2007).

2.3.2 Composição básica do iogurte

O leite é o ingrediente básico no preparo do iogurte, mas a composição do iogurte pode ser modificada para atender os aspectos econômicos, práticos e de aceitação do consumidor. Pode ser encontrado na forma integral, desnatado, parcialmente desnatado, fortificado (com adição de leite em pó ou soro em pó) ou modificado, por exemplo, deslactosado (FERREIRA, 2001).

O objetivo inicial para a elaboração dos leites fermentados era a conservação do leite e do seu valor nutritivo, mas por modificar as propriedades sensoriais, a finalidade passou a ser para ampliar a gama de produtos lácteos, que podem ser preparados a partir de leite de diferentes espécies (vaca, ovelha, cabra e búfala) (ORDÓÑEZ - PEREDA- PEREDA et al., 2005, MEDEIROS, 2013).

Na Tabela 2 são apresentadas características básicas do iogurte, compiladas do *Codex Alimentarius* e da Instrução Normativa nº 46, BRASIL/MAPA/DIPOA (2007).

Tabela 2 - Características do iogurte

Constituinte	Quantidade
Proteínas lácticas (g/ 100g)	2,9%/mín.
Matéria gorda láctea (g/100g)	15% máx.
Ácido láctico, medido por acidez titulável (g/100g)	0,6% mín. a 1,5% máx.
Total de bactérias lácticas (Unidade Formadoras de Colônias, UFC/g)	10 ⁷ mín.
Outros microrganismos adicionados como suplemento (UFC/g)	10 ⁶ mín.

Fonte: FAO/WHO (2003) e BRASIL/ MAPA/DIPOA (2007)

Segundo a Nova Legislação de Produtos Lácteos (2007), os leites fermentados podem ser classificados de acordo com o conteúdo de matéria gorda em: com creme (mínimo de 6% de matéria gorda), integral (mínimo de 3 % de matéria gorda), parcialmente desnatado (máximo de 2,9% de matéria gorda) e desnatado (máximo de 0,5% de matéria gorda).

2.4 BACTÉRIAS UTILIZADAS NO DESENVOLVIMENTO DO IOGURTE

2.4.1 Bactérias lácteas

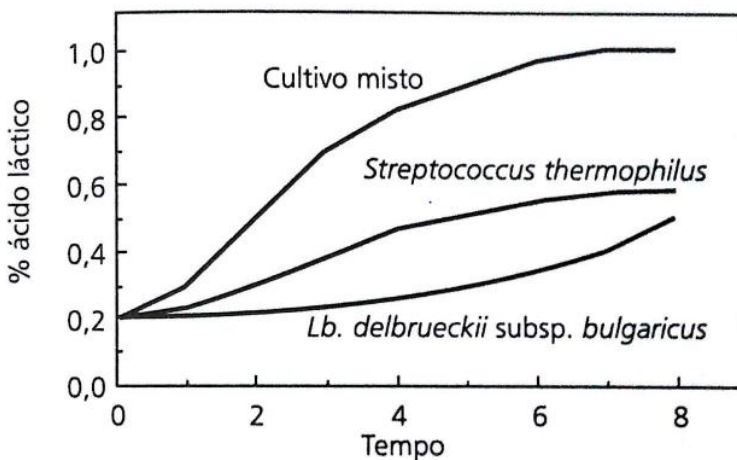
Pertencente ao gênero *Lactobacillus*, da família Lactobacillaceae, estes microrganismos são bacilos geralmente largos e finos, são microaerófilos, catalase positivos, Gram negativos, e fermentam os

açúcares produzindo ácido láctico como principal produto. Quando são homofermentativos (exemplo: *Lactobacillus bulgaricus*, *L. acidophilus*, *Streptococcus thermophilus*), fermentam o açúcar formando ácido láctico e pequenas quantidades de ácido acético, dióxido de carbono e outros produtos. Caso sejam heterofermentativos, produzem ácido láctico e importantes quantidades de compostos voláteis, como o álcoolis (JAY, 1994; FRAZIER e WESTHOFF, 1993).

2.4.2 Microrganismos iniciadores

Os microrganismos iniciadores crescem simbioticamente (cultivo misto), gerando um aumento da velocidade das reações metabólicas e conseqüentemente consegue-se a mesma concentração de metabólitos (como o ácido láctico) em um tempo menor do que se crescessem isoladamente (ORDÓÑEZ – PEREDA et al., 2005). Na Figura 2 é ilustrado o crescimento dos microrganismos iniciadores do iogurte, *Streptococcus thermophilus* e *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* isoladamente, e da cultura mista na proporção 1:1 desses microrganismos. Desse modo, as duas culturas, na mesma proporção, se completam em um desenvolvimento simbiótico (BEHMER, 1999).

Figura 2 – Produção de ácido láctico durante o crescimento dos microrganismos iniciadores do iogurte.



Fonte: (ORDÓÑEZ - PEREDA et al., 2005).

O aroma característico do iogurte é mais acentuado no cultivo misto, devido à presença de compostos como acetaldeído e diacetil (subprodutos metabólicos dos microrganismos iniciadores).

Para que o processo de fermentação do leite leve ao bom desenvolvimento das culturas para a produção de iogurte é necessário que a atividade simbiótica dos microrganismos seja satisfatória, levando em consideração que cada um possui uma temperatura ótima de desenvolvimento (ORDÓÑEZ-PEREDA et al., 2005). Lucey & Singh (1998) explana que a temperatura ótima de crescimento do *S. thermophilus* situa-se entre 40 – 45°C, atingindo um mínimo a 20°C e um máximo a 50°C. Para o *L. bulgaricus*, a temperatura ótima de crescimento situa-se entre 40 – 43°C, atingindo um mínimo a 22°C e um máximo a 52,5°C. Quando ocorre uma associação entre *S. thermophilus* e *L. bulgaricus* a temperatura ótima de crescimento fica entre 40 – 45°C e a coagulação pode demorar mais que quatro horas, dependendo da porcentagem de inóculo adicionada. Após o iogurte ter atingindo o pH desejável (geralmente pH 4,6), o gel é resfriado a temperatura menor que 10°C. O pH final da maioria dos iogurtes varia entre 4,6 - 4,0.

2.5 CONSUMO DO IOGURTE

No Brasil, o aumento do consumo de iogurte começou em 1970 e continuou crescendo devido aos mais variados produtos disponíveis no mercado, como iogurtes de diversos sabores, congelado (*frozen*), e o líquido (BRANDÃO, 1987).

Teixeira et al. (2000) relataram que o consumo deste produto está relacionado à imagem positiva de alimento saudável e nutritivo, associado às suas propriedades sensoriais. Ferreira et al. (2001) afirmam que esse consumo também pode ser atribuído à preocupação crescente das pessoas em consumirem produtos naturais, e os benefícios que o iogurte traz ao organismo, tais como: i) facilitar a ação das proteínas e enzimas digestivas no organismo humano, ii) facilitar a absorção de cálcio, fósforo e ferro, iii) ser fonte de galactose (importante na síntese de tecidos nervosos e cerebrosídeos em crianças), bem como iv) ser uma forma indireta de se consumir leite.

2.6 SECAGEM DE ALIMENTOS

A secagem é uma operação unitária de retirada de água de um produto por evaporação ou sublimação, mediante aplicação de calor sob condições controladas (KAJIYAMA e PARK, 2008). Segundo Celestino

(2010), esse conceito também se aplica à operação de evaporação, que é a concentração de soluções líquidas. O processo de secagem proporciona inúmeras vantagens, como o aumento da vida útil de alimentos, redução de massa e volume (com conseqüente redução de embalagens em tamanhos e quantidades, transporte e estocagem), aumento da concentração de nutrientes, como é o caso do leite em pó (maior teor proteico).

A secagem ocorre por vários mecanismos, os quais dependem da estrutura do material e do período de secagem (GEANKOPLIS, 2003). Para melhor compreensão dessa operação unitária, a seguir serão abordados os fundamentos da secagem.

O processo de secagem ocorre devido ao desequilíbrio entre a pressão de vapor da água contida em um material sólido e a pressão de vapor da água no ar ambiente. A umidade do material sólido possui uma pressão de vapor, que depende de como a água está ligada, da estrutura do material sólido e da temperatura. O ar ambiente possui pressão parcial de vapor dependente da sua umidade relativa e da sua temperatura. Assim, durante a secagem o material sólido irá perder umidade para o ambiente até que a pressão parcial de vapor de água no material sólido se iguale a pressão parcial no ambiente (GEANKOPLIS, 2003).

A umidade do produto (em base seca) é definida pela razão entre a massa de água e a massa de sólidos secos, conforme a Equação 1 (GEANKOPLIS, 2003).

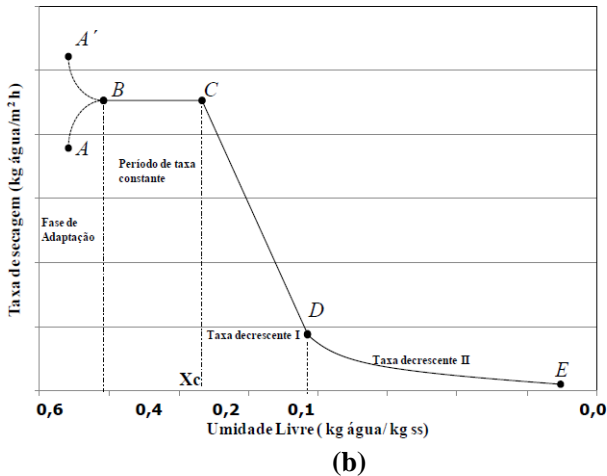
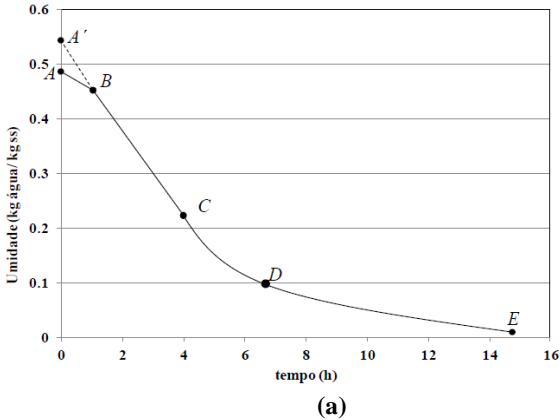
$$X_t = \frac{M_s - M_{ss}}{M_{ss}} \quad (1)$$

Onde, X_t é a umidade do produto em base seca (g de água g de sólidos secos⁻¹), M_s é a massa de sólido úmido (g) e M_{ss} é a massa de sólido secos (g).

Para conhecer como a perda de umidade do material sólido para o ar ambiente ocorre, dados experimentais da variação temporal da massa do produto durante o processo são obtidos. A curva que representa esses dados é chamada de curva de secagem (Figura 3a), que é característica do material e das condições de secagem utilizadas. Outra forma de representar esses dados é através da curva da taxa de secagem (velocidade de secagem), em que a variação da massa do produto é representada em função do tempo ou da umidade média do produto

(Figura 3b). A taxa de secagem é obtida derivando a curva da umidade pelo tempo de secagem, fornecendo os valores de dX_t/dt ($\text{kg kg}^{-1} \text{h}^{-1}$).

Figura 3 - Representação esquemática de uma curva típica de secagem a) Umidade em função do tempo de secagem b) Taxa de secagem em função da Umidade.



Fonte: Adaptado de Moraes (2013).

As Figuras 3 (a) e 3 (b) são a representação, respectivamente da curva de secagem e da curva da taxa de secagem de um material sólido, sendo esta última dividida em três períodos característicos. No início da

secagem, há um período inicial transiente (expresso por A-B e A'-B), em que o sólido está a uma temperatura maior ou menor do que a temperatura do ar de secagem. Esse período é geralmente curto e desprezado no cálculo do tempo de secagem. Assim que a temperatura do material sólido atinge a temperatura de bulbo úmido do gás (ponto B) ela permanece estável e dá-se início ao período de secagem à taxa constante. Do ponto B ao ponto C, ocorre o período de secagem à taxa constante. A evaporação nesse período é referente à água livre presente na superfície do material, de maneira que a taxa de evaporação depende diretamente da taxa de transferência de calor para o material sendo secado (GEANKOPLIS, 2003). O final desse período, C, é caracterizado pela umidade crítica do sistema (X_c), a partir do qual a taxa de secagem começa a decrescer. A umidade X_c depende não apenas do material submetido à secagem, mas também das condições de processo (temperatura e umidade relativa do ar de secagem, vazão do ar de secagem que escoam paralelamente à superfície). Após atingir a umidade crítica, inicia-se o período de secagem à taxa decrescente, representado pelo segmento C-D na Figura 3b.

A partir do ponto D, a taxa de secagem cai ainda mais rapidamente, até que atinja o ponto E, onde o conteúdo de umidade de equilíbrio é atingido. A curva de secagem é característica de cada material e também depende muito das condições de secagem.

2.7 MÉTODO DE SECAGEM

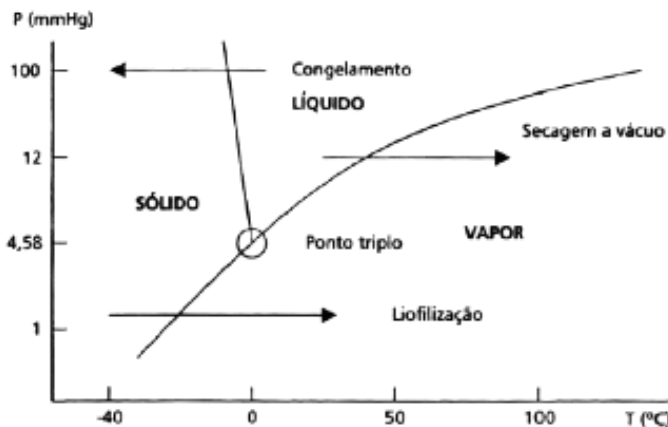
Nos processos de secagem usuais, a desidratação de alimentos é executada através de diversos métodos (EVAGELISTA, 2008). A seguir apresenta-se uma breve abordagem sobre secagem por liofilização, a vácuo e por método de espalhamento (*cast-tape*). Resultados da literatura sobre estudos da secagem de iogurtes também são apresentados

2.7.1 Secagem por liofilização (FD)

A liofilização consiste na redução da atividade de água dos alimentos pelo processo de sublimação. O vapor de água é removido dos alimentos congelados por sublimação, ou seja, a água congelada passa diretamente para o estado gasoso, sob vácuo. O calor de sublimação é fornecido por condução ou por radiação emitida por placas aquecidas, no interior da câmara de sublimação (ALCARDE; BASSO, 1997; BOSS, 2007; MARQUES e COSTA, 2015). Se a etapa de congelamento

for realizada adequadamente, a água congelada muda de fase sem alterar as paredes celulares do alimento (Figura 4) (BOSS, 2007). A pressão de vapor e a temperatura da camada de gelo estão abaixo do ponto triplo da água, que é 0,0099 °C a 610,50 Pa (BRUIN,1988; ORDÓÑEZ,2005).

Figura 4 - Localização do ponto triplo da água, assim como, suas mudanças de fase (sólido, líquido e gasoso) em função da temperatura (°C) e pressão atmosférica (mmHg).



Fonte: OETTERER; REGINATO-D'ARCE; SPOTO, 2006.

A sublimação da água ocorre com mínimo movimento de sólidos solúveis para a superfície e com pequenas modificações estruturais, ou seja, com o mínimo encolhimento. As baixas temperaturas causam pouca perda de nutrientes e possibilita reidratação rápida e completa do produto, devido à manutenção da estrutura porosa. No entanto, sob exposição ao oxigênio, pode ocorrer oxidação lipídica (EVANGELISTA, 2008; FELLOWS, 2008).

O alto custo de investimento com equipamentos e o alto gasto com energia elétrica para a desidratação a partir da liofilização são vistas como desvantagens do processo (BOSS, 2007; MARQUES & COSTA, 2015).

2.7.2 Secagem a vácuo

A secagem a vácuo é uma operação unitária na qual um material úmido é seco sob pressão sub-atmosférica. Os materiais usualmente

utilizados para este tipo de secagem são aqueles que possuem componentes termossensíveis, facilmente oxidáveis ou que sejam altamente higroscópicos (PINEDO, 2003, MALCZEWSKI e KACZMAREK, 1989; NASTAJ, 1989; FERNANDO e THANGAVEL, 1987). Ao reduzir a pressão ambiente da câmara de secagem, ocorre um resfriamento do produto a uma temperatura tão baixa quanto a temperatura de saturação da água na pressão aplicada (WANG; SUN, 2001). Foerst e Kulosik (2007) afirmam que a secagem a vácuo é um método alternativo à liofilização, consumindo menos energia, uma vez que a energia requerida para evaporação da água é menor do que a requerida para o congelamento dos produtos, pela sublimação de gelo e pela condensação do vapor de água sob pressões muito baixas. Isso exige um sistema de condensação a temperaturas muito baixas, o que é bastante dispendioso.

A fim de evitar a degradação significativa da qualidade do produto, a redução da pressão na câmara de secagem (vácuo) é introduzida para substituir o fluxo de ar quente da secagem convencional (ZHANG et al., 2006). Durante a secagem a vácuo, as moléculas de água de alta energia difundem para a superfície e evaporam devido à baixa pressão. O vapor de água se concentra na superfície e a baixa pressão faz com que o ponto de ebulição da água reduza. Estes criam grandes gradientes de pressão de vapor entre o interior do alimento e a sua superfície, resultando em taxas de secagem maiores do que o observado na secagem convectiva. Dessa forma, o vácuo permite que os produtos sejam secos a uma temperatura mais baixa do que o observado em produtos desidratados industrialmente sob pressão atmosférica (CHEN; MUJUMDAR, 2008).

Pinedo (2003) afirma que a secagem a vácuo pode ser considerada um método intermediário entre a secagem tradicional e a liofilização, pois pode trabalhar a baixas pressões com temperatura moderadas (menores que 100 °C), obtendo-se maiores taxas de evaporação da umidade e obter um produto final de melhor qualidade, se comparado com a secagem tradicional com ar quente.

2.7.3 Secagem por espalhamento

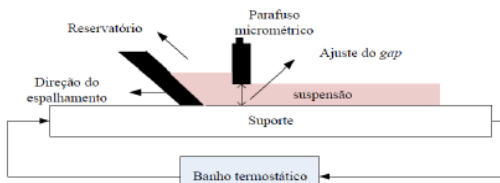
A secagem por espalhamento, como o *tape-casting* é uma alternativa viável para a produção de flocos, pós ou filmes, principalmente para aplicação em alimentos termossensíveis por poderem operar em temperaturas moderadas durante o processo.

2.7.3.1 Tape-casting

O processo denominado de *tape-casting* consiste no espalhamento de uma solução ou suspensão sobre uma superfície aquecida, de forma que, após a evaporação do solvente, obtenha-se um filme flexível ou flocos desidratados. Amplamente utilizado para produção de cerâmicas e filmes poliméricos, o uso deste método exige que a matéria-prima apresente consistência adequada, para formar filmes com microestrutura homogênea e de alta densidade (SOUSA, 2015; YU et al., 2015; MORAES, 2013; KISAND et al., 2007; HOTZA, 1997; HOTZA; GREIL, 1995).

Um esquema experimental de *tape-casting* é representado pela Figura 5 e consiste de uma superfície metálica aquecida pela circulação de água no seu interior (camisa de água quente). O material a ser seco é espalhado sobre essa superfície aquecida na forma de suspensão, onde ocorre a desidratação. A desidratação também pode ser realizada pela circulação de ar quente sobre a solução depositada ou por uma fonte de radiação infravermelha.

Figura 5 - Esquema experimental de *tape-casting*.



Fonte: Moraes et al. (2015)

A medida da viscosidade é um fator importante para o controle do processo de *tape-casting*. Durante o processo de espalhamento é necessário que a suspensão mantenha a espessura utilizada no espalhador e para isso uma viscosidade mais elevada pode ser desejada. As matérias-primas e concentrações utilizadas na formulação também modificam a viscosidade e a taxa de cisalhamento da suspensão, podendo interferir na sua estabilização (HOTZA, 1997).

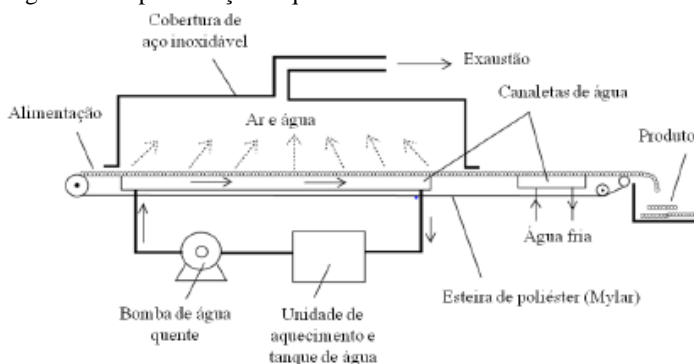
2.7.3.2 Refractance Window (RW)

O mecanismo de secagem por RW é uma tecnologia em que o produto a ser seco, em forma de suspensão líquida, é espalhado sobre uma esteira plástica de poliéster que flutua sobre um banho de água

aquecida, representado pela Figura 6. O filme de poliéster é transparente à radiação infravermelha emitida pela água quente. Assim, o fluxo de calor proveniente da água quente chega ao produto a ser seco pelos mecanismos de condução (ABONYI et al., 2002; NINDO et al., 2003; NINDO e TANG, 2007).

O equipamento foi desenvolvido pela MCD Technologies, Inc. (Tacoma, Washington, E.U.A.) (ABONYI et al., 2002), que utiliza os três mecanismos de transferência de calor: condução, convecção e radiação (CLARKE, 2004), para secagem ou concentração de alimentos líquidos e purês (NINDO et al., 2003). Esse sistema pode operar em batelada ou continuamente e apresenta um valor de mercado entre um terço à metade de um liofilizador e com um custo de manutenção e operação inferior à metade deste (NINDO e TANG, 2007).

Figura 6 - Representação esquemática de um RW contínuo.



Fonte: Adaptado por Nindo et al. (2007).

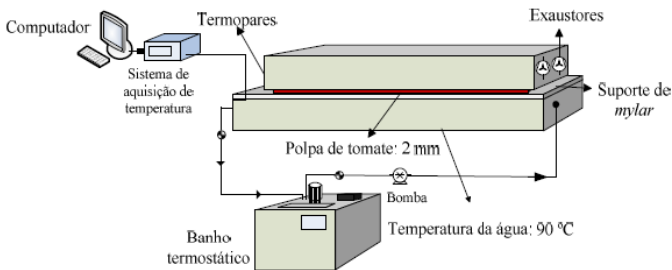
A energia térmica proveniente da água aquecida é transmitida através de um filme poliéster (*Mylar*) pela condução e pela radiação, onde a transmissão da energia infravermelha é maior quando a superfície plástica está em contato com a água em um lado e com o material úmido no outro. Zotarelli, Carciofi e Laurindo (2015) e Ortiz-Jerez et al. (2015) mostraram que a contribuição da radiação no processo de secagem por RW é menor que 5 %, e que o mecanismo de condução de calor controla a secagem neste processo. Dessa forma, esse processo de secagem pode ser tratado como um método de secagem condutivo de soluções ou suspensões espalhadas sobre um suporte.

2.7.3.3 *Cast-tape Drying* (CTD)

A secagem por CTD (denominação genérica do RW) é um processo para a produção de alimentos em pó, que consiste em espalhar um fluido viscoso sobre um suporte cuja superfície inferior é aquecida por água ou vapor. Consiste de um processo de secagem condutivo por espalhamento de uma camada fina de solução ou suspensão sobre suportes aquecidos, uma denominação geral poderia ser “Secagem de Filme Líquido Espalhado Sobre um Suporte Flexível” (DURIGON et al., 2016). Ortiz-Jerez e Ochoa- Martinez (2015) afirma que RW é controlado pela transferência de calor por condução, quando o mesmo comportamento foi observado quando utilizado o filme de poliéster com alumínio, que evita a transferência de calor por radiação infravermelha.

O esquema está representado na Figura 7, o qual consiste de um reservatório de água quente conectado a um banho ultratermostático. Um filme de poliéster fixado na parte superior do reservatório, com sua face inferior em contato com a água quente do reservatório, enquanto a sua face superior serve de suporte para o espalhamento da solução ou suspensão. São utilizados exaustores para auxiliar a retirada dos vapores produzidos durante a secagem.

Figura 7 - Esquema do aparato experimental *cast-tape drying*.



Fonte: Adaptado por Durigon (2016)

2.7.4 Secagem do iogurte

O principal objetivo da obtenção do iogurte na forma de pó é conseguir um produto desidratado de alta qualidade, com maior vida útil e sem necessidade de refrigeração. Há também economia em embalagens, transporte e armazenagem, por causa da remoção de grande

volume de água do produto, favorecendo seu manuseio (KOC et al. 2010; KUMAR e MISHRA, 2004).

O produto obtido pela secagem do iogurte pode ter diversas aplicações em confeitarias, em sobremesas geladas, na preparação de sopas, na fabricação de molhos, pastas e emulsões, em misturas para alimentação de atletas ou idosos, como iogurte instantâneo e até mesmo como cultura de iniciação na produção de iogurte (KEARNEY et al., 2009; KUMAR e MISHRA, 2004).

O número de células viáveis no iogurte em pó é um bom índice para avaliar o grau de dano exercido pelo calor durante secagem, bem como para a otimização das condições de processamento (KIM et al., 1997).

Spagnol e Ferro (2005) liofilizaram iogurtes para verificar a viabilidade das bactérias lácticas durante o processo e avaliaram a possibilidade de reconstituí-los posteriormente. Observaram redução do pH, tornando o produto mais ácido pela produção de ácido láctico pelas bactérias viáveis. A concentração de bactérias lácticas aumentou no produto liofilizado, resultado direto da evaporação da água. E a reconstituição do iogurte líquido foi possível.

Koc et al. (2010) estudaram as condições do processo de secagem de iogurte natural por atomização, visando a conservação da viabilidade dos microrganismos e de outros atributos de qualidade. O iogurte utilizado continha 14,2% de sólidos totais (em base úmida). O produto obtido nas condições consideradas ótimas, temperatura de alimentação de 15°C, temperatura do ar igual a 171°C na entrada e 60,5°C na saída, teve uma contagem aceitável para as bactérias lácticas, porém menor, quando comparada com os valores da contagem do iogurte fresco inicial.

Matos et al. (2015) estudaram o processo de liofilização na conservação das características físico-químicas do iogurte natural. Após 2 meses de armazenamento, o iogurte desidratado não mostrou grandes diferenças quando comparado ao iogurte antes de ser liofilizado, indicando que o processo de liofilização conserva as características físico-químicas do iogurte.

2.8 CARACTERÍSTICAS DE IOGURTES DESIDRATADOS EM PÓ

2.8.1 Tamanho e distribuição de tamanhos de partículas

As características mais importantes de um pó são o tamanho e a distribuição de suas partículas, pois isso define, em grande parte, sua

aplicação. O tamanho e a distribuição de partículas estão diretamente relacionados com as gotículas formadas por ocasião da atomização do líquido (FILKOVÁ, HUANG E MUJUMDAR, 2006). Os autores não fazem referências em relação às faixas de valores o que recomenda que a interpretação de seus resultados seja feita com cautela.

Ainda, com relação às gotículas, é importante observar que quanto menor seu tamanho, maiores os coeficientes de transferência de calor e massa e menor a distância para a difusão interna; conseqüentemente, elas secam mais rapidamente (WALTON e MUMFORD, 1999).

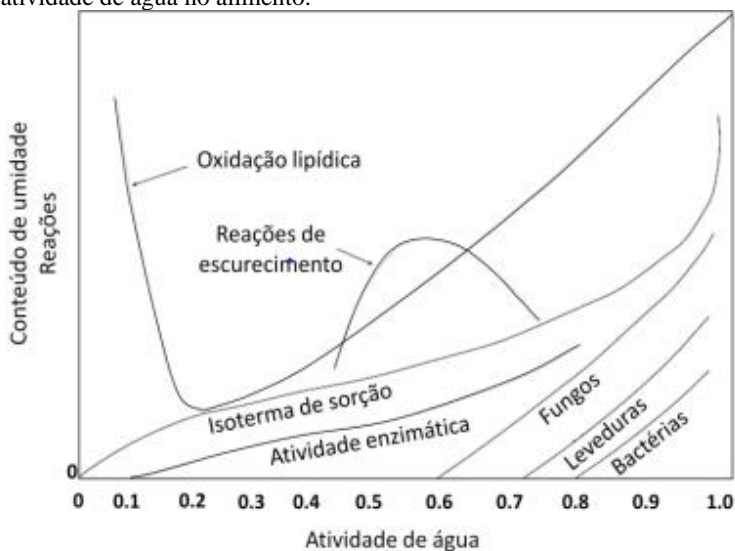
2.8.2 Atividade de água (a_w)

A atividade de água em um alimento é a razão entre a pressão parcial do vapor da água contida no alimento (P) e a pressão de vapor da água pura (P_0), nas mesmas condições de temperatura e pressão, equação 2.

$$a_w = \frac{P}{P_0} \quad (2)$$

Segundo Fennema, Damodaran e Parkin (2010), o termo atividade de água (a_w) expressa a intensidade com a qual a água encontra-se ligada a constituintes do alimento. Quando se desidrata um alimento, ocorre perda de água livre e isto implica em redução do valor da atividade de água. A consequência disto é um aumento da estabilidade do produto e de sua vida útil. Além de influenciar as reações químicas de degradação e crescimento microbiano, a a_w também exerce influência em propriedades relacionadas à qualidade de produtos desidratados, como a textura de produtos sólidos (biscoitos, chips, entre outros) e a aglutinação de pós higroscópicos (leite em pó, café). Aceita-se que atividades de água na faixa de 0,35 a 0,50 reduzem as transformações mais importantes, mas esses valores devem ser avaliados para cada alimento (FENNEMA; DAMODARAN; PARKIN, 2010). A Figura 8 mostra a velocidade das principais reações de degradação e crescimento bacteriano em função da a_w do alimento.

Figura 8 - Velocidade de reações químicas e crescimento microbiano em função da atividade de água no alimento.



Fonte: adaptada de BAKER, 1997.

O crescimento de microrganismos está associado a altos valores de a_w (maiores que 0,6), principalmente bactérias. A atividade enzimática também é reduzida em baixos valores de atividade água. A única exceção é a oxidação lipídica, que possui alta velocidade de reação para valores de atividade de água baixos e elevados.

Segundo Belitz e Grosch (1997), a alta velocidade de oxidação lipídica em alimentos desidratados ocorre devido ao fato dos íons metálicos não estarem mais protegidos por uma camada de água protetora. Os metais são iniciadores da oxidação lipídica em sistemas biológicos. Ao aumentar levemente o valor da atividade de água, a velocidade da reação de oxidação diminui consideravelmente, pois os íons metálicos (presentes naturalmente no alimento) e os radicais lipídicos gerados durante o processo de secagem se hidratam. Para valores de a_w superiores a 0,3, ocorre novamente um aumento da velocidade da reação de oxidação lipídica, pois há uma maior mobilidade das substâncias que promovem a oxidação lipídica, e assim, maior probabilidade de encontro entre essas substâncias e as moléculas de lipídeos.

De acordo com a Figura 8, é desejável que o produto final (iogurte desidratado) possua a_w na faixa de 0,2 a 0,5. Pois valores menores que 0,2 proporcionarão alta velocidade de oxidação lipídica e valores maiores que 0,5 acarretarão em alta velocidade para reações de escurecimento não enzimático, bem como para atividade enzimática.

Uma análise da curva da velocidade das reações de escurecimento não enzimático permite concluir que estas reações ocorrem no intervalo de a_w entre 0,4 e 0,8, sendo crítico quando a a_w apresenta valor de 0,6. O comportamento assintótico da curva pode ser explicado através da interação entre a água disponível e os demais reagentes. Segundo Bobbio (1995), para baixos valores de a_w os reagentes estão pouco móveis na matriz alimentícia, reduzindo os choques moleculares e assim velocidade das reações. Em valores moderados de a_w , a reação é favorecida, pois a água promove a mobilidade e os choques moleculares. Quando os alimentos apresentam altos valores de a_w , a velocidade da reação de escurecimento volta a reduzir, pois o meio se encontra diluído e novamente tem-se a questão da dificuldade de encontro entre os reagentes.

2.8.3 Cor

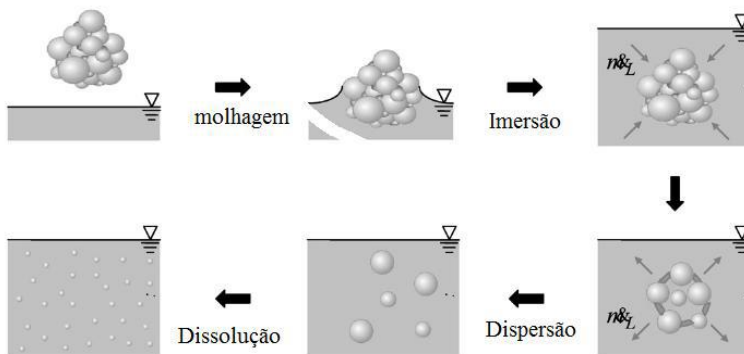
A cor é um importante atributo relacionado com a identidade do produto e, portanto, funciona como critério de aceitação por parte dos consumidores. O produto final não deve se apresentar descolorido ou muito escurecido, como resultado de mau processamento. A cor das matérias-primas utilizadas exerce grande impacto na cor do produto final; além disso, as partículas grandes podem gerar sombra sobre outras partículas, fazendo que se pareçam mais escuras (HUNTINGTON, 2004). A determinação da cor em produtos industrializados normalmente é feita por meio da escala de cor CIE $L^*a^*b^*$, ou CIELAB, proposta em 1976 pela CIE- *Commission Internationale de L'eclairage* - , que é uma escala de cores aproximadamente uniforme, tendo sido desenvolvida para a comparação de valores de cores (HUNTER LAB, 2012).

2.8.4 Reidratação de pós

A reidratação de produtos em pó é um dos principais indicadores de qualidade, devendo ser rápida (poucos segundos) e completa. A reconstituição é influenciada pelos processos a que o produto foi submetido, quantidade de partículas pequenas e a presença de gordura

ou óleo (HOGEKAMP; SCHUBERT, 2003). De acordo com esses autores, a reconstituição do pó se dá por umedecimento e posterior substituição do ar intersticial por água, através do mecanismo de capilaridade. Forny, Marabi e Palzer (2011) descrevem que a reconstituição de um pó ocorre por diversas etapas: primeiro ocorre a molhagem do aglomerado e penetração do líquido no sistema poroso, por forças capilares. Em seguida ocorre a imersão do aglomerado dentro do líquido, para a posterior dissociação das pontes sólidas (interações) entre as partículas e também dispersão destas partículas no interior do volume líquido. Finalmente ocorre a dissolução das partículas no líquido solvente. A Figura 9 ilustra estas etapas descritas.

Figura 9 - Etapas da reconstituição de um pó em um líquido.



Fonte: Adaptado de FORNY, MARABI e PALZER, 2011.

O tempo para que um líquido penetre completamente dentro de uma partícula porosa é decisivo para o processo de reconstituição. O líquido penetra nos poros das partículas impulsionado pela pressão capilar (FORNY et al., 2011; HOGEKAMP ; SCHUBERT, 2003). A penetração do líquido em uma partícula é afetada pelo seu tamanho. Partículas muito pequenas tendem a formar uma camada viscosa durante a etapa de molhagem, dificultando a dispersão. Quando o líquido penetra na partícula ou em um aglomerado de partículas, as paredes são dissolvidas, formando uma solução viscosa, que reduz a tensão interfacial e a força capilar. A formação desta camada viscosa impede a penetração de líquidos, e este fenômeno causa a formação de aglomerados, os quais flutuam na superfície do líquido de dissolução (CHEN e ÖZKAN, 2007; HOGEKAMP e SCHUBERT, 2003).

Os fatores importantes das partículas que formam os aglomerados são o tamanho, o formato e o estado físico das ligações. Esses fatores influenciam a quantidade de energia necessária para quebrar os aglomerados em partículas individuais, afetando o processo de dissolução (FORNY et al., 2011).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 IOGURTE

Iogurte natural e integral da marca Frimesa (Matelândia – PR), embalado em potes de 165g, foram adquiridos no comércio local da cidade Florianópolis-SC. As amostras foram armazenadas nas prateleiras centrais de um refrigerador vertical (marca BRSTEMP), com temperaturas entre 5 a 10°C, seguindo recomendação do fabricante dos iogurtes. Foram usadas 6 unidades de iogurte em cada experimento, num total de 54 copinhos de iogurte para realização das cinéticas. Os lotes de produto foram sempre adquiridos com, no máximo, 8 dias de fabricação. Foram utilizados 5 lotes diferentes para as realizações das cinéticas de secagem. Os iogurtes adquiridos tinham prazo de validade de 44 dias. O fabricante reporta os seguintes ingredientes para sua fabricação: leite parcialmente desnatado e/ou leite em pó reconstituído, leite em pó desnatado, creme de leite e fermento lácteo. Na Tabela 3 é apresentada a composição nutricional presente na embalagem.

Tabela 3 - Composição nutricional do iogurte natural (Frimesa®) para cada embalagem de 165 g.

Informação Nutricional (*)	165g (1 Unidade)	(%)VD (**)
Valor Energético	113kcal = 475 kJ	6
Carboidratos	10g	6
Proteínas	6,9g	9
Gorduras Totais	5,1g	9
Gorduras Saturadas	4,0g	18
Cálcio	264 mmg	26
Sódio	111 mmg	5

Valores diários de referência com base em uma dieta de 2.000 kcal. ** VD Não estabelecido. * Valor relacionado a porção comestível. **Fonte:** Embalagem do produto

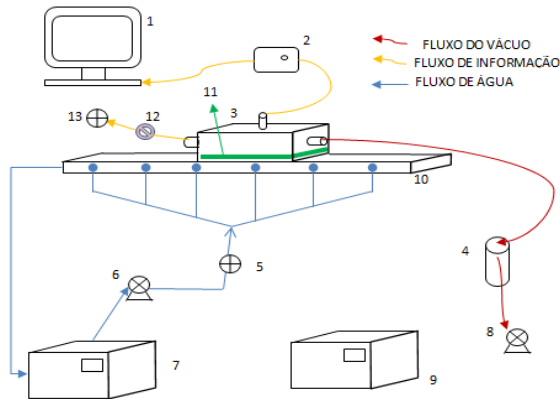
3.1.1 Caracterização centesimal do iogurte in natura

As análises de cinzas, proteínas e pH acidez em ácido láctico seguiram as metodologias do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008).

3.2 DISPOSITIVO EXPERIMENTAL (CTSV)

O dispositivo de secagem em chapa aquecida com aplicação de vácuo consiste numa placa de alumínio (80 cm x 40 cm), que permite a circulação de água no seu interior. Água quente proveniente de um banho ultratermostático é circulada no interior da placa durante o processo de secagem. No final do processo, água fria proveniente de outro banho (Quimis, modelo Q214, Brasil) foi circulada no interior da placa, para resfriar o produto seco e facilitar sua retirada da placa. Numa parte do suporte foi fixado um filme teflonado (26 cm x 26 cm), de grau alimentício (Lençol Armalon® Standard, Indaco, São Paulo, Brasil), e 0,25 mm de espessura. O filme teflonado é um tecido de fibra de vidro com 59% de politetrafluoretileno, que tem baixa aderência ao material a ser seco. A face superior do filme serviu de suporte para o espalhamento do iogurte, enquanto a face inferior foi mantida em contato com a chapa aquecida. Após o espalhamento do iogurte, uma câmara a vácuo foi acoplada na parte superior da placa e conectada a um sistema de vácuo por uma mangueira flexível apropriada. A pressão foi regulada através de uma válvula esférica ligada a um medidor de vácuo digital, que mede o nível de vácuo na câmara de secagem. O dispositivo experimental está representado esquematicamente na Figura 10.

Figura 10 - Dispositivo esquemático do CTSV.



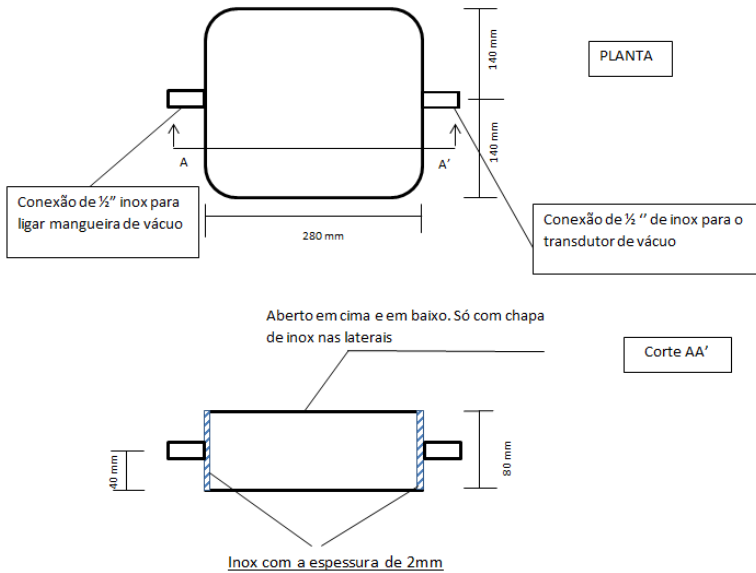
Fonte: Autor

- 1- Computador
- 2- Sensor de temperatura por infra-vermelho
- 3- Câmara de vácuo
- 4- Trapping
- 5- Válvula de controle de vazão de água
- 6- Bomba de água do banho
- 7- Banho ultratermostático (50°C)
- 8- Bomba de vácuo
- 9- Banho ultratermostático (4°C)
- 10- Chapa com serpentina
- 11- Filme politetrafluoretileno (*teflon*)
- 12- Vacuômetro (transdutor de pressão)
- 13- Válvula T de controle de vácuo

3.2.1 Montagem da câmara de vácuo

Uma câmara com dimensões de 280 mm x 280 mm x 80 mm foi construída com uma chapa de aço inox de 2 mm de espessura, para garantir uma resistência mecânica à aplicação do vácuo e por ser de fácil higienização. Para vedação foram colocadas borrachas de silicone na parte superior e inferior da câmara. Foram soldadas duas conexões inox com diâmetro de ½” nas laterais da câmara, uma para ligar a mangueira na bomba de vácuo e outra para o conjunto transdutor / válvula de controle do vácuo. Para visualização dos experimentos foi utilizada uma chapa de acrílico transparente de 300 mm x 300 mm x 15 mm. Nas Figuras 11 e 12 estão representadas, respectivamente, a planta de montagem da câmara e uma fotografia da câmara de vácuo.

Figura 11 - Planta da montagem do aparato experimental.



Fonte : Autor

Figura 12 - Câmara de vácuo.



Fonte: Autor

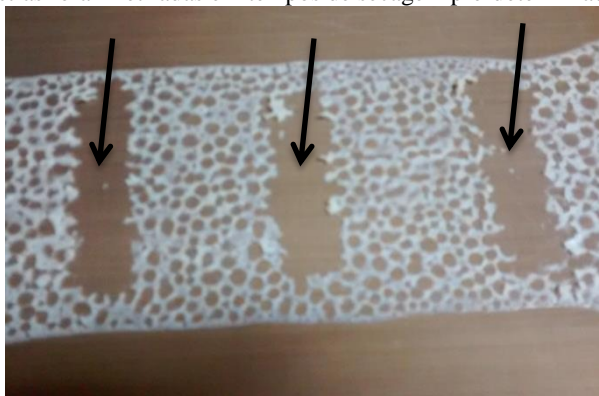
3.3 SECAGEM DO IOGURTE EM CTSV

O iogurte foi espalhado sobre o filme de teflon fixado na superfície da chapa aquecida. A concentração de iogurte utilizada neste estudo foi em média de 8,2 °Brix, medido por um refratômetro manual (ATAGO, modelo PAI-BX/RI, Tóquio, Japão), tendo um espalhamento

homogêneo. O iogurte, com temperatura entre $10 \pm 2^\circ\text{C}$, foi espalhado com o auxílio de um espalhador milimétrico (*doctor blade*), o que permitiu o ajuste da espessura da camada espalhada em 2 mm. Após o espalhamento do iogurte sobre o filme de teflon, acoplou-se a câmara de vácuo e ligou-se a bomba. Durante um período de tempo, que variou entre 99 e 109 segundos, controlou-se a pressão na câmara de vácuo até atingir 10 kPa. Esta pressão era mantida durante 15 min de secagem. Após este tempo de secagem quando se observava que a temperatura do sistema começava a aumentar, baixava-se a pressão na câmara para 3 kPa, o que levava aproximadamente 1 min. Nessa pressão, verificou-se que a amostra entrava em ebulição à 28°C .

Foram utilizadas água a 50°C ($\pm 1^\circ\text{C}$) para aquecimento e, no final do processo, água a 4°C ($\pm 1^\circ\text{C}$), para o arrefecimento. A temperatura foi controlada pelos banhos termostáticos e conferida por um sensor de infravermelho (FLUK, modelo FLUKE 62 MAX +, Shanghai, China). As amostras foram mantidas sob aquecimento e sob vácuo até o final da secagem. Durante a secagem foi medida a temperatura dentro do sistema com um auxílio de um sensor infravermelho (Raytek CI, modelo RAYCML TJ) acoplado no centro do secador. Os experimentos foram realizados em triplicata (em dias distintos), sendo as amostras retiradas da região central do iogurte em três pontos diferentes como representado pelas regiões indicadas pelas setas na Figura 13 em intervalos de tempo pré-determinados de 2 min.

Figura 13 - Divisão do espalhamento em três regiões diferentes, indicadas pelas setas. As amostras foram retiradas em tempos de secagem pré-determinados.



Fonte: Autor

3.3.1 Temperatura do iogurte durante o processo de secagem

A evolução da temperatura do iogurte durante a secagem foi medida por um sensor de infravermelho (Raytek CI, modelo RAYCML TJ, China) que abrange a gama de temperatura entre 0°C e $500^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ (32°F a 932°F). O sensor foi acoplado no centro da tampa de acrílico a uma distância fixa de 8 cm da superfície da placa aquecida, medindo a temperatura média sobre uma área equivalente a um círculo de 8 cm de diâmetro sobre o iogurte espalhado. O sensor foi conectado a um sistema de aquisição de dados instalado em um computador, com intervalo de aquisição de dados de 1 segundo.

Devido à alta umidade do iogurte, assumiu-se que sua emissividade (ϵ) é similar à da água, igual a 0,96 (Incropera et al., 2008). A emissividade da chapa aquecida e das superfícies do *teflon* (que recobre a chapa aquecida) foram determinadas conforme o método proposto por Albatici et al. (2013). Esse método utiliza um pedaço de fita isolante, de emissividade conhecida, $\epsilon = 0,95$. A fita foi colada na superfície da placa aquecida e a temperatura é determinada com o sensor de infravermelho. A temperatura da placa aquecida foi assumida como sendo igual à da fita isolante, permitindo a determinação de sua emissividade, assumida como o valor que garante a igualdade entre as temperaturas das superfícies da placa aquecida e da fita isolante.

3.3.2 Cinéticas de secagem do iogurte natural

A determinação da cinética de secagem foi realizada em triplicata (em dias distintos). Para a determinação de cada curva de secagem, foram realizados vários experimentos, para evitar influência da interrupção do processo na forma das curvas (método destrutivo). Para cada ponto experimental foram retiradas amostras do iogurte espalhado, em tempos de secagem pré-determinados, nas regiões ilustradas na Figura 13. As umidades dessas amostras foram determinadas em triplicata, pelo método gravimétrico, em estufa a vácuo (TECNAL, modelo TE-395, São Paulo, Brasil) a 70°C (A.O.A.C., 2005). Uma equação linear foi usada para ajustar os dados de umidade vs tempo de secagem, para avaliar a taxa de secagem no período de taxa de secagem constante. Para cada réplica, a taxa de secagem foi obtida pelo coeficiente angular da reta e apresentada como um valor médio.

3.3.3 Determinação das taxas de secagem

As taxas de secagem foram obtidas a partir da derivada da curva suavizada da evolução temporal da umidade.

3.3.4 Cinética de atividade de água (a_w)

As cinéticas de evolução da a_w da amostra durante a secagem também foram realizadas por método destrutivo, em triplicata (em dias distintos). Para a determinação da a_w , usou-se um higrômetro digital (Aqualab Modelo -Series 3 TE, Decagon Devices, Inc., Pullman, EUA), a 25 °C. As análises foram realizadas em triplicata. Para a cinética da evolução da atividade de água durante a secagem, um mesmo lote de iogurte foi utilizado.

3.3.5 Cinética de inativação das bactérias lácticas

A determinação das cinéticas de inativação das bactérias lácticas durante a secagem foi realizada de forma destrutiva, em triplicata (em dias distintos). Em cada grupo de experimentos, coletou-se amostras em intervalos pré-determinados (0, 10, 20, 30, 35 e 40 min). As amostras foram armazenadas em embalagens estéreis e mantidas refrigeradas, no final da secagem foram encaminhadas para realização das análises das bactérias lácticas no mesmo dia. O procedimento para análise microbiológica está descrito no item 3.8.1. As análises foram realizadas de três lotes diferentes de iogurte.

3.3.6 Capacidade evaporativa (CE)

A capacidade evaporativa de cada processo de secagem, dada em $\text{Kg m}^{-2} \text{h}^{-1}$, foi determinada de acordo com a Equação 3, (DURIGON, 2016).

$$CE = \frac{dX_s}{dt} (1 - X_u) \rho L_p \quad (3)$$

Em que $\frac{dX_s}{dt}$ é a taxa de secagem ($\text{kg kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ (b. s.)), X_u é a umidade inicial da polpa (kg Kg^{-1} (b. u.)), ρ é a massa específica do iogurte inicial (kg m^{-3}) e L_p é a espessura da camada de iogurte espalhado (cm). A umidade inicial do iogurte natural foi de $0,85 \text{ Kg Kg}^{-1}$.

¹ (b. u.) e a massa específica, determinada em picnômetro de vidro, foi de 1044,0 Kg m⁻³.

3.4 LIOFILIZAÇÃO DO IOGURTE NATURAL

Amostras de iogurte natural foram depositadas em bandejas de aço inoxidável do liofilizador de bancada (LIOTOP, Modelo L101, São Paulo, Brasil), posteriormente foram congeladas em freezer (Electrolux Modelo FE 26) a temperatura $-25 \pm 2^{\circ}\text{C}$ por 24 horas, em seguida foram inseridas no liofilizador com uma temperatura de -37°C na sua câmara de condensação e em vácuo a uma pressão mínima de 0,18 mbar por 48 horas. Na Figura 14 apresenta-se uma fotografia do iogurte liofilizado.

Figura 14 - Amostra resultante de iogurte liofilizado (FD).

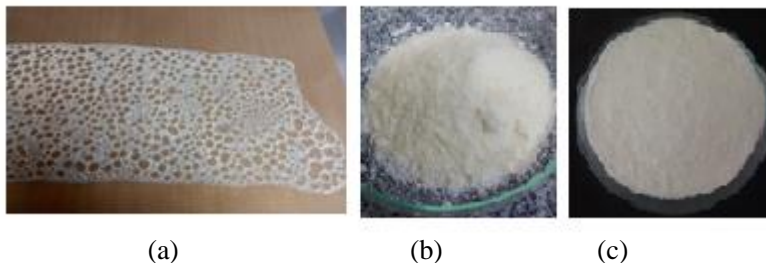


Fonte: Autor

3.5 MOAGEM E CLASSIFICAÇÃO DO IOGURTE EM PÓ

No final do processo de secagem Figura 15(a), iogurtes em pó resultantes dos processos de CTSV e de liofilização, foram submetidos à moagem em moinho de facas (TECNAL, Modelo TE 631/2, Piracicaba, SP, Brasil). Após a moagem, os pós foram classificados em peneiras inox (BRONZINOX) com abertura 850 μm (20 mesh) Os produtos resultantes estão ilustrados pelas fotografias apresentadas nas figuras 15(b) e 15(c). Todas as análises foram realizadas em triplicata.

Figura 15 - (a) mostra o aspecto da amostra de iogurte final da secagem, (b) mostra o pó CTSV resultante da secagem após moagem e (c) mostra o pó liofilizado resultante após moagem.



Fonte: Autor

3.5.1 Caracterização das amostras

As análises físico-químicas realizadas para amostras de iogurte *in natura*, os pós e os iogurtes reconstituídos estão indicados na Tabela 4. As análises de composição centesimal para os pós, proteína, cinzas, lipídeos e acidez em ácido láctico, seguiram as metodologias do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008).

Tabela 4 - Análises realizadas e respectivos métodos com iogurte *in natura*, o pó e iogurte reconstituído.

Análise	Método	<i>in natura</i>	Pó	Iogurte reconstituído
Umidade	A.O.A.C, 2005	✓	✓	✓
a_w	Higrômetro digital	✓	✓	✓
Cor	Colorímetro escala CIELAB	✓	✓	✓
Microscopia Óptica	Microscópio Bioval, modelo L2000A	✓		✓
Tempo de dispersão	Dacanal, 2005		✓	
Massa específica e porosidade do leito	Barbosa-Cánovas et al., 2005; Goula e Adamopoulos, 2008		✓	
Distribuição do tamanho de partículas	NANO-flex		✓	
MEV	LCME		✓	
Sólidos solúveis	Refratômetro bancada	de	✓	✓
Ph	pHmetro	✓		✓
Comportamento reológico	Cilindros concêntricos, CERMAT	✓		✓
Análises das bactérias lácticas	IDF, 1997	✓	✓	✓

3.5.2 Determinação da umidade

As umidades foram determinadas pelo método gravimétrico em estufa sob vácuo (TECNAL, modelo TE- 395, Piracicaba, Brasil) a 70 °C, conforme metodologia da A.O.A.C (2005).

3.5.3 Atividade de água (a_w)

As amostras foram trituradas e a a_w foi determinada em higrômetro digital (Aqualab Modelo - Series 3 TE, Decagon Devices, Inc., Pullman, EUA), a 25 °C.

3.5.4 Medidas de cor

As medidas de cor dos iogurtes *in natura*, em pó e reidratados, foram realizadas por um Colorímetro Minolta Chromo Meter CR 400 (Konica Minolta, Osaka, Japan.), calibrado com placa de referência antes do uso. A cor foi expressa pelo sistema de coordenadas L^* , a^* e b^* (escala CIELAB) definido pela CIE (*Commision Internationale de L'Éclairage*) (1976). As leituras foram realizadas diretamente sobre as superfícies das amostras, com triplicatas de leitura e de processo. A variação da cor total foi avaliada pelo parâmetro ΔE^* , tomando como referência a amostra *in natura* (L_0 , a_0 e b_0), calculada de acordo com a Equação 4.

$$\Delta E^* = \sqrt{(L^* - L_0)^2 + (a^* - a_0)^2 + (b^* - b_0)^2} \quad (4)$$

Na qual o parâmetro L^* indica a luminosidade entre o preto e branco ($L^*=0$ preto e $L^*=100$ branco), o parâmetro a^* mede a tonalidade vermelha/verde ($+a^*$ =vermelho e $-a^*$ =verde) e o parâmetro b^* mede a tonalidade amarela/azul ($+b^*$ =amarelo e $-b^*$ =azul).

3.5.5 Microscopia óptica

O iogurte *in natura* e os pós reidratados foram observados em microscópico óptico, com aumento de 40 vezes (Microscópio Bioval, modelo L2000A, Gottingen, Alemanha). Os pós foram reidratados com água destilada à temperatura ambiente por 1 hora na proporção de 1 g de pó para cada 5 mL de água destilada.

3.5.6 Massa específica aparente, massa específica real e porosidade.

Uma massa de 3 a 5 g do pó de iogurte foi vertida em uma proveta graduada (1 mL) com o volume de $10 \text{ mL} \pm 0,2 \text{ mL}$, a qual foi repetidamente batida sobre uma superfície reta até que diferenças desprezíveis de altura do leito entre as 100 batidas sucessivas foram observadas (BARBOSA-CÁNOVAS et al., 2005; GOULA; ADAMOPOULOS, 2008). A massa específica aparente do leito de partículas foi calculada pela razão entre a massa e o volume ocupado pelo pó na proveta. Os experimentos foram realizados em triplicata, na temperatura ambiente ($25 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$), e a massa específica aparente foi expressa por g cm^{-3} .

O volume absoluto de cada amostra de pó de iogurte foi determinado usando um picnômetro de gás hélio (99,995% pureza) (Micromeritics, AccuPyc II 1340, EUA), pela medida da mudança de pressão do gás em um volume calibrado. O volume foi medido a partir de dez leituras para cada amostra. A massa específica real foi determinada pela razão entre a massa previamente determinada e o volume absoluto, sendo expressa em g cm^{-3} .

A porosidade do leito de partículas (ϵ) pode ser calculada segundo a Equação 10 (BARBOSA-CÁNOVAS et al., 2005).

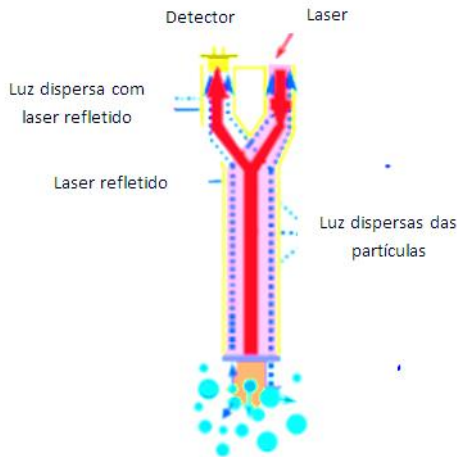
$$\epsilon = \frac{\rho_P - \rho_b}{\rho_P} \quad (5)$$

Onde, ρ_P é a massa específica real (g cm^{-3}) e ρ_b é a massa específica aparente (g cm^{-3}).

3.5.7 Distribuição e tamanho de partícula

A distribuição do tamanho de partículas foi determinada por um sistema de caracterização de coloides por espalhamento de luz (laser), em uma faixa de tamanhos de 0,3 nm a 10 μm (NANO-flex 180° DLS Size, Microtrac Europe GmbH, Meerbusch/Germany). Foram utilizadas amostras com concentração de 20% em volume. A Figura 16 ilustra o sistema de medição NANO-flex 180° DLS- method.

Figura 16 - Mecanismo de determinação de distribuição e tamanho de partícula.

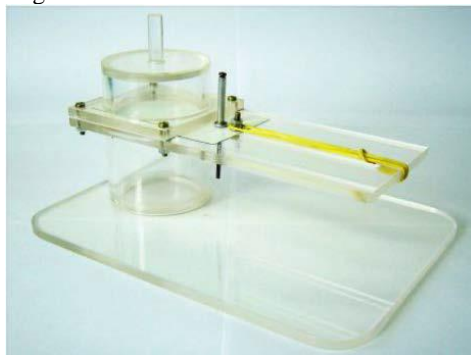


Fonte: PARTICLEMATRIX, 2007

3.5.8 Tempo de dispersão dos pós na reidratação

O tempo de dispersão dos pós na reidratação foi determinado no aparato experimental apresentado na Figura 17, adaptado de Dacanal (2005). De fato, esse aparato é baseado no esquema apresentado por Hogekamp e Schubert (2003).

Figura 17 - Aparato experimental desenvolvido para determinar o tempo de dispersão dos pós de iogurte.



Fonte: Dacanal, 2005.

O aparato consiste de um recipiente com volume de 80 mL, com uma placa deslizante colocada na sua parte superior. A amostra de pó é colocada sobre essa placa, que pode ser rapidamente deslizada, para colocar o pó em contato com água. O tempo de dispersão é medido, considerando o momento em que ocorre a imersão completa da camada de partículas.

3.5.9 Morfologia do Pó

A morfologia dos pós de iogurte foi realizada utilizando-se um microscópio eletrônico de varredura convencional (MEV) com filamento de tungstênio (JEOL, Modelo JSM-6390LV, Peabody, MA, E.U.A.), sendo as amostras recobertas com ouro em metalizador (LEICA, Modelo SCD 500, Buffalo Grove, IL, E.U.A.) anteriormente à análise. Um feixe de elétrons de 8 kv.

3.6 CARACTERIZAÇÃO DAS POLPAS RECONSTITUÍDAS

Foi realizado um estudo das propriedades dos pós de iogurte reidratados até a umidade e concentração de sólidos solúveis (°Brix) do iogurte *in natura*. Para isso, adicionou-se uma massa pré-calculada de água destilada aos pós, à temperatura ambiente. As análises do produto reidratado foram umidade, a_w , cor e microscopia óptica, segundo metodologias descritas na Tabela 4. A caracterização da composição centesimal foi realizada de acordo com o item 3.1.1.

3.6.1 Determinação do teor de sólidos solúveis

O teor de sólidos solúveis do iogurte foi determinado utilizando um refratômetro de bancada (ATAGO, modelo PAI-BX/RI, Tóquio, Japão), e expresso em °Brix.

3.6.2 Potencial Hidrogeniônico (pH)

As medidas de pH das amostras de pó de iogurte reidratado foram realizadas utilizando um pHmetro digital da marca Quimis[®] (modelo Q400MT), previamente calibrado com soluções padrão de pH ácido e básico.

3.7 COMPORTAMENTO REOLÓGICO

Para a realização da reologia, adicionou-se água destilada nas amostras de pó até atingir a concentração de sólidos solúveis (°Brix) do iogurte *in natura*. O comportamento reológico das suspensões foi caracterizado em viscosímetro rotacional com configurações de cilindros concêntricos (ThermoHaake, Modelo Viscotester 550, Alemanha), com aumento da taxa de cisalhamento de 0,02 a 100 s⁻¹, seguida da diminuição da taxa de cisalhamento, à temperatura ambiente 23 °C.

O modelo utilizado para ajustar os dados experimentais das curvas de escoamento foi o de Ostwald de Waele, representado pela Equação 6.

$$\tau = k\dot{\gamma}^{n-1} \quad (6)$$

Onde τ é a tensão de cisalhamento (Pa), k é o índice de consistência (Pa.s⁻¹), $\dot{\gamma}$ é a taxa de deformação (s⁻¹) e n é o índice de comportamento do fluido (adimensional).

3.8 ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS

As análises microbiológicas das bactérias lácticas do iogurte *in natura* e na forma de pó foram realizadas no laboratório de Engenharia Bioquímica (ENGEBIO). Todos os materiais e meios de cultura utilizados foram esterilizados em autoclave no dia anterior das análises, para eliminar contaminações. Antes das análises, os materiais eram colocados na câmara de fluxo (Figura 18), higienizada com álcool 70% e com a luz UV ligada por 15 min, para eliminar contaminantes existentes nos utensílios e no ambiente.

Figura 18 - Material utilizado no experimento, em câmara de fluxo laminar.



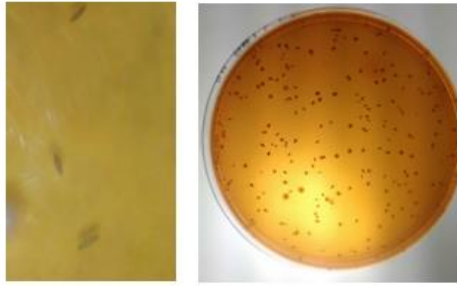
Fonte: Autor

3.8.1 Bactérias lácticas (*Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*)

A fim de verificar a viabilidade das bactérias lácticas do iogurte *in natura* e após os processos CTSV e liofilização, foram realizadas culturas em ágar Man, Rugosa e Sharp (MRS, Kasvi). Pesou-se 5 g da amostra e adicionou-se 45 mL de água peptonada 0,1% em embalagens estéreis para homogeneização em bag mixer por um minuto. Após esse procedimento, uma alíquota de 1 mL de amostra foi transferida para um tubo contendo 9 mL de solução de água peptonada estéril 0,1%. Para pesagem dos pós, seguiu-se os mesmos procedimentos em base seca.

A partir desta diluição, procedeu-se à preparação de uma série de diluições, inoculando-se em seguida 1 mL de cada diluição em placas de Petri estéreis descartáveis, colocando-se uma pequena quantidade de ágar MRS nas placas. Após a solidificação do meio, uma camada adicional de MRS foi adicionada, visando um ambiente favorável para o crescimento das bactérias lácticas e a solidificação do mesmo meio. As placas foram invertidas e incubadas em estufa BOD (Dist, Florianópolis, Brasil) a 30 °C por 72 h (IDF, 1997). Os experimentos foram feitos em duplicata, obtendo-se dois dados de crescimento em cada ponto de coleta. Após este período, procedeu-se à contagem das placas com a mesma diluição, para que contivessem entre 25 e 250 colônias, determinadas com auxílio de um contador de colônias (Figura 19). Os resultados foram expressos em Unidades Formadoras de Colônias (UFC) por g da amostra. O experimento foi realizado em duplicata.

Figura 19 - (a) formato de colônia de *Lactobacillus* com auxílio de um aplicativo COZY magnifier & microscope com aumento de 4x e (b) Colônias de *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* desenvolvidas em meio de cultura MRS – ágar glicose acidificado, após 72 horas de incubação



(a)

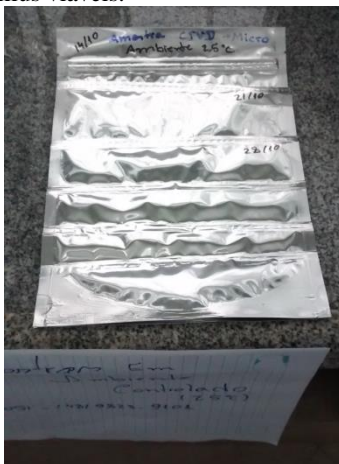
(b)

Fonte: Autor

3.9 ESTABILIDADE MICROBIOLÓGICA DOS IOGURTES EM PÓ

Após o processamento, os iogurtes produzidos por CTSV e por liofilização foram embalados sob vácuo, em embalagem com camada de polipropileno metalizadas e (Figura 20) e armazenados numa sala com temperatura controlada à 25 °C com umidade relativa entre 55,6% a 72,3% . Armazenaram-se frascos de iogurtes *in natura* do mesmo lote que foi processado para obtenção do iogurte em pó, para também serem avaliados em todos os períodos estabelecidos. Foram realizadas contagens de células viáveis de *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* a cada 7 dias. As análises realizadas em duplicata.

Figura 20 - As amostras armazenadas em ambiente controlado para as contagens de *Lactobacillus* viáveis.



Fonte: Autor

3.10 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados experimentais foram avaliados utilizando análise de variância (ANOVA). A comparação múltipla das médias foi analisada pelo uso do teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro ($p < 0,05$). O processamento dos dados e a análise estatística foram realizados usando o programa Statistica 8.0 (Statsoft Inc., Tulsa, EUA).

4 RESULTADOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO IOGURTE *IN NATURA*

A composição centesimal do iogurte *in natura* (FRIMESA®) utilizada no presente trabalho encontra-se na Tabela 5.

Tabela 5 - Composição centesimal do iogurte *in natura*.

Parâmetros Analisados	Valor médio (% b.u)
Umidade	85,43 ± 0,03
pH	4,24 ± 0,01
Ácido láctico	1,07 ± 0,05
Proteínas	5,08 ± 0,13
Cinzas	0,92 ± 0,02
Sólidos Solúveis Totais (°Brix)	8,30 ± 0,10
a_w	0,993 ± 0,001

O resultado da análise de umidade no iogurte *in natura* industrializado foi de 85,43%, valor próximo aos encontrados por Mendes (2002) e Machado et al. (2011), que estudaram iogurtes naturais, com umidade de 83,08% e 82,23% respectivamente. Esses valores são próximos ao estabelecido pela Tabela Brasileira de Composição de Alimentos de 90% para iogurte natural (TACO, 2011).

Conforme a Tabela 5, a média do pH do iogurte *in natura* foi de 4,24, atendendo ao valor estabelecido pela IN n° 46 do MAPA (BRASIL, 2007), que estabelece um valor superior a 4,0. Este valor também corrobora com os valores médios de pH encontrados por Silva e Ueno (2013), que foram de 4,0 a 4,2. De acordo com Vinderola et al. (2000), o controle rigoroso do pH do iogurte faz-se necessário para que não ocorra a separação macroscópica de fases, e a elevada acidificação pode influenciar o período de fermentação, além de alterações nas características sensoriais do iogurte, o que pode levar à rejeição do produto por parte dos consumidores.

Quanto à acidez do iogurte *in natura*, no presente estudo foi encontrado um valor médio de 1,07 % (Tabela 5), de acordo com os padrões estabelecidos pela IN n° 46 de 2007 do MAPA entre 0,6 a 1,5 % do produto (BRASIL, 2007).

Em relação ao teor de cinzas, detectou-se valores médios de 0,92%, sendo este próximo ao estabelecido pela Tabela Brasileira de Composição de Alimentos de 0,9% para iogurte natural (TACO, 2011).

Amaral et al. (2016), estudando a composição de diferentes marcas de iogurtes industrializados, relatou concentrações de proteínas de 5,08 a 5,46%, valores estes próximos aos observados para o iogurte *in natura* industrializado, dados na Tabela 5.

Para SST não existem valores estabelecidos pela legislação para iogurte natural. Segundo Almeida et al. (2016), em iogurtes naturais industrializados, o teor de SST é, em média, 10 ° Brix, sendo este dado semelhante ao observado no presente estudo, 8,3 ° Brix.

O teor de proteínas foi de 5,08%, resultado que está de acordo com os parâmetros mínimos definidos na legislação brasileira para o produto, que estabelece o mínimo de 2,90% de proteínas em iogurtes (BRASIL, 2007).

Para a_w o valor encontrado foi de 0,993, valor superior ao encontrado por Matos et al. (2015) para iogurte natural, que relatou o valor de 0,983.

4.2 CINÉTICAS, PERFIS DE TEMPERATURA, TAXAS DE SECAGEM E CAPACIDADE EVAPORATIVA.

4.2.1 Cinética da umidade

Na Figura 21 apresentam-se as curvas de secagem (evolução temporal da X_{bs}), enquanto os perfis temporais de temperatura das amostras durante a secagem por CTSV são mostrados na Figura 22. As amostras de iogurte foram mantidas a 10 °C antes do início da secagem.

Figura 21 - Curvas de secagem de amostras de iogurte espalhadas sobre o teflon, com espessura de 2 mm.

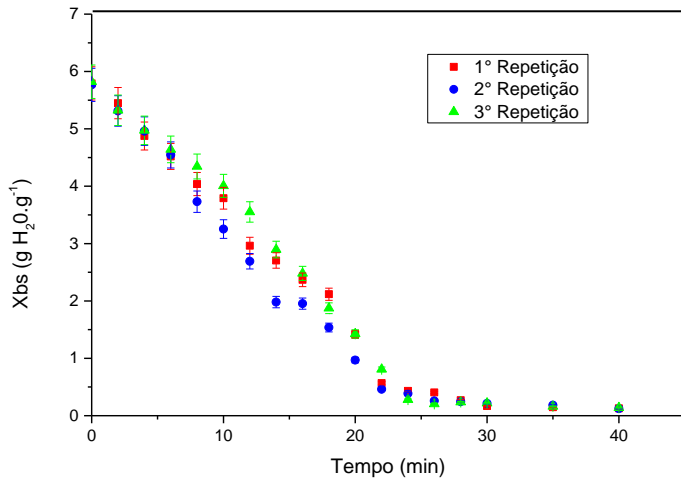
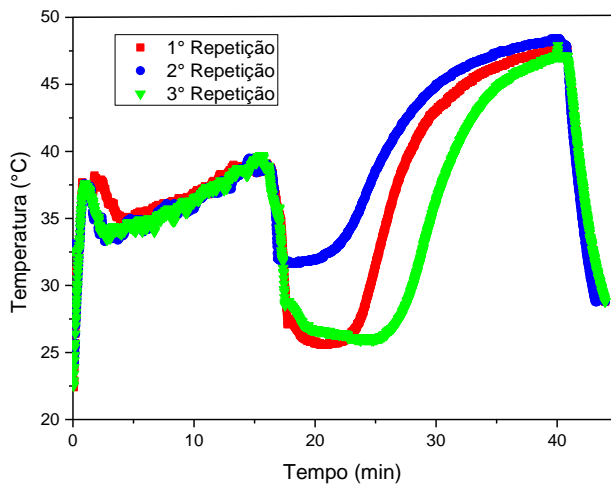


Figura 22 - Perfis temporais de temperatura das amostras de iogurte durante secagem realizada por CTSV.



A Figura 21 mostra que o processo de secagem reduziu a umidade do iogurte de 5,8 g água/g sólidos secos para 0,13 g água/ g sólidos secos, durante os 40 min de duração do processo de secagem.

Na Figura 22 as variações de temperatura observadas nos primeiros minutos de secagem que ocorreram devido à diferença de temperatura entre a amostra e o sistema (equilíbrio) e ao os 15 minutos à oscilação da pressão provocada pela regulação do sistema de vácuo. Com a diminuição da pressão do sistema, nota-se a conseqüente redução da temperatura do produto, com vaporização da água contida no produto, a temperaturas amenas, variando entre 25 e 38 °C. Após 25 minutos, a temperatura aumenta gradativamente até o final do processo, devido à redução da umidade e da taxa de secagem, utilizando boa parte do calor transferido para o produto. O tempo total de secagem foi de aproximadamente 40 minutos. Para finalizar a secagem, resfriou-se o sistema com água fria a 4 °C, durante 3 minutos, quando a temperatura do iogurte desidratado atingiu 28 °C.

Tempos de secagem superiores a 35-40 minutos não causam reduções importantes da umidade do iogurte, mas tendem a causar inativação dos microrganismos. As curvas da Figura 22 mostram que, após os 35 minutos de secagem, a temperatura ultrapassa os 45°C, temperatura limite para as bactérias mesófilas, chegando a 47°C aos 40 minutos. A pressão manteve-se estável e próxima de 10 kPa até os 15 minutos, e próxima de 3 kPa até o final do processo. Para um determinado produto, o binômio tempo-temperatura determina o grau de inativação das células bacterianas. Quanto mais intenso for o tratamento térmico, maior será a destruição de microrganismos (Frazier e Westhoff, 1993).

Não foram encontrados relatos na literatura de secagem de iogurtes pelo método *Cast-tape drying* ou por outro método similar. De forma geral, os trabalhos que utilizam esses métodos adotam espessuras de espalhamento do material de 2 mm. Zotarelli, Carciofi e Laurindo (2015) estudaram a secagem da polpa de manga pelo processo RW, e mostraram que, quanto maior a espessura da polpa utilizada, menor será o efeito do aumento da temperatura da água, devido ao aumento da resistência à transferência de calor e de massa na polpa.

Os valores da taxa de secagem e da capacidade evaporativa do processo de secagem avaliado estão expressos na Tabela 6. O período de taxa de secagem constante, no processo investigado, ocorreu até umidades próximas a 1,1 g g⁻¹ (b. s.) (Figura 21). No período de taxa decrescente (Figura 21), houve pequena redução da umidade, pois a maior parte da água livre foi perdida no período de taxa constante. No

período à taxa decrescente há um aumento da temperatura do produto, que pode elevar-se acima da temperatura de ebulição da água na pressão do interior da câmara.

Na Tabela 6 são apresentados a taxa de secagem e a capacidade evaporativa do iogurte desidratado por CTSV para o período de taxa constante.

Tabela 6 - Taxa de secagem para o período de taxa constante a capacidade evaporativa para a média das repetições de cinética de secagem CTSV.

Processo de Secagem	Taxa de secagem (g H₂O g⁻¹ min⁻¹)	Capacidade evaporativa (kg H₂O m⁻² h⁻¹)
CTSV	0,23 ± 0,02	4,32 ± 0,2

Zotarelli (2014) estudou a desidratação de polpa de manga com umidade inicial de aproximadamente 6 g água/g sólidos secos por RW, com espessuras de espalhamento de 2 mm e temperatura de 75°C. O autor relatou que, para o período de taxa de secagem constante, a taxa de secagem foi de 0,25 g água/ min g sólidos secos, resultando em uma capacidade evaporativa de 5,43 kg água/ m² h. No entanto, Durigon (2016) observou capacidade evaporativa de aproximadamente 15 kg água/ m² h, para polpa de tomate, em um secador do tipo *cast-tape* auxiliado com convecção para retirada dos vapores produzidos.

Na Figura 23 são apresentados dados experimentais e ajustes não paramétricos aos dados da curva de secagem, enquanto na Figura 24 são apresentados as curvas das taxas de secagem, resultantes da derivação numérica das curvas suavizadas apresentadas na Figura 23. A metodologia de suavização utilizada é baseada no algoritmo de Savitzky-Golay, acessado através da função “sgolayfilt”, do MATLAB.

Figura 23 - Curvas de secagem experimentais e ajuste não paramétrico com o filtro de Savitzky-Golay. 1º experimento (-) preto, 2º experimento (-) azul e 3º experimento (-) vermelho.

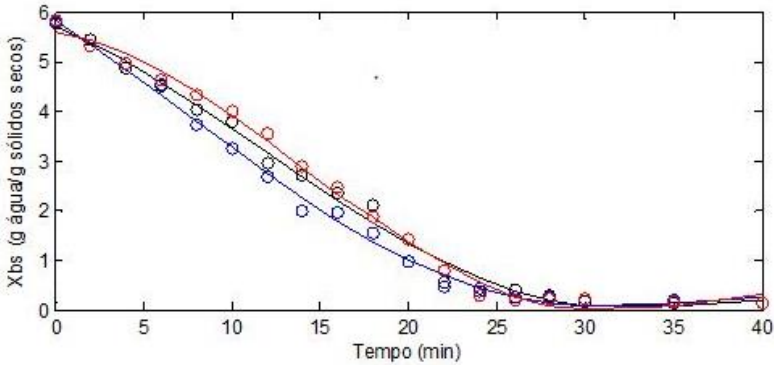
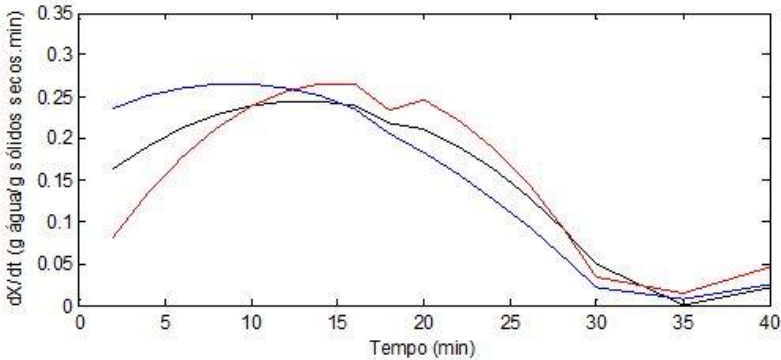


Figura 24 - Taxas de secagem utilizando a derivada numérica das curvas suavizadas com o filtro de Savitzky-Golay. 1º experimento(-) preto, 2º experimento (-) azul e 3º experimento (-) vermelho.

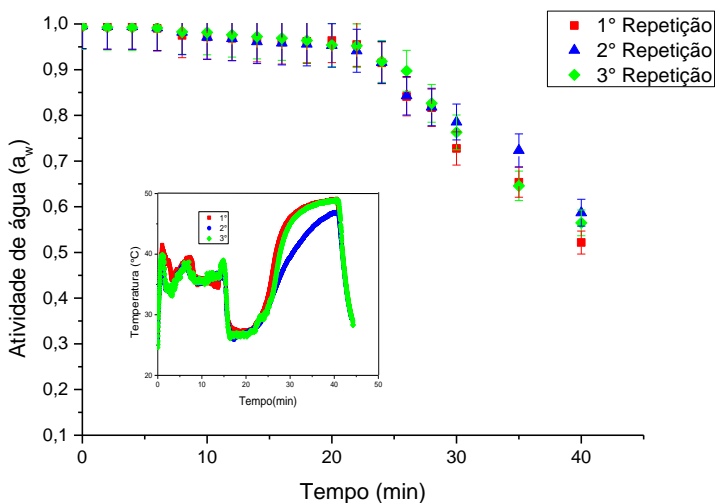


De acordo com a Figura 24, o processo de secagem dos iogurtes apresenta 3 períodos, quais sejam: um período de aquecimento, um período de secagem constantes, (em que a taxa de secagem variou pouco), e um período de secagem à taxa decrescente. Considerou-se uma taxa de secagem constante entre os intervalos de 15 a 20 minutos, resultando uma variação de taxa de secagem média de 0,2 g de água / g sólidos secos min.

4.2.2 Cinética atividade de água (a_w)

Na Figura 25 apresentam-se os dados da evolução temporal da a_w e o perfil da temperatura das amostras durante as secagens por CTSV. Para esse processo foi realizado a medição do pH, SST, °Brix e X_{bu} do iogurte *in natura* a 10°C. Os valores foram, respectivamente, 4,21, 8,1 e 85,37 %. Também foi determinada a umidade do produto desidratado, cujo valor foi $X_{bs}=0,15$ g de água/ g de sólidos secos.

Figura 25 - Evolução temporal da atividade de água (a_w) das amostras de iogurte *in natura* durante a secagem em CTSV.



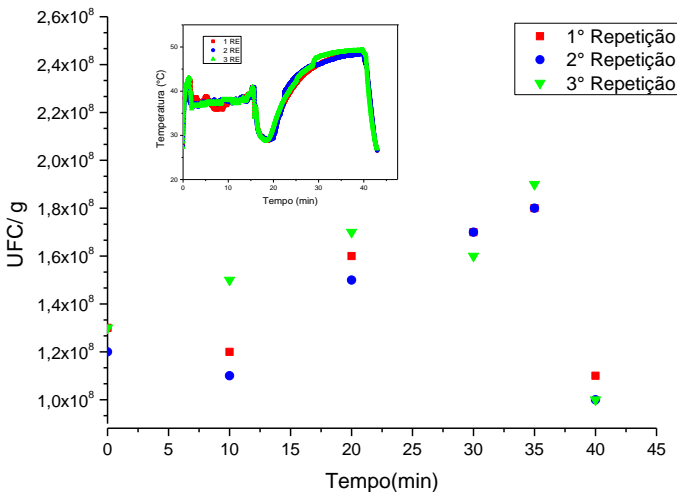
Na Figura 25 já mostrado que o iogurte apresenta inicialmente a_w 0,995. Após a secagem durante 40 min, o produto apresentou a_w de 0,5578. De acordo com Fennema; Damodaran; Parkin, (2010), a máxima a_w adequada para a conservação da maior parte dos alimentos encontra-se na faixa de 0,35 a 0,50. Alimentos com a_w entre 0,40 e 0,80 apresentam a possibilidade de reações químicas e enzimáticas rápidas, devido ao aumento das concentrações dos reagentes (Bobbio, 1995). Por outro lado, a_w inferior a 0,6 reduz substancialmente o crescimento de microrganismos. Medeiros (2013) secou iogurte com a_w inicial de 0,98 em *Spray dryer*, obtendo o valor final de 0,20. Os valores para atividade de água final encontrado por Triboli (2014) na secagem de iogurte em

escala piloto usando um spray-dryer, ficaram na faixa de 0,15 a 0,70, o autor afirma que a vazão de alimentação da bomba influenciou para valores de a_w maiores que 0,6.

4.2.3 Cinética de inativação das bactérias lácticas

Na Figura 26 são apresentados os dados da evolução temporal das contagens de bactérias lácticas, juntamente com a evolução temporal da temperatura durante as secagens por CTSV.

Figura 26 - Evolução temporal da contagem de bactérias lácticas durante a secagem, em Unidades Formadoras de Colônia/ grama de amostras de iogurte in natura, durante a secagem em CTSV.



As propriedades do iogurte natural (antes da secagem) e do iogurte desidratado são dadas a seguir:

Iogurte natural

- pH = 4,02;
- Sólidos Solúveis Totais (SST) = 8,1°Brix;
- X_{bu} = 85,38 %;
- a_w = 0,995.

Iogurte desidratado

- X_{bs} = 0,15g de água/ g de sólidos secos;

$$o \quad a_w = 0,522;$$

Foram utilizados lotes diferentes para cada repetição da cinética, mas todas as amostras de iogurte usadas tinham datas de fabricação recentes, em relação ao dia do experimento.

No tempo (0) observou-se uma contagem média de $1,2 \times 10^8$ UFC/g, que estava acima do estabelecido pela legislação brasileira, que estabelece o mínimo de 10^7 UFC/g, para que o produto seja considerado um iogurte (BRASIL, 2001). Observando todas as análises em tempos pré-determinados de secagem (10, 20, 30, 35 e 40 minutos), as variações não mudaram a ordem de grandeza da contagem. Assim, pode-se afirmar que o processo de secagem foi relativamente brando, pois a temperatura não ultrapassou 45°C , causando pouca inativação das bactérias lácticas. Pequenas diferenças podem estar associadas às manipulações e imprecisões nas diluições.

O perfil de temperatura teve um comportamento semelhante ao observado nos outros experimentos, em que se investigou a cinética de secagem. Vale a pena salientar que a maior parte do tempo dos processos de secagem foi realizada dentro de uma temperatura ótima para as bactérias lácticas.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DOS PÓS

4.3.1 Composição centesimal dos pós

Os valores das composições de alguns compostos presentes nos pós de iogurte produzidos por CTSV e por liofilização, seguidos de moagem, estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Caracterização centesimal dos pós produzidos em CTSV e do pó obtido por liofilização (FD), com espessura de espalhamento de 2 mm.

Parâmetros Analisados	CTSV	Liofilização (FD)
Umidade (%)	$13,64 \pm 0,11^a$	$5,79 \pm 0,49^b$
Proteína (%)	$5,91 \pm 0,5^a$	$6,24 \pm 1,3^a$
Ácido láctico (%)	$2,38 \pm 0,1^b$	$2,92 \pm 0,08^a$
Cinzas (%)	$5,68 \pm 0,03^a$	$6,21 \pm 0,1^a$
Lipídeos (%)	$15,92 \pm 0,18^a$	$16,32 \pm 0,48^a$
a_w	$0,517 \pm 0,01^a$	$0,255 \pm 0,002^b$

As médias seguidas com letras diferentes na mesma linha diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Analisando a Tabela 7, vê-se que as médias não diferiram entre si ao nível de 5% (teste Tukey) para proteínas, cinzas e lipídeos, o que comprova que os processos não alteraram a composição nutricional do alimento. As concentrações de ácido láctico tiveram diferença significativa entre as amostras. Matos et al. (2015) observaram 2,14% de ácido láctico para iogurte liofilizado, valores semelhantes aos encontrados no presente estudo.

Para cinzas, os valores encontrados foram 5,68% para CTSV e 6,21% para liofilização, que corrobora o resultado de Abreu et al.(2015), que obteve 5,01% para o iogurte em pó de leite de ovelha liofilizado.

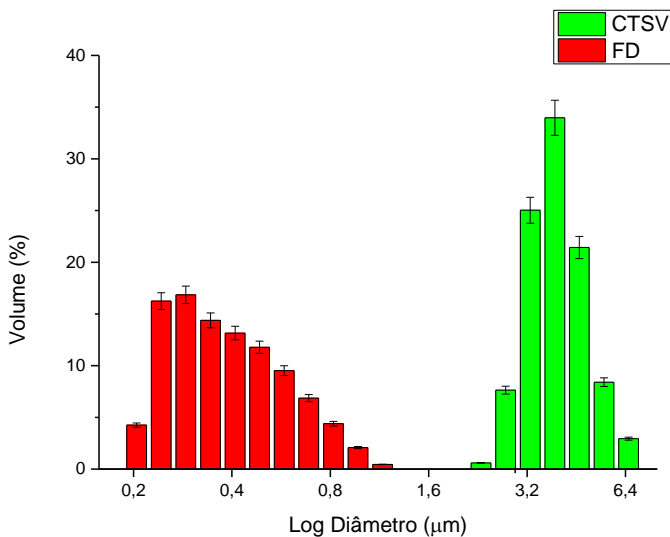
Ao analisar a quantidade de lipídeos no pó produzido pelos dois processos, Tabela (7), verifica-se que o valor é semelhante ao de Matos et al. (2015), que observou 16,01% para o pó de iogurte liofilizado.

Os valores de a_w encontrados para o iogurte liofilizado são semelhantes aos observados por Abreu et al. (2015), ou seja, 0,260 para pós de iogurte com leite de ovelha com 3,29 % de umidade. Matos et al. (2015) avaliaram pó de iogurte natural liofilizado, obtendo 0,292 para a a_w e 5,56 % para a umidade. O iogurte desidratado pelo processo CTSV, com a_w inferiores 0,6, não oferece condições para o crescimento de fungos, bactérias patogênicas e leveduras.

4.3.2 Distribuição do tamanho de partícula

Na Figura 27 é apresentada a distribuição do volume ocupado em relação ao tamanho equivalente da partícula. Nota-se que o volume das partículas tanto para liofilização, como para CTSV, apresenta uma curva assimétrica, indicando a predominância de uma faixa de tamanho de partícula. Este fato é atribuído à moagem a que os pós foram submetidos. Os tamanhos das partículas provenientes do processo CTSV apresentam-se maiores que os dos pós liofilizados, provavelmente relacionado à umidade do produto submetido ao processo de moagem. A representação gráfica construída pelo equipamento se encontra em anexo A, para as amostras do CTSV e liofilização (FD).

Figura 27 - Histograma para distribuição e tamanho de partícula para o pó CTSV e liofilização (FD).



O diâmetro de Brouckere está relacionado ao diâmetro médio das partículas maiores presentes na amostra. BARBOSA-CÁNOVAS et al. (2005) consideram um material particulado como pó quando o tamanho médio das partículas for menor que 1 mm. Pós obtidos por CTSV e por liofilização apresentaram diâmetros médios (d_{50}) de 3,560 μm e 0,336 μm , respectivamente.

Medeiros (2013) obteve iogurte caprino em pó por *spray-drying*. O diâmetro médio relatado por esse autor apresentou-se na faixa entre 12 e 23 μm .

4.3.3 Microestrutura dos pós

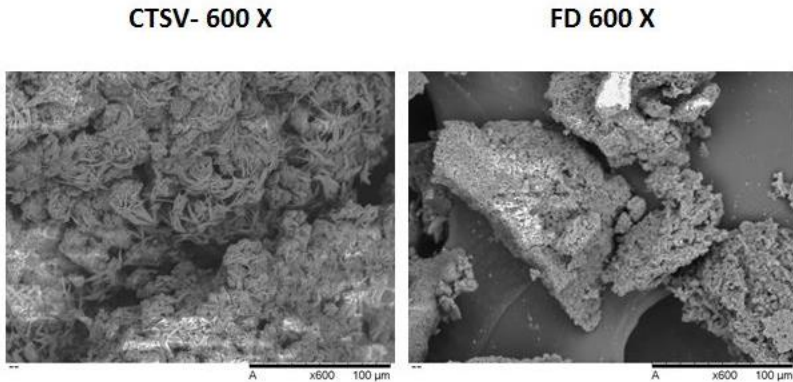
A microestrutura das partículas avaliadas pela microscopia eletrônica de varredura com aumento de 600 vezes está apresentada na Figura 28.

Com relação à morfologia das partículas secas de iogurte, elas têm aparência polimérica, conforme o trabalho de Walton e Mumford (1999), que estudaram as partículas produzidas em *spray dryer*.

De acordo com Barbosa-Cánovas et al. (2005), o termo “diâmetro” do pó se refere à dimensão linear característica das

partículas, uma vez que alimentos particulados apresentam diferentes formas e graus de irregularidade em função da sua complexa estrutura, como ilustrado pela Figura 28.

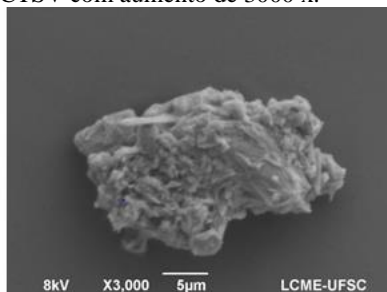
Figura 28 - Microscopia eletrônica de varredura (MEV) para amostras de iogurte em pó dos processos CTSV e liofilizado (FD) com aumento de 600x.



Os resultados dessas micrografias corroboram com os resultados obtidos para o tamanho de partículas apresentado na Figura 28.

O estudo em questão difere do trabalho de que teve como propósito otimizar as condições do processo de secagem de iogurte em atomizador de bico. Koc *et al.* (2010) observaram que partículas de iogurte desidratadas em spray-dryer se mostraram, em sua maioria, esféricas, com superfície lisa. No presente estudo, as partículas apresentaram-se são rugosas e de superfície irregular, devido ao processo de secagem e à moagem em moinho de facas. Como melhor representado na Figura 29, para uma partícula do processo CTSV com aumento de 3000 vezes.

Figura 29 - Microscopia eletrônica de varredura (MEV) para amostras de iogurte do processo CTSV com aumento de 3000 x.



4.3.4 Massa específica e porosidade

As massas específicas (aparente e real) são apresentadas na Tabela 8. A porosidade das amostras do leite foi calculada pela Equação 5.

A massa específica aparente é menor que a real nos dois processos, pelo fato de se considerar os espaços vazios entre as partículas. Os valores obtidos, para a massa específica aparente, encontram-se na faixa relatada por Barbosa-Cánovas et al. (2005), entre 0,3 e 0,8 g.cm⁻³ para alimentos em pó. Os valores das massas específicas aparente e a real do CTSV apresentaram diferenças significativas em relação ao pó obtido por liofilização. O pó produzido por liofilização apresentou maior densidade do que o pó produzido por CTSV. Partículas menores apresentam, para uma mesma massa, maior área superficial por unidade de volume. Assim, para o mesmo volume, existe mais área disponível para as partículas de pó estabelecerem ligações com a água durante a reidratação.

Tabela 8 - Massa específica aparente e real e porosidade dos pós de iogurte produzido em CTSV e liofilizado (FD).

Amostras	Massa específica aparente (g cm ⁻³)	Massa específica real (g cm ⁻³)	Porosidade (%)
CTSV	0,57±0,01 ^a	1,3290 ^b ±0,0005	57
FD	0,37±0,01 ^b	1,3603 ^a ±0,001	73

Letras diferentes na mesma coluna indicam que os valores apresentam diferença significativa ao nível de confiança de 95% pelo teste Tukey.

A diferença de densidade pode estar relacionada à diferença de granulometria entre os pós avaliados, pois apesar de ambos os pós

passarem pelo mesmo moinho de facas, não houve controle no tamanho das partículas obtidas durante a moagem do material. Para o processo CTSV a massa específica aparente foi maior que o liofilizado, porém menor porosidade esse fato pode ter ocorrido devido o empacotamento durante a análise e a amostrar representar mais úmida do que o processo liofilizado.

4.3.5 Tempo de dispersão

Os valores de tempo de dispersão dos pós de iogurte produzido por CTSV e por liofilização encontram-se apresentado na Tabela 9.

Tabela 9 - Valores de tempo de dispersão dos pós de iogurte produzido por CTSV e liofilizado (FD).

Processo	Tempo de dispersão (s)
CTSV	$340 \pm 0,34^b$
FD	$708 \pm 0,46^a$

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os valores de tempo de dispersão diferiram estatisticamente entre os pós produzidos por CTSV e por liofilização. O pó produzido por CTSV apresentou menor tempo de dispersão que o pó obtido por liofilização.

De acordo com Hoge Kamp; Schubert, (2003); Forny; Marabi; Palzer, (2011), o tempo de dispersão está relacionado com o tempo para que o líquido penetre no pó ou aglomerado de partículas, sendo necessário considerar fatores como porosidade, tamanho, geometria e composição da superfície das partículas.

A diferença de tempo de dispersão entre pós produzidos por CTSV e por liofilização pode estar relacionada com a diferença de tamanho entre as partículas dos pós, pois não foi feito nenhum controle de tamanho das partículas obtidas nos processos analisados. Segundo Vissotto et al. (2006), a penetração da água nos pós está relacionada com o tamanho das partículas. Os autores afirmam que a partícula grande e de formato irregular favorece a molhabilidade do pó, enquanto que partículas pequenas apresentam redução dos espaços intersticiais, o que prejudica a infiltração da água.

4.3.6 Cor

A cor do pó obtido por secagem através do CTSV e da liofilização foi avaliada através da escala CIELAB, com três parâmetros (L- luminosidade; a* - variação do verde para o vermelho; b* - variação do azul para o amarelo). Os valores obtidos para esses parâmetros estão representados na Tabela 10.

Tabela 10 - Parâmetro da escala CIELAB dos pós obtido por CTSV e por liofilização (FD).

Processo	Parâmetro		
	L*	a*	b*
CTSV	92,30±0,10 ^a	-1,75±0,10 ^a	16,69±0,39 ^a
FD	97,02±0,22 ^b	-2,87±0,09 ^b	12,28±0,29 ^b

Médias seguidas letra (na mesma coluna) não diferem entre si pelo teste de Tukey de 5% de probabilidade.

Os parâmetros de cor analisados apresentaram diferenças significativas entre os pós produzidos por CTSV e por liofilização.

A análise de luminosidade (L*) demonstra que o pó proveniente do processo de liofilização (FD) apresenta maior luminosidade (maior tendência ao branco) do que o pó produzido por CTSV. Este resultado pode ser atribuído ao fato da temperatura do processo CTSV ser maior, com maior possibilidade de ocorrência de reações de escurecimento não enzimático, como reação de Maillard e caramelização. Outro fato pode ter infligido essa diferença é devido à refração de luz na amostra por conter mais água para o processo CTSV.

O parâmetro b* também é importante na análise de pós de iogurte, porque representa a variação de cor em relação ao amarelo. O pó proveniente do processo CTSV é mais amarelado do que o pó produzido por liofilização. A cor amarela pode estar associada às reações químicas que o produto está sujeito a sofrer durante os processos de secagem estudados. A velocidade de uma reação química é influenciada pela concentração dos reagentes envolvidos e pela temperatura do processo (Fogler, 2009).

4.3.7 Viabilidade das bactérias lácticas

Foi realizada a contagem de bactérias lácticas nos pós produzidos pelos processos de secagem estudados. Na Tabela 11 são mostrados os

resultados obtidos em unidades formadoras de colônia (UFC)/g de pó de iogurte.

Tabela 11 - Viabilidade das bactérias lácticas no iogurte *in natura* e nos pós produzidos pelos processos de liofilização e CTSV.

Bactérias Lácticas	
Iogurtes	Padrão RDC n° 5/ 2000 - Tolerância: 10⁷ UFC/g
<i>in natura</i>	1,2 x 10 ⁸ ±0,007 UFC/g
FD	1,3 x 10 ⁸ ±0,02 UFC/g
CTSV	1,1 x 10 ⁸ ±0,01 UFC/g

Os resultados da Tabela 11 mostram que a contagem de células viáveis se manteve estável durante o processo de secagem, ou seja, as bactérias lácticas sobreviveram aos processos de desidratação e de moagem. As contagens estão de acordo com a legislação brasileira para iogurtes, que diz que o produto pode ser considerado um iogurte se a contagem das bactérias lácticas for igual ou maior do que 10⁷ UFC/g.

Santos et al. (2016) estudaram a estabilidade microbiológica do iogurte liofilizado, comparando os resultados das contagens de células viáveis com os resultados observados no iogurte natural (*in natura*), encontrando valores semelhantes, da ordem de 2,7 x 10⁸ UFC/g para iogurte *in natura* e 3,7 x 10⁸ UFC/g para o iogurte liofilizado. Santos et al. (2015) encontraram resultados semelhantes no que se refere ao quantitativo de bactérias lácticas, com valores de 2,82x10⁹ UFC/g e 1,13x10⁹ UFC/g para os iogurtes natural e liofilizado, respectivamente.

4.3.8 Viabilidade das bactérias lácticas durante o armazenamento dos pós.

Na Tabela 12 apresentam-se valores das contagens das bactérias lácticas durante o armazenamento, comparando com o iogurte *in natura* do mesmo lote de fabricação. As amostras foram embaladas sob vácuo e permaneceram armazenadas em sala com temperatura controlada de 25°C até o último dia de análise.

Tabela 12 - Viabilidade das bactérias lácticas dos pós liofilizados (FD) e CTSV durante os dias de armazenamento em ambiente controlado.

Dias				
Amostras*	0	7	14	21
<i>in natura</i>	$1,3 \times 10^8 \pm 0,02$	$1,3 \times 10^8 \pm 0,05$	$1,2 \times 10^8 \pm 0,02$	$1,07 \times 10^8 \pm 0,01$
FD	$1,4 \times 10^8 \pm 0,07$	$2,9 \times 10^7 \pm 0,35$	$1,0 \times 10^6 \pm 0,07$	$2,0 \times 10^3 \pm 0,0$
CTSV	$1,3 \times 10^8 \pm 0,07$	$2,2 \times 10^7 \pm 0,42$	$2,0 \times 10^3 \pm 0,41$	-

*Contagem em base seca (UFC/g)

As contagens permaneceram satisfatórias ($\geq 10^7$ UFC/g) para todas as amostras até ao 7º dia de armazenamento. No 14º dia, a contagem para pó do iogurte do processo CTSV foi reduzido 4 log, não havendo contagem de bactérias lácticas no 21º dia. O iogurte liofilizado não manteve contagem satisfatória, mas permaneceu com concentração de bactérias láctica maiores do que o iogurte desidratado pelo processo CTSV. O iogurte *in natura* esteve dentro do padrão estabelecido até o último vigésimo primeiro dia.

4.4 CARACTERIZAÇÃO DOS PÓS REIDRATADOS

4.4.1 Composição centesimal dos pós reidratados

A composição centesimal dos pós de iogurte reidratados utilizada no presente trabalho encontra-se na Tabela 13.

Tabela 13 - Composição centesimal do iogurte reconstituído para o processo CTSV e liofilizado.

Parâmetros Analisados	CTSV	Liofilizado
Umidade (%)	$88,06 \pm 1,32^a$	$86,95 \pm 0,14^a$
Proteínas (%)	$4,84 \pm 0,34^a$	$5,27 \pm 0,26^a$
Ácido Láctico (%)	$1,03 \pm 0,05^b$	$1,20 \pm 0,03^a$
SST (°Brix)	$7,63 \pm 0,15^b$	$7,93 \pm 0,05^a$
pH	$4,33 \pm 0,06^a$	$4,24 \pm 0,02^a$
a_w	$0,990 \pm 0,001^b$	$0,993 \pm 0,001^a$

As médias seguidas pela mesma letra na mesma linha não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

As umidades dos iogurtes produzidos por CTSV e liofilizado, após reconstituição, foram de 88,06% e 86,95%, respectivamente, valores ligeiramente superiores aos do iogurte *in natura* analisado nesse

estudo, que foi 85,43%. Porém este valor está próximo ao estabelecido pela Tabela Brasileira de Composição de Alimentos de 90% para iogurte natural (TACO, 2011).

Conforme a Tabela 13, as médias dos pH dos iogurtes produzidos por CTSV e liofilização foram de 4,33 e 4,24, respectivamente, atendendo ao estabelecido pela IN nº 46 do MAPA (BRASIL, 2007), que diz que o pH do iogurte deve ser maior que 4,0. Os valores médios de pH do iogurte *in natura* nesse estudo, 4,24, também está de acordo com a legislação.

Quanto à acidez (representada em ácido láctico) do iogurte *in natura*, os resultados obtidos corroboram com os resultados obtidos para os iogurtes reidratados, com valor médio de acidez igual a 1,07 % (Tabela 5), de acordo com os padrões estabelecidos pela IN nº 46 de 2007 do MAPA, que exige entre 0,6 a 1,5 g/100g de produto (BRASIL, 2007).

Para SST não existem valores estabelecidos pela legislação para iogurte natural. Comparando com Matos (2015) que estudou iogurte reidratado por liofilização, o valor encontrado foi superior ao estudado 7,93 °Brix.

Comparando os valores obtidos para a proteína na Tabela 5 (5,08%), notou-se que os valores permaneceram na faixa entre 4,84% e 5,27% para os reidratados na Tabela 13.

Para a_w o pó liofilizado reconstituído foi o mesmo obtido para matéria-prima utilizada, devido à proximidade entre as umidades de ambos (Tabela 13).

Comparando os resultados obtidos na reidratação, podemos constatar que o pó proveniente da liofilização tem valores mais próximos ao observado para a matéria prima utilizada. Mesmo com algumas pequenas diferenças nos resultados, comparando os iogurtes reidratados provenientes dos dois processos, com o iogurte natural (matéria prima), verifica-se que os iogurtes reconstituídos se encontram dentro dos parâmetros mínimos definidos pela legislação brasileira.

Embora a secagem retire apenas umidade do produto, a forma em que ocorre a reidratação dos pó apresenta diferenças. Isso pode ser justificado pela reorganização das estruturas, alterando a ligação da proteína com a água. Foi observada a sedimentação de partículas com pouca solubilidade. Esse fato está de acordo com Hoge Kamp e Schubert (2003), que afirmam que para evitar a formação de sedimentos em uma reidratação é necessário utilizar partículas suficientemente pequenas ou aumentar a viscosidade do líquido, o que pode ocorrer com a redução da adição de água.

4.4.2 Cor

A cor do produto é uma característica importante, é desejável que haja menor variação de cor possível para o produto reidratado. Os parâmetros de cor dos reidratados (pós reconstituídos com água destilada) foram comparados com os observados para iogurte natural *in natura*. A Tabela 14 fornece a diferença total de cor entre os reidratados e a amostra original.

Tabela 14 - Parâmetro de cor para iogurte integral (*in natura*) e para os reidratados.

Processo	Parâmetro		
	L*	a*	b*
Iogurte (<i>in natura</i>)	82,2±0,45 ^a	-2,91±0,4 ^a	8,99±0,09 ^a
CTSV	76,02±0,85 ^b	-2,12±0,06 ^c	7,42±0,4 ^b
Liofilização	82,95±0,15 ^a	-2,77±0,02 ^b	9,15±0,0,05 ^a

Médias seguidas da mesma letra (na coluna) não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Os parâmetros de cor L* e b* não diferiram estatisticamente (5% de probabilidade de erro) entre as amostras *in natura* e o iogurte reconstituído a partir dos pós produzidos por liofilização.

A variação total de cor entre pós reconstituídos e a amostra *in natura* está apresentada na Tabela 15.

Tabela 15 - Variação total de cor dos reidratados obtidos por CTSV e liofilização em relação ao iogurte natural *in natura*.

Amostra	Variação total de cor (ΔE^*)
CTSV	6,50 ± 1,11 ^a
Liofilização	0,71 ± 0,29 ^b

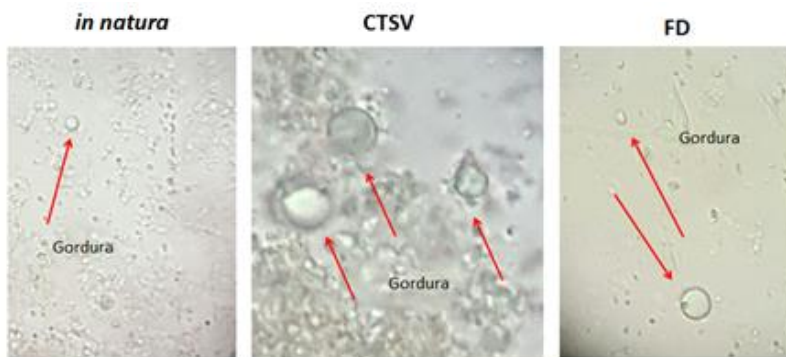
Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A variação de cor entre as amostras reidratadas dos pós obtidos por CTSV e liofilização apresentaram diferença significativas, indicando que o pó obtido por CTSV apresenta maior variação de cor em relação ao iogurte *in natura*.

4.4.3 Microscopia Óptica

Na Figura 30 estão apresentadas as imagens do iogurte integral *in natura*, registradas com o auxílio de um microscópio óptico. Imagens de amostras reconstituídas a partir dos pós obtidos pelos dois processos de secagem também são apresentadas.

Figura 30 - Imagens obtidas dos iogurtes *in natura* e os reconstituídos, obtidas em microscópio óptico. Aumento de 40x, com setas indicativas para gotículas de gorduras.



Através da microscopia óptica foi possível observar a morfologia dos iogurtes. As imagens mostram as gotículas de gordura, que são de formas e tamanhos diferentes, para as diferentes amostras. O iogurte reconstituído a partir dos pós liofilizados apresentou características similares às observadas no iogurte *in natura*, com partículas de gordura menores e bem distribuídas, indicando uma boa reconstituição desses pós. Ribeiro (2011) estudou a morfologia do iogurte em microscópio óptico e relatou a presença de gotículas de gorduras de formas esféricas, similares ao que foi observado no presente estudo.

4.4.4 Comportamento Reológico

Nas Figuras 31 e 32 estão apresentadas as curvas dos ensaios de taxa de cisalhamento vs tensão de cisalhamento e da viscosidade vs taxa de deformação, respectivamente, obtidos de amostras de iogurtes *in natura* e reconstituídos.

Figura 31 - Taxa de cisalhamento vs tensão de deformação dos iogurtes (*in natura*) e reconstituídos.

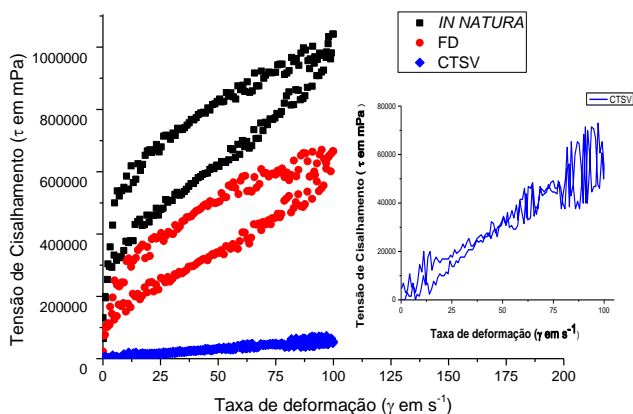
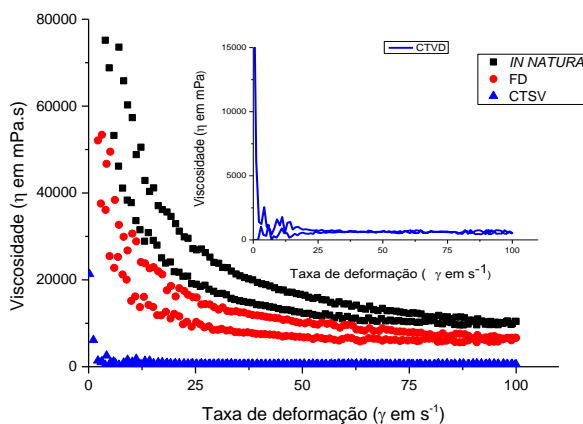


Figura 32 - Curvas de viscosidade vs a taxa de deformação das amostras de iogurte (*in natura*) e reconstituídos.



O iogurte reconstituído a partir de pós liofilizados apresentaram propriedades reológicas muito mais próximas das propriedades reológicas do iogurte *in natura*. Especificamente, a viscosidade aparente dos pós liofilizados reidratados foi 10140 mPa.s, enquanto a viscosidade aparente média observada para o iogurte *in natura* foi 16670 mPa.s. Por outro lado, a viscosidade do iogurte reconstituído a partir dos pós obtidos por CTSV ficou próxima de 651,3 mPa.s.

Todas as amostras de iogurte analisadas apresentaram comportamento de fluido pseudoplástico, com diminuição da viscosidade em função do aumento da taxa de cisalhamento (SCHRAMM, 2006). Segundo Horne (1998) e Lucey (2002), isso pode ocorrer em razão do enfraquecimento das interações existentes entre as moléculas do material. Diversos estudos confirmam o iogurte como fluido pseudoplástico (GONÇALVEZ et al., 2005; GOMES e PENNA, 2009; TELES e FLÓRES, 2007; PASEEPHOL et al., 2008).

Conforme observado nas Figuras 31 e 32, todas as amostras também apresentaram características tixotrópicas, em função das diferenças de tensão e viscosidade entre as curvas de taxa ascendente e descendente. Este fenômeno, conhecido por histerese, é resultado da quebra do gel e pode ser quantificado pela área entre as curvas de fluxo. Quanto maior a área compreendida entre as curvas, maior o efeito tixotrópico (HOLDSWORTH, 1993). Os valores determinados pelo *software* para histerese são apresentados na Tabela 16.

Observa-se que a amostra *in natura*, com maiores valores de viscosidade aparente, foi a que apresentou característica tixotrópica mais evidente, representada pela maior área de histerese calculada. As demais amostras apresentaram valor de histerese em uma ordem de grandeza menor. O iogurte reconstituído a partir dos pós liofilizados apresentou o menor valor de histerese. Esse comportamento pode ser atribuído à modificações da mistura, evidenciada mais claramente nas partículas de gordura. No entanto, o encolhimento que ocorre durante a secagem térmica parece ter modificado a afinidade das partículas com a água, prejudicando a reidratação.

Tabela 16 - Histerese das amostras de iogurte comerciais das amostras *in natura*, e dos pós reconstituídos.

Amostra	HISTERESE (Pa/s)
<i>in natura</i>	140,5±0,01
FD	82,71±0,05
CTSV	6,21±0,43

O modelo reológico de Ostwald (Tabela 17) foi ajustado aos testes de tixotropia, às curvas ascendentes de fluxo das amostras de iogurte *in natura* e dos iogurtes reconstituídos. Os valores dos coeficientes de regressão, R^2 , também são apresentados.

Tabela 17 - Parâmetros do modelo de Ostwald para curvas de fluxos (ascendentes), aos testes *in natura*, e dos reconstituídos.

Amostras	Parâmetros		
	K	n	R ²
<i>in natura</i>	285,0	0,2727	0,9899
FD	118,1	0,3738	0,9900
CTSV	1,6114	0,7740	0,9357

O modelo de Ostwald se ajustou bem aos dados experimentais, principalmente aos dados relativos ao iogurte *in natura* e ao iogurte reconstituído dos pós liofilizados, com coeficientes de correlação de 0,98 – 0,99.

Pode ser observado que todos os valores referentes ao índice de escoamento (n) são menores do que um em concordância com dados da literatura, identificados na classificação dos fluídos como pseudoplástico (GONÇALVEZ et al., 2005; TELES e FLÔRES, 2007).

4.4.5 Viabilidade das bactérias lácticas dos pós reidratados.

Os resultados obtidos nas contagens das bactérias lácticas para os pós reidratados provenientes da secagem por CTSV e liofilizado (FD), assim como, o iogurte *in natura*, encontram-se na Tabela 18.

Tabela 18 - Viabilidade das bactérias lácticas do iogurte (*in natura*) e nos pós reconstituídos.

Iogurtes	Bactérias Lácticas
	Padrão RDC n° 5/ 2000 - Tolerância: 10 ⁷ UFC/g
<i>in natura</i>	1,2 x 10 ⁸ UFC/g ±0,01
FD	5,5 x 10 ⁷ UFC/g±0,04
CTSV	3,6 x 10 ⁷ UFC/g±0,02

Os resultados da Tabela 18 indicam que as três amostras de iogurte estão de acordo com a legislação, que exige a contagem de 10⁷ UFC/g (BRASIL, 2000) para iogurtes. Deste modo, os iogurtes reidratados dos pós produzidos por CTSV e por liofilização podem ser comercializados como iogurtes. A diferença de contagem comparado com o iogurte *in natura* pode está relacionado pelos dias de armazenamento dos pós para realizar as análises sendo esse estudo realizado após três dias de armazenamento.

Santos et al. (2016) e Santos et al. (2015) encontraram valores de $2,9 \times 10^8$ UFC/g e $8,01 \times 10^8$ UFC/g (bactérias lácticas) em iogurte liofilizado reconstituído. Diferenças como essa ocorrem em iogurtes, em função das condições de cultivo e da cultura microbiana utilizada para a produção do iogurte *in natura*.

5 CONCLUSÕES

É possível manter a contagem microbiana de iogurtes durante a secagem sob vácuo, em camada fina, sobre uma placa aquecida. O uso de uma superfície hidrofóbica, como um filme teflonado, facilita a retirada do iogurte desidratado. Esse processo é semelhante ao processo que foi denominado *Cast-tape drying*, mas passou por uma mudança incremental, por operar sob vácuo, justificando o nome *de Cast-tape drying* sob vácuo (CTSV). Esse processo pode ser utilizado como uma alternativa para a produção de pó de iogurte, em virtude de o processo garantir um produto com estabilidade nutricional e das bactérias lácticas viáveis.

A secagem por CTSV apresenta 3 períodos: i) período de aquecimento, ii) período de secagem à taxa constante e iii) e período de secagem à taxa decrescente, como nos casos clássicos de secagem convectiva. A atividade de água final depende do tempo de secagem e pode ser controlada, mas não deve ultrapassar 40 minutos, para evitar inativação microbiana adicional.

O iogurte sofre alterações durante a secagem por CTSV, representadas por mudanças de coloração (escurecimento) e coalescência das gotículas de gordura). O processo de liofilização proporciona a obtenção de um produto com menores modificações e melhor reidratação, resultando em comportamento reológico similar ao do iogurte *in natura*.

Os iogurtes reconstituídos se comportam como fluidos pseudoplásticos, características de produtos derivados de iogurtes.

A contagem de bactérias lácticas viáveis nos iogurtes após a secagem está de acordo com a legislação (10^7 UFC/g), mas essa contagem é reduzida durante os armazenamento dos pós.

Estudos detalhados para compreender a redução da contagem de células viáveis durante o armazenamento dos pós devem ser realizados, pois produtos desidratados estão associados com vida útil elevada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABONYI, B. I.; FENG, H.; TANG, J.; EDWARDS, C. G.; CHEW, B. P.; MATINSON, D. S.; FELLMAN, J. K. Quality retention in strawberry and carrot puree dried with Refractance Window system. **Journal of Food Science**, v. 67, n. 2, p. 1051-1056, 2002.

ABREU, E. DE.; STEFFENS, J.; STEFFENS, C.; DAHMER, A.M. Obtenção e caracterização de iogurte em pó de leite de ovelha. **Anais...Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica**. COBEQ, Unicamp, Campinas- SP, 2015.

A.O.A.C, ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods of Analysis**, 18 ed. Gaithersburg, Maryland, 2005.

ALCARDE, A.R; BASSO, L.C. Efeito da trealose na manutenção da viabilidade de células de leveduras desidratadas por liofilização. **Sci. Agric.**, Piracicaba, v. 54, n.3, p. 189-194, 1997.

ALBATICI, R.; PASSERINI, F.; TONELLI, A. M.; GIALANELLA, S. Assessment of the thermal emissivity value of building materials using an infrared thermovision technique emissometer. **Energy and Buildings**, v. 66, p. 33-40, 2013.

AMARAL, C. R. S.; OLIVEIRA, L. C. P.; RIBEIRO, I. C. T.; ARCANJO, E. M.; PICANÇO, N. F. M.; de FARIAS, R. A. P. G. Caracterização físico-química de diferentes marcas de iogurte grego. **XXV Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos**. 24 a 27 de outubro de 2016, FAURGS-Gramado/RS.

ALMEIDA, D.K.C., ALMEIDA, C.A.F., FERREIRA, C.C., SILVA, G.N., XAVIER, A.D.C.S., CARDOSO, A.S. Análise de sólidos solúveis totais e pH em bebidas industrializadas e a relação com a cárie dental e erosão ácida. **XXV Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos**. 24 a 27 de Outubro de 2016, FAURGS, Gramado/RS.

Baker, C. G. J. **Industrial Drying of Foods**. Blackie Academic & Professional, 1997.

BARBOSA – CÁNOVAS, G. V.; ORTEGA-RIVAS, E.; JULIANO, P.; YAN, H. (Edit.) **Food Powders: Physical Properties, Processing, and Functionality**. Kluwer Academic/ Plenum Publishers, Nova Iorque, E.U.A., 2005.

BEHMER, M. L. A. **Tecnologia do leite**: produção, industrialização e análise, 9 ed. São Paulo: Nobel, 1979. 322p.

BEHMER, M.L.A. **Tecnologia do leite-produção, Industrialização e análise**. Editora Nobel, 1999.

BELITZ, H. D.; GROSCH, W. **Química de los alimentos**. 2. ed. Zaragoza: ACRIBIA, 1997.

BOBBIO, P. A.; BOBBIO, F. O. **Química do Processamento de Alimentos**. 2. ed. São Paulo: Varela, 1995.

BOSS, E.A. **Modelagem e otimização do processo de liofilização: aplicação para leite desnatado e café solúvel**. 2007. 87f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

BRANDÃO, S. C. C. Tecnologia da fabricação de iogurte. **Revista do Instituto de Laticínios Candido Tostes**, v. 42, n. 250, p. 3-8, 1987.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa (MAPA) N° 46, de 23 de outubro de 2007. Adota o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Leites Fermentados, anexo à presente Instrução Normativa. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 23 out.2007. Seção 1, p. 5, 2007.

BRASIL. Resolução n.5, de 13 de novembro de 2000. A secretaria de Defesa Agropecuária, Departamento de Inspeção de Produtos de Origem Animal- DIPOA- determina a entrada em vigor dos “padrões de identidade e qualidade de leites fermentados”. **Diário Oficial da União**, Brasília, 02 jan. 2001. Seção I, p. 19-22. [Republicado nesta data por ter saído com incorreção no original, DOU DE 27/11/00. Seção I, P.9-12].

BRUIN, A. **Preconcentration and drying of food materials**. Amsterdam: Elsevier, 1988.

CELESTINO, Sonia Maria Costa. **Princípios de Secagem de Alimentos**. – Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 51 p. 2010.

CHEN, X. D.; ÖZKAN, N. Stickiness, Functionality, and Microstructure of Food Powders. **Drying Technology**, v.25, p. 969-979, 2007.

CHEN, X.D.; MUJUMDAR, A.S. **Drying Technologies in Food Processing**. 1 ed., Oxford: John Wiley & Sons Ltd, 2008.

CLARKE, P.T. Refractance Window™ – “Down under”. **Drying 2004 – Proceedings of the 14th International Drying Symposium (IDS 2004)**. São Paulo, Brasil, 22-25 de Agosto de 2004, vol.B, p.813-820.

DACANAL, G.C. **Estudo da granulação de suco de acerola desidratado em leito fluidizado**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos). Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, 101 p., Campinas, 2005.

DURIGON, ANGELISE. **Produção e caracterização de tomate em pó por Cast-Tate Drying**. Tese (Doutorado em engenharia de Alimentos). Universidade Federal de Santa Catarina, 162p., Florianópolis, 2016.

DURIGON, ANGELISE.; SOUSA, P.G.; CARCIOFI, B. A. M.; LAURINDO, J. B. *Cast-tape drying* of tomato juice for the production of powdered tomato. *Food and Bioproducts Processing*. v. 100, part A, October 2016, p. 145-155.

EVAGELISTA, JOSÉ. **Tecnologia de alimentos**. São Paulo: Editora Atheneu, 2008.

FAO/WHO. Standard for fermented milks. **Codex Alimentarius**, 2003. Disponível em: < <http://www.codexalimentarius.org>>. Acesso em: 10 de março 2016. CODEX STAN 243-2003.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**. Porto Alegre : Artmed, 2008.

FENNEMA, O. R.; DAMODARAN, S. D.; PARKIN, K. L. **Química de Alimentos de Fennema**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

FERNANDO, W. J. N.; THANGAVEL, T. Vacuum drying characteristics of coconut. **Drying Technology**, v.5, n.3, p. 362-372, 1987.

FERREIRA, C. L. L. F.; MALTA, H. L.; DIAS, A. S.; GUIMARÃES, A.; JACOB, F. E.; CUNHA, R. M.; CARELI, R. T.; PEREIRA, S.; FERREIRA, S. E. R. Verificação da qualidade físico-química e microbiológica de alguns iogurtes vendidos na região de Viçosa. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 56, n. 321, p. 152- 158, 2001.

FERREIRA, C.L.L.F. **Produtos lácteos fermentados: aspectos bioquímicos e tecnológicos**. 2. Ed. Viçosa: UFV, p.65-84. 2001.

FILKOVÁ, I.; HUANG, L. X.; MUJUMDAR, A. S. Industrial spray drying systems. In: MUJUMDAR, A. S. **Handbook of Industrial Drying**. 3. Ed. Boca Raton: CRC, 2006. Cap. 10, p. 215-56.

FORNY, L.; MARABI, A.; PALZER, S. Wetting, disintegration and dissolution of agglomerated water soluble powders. **Powder Technology**, v. 206, p. 72-78, 2011.

FOERST, P.; KULOZIK, U. Validation of a novel in situ weighing system Durigon vacuum drying. **Drying Technology**, v.25, p. 767-773, 2007.

FRAZIER, W.C.; WESTHOFF, D.C. **Microbiologia de los alimentos**. Editorial Acribia, S.A. 4º edição, 1993. 681 p.

GALLINA, D.A. Leites fermentados funcionais: tendências e inovações. **Revista Ingredientes Tecnologia**, n.9, p. 26-30, 2010.

GEANKOPLIS, C. J. **Transport Processes and separation process principles**. Prentice Hall, 4a edição, 2003.

GEANKOPLIS, C.J. **Transport Processes and Unit Operations**, 3rd Ed., (1993) Inc. Prentice Hall, New Jersey.

GOMES, R. G.; PENNA, A. L. B. Características reológicas e sensoriais de bebidas lácticas funcionais. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 30, n. 3, p. 629-646, 2009.

GOULA, M. A.; ADAMOPOULOS, K. G. Effect of maltodextrin addition Durigon spray drying of tomato pulp in dehumidified air: II. Powder properties. **Drying Technology**, v. 26, p. 726-737, 2008.

GRANATO, D. Leites fermentados: algumas considerações. **Leite & derivados**, v.16, n.100, p.16-33, 2007.

HOGKAMP, S.; SCHUBERT, H. Rehydration of Food Powders. **Food Science Technology International**, vol. 9, p. 223-235, 2003.

HORNE, D. S. Casein interactions: casting light on the *Black Boxes*, the structure in dairy products. **International Dairy Journal**, Barking, v. 8, n. 3, p. 171-177, 1998. [http://dx.doi.org/10.1016/S0958-6946\(98\)00040-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0958-6946(98)00040-5)

HOTZA, D.; GREIL, P. Review: aqueous tape casting of ceramic powders. **Materials Science and Engineering A**, vol. 202, p. 206-217, 1995.

HOTZA, Dachamir. Artigo revisão: colagem de folhas cerâmicas. **Cerâmica**, vol. 43, p. 283-284, 1997.

HUNTER LAB, Hunter L, a, b, versus CIE 1976 L*a*b*, 2012. Disponível em: <[hht://hunterlab.com](http://hunterlab.com)> Acesso em: 4 de jan. 2017. Applications Note, v.13, n.2.

HUNTINGTON, D. H. The influence of the spray drying process on product properties. **Drying Technology**, v.22, n.6, p. 1261-87, jul. 2004.

IAL. Instituto Adolfo Lutz. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo, 2008.

INTERNATIONAL DAIRY FEDERATION. **Yogurt: enumeration of characteristic microorganisms**. IDF/ISO Standard, 1997. 5 p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Agropecuária, Pesquisa Trimestral do Leite, 2015.II e 2016.II**. Indicadores IBGE, Estatística da Produção Pecuária - 2016. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Pecuaria/Fasciculo_Indicadores_IBGE/a>

bate-leite-couro-ovos_201602caderno.pdf > Acesso em: 03 de Janeiro 2017.

INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P.; BERGMAN, T. L.; LAVINE, A. S. **Fundamentos da Transferência de Calor e de Massa**. 6 ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2008.

JANK, M. S.; FARINA, E. M. Q.; GALAN, V. B. **O agribusiness do leite**. São Paulo: Milkbizz, 1999. 108 p.

JAY, J.M. **Microbiologia moderna de los alimentos**. Editorial Acribia, S.A., 1994.

KAJIYAMA, T.; PARK, K. J. Influência da Umidade Inicial da Alimentação no Tempo de Secagem em Secador Atomizador. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**. Campina Grande, v.10, n.1, p. 1-8, 2008.

KEARNEY, N. MENG, X. C.; STANTON, C.; KELLY, J.; FITZGERALD, G.F.; ROSS, R.P. Development of a spray dried probiotic yoghurt containing *Lactobacillus paracasei* NFBC 338. **International Dairy Journal**, v. 19, p. 684-9, 2009.

KERR, W. L. Food Drying and Evaporation Processing Operations Handbook of Farm. **Dairy, and Food Machinery**, p 303-340, 2007.

KIM, S.S.; SHIM, S. G.; CHANG, K. S.; KIM, S.Y.; NOH, B.S.; BHOWMIK, S.R. Survival of Lactic acid Bacteria Durigon Microwave Vacuum-drying of Plain Yoghurt. **LWT – Food Science and Technology**, v. 30, n.6, p.573-577, 1997.

KISAND, V.; SHULGA, J.; TÄTTE, T.; VISK, U.; NATALI, M.; MISTURA, G.; PAALO, M.; LOBJAKAS, M.; KINK, I. Preparation of structured sol-gel films using tape casting method. **Materials Science and Engineering B**, vol. 137, p. 162-165, 2007.

KOC, B. YILMAZER, M.S.; BALKIR, P.; ERTKIN, F.K. Spray drying of yogurt: optimization of process conditions for improving viability and other quality attributes. **Drying Technology**, v. 28, p. 495-507, 2010.

KUMAR, P.; MISHRA, H. N. Yoghurt poder- a review of process technology, storage and utilization. **Food and Bioproducts Processing**, v. 82(C2), p. 133-42, jun. 2004.

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

LUCEY, J. A. Formation and physical properties of milk protein gels. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 85, n. 2, p. 281-294, 2002. [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74078-2](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74078-2)

LUCEY, J.A.; SINGH, H. Formation and physical properties of acid milk gels: a review. **Food Research International**, v. 30, n.7, p. 529-542, 1998.

MCKINLEY, M.C. The nutrition and health benefits of yoghurt. **Int. Journal of Dairy Technology**. V. 58, p.01-12, 2005.

MACHADO, P. A.; MALTA, H, L; dos SANTOS, E. A.; LISBOA, E. C. Desenvolvimento e caracterização de iogurte batido com preparo de caju. **XV SEMIC**, 2011.

MALCZEWSKI, J; KACZMAREK, W. “Vacuum contact drying of seeds”. **Drying Technology**, v.7,n.1,p.59-69, 1989.

MATOS, C.M.S.; JESUS, M. S. DE.; SILVA, G. S.; NUNES, T.P.; PAGANI, A.A.C. **Estudo da estabilidade físico-química e microscópica de iogurte natural liofilizado durante o armazenamento**. Congresso brasileiro de sistema particulado, ENEMP, São Carlos – SP, 2015.

MARQUES, E.C. COSTAS, S. R. Reis da. Estudo da liofilização pela engenharia de produto no processamento industrial de alimentos. **Acta Tecnologia**, vol.10, n° 1, (2015), 44-52.

MEDEIROS, Adja Cristina Lira de. **Iogurte caprino probiótico em pó: estudo do processo de secagem, da caracterização do pó e da viabilidade do probiótico**. Dissertação de mestrado. Faculdade de zootécnica e engenharia de alimentos- Universidade de São Paulo, Pirassununga, SP, 2013.

MENDES, A. C.R.; RAPÔSO, A.F.; FERREIRA, L. S.; AMORIM,P.F.; CHAGAS,R.C.F.; SOUSA, T. DE O. Avaliação das características sensoriais e físico-químicas de iogurte à base de polpa de caju elaborado artesanalmente, **Revista Higiene Alimentar**. 16(98): 38-41, Jul/2002.

MORAES, Jaqueline Oliveira de. **Produção e caracterização de filmes de amido-glicerol-fibras de celulose elaborados por *tape-casting***. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

MORAES; J. O. de; SCHEIBE, A. S.; CARCIOFI, B. A. M.; LAURINDO, J. B. Conductive drying of starch-fiber films prepared by tape casting: Drying rates and film properties, **LWT – Food Science and Technology**, v. 64, p. 356-366, 2015.

NASTAJ, J.F. A mathematical model for the continous vaccum drying of highly viscous foodstuffs. **Drying Technology**, v.7, n.1,p. 47-58, 1989.

NINDO, C. I.; TANG, J. Refractance window dehydration technology: a novel contact drying method. **Drying Technology**, v. 25, p. 37-48, 2007.

NINDO, C.I.; FANG, H.; SHEN, G. Q.; TANG, J.; KANG, D. H. Energy utilization and microbial reduction in a new film drying system. **Journal of Food Processing Preservation**, vol. 27, p. 117-136, 2003.

OETTERER, M.; REGINATO- D'ARCE, M.A.B.; SPOTO, M.H.F. **Fundamentos de ciência e tecnologia de alimentos**. Barueri: Manole, 2006.

OLIVEIRA, M. E. G. **Desenvolvimento de formulações de bebidas lácticas fermentadas a partir de soro e leite de cabra**. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa-PB, 77 p. 2009.

ORTIZ-JEREZ, M. J.; OCHOA-MARTÍNEZ, C. I. Heat transfer mechanisms in conductive hydro-drying of pumpkin (*Cucurbita maxima*) pieces, **Drying Technology: An International Journal**, v. 33, n. 8, p. 965-972, 2015.

ORDÓÑEZ - PEREDA, J. A. RODRIGUES, M. I. C.; ALVEREZ, L. F.; SANZ, M.L.G.; MINGUILLÓN, G.D.G.F.; PERALES, L.H.; CORTECERO, M.D.S. Alimentos de Origem Animal. **Tecnologia de Alimentos**, Ed. Artmed, Porto Alegre, v.2, p.67-81, 2005.

PASEEPHOL, T.; SMALL, D. M.; SHERKAT, F. Rheology and texture of set yogurt as affected by inulin addition. **Journal of Texture Studies**, Malden, v. 39, n. 6, p. 617-634. 2008. [http:// dx.doi.org/10.1111/j.1745-4603.2008.00161.x](http://dx.doi.org/10.1111/j.1745-4603.2008.00161.x)

PARTICLEMETRIX. **NANO-flex®. Nanoparticle Measurement Device for Particle Size Distribution with 180° DLS Dynamic Light Scattering**. Germany, 2007. Disponível em: < <https://www.particle-metrix.de/en/products/nano-flex-180-dls-size.html#c280> > Acesso em: 13 de janeiro de 2017.

1

Pelczar, Jr., Joseph Michael. **Microbiologia: conceitos e aplicações**, volume 2, 2ª ed./ Michael J. Pelczar Jr., E.C.S. Chan, Noel R. Krieg; tradução Sueli Fumie Yamada, Tania Ueda Nakamura, Tereza Cristina R. M. Oliveira, Benedito Prado Dias Filho, Lourdes Botelho Garcia: revisão técnica Celso Vatura Nakamura. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 1997.

PINEDO, Aroldo Arévalo. **Secagem a vácuo de cenoura (*Daucus Carota*) e abóbora (*cucurbita máxima*): Estudo das características do processo**. Tese de doutorado. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP. 2003.

RIBEIRO, M. C. E. **Produção e caracterização de iogurte probiótico batido adicionado de *Lactobacillus acidophilus* livre e encapsulado**. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP. 2011.

ROBERT, N.F. **Dossiê Técnico: Fabricação de Iogurtes**. Rede de Tecnologia da Bahia – RETEC/BA. Bahia, Julho, 2008.

ROBINSON, R.K. Fermented Milks/Yoghurt, Role of Starter Cultures. pg 1059-1063. **Encyclopedia of Dairy Sciences**, UK, 2002.

SANTOS, J.; ARAUJO, L. F.; JUNIOR, A.M.O.; NUNES, T.P.; PAGANI, A.A. Estudo da estabilidade microbiológica do iogurte

liofilizado. **Congresso Brasileiro de Ciências e Tecnologia de Alimentos**. Gramado-RS, 2016.

SANTOS, G., Nunes, T. P., Silva, M. A. A. P., Rosenthal, A., Pagani, A. A. C. (2015) Influencia del proceso de liofilización en la estabilidad microbiológica del yogur. **Revista Venezolana Ciencia y Tecnología de Alimentos- RVCTA** 6(1):069-077.

SILVA, Gilvan.; SILVA, Argélia Maria Araújo Dias.; FERREIRA, Maria Presulina de Brito. **Processamento de leite**. Curso técnico em alimentos, 167 p. EDUFPRPE: Recife-PE, 2012.

SILVA, A. B. N., UENO, M. Avaliação da viabilidade das bactérias lácticas e variação da acidez titulável em iogurtes com sabor de frutas. **Revista Instituto de Laticínios “Candido Tostes”**, Jan/Fev, nº 390, 68:20-25, 2013.

SCHRAMM, G. **Reologia e Reometria – Fundamentos Teóricos e Práticos**. São Paulo: Editora Artliber Ltda., 2006. 240 p.

SOUSA, PAULA GIMENEZ DE. **Produção e caracterização de açaí (*Euterper oleracea Mart.*) desidratado em pó por cast-tape drying**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 2015.

SPAGNOL, C.; FERRO, D. M.; SOARES, D.; KONSKI, T. F.; CUCHI, L.; OLIVEIRA, W. X.; SILVEIRA, S. M. Aplicação da Liofilização na Obtenção de Microrganismos Viáveis para a Elaboração de Iogurtes. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v.7, n.2, jul / dez. 2005.

TACO. Tabela brasileira de composição de alimentos / NEPA – UNICAMP.- 4. ed. rev. e ampl. Campinas: NEPA- UNICAMP, 2011. 161 p.

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

TEIXEIRA, A. C. P.; MOURTHÉ, K.; ALEXANDRE, D. P.; SOUZA, M. R.; PENNA, C. F. A. M. Qualidade do Iogurte Comercializado em Belo Horizonte. **Leite & Derivados**, v. 1, n. 51, p. 32-39, 2000.

TELES, C. D.; FLÔRES, S. H. Influencia da adição de espessantes e leite em po nas características reológicas do iogurte desnatado. **Boletim do CEPPA**, Curitiba, v. 25, n. 2, p. 247-256, 2007.

TRIBOLI, Edison Paulo De Ros. **Estudo e otimização de processo de secagem de iogurte por atomização com secador em escala piloto**. Tese de doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo-EPUSP. Departamento de engenharia química. SP, 2014.

VINDEROLA, C.G., REINHEIMER, J.A. Enumeration of *L. casei* in the presence of *L. acidophilus*, bifidobacteria and lactic starter bacteria in fermented dairy products. **International Dairy Journal**, Amsterdam, v.10, n.4, p.271-275, 2000.

VISSOTTO, F. Z.; MONTENEGRO, F. M.; SANTOS, J. M.; OLIVEIRA, S. J. R. Avaliação da influência dos processos de lecitinação e de aglomeração nas propriedades físicas de achocolatado em pó. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v. 26, no. 3. Campinas, 2006.

WALTON, D. E.; MUMFORD, C.J. Spray dried products – characterization of particle morphology. **Trans IChemE**, v. 77A, p.21-38, jan. 1999.

YU, M.; ZHANG, J.; LI, X.; LIANG, H.; ZHONG, H.; LI, Y.; DUAN, Y.; JIANG, D. L.; LIU, X.; HUANG, Z. Optimization of the tape casting process for development of high performance alumina ceramics. **Ceramics International**, v. 41, p. 14.845-14.853, 2015.

ZHANG, M.; TANG, J.; MUJUMDAR, A.S.; WANG, S. Trends in microwave-related drying of fruits and vegetables. **Trends in Food Science & Technology**, v.17, p.524-534, 2006.

ZOTARELLI, Marta F.; CARCIOFI, Bruno A.; LAURINDO, João B. Effect of process variables on the drying rate of mango pulp by Refractance Windo. **Food Research International**, vol. 69, p. 410-417, 2015.

ANEXO A

Figura A – Análises da distribuição de partícula pelo Nano- flex para as amostra do CTSV.

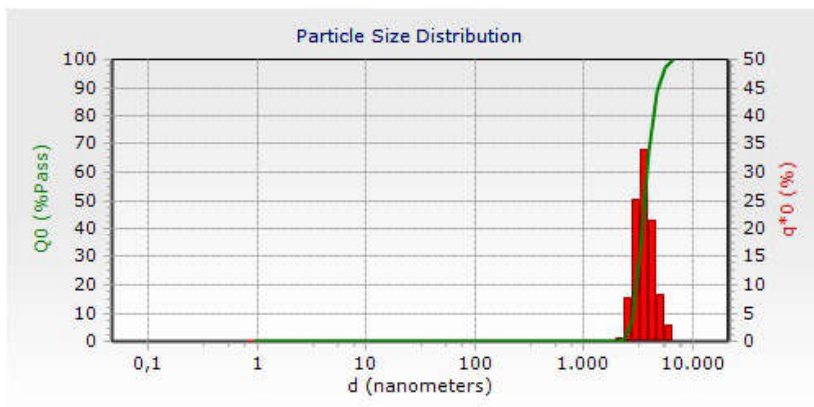


Figura B – Análises da distribuição de partícula pelo Nano- flex para as amostra do liofilizado.

