

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**  
**CENTRO TECNOLÓGICO – CTC**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA E ENGENHARIA DE**  
**ALIMENTOS – EQA**

Maria Eliza Klöppel

**ESTUDO DA SECAGEM DE *BLEND* DE IOGURTE NATURAL COM MIRTILO EM**  
***CAST-TAPE* SOB VÁCUO**

Florianópolis

2017

Maria Eliza Klöppel

**ESTUDO DA SECAGEM DE *BLEND* DE IOGURTE NATURAL COM MIRTILO EM  
*CAST-TAPE* SOB VÁCUO**

Trabalho de conclusão de curso submetido ao Curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina para aprovação em disciplina EQA 5616 – Trabalho de Conclusão de Curso para Engenharia de Alimentos.

Orientador: Dr. João Borges Laurindo.

Coorientadora: Mse. Emanuelle I. B. Parisotto

Mse. Paula Gimenez de Souza

Florianópolis

2017

Maria Eliza Klöppel

**ESTUDO DA SECAGEM DE *BLEND* DE IOGURTE NATURAL COM  
MIRTILO EM *CAST-TAPE* SOB VÁCUO**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título em Engenharia de Alimentos e aprovado em sua forma final pela Banca Examinadora.

Florianópolis, 03 de Julho de 2017.

---

Prof. Marcelo Lanza, Dr  
Coordenador  
Universidade Federal de Santa Catarina

**Banca Examinadora:**

---

Prof. João Borges Laurindo, Dr  
Orientador  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof<sup>a</sup> Gláucia Maria Falcão de Aragão, Dr<sup>a</sup>  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Jade Varaschim Link, Dr  
Universidade Federal de Santa Catarina

## AGRADECIMENTOS

A Deus pela Sua Graça e amor que me guia e ilumina em todos os momentos. Também a minha Santa Catarina de Alexandria e Anjo da Guarda, que não cessam de interceder por mim.

Aos meus pais Hilda e Luiz por toda a dedicação e ensinamentos de vida que superam qualquer academia, que me formam como um ser humano digno e de valores.

Aos meus irmãos Juliana e Luiz Felipe por toda a parceria, conselhos e puxões de orelha ao longo da vida.

A Matthieu Germain pelo carinho, companheirismo e ajuda, *vraiment merci chéri*.

Ao professor orientador Dr. João Borges Laurindo pela oportunidade de realizar este trabalho.

A Emanuelle Parisotto e Paula Gimenez pelas impecáveis correções e por toda a paciência (que não foi pouca) ao me coorientar neste trabalho.

A Josimária Costa por toda ajuda que foi fundamental na execução deste trabalho.

Aos colegas do laboratório PROFI por toda orientação em diversos momentos.

Enfim, a todas as pessoas que de uma forma ou outra me ajudaram no desenvolvimento deste trabalho e a chegar até aqui.

“Somos todos geniais. Mas se você julgar um peixe pela sua habilidade de subir em árvores, ele viverá o resto da sua vida acreditando que é estúpido.”

**Albert Einstein**

## RESUMO

Iogurte é um produto de grande interesse comercial devido à sua funcionalidade e aceitação por parte do consumidor, com a adição de frutas aumenta-se ainda mais o seu valor agregado. No entanto, por se tratar de um produto altamente perecível deve ser estocado sob refrigeração. O método de secagem por *Cast-Tape* sob vácuo (CTSV) surge como uma alternativa para a secagem e produção de alimentos termossensíveis em pó, devido às elevadas taxas de secagem e capacidades evaporativas do processo, que resultam em curtos tempos de secagem e manutenção de temperaturas reduzidas no produto. O objetivo deste trabalho foi estudar a secagem do *blend* de iogurte natural com mirtilo em CTSV (temperatura de 50 °C e espessura de filme de 2 mm), e caracterizá-lo em relação às suas propriedades físico-químicas, manutenção das bactérias lácticas e comparar o produto obtido ao pó obtido pelo processo de liofilização. Resultados de umidade e atividade de água variaram em decorrência das condições submetidas de processo, como tempo e temperatura. O pó produzido por CTSV apresentou umidade de 0,124 g g<sup>-1</sup> para um tempo de secagem de 40 minutos e o pó produzido por liofilização apresentou 0,037 g g<sup>-1</sup> para um tempo de secagem de 72 horas. Ambos os pós são microbiologicamente estáveis ( $a_w < 0,6$ ) e reduziram uma escala logarítmica a quantidade de bactérias lácticas, sendo o processo de CTSV energeticamente mais vantajoso quando comparado à liofilização.

**Palavras-chave:** secagem, *Cast-Tape*, vácuo, bactérias lácticas, pós.

## ABSTRACT

Yogurt is a product of great commercial interest due to your functionality and acceptance by the consumer with the addition of fruit it is value added is further enhanced. However, it is a highly perishable product and must be stored under refrigeration. The Cast-Tape under vacuum drying (CTVD) arises as an alternative method to production of heat-sensitive powdered foods, due to high rates of drying and evaporative capacities of the process, resulting in shorter drying times and temperatures reduced maintenance on the product. The aim of this work was to study the drying of the blend of natural yogurt with blueberry in CTVD (temperature of 50 ° C and 2 mm film thickness), and characterize it in relation to their physical-chemical properties and maintenance of lactic acid bacteria and even compare the product obtained to the powder obtained by freeze-drying process. Results of moisture and water activity varied due to the conditions subject to process, as time and temperature. The powder produced by CTVD presented 0,124 g g<sup>-1</sup> for a drying time of 40 minutes and the powder produced by freeze-drying 0.037 g g<sup>-1</sup> was obtained for a 72-hour drying time. Both powders are microbiologically stable ( $a_w < 0,6$ ) and reduced a logarithmic scale the amount of lactic acid bacteria, being the CTVD process energetically advantageous when compared to freeze-drying.

**Keywords:** drying, *Cast-Tap*, vacuum, latic acid bacteria, powder.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Diagrama de fluxo de produção de iogurte tradicional. ....	15
Figura 2- <i>Vaccinium myrtillus</i> .....	16
Figura 3- Curva típica de secagem. ....	19
Figura 4- Curva típica de taxa de secagem.....	19
Figura 5- Etapas da reconstituição de um pó em um líquido. ....	21
Figura 6- Aparato Experimental CTSV.....	24
Figura 7- Divisão do espalhamento em três regiões distintas como indicado pelos números 1, 2 e 3 para a retirada das amostras nos tempos de secagem pré- determinados. ....	25
Figura 8- Aparato para medir o tempo de dispersão dos pós de iogurte com mirtilo produzidos por <i>Cast-Tape</i> sob vácuo e por liofilização. ....	29
Figura 9- Evolução temporal da umidade livre na secagem de <i>blend</i> de iogurte natural com mirtilo durante a secagem em CTSV.....	32
Figura 10- Curvas de temperatura do <i>blend</i> de iogurte natural com mirtilo durante a secagem em CTSV. ....	32
Figura 11- Cinética de Atividade de água <i>blend</i> de iogurte natural com mirtilo. ....	34
Figura 12- Pó obtido após o processo de liofilização.....	36
Figura 13- Análise do tempo de dispersão do pó do blend após 25 minutos.....	37
Figura 14- Colônias de <i>Lactobacillus delbrueckii</i> ssp. <i>bulgaricus</i> desenvolvidas em meio de cultura MRS – ágar glicose acidificado, após 72 horas de incubação.....	38
Figura 15-Microscopia eletrônica de varredura (MEV) para amostras dos pós produzidos por (a)- CTSV com aumento de 150x, (b)- CTSV com aumento de 650x, (c)- Liofilizado com aumento de 100x e (d)- Liofilizado com aumento de 600x.....	42
Figura 16-Imagens obtidas do iogurte, do mirtilo e dos <i>blends</i> de iogurte natural com mirtilo <i>in natura</i> e os reconstituídos, obtidas em microscópio óptico (a)- Iogurte <i>in natura</i> aumento de 40 x, (b)- Mirtilo aumento de 20 x, (c)- <i>Blend</i> aumento de 40 x, (d)- <i>Blend</i> aumento de 100 x, (e)-Pó obtido por CTSV aumento de 40 x, (f)- Reidratado de pó obtido por CTSV aumento de 100 x, (g)- Pó obtido por FD aumento de 40 x, (h)- Reidratado de pó obtido por FD aumento de 100 x.....	43



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Características do iogurte.....	13
Tabela 2 – Composição química do iogurte natural.....	14
Tabela 3- Composição centesimal média do mirtilo ( <i>Vaccinium</i> ssp.).....	17
Tabela 4- Composição nutricional do iogurte natural (Batavo) para cada embalagem de 170 g.....	22
Tabela 5- Análises físico-químicas realizadas.....	27
Tabela 6- Umidade final dos pós do <i>blend</i> produzidos em CTSV e liofilizado.....	35
Tabela 7- Massa específica aparente e real e porosidade dos pós do <i>blend</i> produzidos em CTSV e liofilizador.....	36
Tabela 8- Viabilidade das bactérias lácteas no iogurte in natura, no <i>blend</i> e nos pós produzidos em CTSV e liofilizado.....	38
Tabela 9- Análises dos pós reidratados do <i>blend</i> produzido em CTSV e liofilizado.....	40

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	11
2	OBJETIVOS .....	12
2.1	Objetivo geral.....	12
2.2	Objetivos específicos .....	12
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	13
3.1	Iogurte .....	13
3.1.1	Produção do Iogurte .....	14
3.2	Mirtilo .....	16
3.3	Secagem .....	17
3.3.1	Métodos de Secagem por Espalhamento.....	19
3.3.2	Uso do Vácuo .....	20
3.3.3	Liofilização .....	20
3.4	Características de Alimentos em pó .....	21
3.5	Reidratação dos pós.....	21
4	MATERIAL E MÉTODOS .....	22
4.1	Matéria-Prima e Preparação das Amostras .....	22
4.1.1	Iogurte .....	22
4.1.2	Mirtilo .....	22
4.1.3	<i>Blend</i> .....	23
4.2	Aparato Experimental .....	23
4.3	Secagem do <i>blend</i> em <i>Cast-Tape</i> sob vácuo.....	24
4.3.1	Evolução temporal da umidade livre.....	25
4.3.2	Evolução temporal de Atividade da Água ( $a_w$ ).....	26
4.4	Liofilização .....	26
4.5	Moagem.....	26
4.6	Reidratação.....	26
4.7	Caracterização das amostras .....	26
4.7.1	Umidade .....	27
4.7.2	Atividade da Água.....	27
4.7.3	Microscopia Óptica .....	28
4.7.4	Morfologia do pó.....	28

4.7.5	Massa específica aparente, massa específica real e porosidade .....	28
4.7.6	Tempo de Dispersão .....	29
4.8	Caracterização do pó reconstituído .....	29
4.8.1	Sólidos Solúveis .....	30
4.8.2	Potencial Hidrogeniônico (pH) .....	30
4.9	Análise Microbiológica .....	30
4.10	Análises Estatísticas .....	31
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	32
5.1	Cinética de Umidade .....	32
5.2	Cinética de Atividade da Água ( $a_w$ ) .....	34
5.3	Caracterização dos Pós .....	35
5.3.1	Umidade e atividade de água .....	35
5.3.2	Massa específica e porosidade .....	36
5.3.3	Tempo de Dispersão .....	37
5.3.4	Contagem das bactérias lácticas .....	37
5.4	Caracterização dos Pós Reidratados .....	39
5.4.1	Umidade, atividade de água, sólidos solúveis e pH .....	39
5.4.2	Microestrutura dos pós .....	41
5.4.3	Microscopia Óptica .....	42
6	CONCLUSÕES .....	45
7	REFERÊNCIAS .....	46

## 1 INTRODUÇÃO

A secagem é utilizada para aumentar a vida útil de produtos, além de facilitar seu transporte e comercialização, devido à redução de massa e volume inerentes ao processo. Usualmente utiliza-se a aplicação de um gradiente de temperatura para a redução da umidade livre do produto, o que pode ocasionar perdas de algumas propriedades nutritivas da matéria-prima. De forma alternativa, o emprego de vácuo pode evitar a degradação desses compostos por permitir que a secagem ocorra a uma temperatura inferior à pressão ambiente.

O iogurte é um derivado lácteo e uma fonte de cálcio, vitaminas e sais minerais. Além de possuir baixo valor calórico e reduzido teor de lactose em comparação ao leite fluido, possui grande aceitabilidade por parte do consumidor sendo possível encontrá-lo em diversos sabores, como o de mirtilo (*Vaccinium sp.*), também conhecido como *Blueberry*, fruto da família das Ericáceas, que é altamente nutritivo e pode ser um aliado à saúde devido ao seu alto teor antioxidante.

Alimentos em pó são versáteis no manuseio, transporte e armazenamento, porém durante o processo de secagem, alguns compostos podem ser degradados em função do tempo e temperatura utilizados no processo. A secagem por *Cast-Tape* sob vácuo ainda não foi explorada na produção em larga escala de alimentos termossensíveis. Esse método utiliza temperaturas moderadas de processo, o que é favorável na manutenção de propriedades nutritivas do alimento.

O produto a ser seco como objeto de estudo é o *blend* de iogurte natural com mirtilo, pensado na sua comercialização no segmento *business to business* para o desenvolvimento de *snacks*.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é desenvolver e caracterizar um pó, produzido a partir de um *blend* de iogurte natural com mirtilo através da secagem em *Cast-Tape* sob vácuo, quanto às suas características físico-químicas e microbiológicas. Assim como a caracterização da matéria-prima e do produto obtido por meio da liofilização.

### 2.2 Objetivos específicos

Estudar as cinéticas de redução de umidade livre e de atividade de água do *blend* de iogurte com mirtilo seco por *Cast – Tape* sob vácuo.

Avaliar o efeito do processo de *Cast-Tape* sob vácuo na destruição celular das bactérias lácticas na secagem de *blend* de iogurte natural com mirtilo.

Caracterizar o produto quanto à umidade, atividade de água, massa específica real e aparente, sólidos solúveis, tempo de dispersão e microscopias óptica e eletrônica de varredura e compará-lo ao pó produzido por liofilização.

Caracterizar o pó reidratado quanto à umidade, atividade de água, sólidos solúveis e pH e compará-lo ao liofilizado.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Iogurte

De acordo com a Instrução Normativa número 46 de 23/10/2007, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2007), iogurte é um leite fermentado obtido por coagulação e redução do pH do leite através da fermentação láctica com cultivos protossimbóticos de *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* e *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*. Tais microorganismos devem encontrar-se viáveis, ativos e abundantes no produto final, mínimo de  $10^7$  UFC g<sup>-1</sup> (MAPA, 2007). De forma complementar, outras bactérias ácido-lácticas podem ser adicionadas.

Segundo a mesma legislação, o iogurte é classificado de acordo com a quantidade de matéria-gorda: em creme cuja base láctea tem um conteúdo mínimo de 6 % de matéria-gorda, integral mínimo 3 %, parcialmente desnatado no máximo 2,9 % e desnatado possui no máximo 0,5 % de matéria-gorda. Ingredientes opcionais não lácteos podem ser adicionados em até 30 % masa/massa, sendo classificado como iogurte com adições.

Características básicas do iogurte provenientes do *Codex Alimentarius* e da Instrução Normativa número 46, de 23/10/2007, do MAPA são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1- Características do iogurte.

Constituinte	Quantidade
Proteínas lácteas (g/100g)	2,9 (mín.)
Matéria-gorda láctea (g/100g)	15 (máx.)
Acidez titulável expressa em porcentagem de ácido láctico (g/100g]	0,6 a 1,5
Total de bactérias lácticas (UFC/g)	$10^7$ (mín.)
Outros microrganismos adicionados (UFC/g)	$10^6$ (mín.)

Fonte: FAO/WHO,2003 e MAPA, 2007.

A composição química média do iogurte natural encontra-se na Tabela 2.

Constituinte	Quantidade (em 100 g)
Umidade (g)	90,0
Proteína (g)	4,1
Colesterol (mg)	14,0
Carboidratos (g)	1,9
Fibra alimentar (g)	NA*
Cinzas (g)	0,9
Cálcio (mg)	143,0
Lipídeos (g)	3,0
Magnésio (mg)	11,0
Energia (kcal)	51,0

\*NA significa não aplicável

Fonte: TACO- Tabela Brasileira de Composição de Alimentos, 2011.

### 3.1.1 Produção do Iogurte

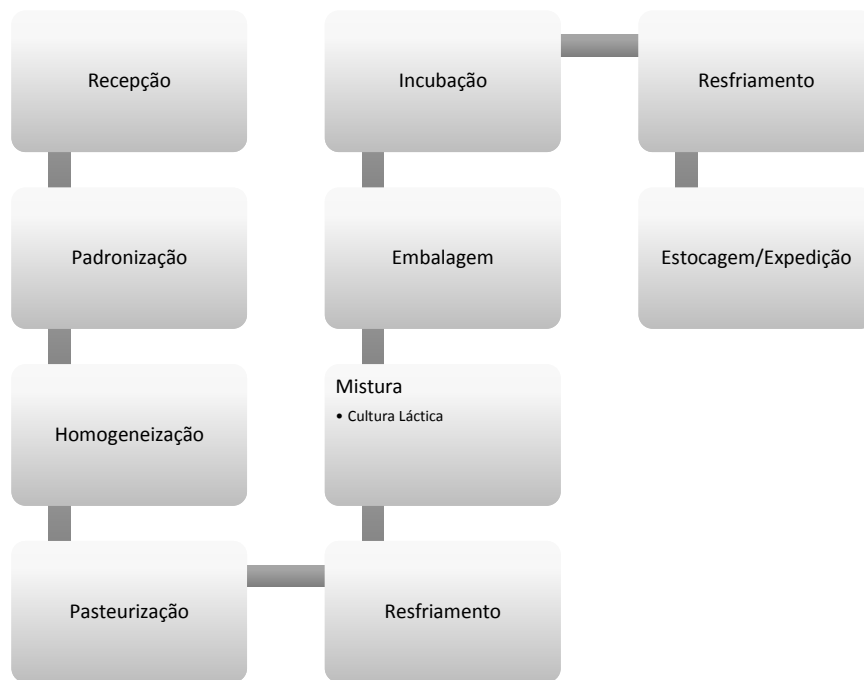
A qualidade do produto final está intimamente ligada à qualidade da matéria-prima. Não é possível produzir um iogurte de qualidade a partir de uma matéria-prima deficiente.

“Entende-se por leite, sem outra especificação, o produto oriundo da ordenha completa e ininterrupta, em condições de higiene, de vacas sadias, bem alimentadas e descansadas” (MAPA, 2002).

Para assegurar a qualidade do leite, o MAPA publicou em 2011 a Instrução Normativa número 62 (MAPA, 2011), onde regulamenta a produção, identidade, qualidade, coleta e transporte do leite. O leite deve ser proveniente de um rebanho saudável, respeitando uma série de etapas pré e pós ordenha com resfriamento, armazenamento e transporte em condições especificadas após a ordenha.

A Figura 1 possibilita visualizar o diagrama de fluxo do processo de produção de iogurte tradicional, onde inicialmente ocorre a recepção do leite seguida das etapas de padronização, homogeneização e pasteurização. Tais etapas garantem uma matéria-prima com os parâmetros adequados e livre de microrganismos patogênicos. A pasteurização promove a desnaturação parcial das proteínas do soro do leite, o que evitará o dessoramento da massa, após a fermentação (FERREIRA; FERREIRA, 2013).

Figura 1- Diagrama de fluxo de produção de iogurte tradicional.



Fonte: Adaptado de Manenti, 2014.

Após o preparo da matéria-prima, seguem as etapas de resfriamento - onde o leite é resfriado até 45 °C - e posteriormente misturado com a cultura láctica (*starter*), previamente preparada. Na produção de iogurte, utilizam-se como microrganismos iniciadores o *Lactobacillus bulgaricus* e *Streptococcus thermophilus*, os quais possuem uma relação simbiótica. Aminoácidos e peptídeos das proteínas presentes no leite são liberados pelo *Lactobacillus bulgaricus*, estimulando a multiplicação do *Streptococcus thermophilus* o qual libera subprodutos como ácido fórmico e dióxido de carbono ao meio, estimulando então o crescimento do *Lactobacillus bulgaricus* (OLIVEIRA; DAMIN, 2003).

As etapas procedentes do processo de produção de iogurte podem variar dependendo do tipo (tradicional, batido ou líquido). Para o iogurte natural tradicional (Figura 1), após a mistura (leite e cultura láctica) segue-se a etapa de embalagem onde a incubação acontecerá. Nesta etapa, as culturas lácticas utilizam o substrato como fonte de carbono para o seu metabolismo e liberam substâncias como ácido láctico no meio. De acordo com a temperatura e o tempo de fermentação são formados diferentes produtos metabólicos (OSTILE; TREIMO; NARVHUS, 2005). A multiplicação bacteriana é afetada pela temperatura de fermentação, o que impacta diretamente na estrutura e sabor do produto (KRISTO; BILIADERIS; TZANETAKIS, 2003).



Quando o produto atinge a acidez desejada (0,6-1,5 g de ácido láctico/100 g), ele é resfriado para diminuir a atividade das bactérias lácticas. Posteriormente, o iogurte deve ser mantido por um período de 12 a 24 horas a uma temperatura entre 10 °C e 12 °C para que a maturação finalize. Os leites fermentados deverão ser conservados e comercializados à temperatura não superior a 10 °C (MAPA, 2007).

### 3.2 Mirtilo

O mirtilo, denominado também de *blueberry*, é uma planta frutífera de clima temperado, nativo da América do Norte, membro da família *Ericaceae*, subfamília *Vaccinoideae* e gênero *Vaccinium* (RASEIRA, 2004). Pode ser classificado em dois principais grupos: *Rabbiteye*, as quais as cultivares adaptam-se em regiões de pouco frio (300 h abaixo de 7,2 °C) e *Highbush*, cultivares que necessitam estar em contato com o frio por mais tempo. A região sul do Brasil apresenta um clima mais propício para o plantio dessa fruta, embora algumas regiões mais altas dos Estados de São Paulo e Minas Gerais também possuem condições para produzir algumas cultivares do mirtilo (EMBRAPA, 2009).

Figura 2- *Vaccinium myrtilus*



Fonte: RODRIGUES, 2009.

O mirtilo é uma espécie frutífera apreciada por seu sabor exótico, além de possuir elevados valores nutricionais e econômicos (EMBRAPA, 2009). Apresenta em sua composição alta concentração de compostos fenólicos (WU et al., 2004), sendo superior à maioria das frutas (WOLFE et al., 2008). Em algumas cultivares de mirtilo, foram encontrados, por cromatografia gasosa (CG) acoplada à espectrometria de massa (EM),

17 ácidos fenólicos diferentes (ZADERNOWSKI et al., 2005), o que aumenta o interesse comercial pela fruta.

As antocianinas também estão presentes no mirtilo, e fornecem características de cor e efeitos benéficos à saúde (ESPÍN et al., 2000; COOPER-DRIVER, 2001). Outros compostos como antioxidantes e propriedades funcionais também são encontrados.

A composição centesimal média do mirtilo encontra-se na Tabela 3.

Tabela 3- Composição centesimal média do mirtilo (*Vaccium ssp.*).

Constituinte	Quantidade (em 100 g)
Água	84,21
Energia (kcal)	57,00
Proteína (g)	0,74
Gorduras totais (g)	0,33
Lípídeos (g)	0,22
Carboidratos (g)	14,49
Fibra Alimentar (g)	2,40
Monossacarídeos (g)	9,96
Cálcio (mg)	6,00
Ferro (mg)	0,28
Magnésio (mg)	6,00
Fósforo (mg)	12,00
Potássio (mg)	77,00
Sódio (mg)	1,00
Zinco (mg)	0,16
Vitamina C (mg)	9,70
Tiamina (mg)	0,04
Riboflavina (mg)	0,04
Niacina (mg)	0,42
Vitamina B6 (mg)	0,05
Ácido Fólico (µg)	6,00
Vitamina A (µg)	3,00
Vitamina E (mg)	0,57
Vitamina K (µg)	19,30

Fonte: Adaptado Escola Paulista de Medicina, 2016.

### 3.3 Secagem

O termo secagem consiste na remoção de umidade livre de uma substância através da transferência de calor e de massa. Esse método é utilizado a fim de preservar os alimentos, pois o crescimento e multiplicação dos microrganismos causadores de deterioração química reduz drasticamente em baixos teores de água livre, possibilitando a estocagem por um maior período de tempo (GEANKOPLIS, 2003).

A secagem de alimentos apresenta vantagens como a redução da massa e volume, o que implica na diminuição de custos de transporte e armazenamento, além de dispensar a refrigeração em muitos casos. O valor agregado ao produto final está intimamente ligado com a degradação física e bioquímica ocorridas durante o processo de secagem (HELDMAN; LUND, 2007; KING, 1989).

Os métodos de secagem são classificados quanto à forma de operação. No processo em batelada, o material é inserido no secador e após um período de tempo, quando alcança a umidade final desejada, ele é retirado. No processo contínuo, ocorre a alimentação e retirada contínua do material no secador (GEANKOPLIS, 2003).

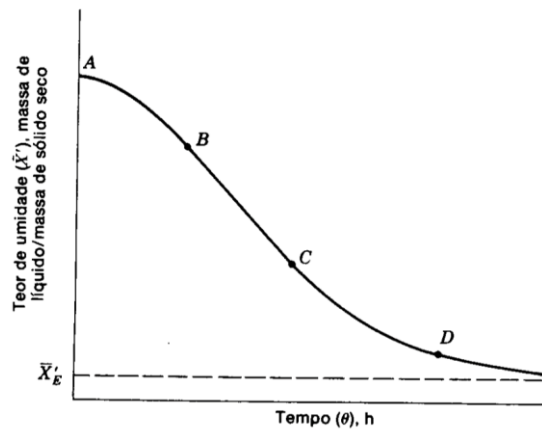
No processo de secagem, os fenômenos de transferência de calor presentes podem ser a condução, convecção e radiação. O calor pode ser transferido diretamente através do ar ou através de uma superfície quente (secagem por contato) (HELDMAN ; LUND, 2007).

Segundo FOUST et al. (1982), um sólido úmido submetido à secagem, mediante a um ar com temperatura e umidade fixas, apresentará um padrão de comportamento. Basicamente têm-se três períodos principais: inicial, de secagem à taxa constante e de secagem à taxa decrescente, como representado nas Figuras 3 e 4.

Após o contato entre o meio secante e a amostra, a temperatura do sólido tende a atingir um regime permanente, representado nas Figuras 3 e 4 pelo segmento AB. Posteriormente observa-se um período de secagem à taxa constante, segmento BC. Nesse período, a temperatura da superfície do sólido atinge a temperatura do bulbo úmido do gás, permanecendo neste regime até que o sólido atinja o teor de umidade crítico.

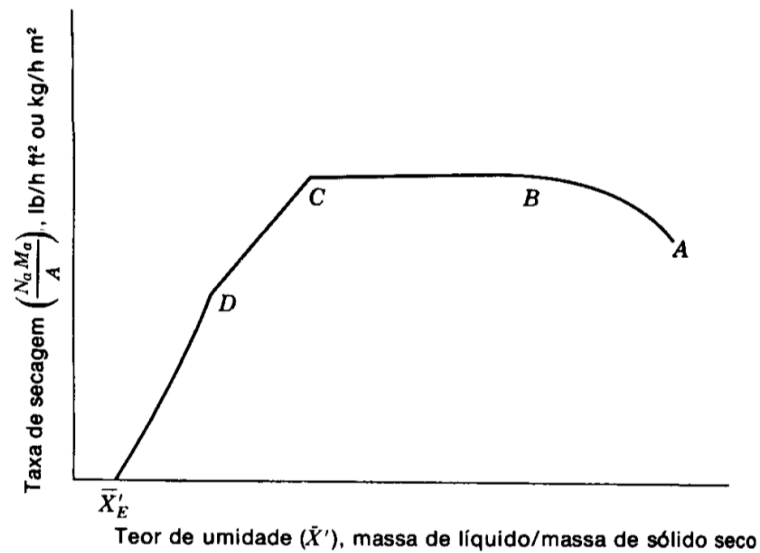
A partir do ponto crítico, ponto C, o fenômeno responsável pelo transporte de água até a superfície do sólido é a difusão da água no interior do sólido. O processo de difusão é lento, de maneira que a taxa de secagem irá decrescer (FOUST et al., 1982; GEANKOPLIS, 2003).

Figura 3- Curva típica de secagem.



Fonte: FOUST et al., 1982.

Figura 4- Curva típica de taxa de secagem.



Fonte: FOUST et al., 1982.

### 3.3.1 Métodos de Secagem por Espalhamento

O método de secagem por espalhamento ou *Tape-Casting* é muito conhecido na indústria de cerâmica, papel, plástico e de tintas, mas também pode ser utilizado na indústria de alimentos. A secagem em tambor (*Drum Dryer*) é um método de secagem por espalhamento bastante conhecido. O equipamento consiste de cilindros horizontais giratórios aquecidos internamente por vapor de água e a suspensão a ser secada é espalhada na superfície externa do secador que adere a ela, a secagem se realiza por condução enquanto o tambor efetua suas rotações (MORAES, RESKA e LAURINDO, 2014; FOUST et al., 1982).

O método de secagem por *Refractance Window* (RW) é utilizado para secagem de suspensões alimentícias e caracterizado por tempos relativamente curtos de secagem e temperatura consideravelmente baixa no interior dos alimentos, quando comparado a outros métodos. O equipamento é simples, portado de esteira plástica que flutua sobre a água quente e pode ser operado em regime contínuo ou descontínuo (OCHOA-MARTÍNEZ et al., 2012). Para promover a vaporização da água do material submetido à secagem, o processo utiliza a energia térmica proveniente da água quente que circula pelo equipamento e é regida pelos fenômenos de condução e radiação. A energia é transferida ao material úmido através da interface de um filme polimérico (*Mylar*<sup>®</sup>), que é parcialmente transparente à radiação infravermelha (NINDO et al., 2007; CLARKE, 2004). O fenômeno de convecção também está presente neste processo e ocorre na superfície do alimento em contato com o ar de secagem e no interior da água de aquecimento (NINDO, TANG, 2007). Esse método pode ser considerado um caso específico de *Cast-Tape Drying*.

O método de secagem por *Cast-Tape Drying* (CTD) envolve de forma majoritária os fenômenos de condução e convecção, havendo transferência de calor e de massa. A transferência de calor por condução está presente no suporte polimérico, entre o filme e o alimento a ser seco e no interior do alimento, e a convecção ocorre entre a superfície do alimento e o ar ambiente. Já a transferência de massa, ocorre por convecção (natural ou forçada) na superfície do alimento e por difusão em seu interior (PARISOTTO, 2016).

### **3.3.2 Uso do Vácuo**

Na secagem a vácuo, devido à baixa pressão do sistema, as moléculas de água com alta energia difundem para a superfície e evaporam, concentrando o vapor de água na superfície e reduzindo o ponto de ebulição da água. Entre o interior do alimento e a sua superfície do produto há grandes gradientes de pressão de vapor, resultando em taxas de secagem maiores do que o observado na secagem convectiva. Assim, 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).

### **3.3.3 Liofilização**

A liofilização ou *freeze drying* é um dos métodos de secagem utilizados na indústria de alimentos. O processo consiste no congelamento do alimento, seguido pela sublimação

direta do gelo (ocasionando mudança de fase do estado sólido para vapor) sob pressão reduzida. O produto recebe calor por condução e também por radiação. A convecção não é relevante sob vácuo (BARBOSA-CÁNOVAS et al., 2005).

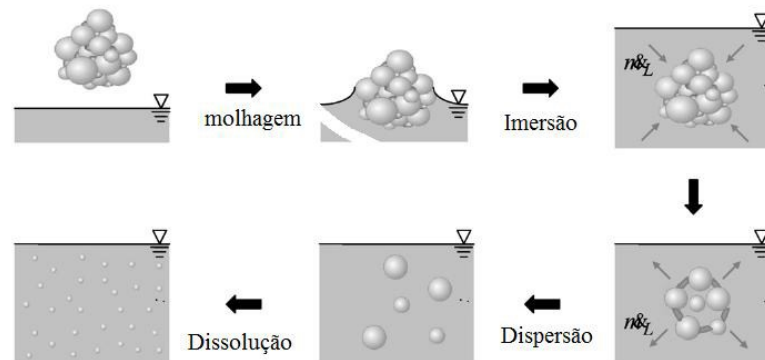
### 3.4 Características de Alimentos em pó

Os pós apresentam diferentes propriedades físicas e podem variar em decorrência do processo utilizado, como tamanho e distribuição das partículas, densidade aparente, porosidade, solubilidade, molhabilidade, dispersibilidade, sendo que a medida e a caracterização destas propriedades ajudam a definir o produto, os parâmetros do processo de produção e os fenômenos que influenciam no seu comportamento (TEUNOU et al., 1999).

### 3.5 Reidratação dos pós

A reconstituição de um pó ocorre em diversas etapas, conforme representado na Figura 5. Inicialmente ocorre a molhagem do aglomerado e penetração do líquido no sistema poroso por forças capilares. O aglomerado é imerso dentro do líquido e ocorre a dissociação das interações entre as partículas e a imersão dessas no interior do volume do líquido, posteriormente ocorre a dissolução das partículas no interior do líquido solvente (FORNY; MARABI e PALZER, 2011).

Figura 5- Etapas da reconstituição de um pó em um líquido.



Fonte: FORNY, MARABI e PALZER, 2011.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Matéria-Prima e Preparação das Amostras

#### 4.1.1 Iogurte

Iogurte natural e integral da marca Batavo, embalado em recipientes contendo 170 g, foi adquirido em comércio local de Florianópolis-SC. As amostras foram armazenadas em refrigerador vertical (BRASTEMP, Brasil), sob temperatura entre 5 °C e 10 °C. Na embalagem do produto consta os seguintes ingredientes: Leite integral e/ou leite reconstituído integral, leite em pó desnatado e fermentos lácteos. A Tabela 4 apresenta a composição nutricional fornecida pelo fabricante.

Tabela 4- Composição nutricional do iogurte natural (Batavo) para cada embalagem de 170 g.

Informação Nutricional (*)	170g (1 Unidade)	(%)VD (**)
Valor Energético	102 kcal = 428 kJ	5
Carboidratos	8,7 g	3
Proteínas	6,0 g	8
Gorduras Totais	4,8 g	9
Gorduras Saturadas	2,9 g	13
Sódio	95 mmg	4
Cálcio	230 mmg	23

Fonte: Embalagem Batavo, 2016.

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

#### 4.1.2 Mirtilo

O mirtilo congelado foi adquirido em Vacaria-RS, marca Frubelle e armazenado em *freezer* a - 18°C.

Para a realização dos experimentos, o mirtilo permaneceu à temperatura de 6 °C durante 15 h para o descongelamento.

### 4.1.3 *Blend*

A matéria-prima utilizada na secagem foi uma mistura de iogurte natural e polpa de mirtilo (*blend*). Após descongelado, o mirtilo foi triturado por 45 segundos em liquidificador doméstico (Arno, Brasil) e posteriormente misturado ao iogurte na proporção 30:70 ; massa de fruta:massa de iogurte. Para formação do *blend* a mistura foi homogeneizada durante 3 minutos. A concentração de sólidos solúveis foi determinada com auxílio de refratômetro digital (ATAGO, modelo PAL-BX/RI, Japão) e os valores encontrados variaram entre 9,4 e 14,8 para o mirtilo; 4,6 e 5,9 para o iogurte e 5,5 e 7,9 °Brix para o *blend*.

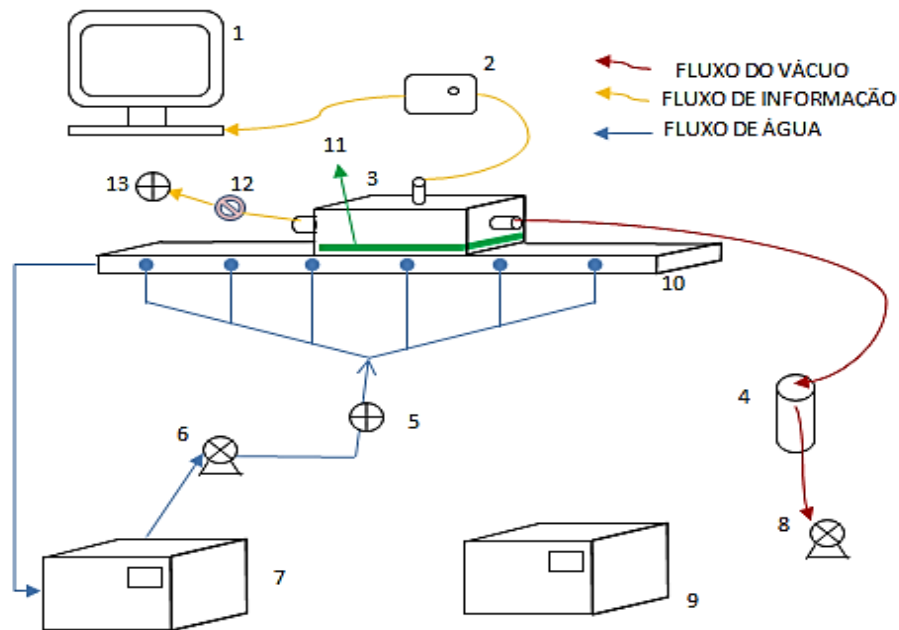
Os experimentos foram realizados no Laboratório de Propriedades Físicas de Alimentos (PROFI) e no Laboratório de Sistemas Porosos (LASIPO), pertencentes à Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

## 4.2 Aparato Experimental

O aparato experimental, apresentado na Figura 6, consiste de uma chapa de alumínio retangular (800 mm x 400 mm) com uma serpentina interna para circulação de água quente proveniente de um banho termostático (Quimis, modelo Q214S, Brasil). Sobre esta superfície foi fixado um filme de fibra de vidro recoberto com 59 % de politetrafluoretileno (Teflon®). O filme teflonado (Lençol Armalon® Standard, Indaco, São Paulo, Brasil apresenta grau alimentício), possui 0,25 mm de espessura sobre o qual a amostra foi espalhada. Acima da superfície metálica foi acoplado um sistema para a realização do vácuo no ambiente de secagem, que consiste de uma caixa metálica (280 mm x 280 mm x 80 mm) com tampa de acrílico, bomba de vácuo (DVP Vacuum Technology, RC-8D, Itália) e um vacuômetro (ILMVAC, D-98693, Alemanha) para monitoramento da pressão dentro do sistema. Na região central da tampa de acrílico está fixado um termômetro de infravermelho (Raytek CI, modelo RAYCML TJ) acoplado a um sistema de aquisição de dados (Raytek, Data Temp® Multidrop Rev. 4.7.5, Pequim, China). Além disso, um banho termostático (Quimis, modelo Q214S, Brasil) auxiliar foi utilizado para resfriamento do equipamento, no final do processo de secagem.



Figura 6- Aparato Experimental CTSV.



Fonte: COSTA, 2017.

- 1- Computador
- 2- Sensor de temperatura por infravermelho
- 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

#### 4.3 Secagem do *blend* em *Cast-Tape* sob vácuo

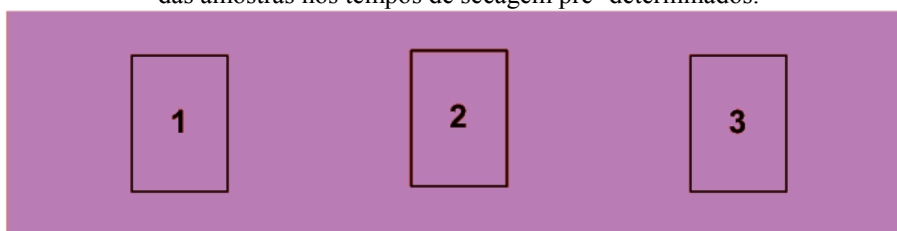
O *blend* foi espalhado sobre o filme polimérico com o auxílio de um espalhador manual (*doctor blade*) com *gap* de espalhamento de 2 mm. Após o espalhamento, a câmara de vácuo era acoplada ao sistema e a pressão no ambiente de secagem era reduzida e mantida em torno de 10 kPa durante todo o processo. A temperatura da chapa metálica era mantida a

50 °C com água quente circulante e ao final do processo de secagem, o banho termostático auxiliar, a 4 °C, era utilizado para circular água fria para o arrefecimento do produto.

### 4.3.1 Evolução temporal da umidade livre

A cinética de secagem foi realizada em triplicata (em dias distintos) de experimentos destrutivos, afim de evitar influência de agentes externos e da interrupção do processo no comportamento das curvas. Durante o procedimento, foram retiradas amostras a cada 4 minutos, em três diferentes regiões da amostra (Figura 7). A umidade foi determinada pelo método gravimétrico, em estufa a vácuo (TECNAL, modelo TE-395) a 70 °C (A.O.A.C., 2005). A temperatura da amostra foi monitorada por sensor de infravermelho (FLUK, modelo FLUKE 62 MAX +, Pequim, China) acoplado no centro da câmara de vácuo.

Figura 7- Divisão do espalhamento em três regiões distintas como indicado pelos números 1, 2 e 3 para a retirada das amostras nos tempos de secagem pré- determinados.



Fonte: Autor, 2017.

A taxa de secagem no período de taxa constante foi obtida pelo coeficiente angular da equação linear ajustada aos dados experimentais de umidade vs tempo para cada curva de secagem.

A capacidade evaporativa (CE) foi determinada de acordo com a Equação 1.

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

sendo  $\frac{dX_s}{dt}$  a taxa de secagem ( $\text{kg kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ ) no período de taxa constante,  $X_u$  a umidade inicial em base úmida do *blend* de iogurte natural com mirtilo ( $\text{kg kg}^{-1}$ ),  $\rho$  a massa específica do *blend* ( $\text{kg m}^{-3}$ ) e  $L_p$  o *gap* de espalhamento utilizado (m). A umidade inicial do iogurte natural foi de  $0,86 \text{ kg kg}^{-1}$  (b. u.) e a massa específica, determinada em picnômetro de vidro, foi de  $1357,9 \text{ kg m}^{-3}$ .

### 4.3.2 Evolução temporal de Atividade da Água ( $a_w$ )

As cinéticas de evolução da atividade de água foram realizadas por método destrutivo. O procedimento utilizado no processo foi idêntico ao descrito anteriormente para a construção da evolução temporal de umidade (Seção 4.3.1). Neste caso as amostras retiradas eram analisadas com o auxílio de higrômetro digital (Aqualab Modelo -Series 3 TE, Decagon Devices, Inc., Pullman, EUA), a 25 °C. As análises foram realizadas em triplicata.

### 4.4 Liofilização

Amostras do *blend* de iogurte natural com mirtilo foram liofilizadas em um liofilizador de bancada (LIOTOP, Modelo L101, Brasil), por 72 horas com uma pressão de 0,02 kPa e temperatura de 60 °C .

### 4.5 Moagem

Ao final dos processos de secagem de *Cast-Tape* sob vácuo e liofilização, as amostras foram moídas em moinho de facas (TECNAL, TE 631/2, Brasil) por 10 s, com o objetivo de transformá-la em pó.

### 4.6 Reidratação

Os pós obtidos pelos processos de secagem por *Cast Tape* sob vácuo e liofilização, foram reidratados adicionando-se água destilada, até atingirem a concentração de sólidos solúveis média inicial (7,5 °Brix) e caracterizados a fim de serem comparados ao *blend* inicial.

### 4.7 Caracterização das amostras

As análises físico-químicas realizadas para o *blend*, o pó e os pós reconstituídos do *blend* de iogurte natural e mirtilo estão indicadas na Tabela 5.

Tabela 5- Análises físico-químicas realizadas.

Análise	Metodologia	Blend	Pó	Pó reconstituído
Umidade	A.O.A.C, 2005	✓	✓	✓
$a_w$	Higrômetro digital	✓	✓	✓
Microscopia Óptica	Microscópio Invertido Olympus IX83	✓	✓	✓
MEV	LCME		✓	
Tempo de dispersão	Dacanal, 2005		✓	
Massa específica e porosidade do leito	Barbosa-Cánovas et al., 2005; Goula e Adamopoulos, 2008		✓	
Sólidos solúveis	Refratômetro de bancada	✓		✓
pH	pHmetro	✓		✓
Análises das bactérias lácticas	IDF, 1997	✓	✓	

#### 4.7.1 Umidade

A umidade foi determinada segundo A.O.A.C. (2005), pelo método gravimétrico em estufa a vácuo (TECNAL, TE-395, Brasil) a 70 °C. As determinações foram realizadas em triplicata. A umidade das amostras, em base seca, foi calculada através da Equação 2,

$$X = \frac{m_o - m_f}{m_f} \quad (2)$$

em que  $X$  é a umidade em base seca ( $\text{g g}^{-1}$ ),  $m_o$  e  $m_f$  são as massas (g) da amostra inicial e de sólidos secos, respectivamente.

#### 4.7.2 Atividade da Água

As análises de atividade de água das amostras foram realizadas em triplicata e determinadas em higrômetro digital (Aqualab, Decagon Devices, USA).

### 4.7.3 Microscopia Óptica

As amostras (iogurte, mirtilo processado, *blend*, pós e reidratados) foram colocadas em lâminas dispersas em glicerol, cobertas com lamínulas de vidro e observadas em microscópio óptico com aumento de 40 e de 100 vezes (Microscópio Invertido Olympus IX83) no Laboratório Multiusuário de Estudos em Biologia (LAMEB) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

### 4.7.4 Morfologia do pó

As amostras foram recobertas com ouro em metalizador (LEICA, Modelo SCD 500, Alemanha) e analisadas em microscópio eletrônico de varredura convencional (MEV) com filamento de tungstênio (JEOL, Modelo JSM-6390LV, E.U.A.), com aumentos de 150, 200, 650 e 1000 vezes para as amostras desidratadas por CTSV e de 100, 600 e 1200 vezes para as amostras liofilizadas. As análises foram realizadas no Laboratório Central de Microscopia Eletrônica (LCME) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

### 4.7.5 Massa específica aparente, massa específica real e porosidade

A massa específica aparente do leito de partículas foi determinada colocando-se aproximadamente 5 g do pó em uma proveta graduada de 10 mL  $\pm$  0,2 mL, e realizando leves batidas repetidamente sobre uma superfície plana a com uma distância de aproximadamente 2 cm entre a superfície e a proveta, até que a altura do leito de partículas mantivesse-a constante entre as batidas sucessivas. Posteriormente, sabendo a massa de pó adicionada à proveta, calculou-se a razão entre a massa e o volume ocupado pelo pó na proveta. Os experimentos foram realizados em triplicata, e a massa específica aparente foi expressa por g cm<sup>-3</sup>.

A determinação da massa específica real foi realizada utilizando-se picnômetro de gás hélio (Micromeritics, AccuPyc II 1340, EUA), pela medida da mudança de pressão do gás em um volume calibrado. Foram realizadas dez leituras para cada amostra no Laboratório de Extração Supercrítica e Termodinâmica (LATESC). A massa específica real, expressa em g cm<sup>-3</sup>, foi determinada pela razão entre a massa previamente determinada e o volume absoluto.

A porosidade do leito de partículas ( $\epsilon$ ) foi calculada segundo a Equação 3 (BARBOSA-CÁNOVAS et al., 2005).

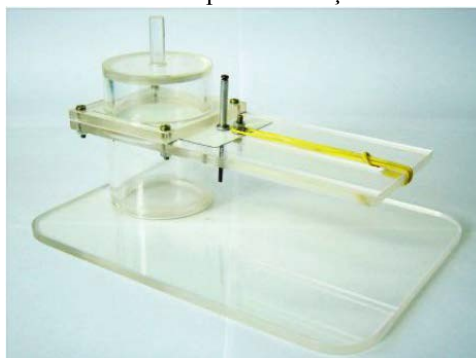
$$\epsilon = \frac{\rho_P - \rho_b}{\rho_P} \quad (3)$$

onde  $\rho_P$  é a massa específica real ( $\text{g cm}^{-3}$ ) e  $\rho_b$  é a massa específica aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ ).

#### 4.7.6 Tempo de Dispersão

O tempo de dispersão é o tempo necessário para a submersão de todas as partículas de pó após serem colocadas sobre a superfície de um líquido sem agitação. Para determiná-lo utilizou-se o aparato experimental apresentado na Figura 8. Nesta análise, o compartimento do aparato foi preenchido com 80 mL de água destilada com temperatura entre 27 °C e 29 °C. Sobre a lâmina móvel, foi colocado cerca de 1 g da amostra. Quando a lâmina móvel foi acionada iniciou-se a contagem do tempo até que toda a amostra fosse submersa, determinando o tempo de dispersão.

Figura 8- Aparato para medir o tempo de dispersão dos pós de iogurte com mirtilo produzidos por *Cast-Tape* sob vácuo e por liofilização.



Fonte: DACANAL, 2005.

#### 4.8 Caracterização do pó reconstituído

Após o pó ser reconstituído até a concentração de sólidos solúveis (°Brix) do *blend*, foi caracterizado quanto aos sólidos solúveis, umidade livre, atividade de água e potencial hidrogeniônico.

#### 4.8.1 Sólidos Solúveis

O teor de sólidos solúveis do *blend* e do pó reidratado, em °Brix, foi determinado através de refractômetro digital (ZEISS, JENA, ALEMANHA), em triplicata.

#### 4.8.2 Potencial Hidrogeniônico (pH)

As medidas de pH do *blend* e do pó reidratado foram realizadas em triplicata com auxílio de pHmetro digital (Quimis, modelo Q400MT, Brasil). O aparelho foi previamente calibrado com soluções padrão (pH 4,00 e pH 7,00).

#### 4.9 Análise Microbiológica

Com o objetivo de verificar a viabilidade das bactérias lácticas do iogurte utilizado, do *blend* (matéria-prima) e dos pós obtidos por *Cast-Tape* sob vácuo (CTSV) e por liofilização, foram realizadas contagens microbiológicas de bactérias lácticas. As análises foram realizadas em duplicata no laboratório de Engenharia Bioquímica (ENGEBIO) do Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). No dia anterior às análises, os materiais utilizados foram esterilizados em autoclave para eliminar possíveis contaminações.

As amostras, que estavam contidas em embalagens esterilizadas, foram abertas sob chama do bico de Bunsen para prevenir contaminação do ambiente na amostra. Posteriormente, pesou-se 5 g de iogurte *in natura*, 7,2 g de *blend*, 1,2 g do pó obtido por CTSV e 1,0 g do pó obtido por liofilização e adicionou-se 45 mL, 64,8 mL, 10,8 mL e 9 mL respectivamente, 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 %.

Uma série de diluições ( $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$ ,  $10^{-6}$  e  $10^{-7}$ ) foram realizadas a partir dessa diluição, inoculando-se 1 mL de cada diluição em placas de Petri estéreis descartáveis e colocando uma pequena quantidade de ágar Man, Rugosa e Sharp (MRS, Kasvi) nas mesmas. Após a secagem do meio, adicionou-se uma segunda camada de MRS, a fim de criar uma atmosfera de 15 % de CO<sub>2</sub> e de solidificar o meio. Posteriormente, as placas foram invertidas e incubadas em estufa BOD (Dist, Florianópolis, Brasil) a 30 °C por 72 h (IDF, 1997). Após o período de incubação, as colônias contidas nas placas foram contadas com auxílio de um

aplicativo (COZY magnifier & microscope) com aumento de 4x. Os resultados foram expressos em Unidades Formadoras de Colônias (UFC) por g da amostra.

#### **4.10 Análises Estatísticas**

Os dados experimentais foram analisados utilizando análise de variância (ANOVA) pelo 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).



## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Cinética de Umidade

As cinéticas de secagem de *Cast-Tape* sob vácuo são apresentadas na Figura 9, e os respectivos perfis de temperatura durante a secagem na Figura 10.

Figura 9- Evolução temporal da umidade livre na secagem de *blend* de iogurte natural com mirtilo durante a secagem em CTSV.

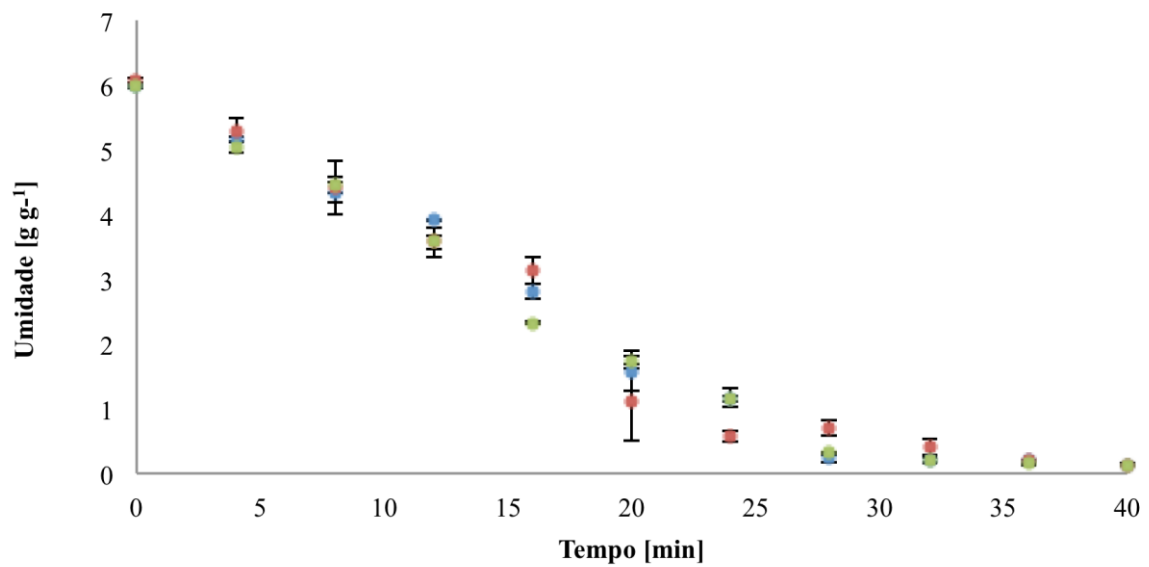
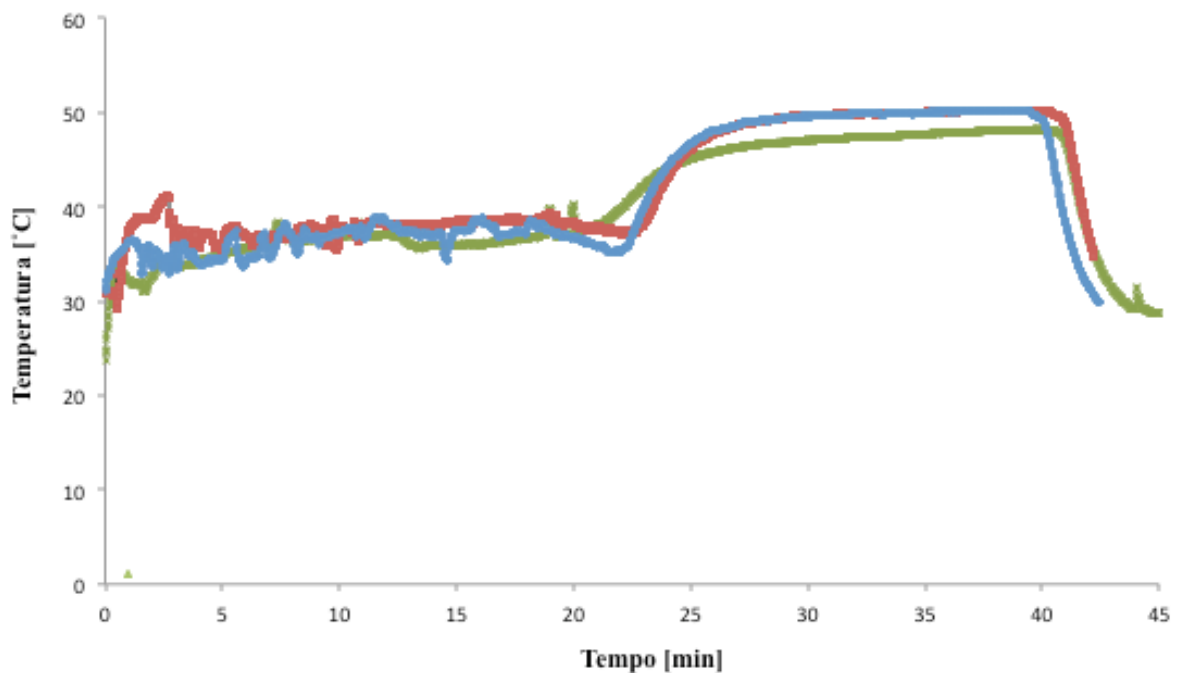


Figura 10- Curvas de temperatura do *blend* de iogurte natural com mirtilo durante a secagem em CTSV.



O *blend* de iogurte e mirtilo apresentou uma umidade inicial de  $6,02 \pm 0,04 \text{ g g}^{-1}$  e, após 40 minutos de secagem por CTSV, o produto atingiu umidade de  $0,12 \pm 0,01 \text{ g g}^{-1}$ .

Através das curvas de secagem, pode-se observar que boa parte do processo transcorre dentro do período de secagem à taxa constante, onde a superfície do produto encontra-se saturada com água e a água evapora comportando-se como água livre. Durante este período, a temperatura da amostra permanece constante, pois a transferência de calor é compensada pela transferência de massa (evaporação da umidade com taxa de resfriamento constante), como pode-se observar na Figura 10. Segundo Geankopolis (1993), o período de secagem à taxa constante termina quando a superfície do sólido não possui mais água disponível para evaporação, a partir deste momento a transferência de umidade por difusão torna-se predominante na secagem.

A Figura 10 representa o perfil de temperatura durante o processo de secagem. Observa-se que nos primeiros minutos de secagem houve oscilações de temperatura devido à variação da pressão do sistema para sua regulação. Pode-se visualizar a manutenção de uma temperatura média constante, em torno de  $37 \text{ }^\circ\text{C}$  durante o período de taxa constante de secagem. Após cerca de 20 minutos de secagem, ocorre um aumento na temperatura do produto devido à redução da taxa de secagem. Posteriormente, o processo de secagem ocorre em taxa de secagem decrescente, onde a troca de calor não é mais compensada e o aumento da temperatura ocorre até entrar em equilíbrio com o sistema.

Para finalizar o processo, resfriou-se o sistema com água a  $4 \text{ }^\circ\text{C}$  a fim de manter uma menor temperatura do produto durante a retirada da amostra, além disso o arrefecimento facilitou a remoção da amostra. Sem a utilização deste resfriamento, a temperatura da amostra iria aumentar de forma significativa quando a pressão do sistema fosse reestabelecida (pressão atmosférica). Assim, a menor temperatura empregada garantiu que os microrganismos presentes no produto não sofressem mais injúrias devido a elevadas temperaturas.

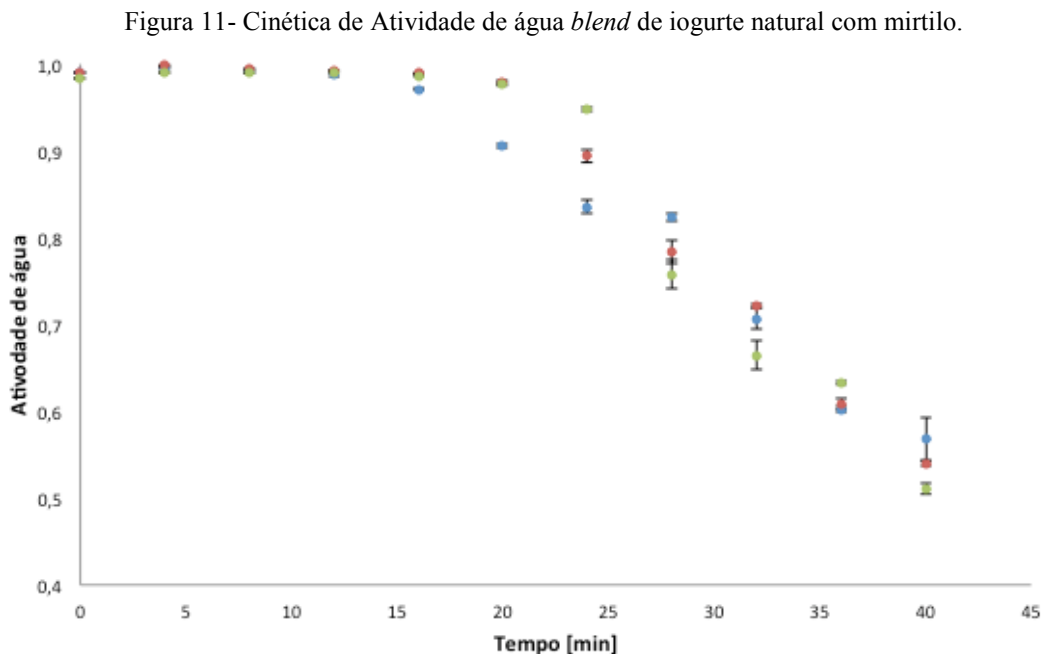
A taxa de secagem durante o período de taxa constante (20 minutos) foi de  $0,20 \pm 0,02 \text{ g g}^{-1} \text{ min}^{-1}$  e a capacidade evaporativa do *Cast-Tape* sob vácuo foi de  $5,10 \pm 0,03 \text{ kg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ .

Manenti (2014) estudou a desidratação de iogurte desnatado por *Refractance Window* com exaustão, com espessura de espalhamento de 2 mm e temperatura de  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  e obteve como resultados para taxa de secagem  $0,52 \text{ g g}^{-1} \text{ min}^{-1}$  e para a capacidade evaporativa de  $6,84 \text{ kg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ . Já Costa (2017) estudou a desidratação de iogurte natural em CTSV apresentando as mesmas condições de processo do atual trabalho e obteve valores de  $0,23 \text{ g g}^{-1} \text{ min}^{-1}$  e  $4,32 \text{ kg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  para a taxa de secagem e capacidade evaporativa, respectivamente.

Ao comparar esse trabalho com os resultados obtidos por Manenti (2014) e Costa (2017), observa-se que a taxa de secagem e capacidade evaporativa variam de acordo com o processo de secagem utilizados. Os trabalhos que utilizaram como método de secagem o *Cast-Tape* sob vácuo, obtiveram resultados próximos mesmo com produtos diferentes sendo submetidos à secagem.

## 5.2 Cinética de Atividade da Água ( $a_w$ )

A Figura 11 apresenta os dados da evolução temporal da atividade de água ( $a_w$ ) durante a secagem por CTSV.



Inicialmente o *blend* de iogurte natural com mirtilo apresenta uma atividade de água 0,988 e atingiu 0,540 após 40 minutos de secagem. Krasaekoopt e Bhatia (2012) ao produzirem iogurte em pó utilizando *Foam-Mat Drying* a 60°C obtiveram valor de  $a_w$  de 0,348, após 3 horas de secagem.

Kim et al. (1997) ao estudarem a sobrevivência das bactérias ácido lácticas no iogurte por secagem em microondas a vácuo, encontraram uma relação linear entre atividade de água, temperatura e destruição bacteriana para temperaturas na faixa de 35°C a 45°C. Quanto maior a atividade de água e a temperatura, maior será a destruição bacteriana. Já para faixa de temperatura de 50°C a 60°C essa relação torna-se exponencial. Porém a morte das bactérias

ácido lácticas é muito mais sensível ao aumento de temperatura do que ao aumento da atividade de água.

O crescimento de micro-organismos em um alimento é dependente da disponibilidade de água livre. A maioria das bactérias e dos micro-organismos patógenos não se desenvolvem em  $a_w$  inferiores a 0,86, mesmo que os outros parâmetros sejam ideais, já para fungos e leveduras este valor reduz para 0,62 (BARBOSA-CÁNOVAS et al., 2003; KAREL; LUND, 2003). Assim, diminuindo a  $a_w$  é possível evitar o crescimento de micro-organismos deteriorantes que podem diminuir a vida útil dos alimentos.

### 5.3 Caracterização dos Pós

#### 5.3.1 Umidade e atividade de água

Os dados de umidade final e de atividade de água do pó obtido pelos processos de *Cast-Tape* sob vácuo e liofilização são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6- Umidade final dos pós do *blend* produzidos em CTSV e liofilizado.

Processo	Umidade (g g <sup>-1</sup> )	$a_w$
CTSV	0,124 ± 0,001 <sup>b</sup>	0,585 ± 0,000 <sup>b</sup>
Liofilizado	0,037 ± 0,010 <sup>a</sup>	0,195 ± 0,000 <sup>a</sup>

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

Umidade final e atividade de água dos processos de secagem por CTSV e liofilização apresentam diferenças significativas que são consequência das condições operacionais aos quais foram submetidos.

Em ambos os processos de secagem a atividade de água é inferior a 0,6 reduzindo o risco em relação ao crescimento de fungos, bactérias patogênicas e leveduras no produto. Porém segundo Fennema, Damodaran e Parkin (2010), a atividade de água máxima adequada para a conservação da maior parte dos alimentos encontra-se na faixa de 0,35 a 0,50. Para a estabilidade do pó, o resultado encontrado através do processo de liofilização é mais vantajoso em relação ao encontrado por CTSV, pois quanto maior a atividade de água, mais água livre disponível, facilitando a ocorrência de reações químicas e enzimáticas.

Kim e Bhowmik (1994) ao secar iogurte por diferentes processos a uma temperatura de 50 °C encontraram valores de umidade iguais a 0,0154 g g<sup>-1</sup> para secagem em micro-ondas

a vácuo,  $0,0157 \text{ g g}^{-1}$  para secagem por *spray dryer* e  $0,0227 \text{ g g}^{-1}$  para liofilização. Resultados inferiores quando comparados ao *blend*, que pode ter sido influenciado devido à adição da fruta no iogurte. Na Figura 12 apresenta-se uma imagem da amostra liofilizada.

Figura 12- Pó obtido após o processo de liofilização.



Fonte: Autor, 2017.

### 5.3.2 Massa específica e porosidade

Os resultados da porosidade (Equação 3) e das massas específicas real e aparente dos pós para ambos os processos de secagem estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7- Massa específica aparente e real e porosidade dos pós do *blend* produzidos em CTSV e liofilizador.

Amostra	Massa específica aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ )	Massa específica real ( $\text{g cm}^{-3}$ )	Porosidade (%)
CTSV	$0,52 \pm 0,01^a$	$1,3579 \pm 0,0002^a$	$62^a$
Liofilizado	$0,60 \pm 0,01^b$	$1,3477 \pm 0,0002^b$	$55^b$

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

Os resultados encontrados para massa específica real, aparente e porosidade apresentam diferenças significativas entre os processos de secagem por *Cast-Tape* sob vácuo e liofilização. Para a massa específica aparente, os valores obtidos encontram-se na faixa definida por Barbosa-Cánovas, et al. (2005), entre  $0,3$  e  $0,8 \text{ g cm}^{-3}$  para alimentos em pó.

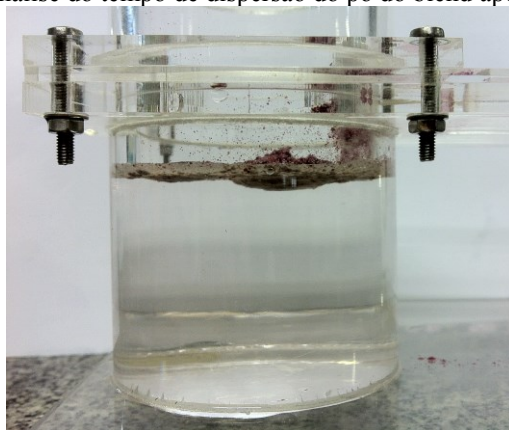
Em ambos os processos a massa específica aparente é menor do que a massa específica real, pois a primeira leva em conta a porosidade do material, considerando os espaços vazios entre as partículas. O pó obtido por liofilização possui maior massa específica aparente e menor porosidade, ocupando um menor volume no armazenamento.

### 5.3.3 Tempo de Dispersão

Os valores de tempo de dispersão dos pós produzido por CTSV e por liofilização foram superiores a 25 minutos.

O processo de dispersão do produto em pó no líquido pode ser dividido em quatro etapas: umedecimento, submersão, dispersão e dissolução (Hogekamp e Schubert, 2003). Após o umedecimento do pó de iogurte natural com mirtilo, o material submerso formou uma película na superfície da água (possivelmente devido à grande quantidade de gordura), impossibilitando parte da dispersão e dissolução do pó no meio, conforme mostrado na Figura 13.

Figura 13- Análise do tempo de dispersão do pó do blend após 25 minutos.

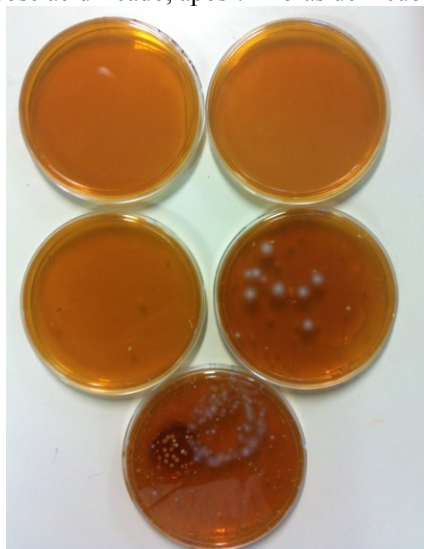


Fonte: Autor, 2017

### 5.3.4 Contagem das bactérias lácticas

A contagem de bactérias lácticas, conforme mostrado na Figura 14 foi realizada no iogurte natural, no *blend* de iogurte natural com mirtilo e nos pós obtidos pela secagem por CTSV e por liofilização. Os resultados estão expressos na Tabela 8 em unidades formadoras de colônia por grama de pó de iogurte ( $\text{UFC g}^{-1}$ ).

Figura 14- Colônias de *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* desenvolvidas em meio de cultura MRS – ágar glicose acidificado, após 72 horas de incubação



Fonte: Autor, 2017.

Tabela 8- Viabilidade das bactérias lácteas no iogurte in natura, no *blend* e nos pós produzidos em CTSV e liofilizado.

<b>Bactérias Lácticas</b>	
<b>Amostra</b>	<b>Resultado*</b>
Iogurte <i>in natura</i>	$5,33 \times 10^6 \pm 1,79 \times 10^3$ <sup>a</sup>
<i>Blend</i>	$2,32 \times 10^6 \pm 1,07 \times 10^5$ <sup>b</sup>
CTSV	$2,86 \times 10^5 \pm 5,57 \times 10^4$ <sup>c</sup>
Liofilizado	$1,93 \times 10^5 \pm 4,80 \times 10^4$ <sup>c</sup>

\*Padrão RDC nº 5/ 2000 - Tolerância:  $10^7$  UFC/g

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

A partir da Tabela 8, observa-se que a morte bacteriana no pó produzido pela secagem em CTSV não apresentou diferença significativa quando comparado ao pó produzido por liofilização, processo atualmente utilizado na indústria. O processo de secagem por CTSV é economicamente mais viável do que a liofilização, desde a implementação do equipamento até ao custo do processo, sendo que CTSV possui 40 minutos de operação e a liofilização 72 horas.

Nota-se também uma diminuição das bactérias lácticas do iogurte natural para o *blend*. A morte dos microrganismos pode estar associada à adição do mirtilo ao iogurte, pois a fruta diminui a acidez do meio de 4,1 para 3,6. Segundo Tamine e Robinson (1985), o valor do pH implica na atividade metabólica das bactérias, podendo favorecer um determinado grupo em detrimento de outro. Bactérias do gênero *Lactobacillus* crescem e toleram pH

menores do que as do gênero *Streptococcus*. De acordo com Saboya et al. (1997), *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* tem seu crescimento inibido para valores de pH menores que 4,2 enquanto que *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*. tolera valores menores na faixa de pH de 3,5-3,8.

Os resultados das contagens não estão de acordo com a legislação brasileira para iogurtes, pois o produto para ser considerado um iogurte deve apresentar a contagem das bactérias lácticas igual ou superior a  $10^7$  UFC g<sup>-1</sup>, o que não demonstra nos valores obtidos. Porém, ao analisar a contagem microbiana, os microrganismos mantiveram-se presentes durante a secagem por *Cast-Tape* sob vácuo. Isto se deve às condições submetidas no processo que não ultrapassam a temperatura de 50 °C. Os *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* possuem crescimento ótimo na faixa de 45 °C-50 °C já para o *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* o crescimento ótimo está entre 37 °C e 45 °C (SABOYA et al., 1992, TAMINE E ROBINSON, 1991). Durante o processo as amostras permaneceram em torno de 35 °C e não ultrapassaram a temperatura de 50 °C sendo favorável para a manutenção dos microrganismos.

Outros parâmetros além da temperatura de secagem influenciam na manutenção das bactérias lácticas. Ao analisar a literatura, estudos feitos por Poirier et al. (1998) mostram que além do processo de secagem utilizado, a temperatura de reidratação também possui um papel importante quanto à manutenção dos microrganismos viáveis. Sendo que bactérias lácticas reidratadas a 25°C obtiveram uma viabilidade de 35 % em relação às amostras *in natura*, enquanto que as bactérias reidratadas as 37°C obtiveram viabilidade de 61 %.

## **5.4 Caracterização dos Pós Reidratados**

### **5.4.1 Umidade, atividade de água, sólidos solúveis e pH**

Os pós processados em *Cast-Tape* sob vácuo e liofilização foram reidratados com água destilada até a concentração média de sólidos solúveis inicial (7,5 °Brix) e analisados quanto à umidade, atividade de água, sólidos solúveis (SST) e pH. Os resultados das análises estão indicados na Tabela 9.



Tabela 9- Análises dos pós reidratados do *blend* produzido em CTSV e liofilizado.

<b>Parâmetros Analisados</b>	<b>CTSV</b>	<b>Liofilizado</b>
Umidade (g g <sup>-1</sup> b.s.)	6,15 ± 0,24 <sup>b</sup>	6,04 ± 0,03 <sup>a</sup>
a <sub>w</sub>	0,995 ± 0,001 <sup>b</sup>	0,998 ± 0,001 <sup>a</sup>
SST (°Brix)	7,48 ± 0,54 <sup>a</sup>	7,56 ± 0,63 <sup>a</sup>
pH	3,95 ± 0,01 <sup>b</sup>	3,87 ± 0,01 <sup>a</sup>

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

O pó reidratado apresentou valores de umidade de 6,15 g g<sup>-1</sup> para o CTSV e 6,04 g g<sup>-1</sup> para o liofilizado, similares quando comparados à umidade inicial da matéria prima (6,02 g g<sup>-1</sup>). Os valores obtidos de atividade de água para os pós reidratados, CTSV (0,995) e liofilização (0,998) foram ligeiramente superiores aos da matéria-prima inicial (0,988). Tal fenômeno ocorre devido à histerese. A a<sub>w</sub> está associada à quantidade de água livre no produto. Para determinar a estabilidade de um produto, a a<sub>w</sub> apresenta-se como um fator mais importante do que a umidade (RAHMAN; LABUZA, 2007), pois a água livre pode favorecer reações químicas e enzimáticas.

O *blend* tinha um pH de 3,60 ± 0,06. Após ser submetido aos processos de secagem por CTSV e liofilização e posteriormente ser reidratado, apresentaram potencial hidrogeniônico de 3,95 e 3,87, respectivamente, valores ligeiramente superiores aos iniciais. O pH de iogurtes permitido pela IN n° 46 do MAPA (BRASIL, 2007), deve ser maior que 4,0 o que não ocorre para o *blend*. Tal fato pode ser explicado devido à adição do mirtilo (pH 2,64) que diminuiu o pH do meio de 4,1 para 3,6.

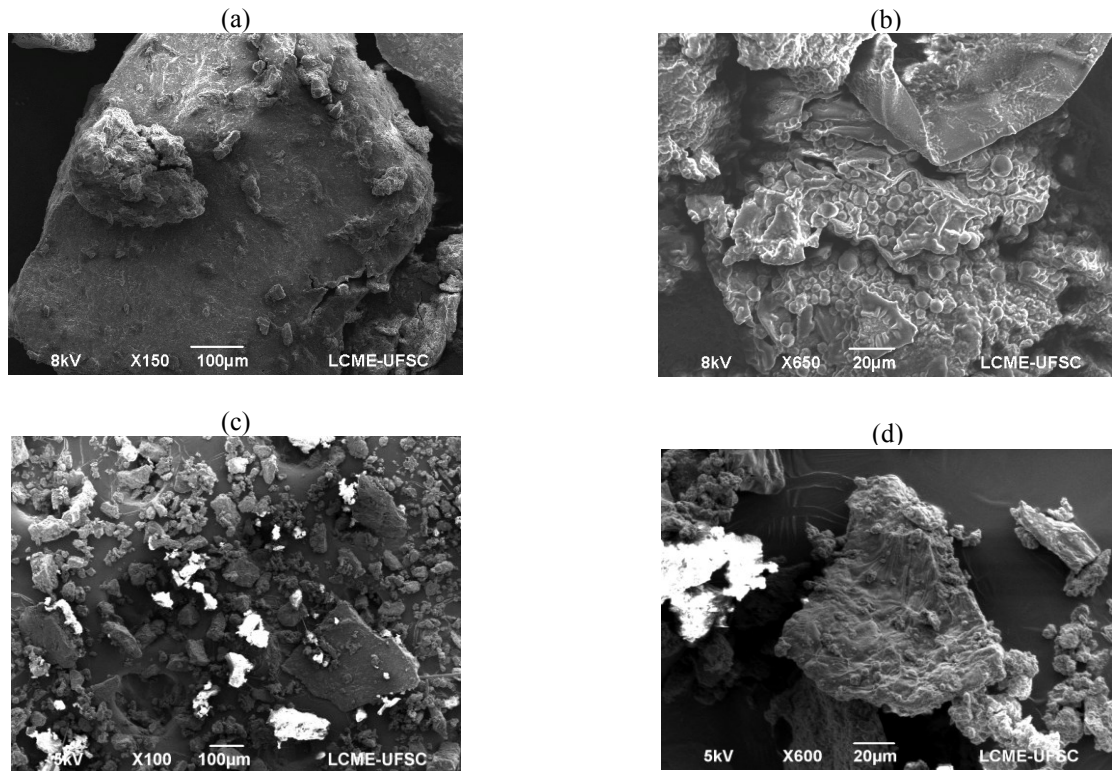
A reidratação visa a restauração do produto até uma condição próxima a da matéria-prima utilizada. Normalmente é composta por três processos simultâneos: absorção de água, o inchaço dos componentes hidrofílicos e a lixiviação de sólidos solúveis. Na fase inicial, a absorção de água é mais rápida, a taxa diminui gradativamente conforme o teor de umidade tende ao equilíbrio. Porém o resultado depende do grau de rompimento celular e estrutural (GARCÍA-SEGOVIA, ANDRÉS-BELLO e MARTÍNEZ-MONZÓ, 2011). Após a secagem, os pós foram passados no moinho de facas, contribuindo para a degradação estrutural do produto.

#### 5.4.2 Microestrutura dos pós

A morfologia dos pós obtidos por *Cast-Tape* sob vácuo e liofilização é apresentada na Figura 15 e também na Figura A no Apêndice ao final deste trabalho. De acordo com Man et al. (1999), o tipo de processo de secagem influencia na estrutura dos grânulos do pó. Triboli (2014) estudou a secagem do iogurte por atomização com secador e encontrou partículas esféricas com estrutura fundamentalmente lisa. Tal resultado difere do apresentado na Figura 15, onde as partículas são rugosas de superfície irregular, o que pode ser explicado devido ao processo de secagem e também por ser moído no moinho de facas.

Pós que possuem uma superfície escamosa apresentam menor área superficial em relação às partículas esféricas (CAPARINO ET AL., 2012) o que reduz a suscetibilidade à oxidação dos compostos, sendo importante em produtos com elevado teor lipídico (SOUZA, 2015).

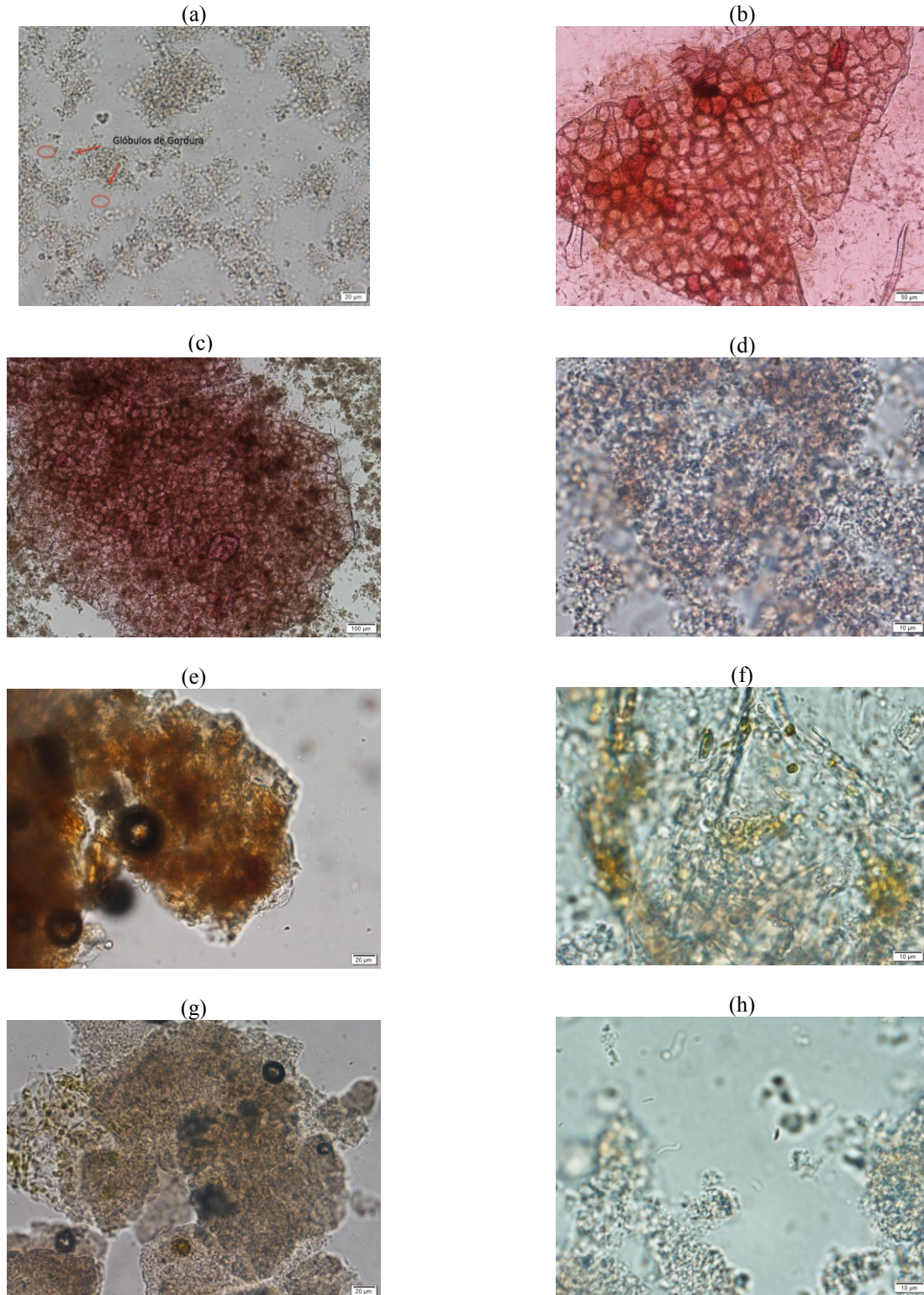
Figura 15-Microscopia eletrônica de varredura (MEV) para amostras dos pós produzidos por (a)- CTSV com aumento de 150x, (b)- CTSV com aumento de 650x, (c)- Liofilizado com aumento de 100x e (d)- Liofilizado com aumento de 600x



### 5.4.3 Microscopia Óptica

Na Figura 16 estão apresentadas as imagens obtidas pelo microscópio óptico do iogurte natural, mirtilo, *blend* de iogurte com mirtilo, pós obtidos por *Cast-Tape* sob vácuo e liofilização e também dos reidratados a partir dos pós obtidos em cada processo de secagem do presente trabalho.

Figura 16-Imagens obtidas do iogurte, do mirtilo e dos *blends* de iogurte natural com mirtilo *in natura* e os reconstituídos, obtidas em microscópio óptico (a)- Iogurte *in natura* aumento de 40 x, (b)- Mirtilo aumento de 20 x, (c)- *Blend* aumento de 40 x, (d)- *Blend* aumento de 100 x, (e)-Pó obtido por CTSV aumento de 40 x, (f)- Reidratado de pó obtido por CTSV aumento de 100 x, (g)- Pó obtido por FD aumento de 40 x, (h)- Reidratado de pó obtido por FD aumento de 100 x.



Na Figura 16 (a) tem-se o iogurte natural, sendo possível visualizar os aglomerados proteicos assim como glóbulos de gordura. Já na figura 16 (b) pode-se observar a parede vegetal do mirtilo. Em 16 (c) observa-se a parede vegetal do mirtilo e aglomerados de iogurte. Já nas figuras 16 (e) e (g), nota-se que a parede vegetal do mirtilo sofreu alterações quando comparado com (c).

A coloração do mirtilo no *blend* pode ser observada nas imagens da Figura 16. Em algumas imagens percebem-se as gotículas de gordura, que possuem formas e tamanhos distintos, para as diferentes amostras. O *blend* reconstituído a partir dos pós de CTSV e liofilizado apresentou características similares às observadas no *blend*, com partículas de gordura menores e bem distribuídas, indicando uma boa reconstituição desses pós.

Silva (2017) ao estudar iogurte natural obteve bons resultados para o pó reconstituído da liofilização quando comparado ao pó reconstituído por CTSV.

## 6 CONCLUSÕES

As cinéticas de secagem por *Cast-Tape* sob vácuo apresentam períodos de aquecimento, secagem à taxa constante e período de secagem à taxa decrescente, comportamento típico de secagem convectiva. A utilização do vácuo permitiu a redução da umidade de 6,02 g g<sup>-1</sup> para 0,12 g g<sup>-1</sup> utilizando temperaturas médias de processo de 40°C.

A atividade de água do pó obtido por CTSV inibe o crescimento microbiano, porém não inibe reações enzimáticas e oxidações lipídicas, o que pode ser reduzido com a utilização correta de embalagens.

Ao analisar os resultados da contagem microbiana, conclui-se que houve a manutenção parcial dos microrganismos após serem submetidos aos processos de secagem por *Cast-Tape* sob vácuo e liofilização. Isto se deve ao fato das amostras não atingirem temperaturas superiores a 50°C. Quando comparados os métodos, a secagem por *Cast-Tape* sob vácuo além de ser um processo com menor gasto energético e menores custos de implantação, possui um tempo de processo (40 minutos) muito inferior ao da liofilização (72 horas). Os processos não apresentaram diferenças significativas, confirmando a possível utilização de CTSV para a desidratação de produtos com estes microrganismos.

Os pós submetidos aos processos de secagem de CTSV e liofilização, apresentam características bem diferentes em relação à umidade e atividade de água, devido às diferentes condições de processo. Porém, após a reidratação, ambos os pós apresentaram características similares e próximas a matéria-prima original.

Estudos utilizando CTSV devem ser explorados, a fim de produzir em larga escala. É um processo economicamente viável e vantajoso para alimentos termossensíveis devido às elevadas taxas e capacidades evaporativas do processo que resultam em curtos tempos e manutenção de temperaturas reduzidas de processo.

Como sugestão para trabalhos futuros: avaliar os efeitos da secagem por CTSV no mirtilo, realizar o estudo da vida útil do produto final em relação à embalagem e condições de armazenamento e estudar a produção de microrganismos através do método de *Cast-Tape* sob vácuo.

## 7 REFERÊNCIAS

BARBOSA-CÁNOVAS, G. V.; FERNÁNDEZ-MOLINA, J. J.; ALZAMORA, S. M.; et al. Handling and Preservation of Fruits and Vegetables by Combined Methods for Rural Areas. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2003.

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.

CAPARINO, O.A.; TANG G.; NINDO C.I.; SABLANI S.S.; POWERS J.R.; FELLMAN J.K. Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine ‘Carabao’ var.) powder. *Journal of Food Engineering*, vol. 111, p. 135-148, 2012.

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”. In: *Proceedings of the 14th International Drying Symposium (IDS 2004)*. São Paulo, 2004. v. B, p. 813-820.

COOPER-DRIVER, G. A. Contributions of Jeffrey Harborne and co-workers to the study of anthocyanins. *Phytochemistry*, 56, 229–236. (2001).

COSTA, J. D. *Secagem de Iogurte Natural po Cast-Tape sob Vácuo*, 2016. 89 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Alimentos, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

DACANAL, G. C. *Estudo da granulação de suco de acerola desidratado em leite fluidizado*. 2005. 112 p. Dissertação de mestrado em Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

EMBRAPA Clima Temperado Sistemas de Produção, 8 ISSN 1806-9207 – Versão Eletrônica Agosto/2009. Sistema de Produção do Mirtilo. João Carlos Medeiros Madail e Alverides Machado dos Santos.

ESCOLA PAULISTA DE MEDICINA (São Paulo) (Org.). Relatório Mirtilo, cru (*Vaccinium ssp.*). Disponível em: <<http://tabnut.dis.epm.br/alimento/09050/mirtilo-cru>>. Acesso em: 05 set. 2016.

ESPÍN, J. C.; SOLER-RIVAS, C.; WICHERS, H. J.; GARCÍA-VIGUERA, C. Anthocyanin-based natural colorants: a new source of antiradical activity for foodstuff. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 48, p. 1588-1592, 2000.

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.

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

FERREIRA, C. L. L. F.; FERREIRA, D. G. S. *Produção de Iogurte, Bebida Láctea, Doce de Leite e Requeijão Cremoso*. Viçosa, MG, CPT, 2013. 272 p.

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

FOUST, A. S. *Princípios das Operações Unitárias*. 2a ed., 670 p., LTC, 1982.

GARCÍA-SEGOVIA, P.; ANDRÉS-BELLO, A. AND MARTÍNEZ-MONZÓ, J. Rehydration of air-dried Shiitake mushroom (*Lentinus edodes*) caps: Comparison of conventional and vacuum water immersion processes. *Food Science and Technology*, v. 44, p. 480-488, 2011.

GEANKOPLIS, C. J. *Transport Processes and Unit Operations*. Prentice-Hall International, Inc. 3. th. E.U.A, 1993.



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

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.

HELDMAN, D. R.; LUND, D. B. Handbook of Food Engineering. CRC Press, Taylor and Francis Group, 1024 p., 2nd ed., 2007.

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

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

KAREL, M.; LUND, D. B. Physical Principles of Food Preservation. CRC Press, 2003.

KIM, S.S., BHOWMIK, S.R. Moisture Sorption Isotherms of Concentrated Yogurt and Microwave Vacuum Dried Yogurt Powder. *Journal of Food Engineering* 21 (1994) 157-175.

KIM, S.S.; SHIN, S.G.; CHANG, K.S.; KIM, S.Y., NOH, B.S.; and BHOWMIK, S.R. 1997. Survival of lactic acid bacteria during microwave vacuum-drying of plain yogurt. *LWT Food Sci. Tech.*30: 573-7.

KING, V, A.; ZALL, R.R; Ludington, D.C. Controlled low-temperature vacuum dehydration-A new approach for low-temperature and low pressure food drying. *Journal of Food Science*, v.54, n.6, p 1573-1579, 1989.

KRASAEKOOPT W.; BHATIA S. Bhatia S. Production of yogurt powder using foam-mat drying. *AU Journal Technology* (2012), 15:166-171.

KRISTO, E; BILIADERIS, C.G.; TZANETAKIS, N. Modelling of the acidification process and rheological properties of milk fermented with a yogurt starter culture using response surface methodology . Food Chemistry, v.83, p.437-446, 2003.

MAN, Y B. C.; IRWANDI, J.; ABDULLAH, W J W. Effect of diferente types of maltodextrin an drying methods on physico-chemical and sensory properties of encapsulated durian flavour. Journal of the Science of Food and Agriculture, v.79, n.8, p.1075-1080, 1999.

MANENTI, F. L. Desidratação de iogurte desnatado por Refractance Window e por ciclos de aquecimento-pulso de vácuo, 2014. 61 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Engenharia de Alimentos, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa Nº 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. 4, 2007.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa Nº 51, de 18 de setembro de 2002. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 18 set.2002.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa Nº 62, de 29 de dezembro de 2011. Adota o Regulamento Técnico de Produção, identidade e Qualidade do Leite anexo à presente Instrução Normativa. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 29 dez.2011.

MORAES, J. O.; RESKA, A.; LAURINDO, J. B. Espalhamento e secagem de filme de amido-glicerol-fibra preparado por “tape- casting”. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 49, p. 136 – 143, fevereiro, 2014.

NINDO, C. I.; POWERS, J .R.; TANG, J. Influence of Refractance Window evaporation on quality of juices from small fruits. Swiss Society of Food Science and Technology, LWT. v. 40, p. 1000-10007, 2007.

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

OCHOA-MARTÍNEZ, C. I.; QUINTERO, P. T.; AYALA, A. A.; ORTIZ, M. J. Drying characteristics of mango slices using the *Refractance Window™* technique. *Journal of Food Engineering*. v. 109, p. 69-75, 2012.

OLIVEIRA, M. N.; DAMIN, M. R. Efeito do teor de sólidos e da concentração de sacarose na acidificação, firmeza e viabilidade de bactérias do iogurte e probióticas em leite fermentado. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. v. 23, p. 172 – 176. Campinas, 2003.

OSTILE, H. M.; TREIMO, J.; NARVHUS, J.A. (2005). Effect of temperature on growth and metabolism of probiotic bacteria in milk. *International Dairy Journal*, 15, 989-997.

PARISOTTO, E. I. B. Determinação de parâmetros, modelagem matemática e simulação numérica da secagem de polpa de tomate por cast-tape drying. 2016. 129 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Alimentos, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/167756?show=full>>. Acesso em: 07 out. 2016.

POIRIER I., MARECHAL P.A., GERVAIS P., Survie des bactéries lactiques soumises à la déshydratation : importance de la cinétique de déshydratation. *Le Lait*, INRA Editions, 1998, 78 (1), pp.173-180. <hal-00929577>.

RASEIRA, M. C. B.; ANTUNES, L. E. C. (Ed.). A cultura do Mirtilo (*Vaccinium sp.*). Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2004, 67p. (Séria Documentos, 121).

RAHMAN, M. Schafiur; LABUZA, Theodore P. *Handbook of food preservation*. 2.th. Water Activity and Food Preservation (Cap. 20). Nova Iorque, E.U.A.: CRC Press, 2007.

SABOYA, L.V.; OETERER, M.; OLIVEIRA, A.J. Propriedades profiláticas e terapêuticas de leites fermentados – Uma revisão. Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos, v.31, n.2, p.176-185, 1997.

SOUZA, P. G. Produção e caracterização de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) desidratado em pó por Cast-Tape Drying. 2015. 143 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Alimentos, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/160642>>. Acesso em: 07 out. 2016.

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

TAMINE, A. Y.; ROBINSON, R. K. Yogurt: science and technology. Oxford: Pergamon Press, 1985. 431p.

TEUNOU, E., FITZPATRICK, J. J., SYNOTT, E. C. Characterisation of food powder flowability. *Journal of Food Engineering*, v. 39, n. 1, p. 31-37, janeiro, 1999.

TRIBOLI, E. P. R. 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.

WU, X.; BEECHER, G. R.; HOLDEN, J. M.; HAYTOWITZ, D. B.; GEBHARDT, S. E.; PRIOR, R. L. Lipophilic and hydrophilic antioxidant capacities of common foods in the united states. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 52, p. 4026-4037, 2004.

WOLFE, K. L.; KANG, X.; HE, X.; DONG, M.; ZHANG, Q.; LIU, R. H. Cellular antioxidant activity of common fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 56, p. 8418-8426, 2008.

ZADERNOWSKI, R.; NACZK, M.; NESTEROWICZ, J. Phenolic Acid profiles in some small berries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 53, p. 2118-2124, 2005.

## APÊNDICE

**Figura A-** Microscopia eletrônica de varredura (MEV) para amostras dos pós produzidos por (a)- CTSV com aumento de 200x, (b)- CTSV com aumento de 1000x, (c)-Liofilizado com aumento de 1200x e (d)- Liofilizado com aumento de 3000x.

